

Estimación del potencial de mitigación de las emisiones de GEI de las prácticas agroecológicas en Colombia, Ecuador y Perú

Working Paper No. 408

Programa de Investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS)

Sandra Loaiza



RESEARCH PROGRAM ON
**Climate Change,
Agriculture and
Food Security**



Working Paper

Estimación del potencial de mitigación de las emisiones de GEI de las prácticas agroecológicas en Colombia, Ecuador y Perú

Working Paper No. 408

Programa de Investigación del CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS)

Sandra Loaiza Mera

Para citar este documento

Loaiza S. 2021. Estimación del potencial de mitigación de las emisiones de GEI de las prácticas agroecológicas en Colombia, Ecuador y Perú. CCAFS Working Paper no. 408. Wageningen, Países Bajos: Programa de investigación del CGIAR sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS).

Sobre este documento

Los títulos de esta serie tienen como objetivo difundir las investigaciones y prácticas provisionales sobre el cambio climático, la agricultura y la seguridad alimentaria y estimular la retroalimentación de la comunidad científica.

Sobre CCAFS

El Programa de Investigación del CGIAR sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS) está liderado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), parte de la Alianza de Bioversity International y el CIAT, y se lleva a cabo con el apoyo del Fondo Fiduciario del CGIAR y a través de acuerdos bilaterales de financiación. Para obtener más información, visite <https://ccafs.cgiar.org/donors>.

Contact us

CCAFS Program Management Unit, Wageningen University & Research, Lumen building, Droevendaalsesteeg 3a, 6708 PB Wageningen, the Netherlands. Email: ccafs@cgiar.org



This Working Paper is licensed under a Creative Commons Attribution – Noncommercial 4.0 International License.

© 2021 CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)

Contenido

Resumen	7
Introducción.....	7
Métodos y Materiales	9
Identificación de sistemas de producción	9
Recopilación de la información.....	10
Utilización Calculadora Cool Farm Tool (CFT).	10
Procesamiento de la información	11
Análisis de datos	11
Agrupación de prácticas agroecológicas.....	11
Resultados y discusiones.....	14
Prácticas agroecológicas de mitigación representativas	14
Caracterización de la zonas de estudio.....	23
Perú	23
Colombia	23
Ecuador	24
Estimación de emisiones de GEI con Cool Farm Tool	25
Perú	25
Colombia	28
Ecuador	35
Sistemas de producción agropecuarios – análisis de componentes principales.	39
Perú	39
Colombia	41
Ecuador	43
Sistemas de producción animal	44
Colombia	45
Ecuador	46
Conclusiones	47
Agradecimientos	47
Referencias.....	48
Anexos.....	54

Tabla de figuras

Figura 1: Localización de los agricultores encuestados en Perú (National Geographic map).	23
Figura 2: Localización de los agricultores encuestados en Colombia (National Geographic map). ...	244
Figura 3: Localización de los agricultores encuestados en Ecuador (National Geographic map).....	244
Figura 4: Perfil de emisiones promedio de GEI por número de prácticas agroecológicas implementadas en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Perú utilizando la herramienta Cool Farm.	266
Figura 5: Perfil de emisiones promedio de GEI por cultivo en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Perú utilizando la herramienta Cool Farm.	277
Figura 6: Perfil de emisiones directas e indirectas de N ₂ O promedio de GEI por cultivo en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Colombia utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.	309
Figura 7: Perfil de emisiones promedio de GEI por el manejo de residuos de cosecha en los cultivos en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Colombia utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.	30
Figura 8: Perfil de emisiones promedio de GEI por el cambio en el almacenamiento de carbono en los cultivos en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Colombia utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.	321
Figura 9: Perfil de emisiones promedio de GEI inducidas por la aplicación de fertilizantes en el cultivo en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Colombia utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.	332
Figura 10: Perfil de emisiones promedio de GEI por transporte de cosecha de los cultivos hacia los mercados locales en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Colombia utilizando la herramienta Cool Farm.	343
Figura 11: Perfil de emisiones promedio de GEI por uso de combustible para actividades agronómicas en el cultivo en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Colombia utilizando la herramienta Cool Farm.	354
Figura 12: Perfil de emisiones directas e indirectas de N ₂ O promedio de GEI por cultivo en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.	355
Figura 13: Perfil de emisiones promedio de GEI por el cambio en el almacenamiento de carbono en los cultivos en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm.	365
Figura 14: Perfil de emisiones promedio de GEI inducidas por la aplicación de fertilizantes de origen orgánico e inorgánico en el cultivo en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm.	376
Figura 15: Perfil de emisiones promedio de GEI por aplicación de pesticidas en el cultivo en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.	377
Figura 16: Perfil de emisiones promedio de GEI por el manejo de residuos de cosecha en los cultivos en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm.	387

Figura 17: Perfil de emisiones promedio de GEI por transporte de cosecha de los cultivos hacia los mercados locales en toneladas CO ₂ eq ha ⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm.	399
Figura 18: Proyección de las variables en el círculo de coinercia asociados a las emisiones promedio de los grupos de cultivos por fuentes de emisiones representativas (a). (b) mapa de factores.	40
Figura 19: Proyección de las variables en el círculo de coinercia asociadas a los grupos representativos de emisiones de los cultivos (a). (b) mapa de factores.	41
Figura 20: Proyección de las variables en el círculo de coinercia asociadas a los grupos representativos de emisiones de los cultivos (a). (b) mapa de factores de los cultivos identificados.	443
Figura 21: Perfil de emisiones promedio de GEI de cada sistema de producción animales en toneladas CO ₂ eq, que representa la línea de base (2021) para algunas regiones de Colombia utilizando la herramienta Cool Farm.	455
Figura 22: Perfil de emisiones promedio de GEI de cada sistema de producción animales en toneladas CO ₂ eq, que representa la línea de base (2021) para algunas regiones de Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm.	466

Resumen

La agricultura agroecológica es un enfoque agrícola y social que relaciona de forma integral la producción de alimentos, la mitigación en la reducción de Gases de efecto Invernadero (GEI) y el movimiento social de los agricultores. Para corroborar los beneficios de la implementación de prácticas que buscan la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios el Programa de Investigación del CGIAR sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS) coordinó y ejecutó el proyecto “Proyecto: “Fortaleciendo la evidencia para una agricultura a pequeña escala resiliente al clima y baja en carbono. Proyecto piloto en Colombia, Ecuador, y Perú. En este estudio evaluamos el potencial de mitigación de las prácticas adoptadas por los agricultores en tres países (Colombia, Perú y Ecuador) en gran diversidad de cultivos y sistema de producción pecuario (Colombia y Ecuador), utilizando la calculadora Cool Farm Tool para estimar las emisiones de GEI por unidad de área productiva. Los resultados mostraron que las prácticas comúnmente adoptadas (reducción de la labranza, rotación y asociación de cultivos) tuvieron importantes beneficios de mitigación con la captura de carbono. Los datos de las encuestas demuestran que la implementación de las prácticas por más de 10 años aumenta la reserva de carbono en un promedio de 100 Toneladas CO₂ eq ha⁻¹. No obstante, los agricultores no seleccionaron las prácticas por sus beneficios de mitigación, sino por las ventajas en la seguridad alimentaria y económicas. Estos resultados sugieren que los instrumentos de investigación, extensión y políticas pueden necesitar priorizar el desarrollo y divulgación de prácticas que permitan a los agricultores cumplir con su principal prioridad (seguridad alimentaria) y simultáneamente mitigar el cambio climático.



Introducción

La implementación de prácticas agroecológicas con potencial de mitigación es un punto de discusión de vital importancia en la actualidad debido a la relevancia de identificar y abordar de manera proactiva los desafíos generados por el cambio climático y de esta manera promover el desarrollo del sector agrícola en los países del proyecto piloto (Perú, Colombia y Ecuador). El principal objetivo de una agricultura agroecológica es optimizar la relaciones entre tres puntos fundamentales: mejorar de manera sostenible la productividad e ingreso de los agricultores, incrementar la resiliencia de los cultivos y sistemas de producción pecuaria y finalmente reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) relacionadas con las prácticas agroecológicas (Nicholls & Altieri, 2018).

Las prácticas agroecológicas identificadas y recomendadas por los socios de los tres países y las revisiones de literatura consideran el manejo integrado de los sistemas agrícolas con la implementación de prácticas como rotación de cultivos, labranza de conservación (labranza mínima), protección de pendientes del suelo y manejo de los residuos de cosecha, entre otras en donde se encuentran múltiples opciones de prácticas agroecológicas que han demostrado ser promisorias para disminuir la brecha de rendimiento e infundir resiliencia en los sistemas de producción agrícola (Blanco et al., 2012). El apoyo a los agricultores con capacitaciones y asesoramiento en la parte de manejo agronómicos con potencial de reducción de gases de efecto invernadero pueden ayudar a disminuir el impacto en los riesgos climáticos que sufren el sector agrícola en la actualidad (Akter et al., 2016). La agricultura que considera la parte climática y el manejo integral de los sistemas productivos agrícolas ofrece la oportunidad para orientar y transformar al sector agrícola en respuesta al cambio climático (Nyasimi et al., 2014).

En cuanto a la investigación del sector agropecuario, se han llevado a cabo importantes esfuerzos para desarrollar herramientas de identificación y priorización de impactos en las intervenciones agrícolas (Davinia, 2012). No obstante, la mayoría de estos enfoques han sido promovidos de forma generalizada a sectores industrializados que hacen que no sean eficientes en comparación con el enfoque hacia el pequeño agricultor local, donde se desarrolla la apropiación del conocimiento. Por ejemplo, cuando el enfoque se lleva a cabo hacia los sectores industrializados o de mayor desarrollo las prácticas de mitigación, su aceptación o aprobación es limitada debido a la poca relevancia que tiene el rendimiento y el desarrollo económico (Westermann et al., 2015). Como consecuencia, muchas de las prácticas de mitigación no han logrado su impacto debido a la poca adopción por parte de los agricultores. Diversas publicaciones y trabajos de investigación (Aggarwal et al., 2018) enfatizan la falta de evidencia sobre la eficiencia de prácticas agroecológicas promovidas para favorecer la productividad e ingreso de los agricultores, incrementar la resiliencia de los sistemas productivos agrícolas y reducir el impacto ambiental con la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En busca de evidencia experimental sobre los beneficios de la implementación de prácticas agroecológicas, el Programa de Investigación del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CAAFS) promovió el proyecto “Fortaleciendo la evidencia para una agricultura a pequeña escala resiliente al clima y baja en carbono. Proyecto piloto en Colombia, Ecuador, y Perú”. Para el desarrollo de investigación en relación con las prácticas agroecológicas implementadas por los agricultores. Sin embargo, no existen prácticas de mitigación o conservación que puedan ser implementadas en todos los sistemas productivos agrícolas; por lo tanto, la evidencia de efectividad debe ser específica para cada país y contexto local (Campbell et al., 2014). Los agricultores o campesinos prefieren información que se

relacione con lo que funciona específicamente en su finca en lugar de implementar diferentes prácticas que no se adaptan a sus cultivos, condición de suelo, clima, entre otras (Loboguerrero et al., 2019).

La adopción de prácticas de mitigación agroecológicas a gran escala entre los agricultores se debe la mayoría de las veces a las normativas políticas, cadenas productivas de mercado y beneficios por pagos de servicios ambientales (Piñeiro et al.2020). La implementación de las prácticas de mitigación cuando se abarca de forma generalizada en agricultores con mayor área de siembra puede verse interrumpida cuando las tendencias del mercado cambian, los incentivos terminan. Un enfoque alternativo es cuando los pequeños agricultores reciben capacitación, prueban y evalúan el desempeño de las diferentes prácticas de mitigación o conservación en sus fincas con la implementación de prácticas agroecológicas.

En la presente investigación, se pretende comprender mejor la planificación de mitigación, las acciones e impactos en los cultivos de agricultores de las regiones de Perú, Colombia y Ecuador para comprender mejor qué prácticas y niveles de mitigación han logrado los agricultores a lo largo de su implementación en sus fincas o unidades productivas.

Métodos y Materiales

Identificación de sistemas de producción

Para la identificación de cultivos y sistemas de producción pecuaria se realizó la aplicación de encuestas en los tres países que hicieron parte del proyecto de investigación, se desarrollaron planes de trabajo con cada uno de los socios (EkoRural¹, CEAR² y REDMAC³) para priorizar los sistemas de producción agropecuarios más relevantes para los agricultores agroecológicos que hacen parte de sus programas de apoyo dentro de las organizaciones mencionadas, se trabajó los criterios de selección, número de cultivos y sistemas de productivos pecuarios de acuerdo con el contexto local de cada país.

Los criterios de selección de los sistemas de producción para Colombia y Ecuador fueron aquellos con mayor área de siembra de todos aquellos cultivos que hacían parte de la finca o unidad productiva de cada agricultor y que representarán mayores ingresos económicos por la venta de las cosechas o productos transformados en los mercados locales. En la selección fueron considerados cualquiera de los dos criterios y como número máximo 4 cultivos y sistemas de producción pecuaria encuestados por agricultor. Para Perú se definieron los cultivos de papa y hortalizas como los sistemas de producción, que eran los más importantes y estratégicos por los planes de trabajo y avance en la identificación e implementación de prácticas agroecológicas.

¹ EkoRural: Organización no gubernamental local en Ecuador y miembro de la organización de asociación global Groundswell International.

² CEAR: Centro de Apoyo Rural del Perú.

³ REDMAC: Red de Mercados Agroecológicos Campesinos del Valle del Cauca

Recopilación de la información

Los datos se recopilaron utilizando la herramienta KoBoCollect, una aplicación (APP) flexible, gratuita y de código abierto, desarrollada por la iniciativa Humanitaria de Harvard para la recopilación de datos en campo, monitoreo y evaluación eficiente de prácticas agroecológicas a nivel de finca o unidad productiva. En el estudio, la aplicación KoBoCollect se cargó en el celular personal de cada uno de los colaboradores para el desarrollo de la actividad en campo. KoBoToolbox, es un módulo de la aplicación KoboCollect, que nos permitió la recopilación de la información en línea y generar una base de datos en Excel con información general del agricultor, manejo de los cultivos seleccionados, prácticas agroecológicas con potencial de mitigación implementadas por los agricultores durante los ciclos del cultivo, cambio en el uso de suelo, uso de fuentes de energía para las actividades en campo, transporte de la cosecha hasta el centro de acopio o mercado. Además, se registró en los sistemas de producción pecuaria información acerca del tipo de pasturas y tipo de manejo del estiércol. Cuando no toda la información de las entradas de la calculadora fue suministrada por los agricultores se hizo uso de datos y revisión de literatura basados en estudios previos como en el caso de las características de suelo como textura, pH, humedad, drenaje y contenido de materia orgánica para alguno de los agricultores de los países de Colombia y Perú.

Utilización Calculadora Cool Farm Tool (CFT).

La información recopilada en campo en cada uno de los tres países se compiló, ajustó y procesó para ejecutar la calculadora (CFT) (Hillier et al., 2011, CFT: <https://www.coolfarmtool.org/>) para estimar las emisiones de GEI por país. CFT es una calculadora que permite a los usuarios estimar las emisiones GEI asociadas con la producción de cultivos y sistema de producción animal. Está conformada por un conjunto de modelos experimentales que se utilizan para estimar las emisiones globales de productos de explotación agrícola que conforman un combinación de enfoques a nivel 1 (se emplean factores de emisión de la base de datos del IPCC⁴), 2 (basado en uso de modelos, factores de emisión y ecuaciones establecidas por el IPCC) y 3 (evaluación rigurosa y detallada de la fuente de emisión o absorción), las cuales son metodologías del (IPCC) con diferente grado de complejidad de acuerdo con la información disponible para realizar el cálculo. La calculadora considera los factores específicos del contexto que influyen en las emisiones de GEI, como las características del suelo (textura, pH, materia orgánica, condiciones de humedad y drenaje), climáticas (temperatura), insumos agrícolas para la producción y otras prácticas a nivel de agricultor. Esta herramienta estimó las emisiones totales de GEI por unidad de área del sistema productivo agrícola a nivel de finca o unidad productiva, lo que permitió estimar el rendimiento en función de la eficiencia ambiental (Seebauer, 2014). Los datos faltantes para la estimación de las emisiones de GEI se compilaron a partir de la información suministrada por los agricultores y de bases de datos en línea como el mapa de suelo digitalizado del mundo DSMW versión 3.6 y escala 1: 5'000,000 (FAO,2007) con bases de datos de fracciones en porcentaje de limos, arcillas, arenas y porcentaje de carbono orgánico, información de almacenamiento de carbono e información

⁴ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change - Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.

de suelo de Colombia (FAO, 2017 a y b, FAO, 2020) y el sistema de información de suelo de Latinoamérica y el Caribe – SISLAC (FAO, 2021).

Procesamiento de la información

La información a nivel de productor utilizada para este estudio se procesó con el objetivo de estimar las emisiones de GEI de las prácticas agroecológicas identificadas e implementadas por los agricultores de los tres países utilizando la calculadora Cool Farm Tool. Dentro del contexto de este estudio, se determinaron los beneficios de la mitigación de GEI de diferentes prácticas agroecológicas identificadas en el desarrollo de las revisiones de literatura y reuniones con los socios del proyecto.

Se desarrolló e implementó una encuesta por cada país para recopilar la información sobre las prácticas agroecológicas con potencial de mitigación ofrecidas e implementadas a los agricultores en los diferentes cultivos y sistemas de producción animal, para así determinar el razonamiento detrás de las decisiones de los agricultores para el manejo agronómico de sus sistemas productivos. Las preguntas se enfocaron en las prácticas actuales, los sistemas productivos, el uso de los residuos de cosecha, el rendimiento y el manejo de los sistemas de producción pecuaria (Ver anexo A). La encuesta fue implementada en 170 agricultores en los tres países entre los meses de septiembre y octubre de 2021 a través de la ayuda en campo de técnicos, estudiantes y agricultores capacitados en la herramienta KoBoCollect para la recolección de la información.

Análisis de datos

Los datos recopilados por medio de las encuestas en KoboCollect para cada uno de los países fueron analizados y depurados identificando cuáles eran las prácticas agroecológicas con mayor implementación y comparando la tasa promedio ponderada de implementación ((Prácticas / implementadas) / Total de prácticas encuestadas)). Se realizó un análisis factorial múltiple para diferentes prácticas agroecológicas (PA) adoptadas por los agricultores, emisiones y absorción de GEI. Se ejecutaron análisis multivariado de PCA (Análisis de componentes principales), coinercia y prueba de permutación de Monte Carlo para comparar los cultivos y sistemas de producción pecuaria en el entorno de R con el uso de las bibliotecas ade-4, FactorMineR, factorextra (Thioulouse et al., 1997; R Development Core Team, 2004, Husson et al., 2017).

Agrupación de prácticas agroecológicas.

La tabla 1, enumera las prácticas agroecológicas que hicieron parte de las preguntas de las encuestas implementadas por país, para la recopilación de información y la estimación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por sistema de producción agropecuarios. Estas fueron identificadas con ayuda de los socios de cada uno de los países participantes del proyecto con base en su experiencia en investigación y desarrollo de actividades sostenibles en el sector agropecuario con la adopción e implementación de este tipo de prácticas en los cultivos y sistemas de producción pecuaria más representativos para los agricultores agroecológicos de cada uno de los países. Adicionalmente, se

realizó revisión de literatura para complementar el número de prácticas agroecológicas a considerar para la construcción de la encuesta. (Ver anexo B).

Tabla 1: Prácticas agroecológicas incluidas en las encuestas y su agrupación utilizada como grupos de agregación para el análisis Perú, Ecuador y Colombia.

práctica aplicada por país	Perú	Ecuador	Colombia
Asociación de cultivos.	✓	✓	✓
Arar o voltear el suelo.	✓		✓
Uso de coberturas en el cultivo			✓
Labranza mínima.	✓	✓	✓
Aplica abonos orgánicos		✓	✓
Nivelar el suelo	✓		
Producción de abonos o enmiendas orgánicas			✓
Aplica excretas de animales como enmiendas	✓		✓
Rotación de cultivos	✓	✓	✓
El total de prácticas identificadas: Uso de coberturas en el cultivo, Labranza mínima, Producción de abonos o enmiendas orgánicas, Rotación de cultivos, Aplica abonos orgánicos, Aplica excretas de animales como enmiendas, Siembra al contorno o en curvas de nivel, Uso de camas altas, Arar o voltear el suelo, Nivelar el suelo, Asociación de cultivos.			

Resultados y discusiones

En el desarrollo del estudio se encuestaron un total 170 agricultores entre los tres países, en la tabla 2 se describe el número de agricultores, cultivos y sistemas de producción pecuaria encuestados. Donde el país que más encuestas realizó fue Ecuador con un total de 89 agricultores, por medio del equipo de trabajo de EkoRural quien fue el responsable del desarrollo del levantamiento de la información en campo con los agricultores de igual forma que los demás socios del proyecto. Sin embargo, Colombia presentó la mayor diversidad de grupos de cultivos por finca o unidad productiva.

Tabla 2: Número de agricultores, cultivos y sistemas de producción pecuaria encuestados por país.

Países encuestados	Colombia	Perú	Ecuador	Total
Número de Agricultores encuestados	39	42	89	170
Número de cultivos encuestados	134	82	272	488
Número de sistemas de producción pecuaria encuestados	70	--	345	415

Se identificaron los tres cultivos y sistemas de producción pecuaria más encuestados y la caracterización de finca o unidad productiva más representativa entre agricultores por país. Para Perú los cultivos más representativos fueron: cebollitas chinas (25 encuestas – 31%), Espinaca (15 encuestas – 19%) y perejil (7 encuestas – 9%), en relación con los grupos de cultivos característicos se destacaron cebolla china – espinaca (8 agricultores), cebollita china - lechuga y cebolla china – culantro (3 agricultores). Ecuador los cultivo más encuestados fueron: maíz (57 encuestas – 21%), papa (55 encuestas – 20%), hortalizas (51 encuestas – 19%) y los sistemas de producción animal: cuyes (85 encuestas – 23%), ganadería (80 encuestas – 22%) y cerdos (64 encuestas – 18%) con relación a los grupos de cultivos por finca o unidad productiva se destacaron Maíz – Hortalizas (4 agricultores) y Papa – Maíz – Hortalizas (3 agricultores). Finalmente, para Colombia los cultivos más relevantes fueron: musáceas, plátano – banano (18 encuestados – 14 %), café (15 encuestados – 11%), maíz (10 encuestados – 8%) y para los sistemas de producción animal: gallinas (31 encuestas – 43%), ganadería (10 encuestas – 14%) y cerdos (9 encuestas – 13%), se evidenciaron una gran diversidad de agrupaciones de cultivos por agricultor sin poder definirse los más característicos para los agricultores agroecológicos encuestados en Colombia (Anexo C).

Prácticas agroecológicas de mitigación representativas

Los resultados de las Tablas 3, 4, 5, 6 muestran las prácticas agroecológicas adoptadas por los agricultores encuestados y sus tasas de implementación para los tres países que hicieron parte del proyecto de investigación. Estas tasas cambian cuando la tasa se pondera por el número de veces que se implementó una práctica con el número de veces totales que se implementaron todas. Donde se identificaron que para Perú el preparar el suelo por medio de volteo o arado, la labranza mínima, la rotación de cultivos y nivelar el suelo son las prácticas más implementadas por los agricultores donde los grupos de cultivos que mayor número de prácticas agroecológicas implementaron fueron los arreglos Nabos – Acelga y Espinaca

– Rabanito con la adopción entre 5 a 6 prácticas de las 9 encuestadas. Para Ecuador las prácticas más implementadas fueron preparar el suelo por medio de volteo y arado, rotación y asociación de cultivos. En Colombia, las prácticas agroecológicas más implementadas fueron asociación de cultivos, uso de coberturas y labranza mínima. En el anexo D se describen las definiciones de cada una de las prácticas.

Una de las prácticas agroecológica representativas para Perú y Ecuador fue la rotación de cultivos, que comprende las interacciones benéficas de los diferentes cultivos que reducen la necesidad de insumos externos por el aporte de macro y micronutrientes, contribuyen al manejo del suelo, la fertilidad, reduce la erosión, mejora la calidad del suelo, incrementa la viabilidad de nutrientes en el cultivo y limita la concentración de plagas y enfermedades (Selim, 2019). La siembra de monocultivos conduce al agotamiento de nutrientes del suelo. Cada tipo de cultivo tiene una relación específica con el suelo, y cada sistema de producción agrícola libera y absorbe diferentes tipos de nutrientes. Debido a esto, la rotación de cultivos incrementa la fertilidad del suelo al regular los nutrientes deficientes o en exceso porque repone nutrientes que no están disponibles o absorbe los que están en abundancia. Por otro lado, también aumenta el contenido de materia orgánica por los microorganismos que deja cada tipo de cultivo sembrado. Esta práctica también ayuda a reducir impactos de gotas de lluvia en el suelo y la erosión generada por el agua, permitiendo mantener unida la capa superior del suelo con las raíces de las plantas. Por estas razones, la rotación de cultivo se considera una práctica de mitigación relevante en el sector agrícola no solo por los impactos ambientales sino por los económicos en el incremento del rendimiento (Selim, 2019; Rinkesh, 2021).

La práctica agroecológica asociación de cultivos implementadas en Colombia y Ecuador permitió mejorar la calidad de los productos, aumentar los rendimientos de los cultivos debido al beneficio de los nutrientes producidos por las plantas asociadas sirviendo como fuente de nitrógeno adicional, además de ser protección ecológica del cultivo ante plagas y enfermedades, puesto que algunas asociaciones de cultivo repelen a determinados insectos no deseados y promueven mayor biodiversidad que atrae a insectos beneficiosos como por ejemplo polinizadores, mejora el uso de los recursos naturales aprovechando todos los espacios del suelo disponibles, reduciendo la erosión del suelo por medio de su cobertura física, evitando el desequilibrio de nutrientes y minimizando la competencia con arvenses por los recursos (agua, luz y nutrientes) (Migliorini & Wesel, 2017; Torres et al., 2018).

La labranza mínima y el arado o volteo del suelo fueron las prácticas agroecológicas implementadas por los tres países, las cuales son consideradas como prácticas sostenibles ambientalmente, debido a que es una medida para aumentar el carbono orgánico del suelo (Lal, 2015). El carbono orgánico del suelo representa una fuente importante del carbono total, por lo que cualquier cambio puede afectar los flujos de carbono emitiendo GEI contribuyendo al Potencial de Calentamiento Global. Se conoce evidencia científica que la labranza convencional libera dióxido de carbono (CO_2) hacia la atmósfera acelerando la mineralización de la materia orgánica del suelo debido al incremento de la aireación y drenaje, la ruptura e incorporación de residuos vegetales, cambios en los regímenes térmicos y los cambios en la diversidad y cantidad de microorganismos presentes en el suelo, lo que debilita finalmente la estructura del suelo y permite que los suelos sean propensos a la erosión, pérdida de fertilidad y degradación ambiental (Brown et al., 2021; Ranjan, 2021). Las prácticas agroecológicas de labranza mínima y arado de suelo poco profundas minimizan las alteraciones del suelo. Estas prácticas permiten el almacenamiento de carbono

orgánico del suelo en comparación con la labranza convencional, implicando menos pases o arados profundos lo que conlleva a la disminución de la densidad aparente evitando la compactación del suelo, mejorando la fertilidad de este e incrementado los rendimientos del cultivo (Ranjan, 2021; Bausenwein et al., 2008).

La práctica agroecológica de uso de coberturas implementada en Colombia es una práctica de conservación que proporciona muchos servicios ecosistémicos con gran potencial para disminuir la contaminación por nitratos, disminuir la erosión, mejorar la disponibilidad del recurso hídrico, reducir el desarrollo de malezas y favorecer el control de plagas y enfermedades, incrementar la biodiversidad microbiana, mejorar la retención del agua, acumulación de la materia orgánica y disminución de la lixiviación de nutrientes lo que se traduce en promover la sostenibilidad del suelo para el aumento del rendimiento de los cultivos (Daryanto et al., 2018; Khan et al., 2019; Muhammad et al., 2019; Plastina et al., 2020). Adicionalmente, la implementación de coberturas no solo mejora las condiciones del suelo gracias a un mayor ciclo de carbono y nitrógeno si no también en la reducción de costo en los manejos agronómicos de los cultivos.

Tabla 3: Listado de Prácticas agroecológicas implementadas con tasa de ponderación para Perú y su descripción⁵.

Prácticas agroecológicas	Implementadas	Descripción del tipo de arreglos de hortalizas	Tasa ponderada de implementación
Uso de coberturas en el cultivo	2	Cebollita china - Culantro; Cebolla china – Rabanito.	1.92 %
Labranza mínima	17	Acelga - Cebollita china; Cebollita china - Lechuga; Lechuga - Rabanito; Kale - Beterraga; Cebolla china - Espinaca; Perejil - Cebollita china; Cebollita china - Rábano; Nabo - Acelga; Espinaca - Hortalizas; Espinaca – Rabanito.	16.35 %
Rotación de cultivos	17	Espinaca - Perejil; Espinaca - Lechuga; Col - Perejil; Cebolla china - Acelga; Kale - Beterraga; Cebolla china - Betarraga; Cebolla china - Culantro; Cebolla china - Rabanito; Acelga - Perejil; Culantro - Nabo; Nabo - Acelga; Cebollita china - Culantro; Cebollita china - Nabo; Espinaca - Hortalizas; Espinaca - Rabanito; Papa.	16.35 %
Aplica abonos orgánicos	5	Cebollita china - Perejil; Cebollita china - Espinaca; Nabo - Acelga	4.81 %
Aplica excretas de animales como enmiendas	12	Cebollita china - Lechuga; Espinaca - Lechuga; Cebolla china - Betarraga; Cebollita china - Culantro; Cebollita china - Rábano; Perejil - Acelga; Cebollita China - Espinaca; Cebollita china - Culantro; Cebollita china - Nabo; Nabo - Acelga; Espinaca - Rabanito; Papa.	11.54 %

⁵ Número total de veces que se ofreció una práctica enumerada en la tabla 1 por agrupación de cultivos y el número de agricultores que la implementó. La tasa de implementación se pondera por el número de veces que se implementaron todas las prácticas por agrupación de cultivos. La tasa de implementación ponderada promedio de cualquier opción de mitigación en los cultivos fue del 12.5 % para Perú.

Prácticas agroecológicas	Implementadas	Descripción del tipo de arreglos de hortalizas	Tasa ponderada de implementación
Arar o voltear el suelo	28	Culantro - Espinaca; Cebolla china - Perejil; Espinaca - Perejil; Cebolla china - Espinaca; Espinaca - Lechuga; Col - Perejil; Cebolla china - Acelga; Kale - Beterraga; Cebolla china - Espinaca; Cebolla china - Betarraga; Cebolla china - Culantro; Cebolla china - Rabanito; Culandro - Nabo; Cebollita china - Acelga; Cebollita china - Rabano; Nabo - Acelga; Beterraga - Culantro; Cebollita china - Lechuga seda; Espinaca - Rabanito.	26.92 %
Nivelar el suelo	14	Cebollita china - Espinaca; Espinaca - Lechuga; Col - Perejil; kale - Beterraga; Cebolla china - Espinaca; Cebolla china - Betarraga; Cebolla china - Culantro; Cebolla china - Rabanito; Nabo - Acelga; Cebollita china - Nabo; Espinaca - Rabanito.	13.46 %
Asociación de cultivos	9	Lechuga - Rabanito; Cebolla china - Perejil; Cebolla china - Espinaca; Col - Perejil; Cebollita China - Espinaca; Cebollita china - Acelga; Nabo - Acelga; Culantro - Espinaca; Espinaca - Rabanito.	8.65 %

Tabla 4: Número de prácticas implementadas por grupo de hortalizas y cultivo de papa sembrados en Perú.

Grupos de hortalizas	# agricultores que implementa por número de prácticas							
	8 prácticas	7 prácticas	6 prácticas	5 prácticas	4 prácticas	3 prácticas	2 prácticas	1 prácticas
Culantro - Espinaca; Acelga - Cebollita china; Cebollita china - Lechuga; Cebolla china - Espinaca; Acelga - Perejil; Culantro - Espinaca; Perejil - Acelga; Beterraga - Culantro; Cebollita china - Lechuga seda; Espinaca - Cebollita China; Papa.	-	-	-	-	-	-	-	11
Cebollita china - Lechuga; Lechuga - Rabanito; Cebolla china - Perejil; Cebolla china - Espinaca; Espinaca - Perejil; Culandro - Nabo; Cebolla china - Acelga; Perejil - Cebollita china; Cebolla china - Culantro; Espinaca - Hortalizas.	-	-	-	-	-	-	13	-
Cebolla china - Espinaca; Cebolla china - Acelga;	-	-	-	-	-	8	-	-

Grupos de hortalizas	# agricultores que implementa por número de prácticas							
	8 prácticas	7 prácticas	6 prácticas	5 prácticas	4 prácticas	3 prácticas	2 prácticas	1 prácticas
Cebolla china - Culantro; Cebollita china - Rabano; Cebollita china - Nabo.								
Espinaca - Lechuga; Col - Perejil; Kale - Beterraga; Cebolla china - Betarraga; Cebolla china – Culantro; Cebolla china - Rabanito; Nabo - Acelga; Papa.	-	-	-	-	8	-	-	-
Nabo – Acelga.	-	-	-	1	-	-	-	-
Espinaca – Rabanito.	-	-	1	-	-	-	-	-

Tabla 5: Listado de Prácticas agroecológicas implementadas por cultivo Ecuador ⁶

Cultivos	Prácticas implementadas								
	Labranza mínima	Producción de abonos	Rotación de cultivos	Aplica abonos orgánicos	Aplica excretas de animales	Uso de camas altas	Arar o voltear el suelo	Nivelar el suelo	Asociación de cultivos
Centeno	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Cilantro	0	0	1	0	0	0	1	1	0
Lechuga	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Cebada + alverja	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Culantro	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Morocho	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Uvilla	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Vicia	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Uvilla	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Avena	1	0	1	0	0	0	2	0	0
Frijol	0	0	4	1	0	0	3	0	3
Amaranto	0	0	4	0	1	0	4	0	0

⁶ Número total de veces que se ofreció una práctica enumerada en la tabla 1 por cultivo y el número de agricultores que la implementó. La tasa de implementación se pondera por el número de veces que se implementaron todas las prácticas por cultivo. La tasa de implementación ponderada promedio de cualquier opción de mitigación en los cultivos fue del 11 % para Ecuador.

Cultivos	Prácticas implementadas								
	Labranza mínima	Producción de abonos	Rotación de cultivos	Aplica abonos orgánicos	Aplica excretas de animales	Uso de camas altas	Arar o voltear el suelo	Nivelar el suelo	Asociación de cultivos
Col	0	0	4	2	0	0	3	0	0
Alfalfa	1	0	4	2	1	0	2	0	0
Chocho	0	0	7	0	0	0	7	0	3
Trigo	0	0	6	2	0	0	7	0	0
Alverja	1	0	10	3	0	0	9	0	1
Cebolla	1	0	11	3	0	0	9	0	2
Cebada	4	0	13	3	1	1	16	0	1
Haba	1	2	25	7	5	0	23	0	6
Hortalizas	6	1	14	24	2	7	42	1	49
Papa	2	8	49	14	10	1	49	0	5
Maíz	5	3	48	11	6	0	47	2	30
Tasa ponderada de implementación	3.21 %	2.04 %	30.07 %	10.66 %	3.80 %	1.31 %	33.58 %	0.73 %	14.60 %

Tabla 6: Listado de Prácticas agroecológicas implementadas por cultivo Colombia⁷

Cultivos	Prácticas implementadas										
	Uso de coberturas	Labranza mínima	Producción de abonos	Rotación de cultivos	Aplica abonos orgánicos	Aplica excretas de animales	Siembra al contorno	Uso de camas altas	voltear el suelo	Nivelar el suelo	Asociación de cultivos
Acedera	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Aguacate	4	1	1	0	1	1	0	0	1	1	4
Aromáticas	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Arracacha	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	1
Banano	3	4	2	3	2	3	1	0	2	2	4

⁷ Número total de veces que se ofreció una práctica enumerada en la tabla 1 por cultivo y el número de agricultores que la implementó. La tasa de implementación se pondera por el número de veces que se implementaron todas las prácticas por cultivo. La tasa de implementación ponderada promedio de cualquier opción de mitigación en los cultivos fue del 9.1 % para Colombia.

Cultivos	Prácticas implementadas										
	Uso de coberturas	Labranza mínima	Producción de abonos	Rotación de cultivos	Aplica abonos orgánicos	Aplica excretas de animales	Siembra al contorno	Uso de camas altas	voltear el suelo	Nivelar el suelo	Asociación de cultivos
Berenjena	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1
Berros	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
Cacao	3	1	2	1	2	1	0	0	0	0	3
Café	9	9	5	3	8	6	4	0	2	2	12
Café en asocio con árboles frutales	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1
Caña de azúcar	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Cebolla	3	3	1	1	1	2	0	2	0	0	1
Chachafrutos	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
Cidra	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
Cilantro	2	3	1	2	1	2	0	1	0	0	0
Cítricos	3	1	2	0	2	0	1	0	0	0	0
Cúrcuma	3	4	4	3	3	3	2	0	1	1	3
Espinaca	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1
Fríjol	6	7	2	4	5	3	0	0	2	0	9
Fríjol cargamanto y habichuela blanca	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1
Guanabanas	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Hortalizas	2	2	0	2	2	0	1	1	0	0	1
Kale	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1
Lechuga	2	3	2	1	2	2	1	1	1	1	3
Limón	4	1	1	0	4	2	1	0	1	0	5
Maíz	7	7	0	5	7	2	1	0	1	0	9
Mandarina	5	2	2	0	3	3	0	0	1	0	5
Mora	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1
Musáceas	2	1	1	0	1	0	2	0	0	0	1
Naranja	3	0	1	0	1	1	0	0	1	0	3
Ortiga	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Papaya	2	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1

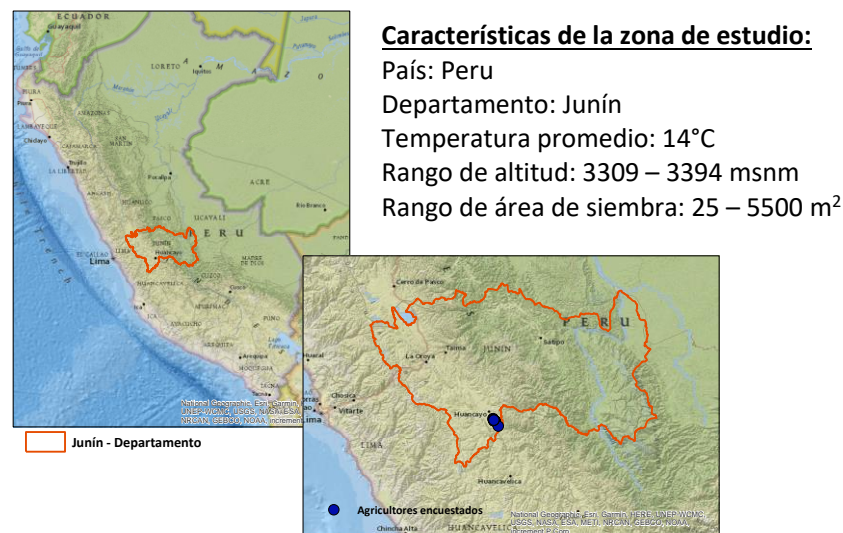
Cultivos	Prácticas implementadas										
	Uso de coberturas	Labranza mínima	Producción de abonos	Rotación de cultivos	Aplica abonos orgánicos	Aplica excretas de animales	Siembra al contorno	Uso de camas altas	voltear el suelo	Nivelar el suelo	Asociación de cultivos
Paquetes de aromáticas	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1
Pepino	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Perejil	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	1
Pimentón	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1
Plantas medicinales	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
Plátano	9	7	7	1	6	6	3	0	1	1	9
Repollo	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ruibarbo	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Sacha inchi	2	2	2	0	0	0	1	0	0	0	1
Sagu	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
Soya	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Tomate	2	2	2	1	1	1	2	0	0	0	2
Yuca	0	2	0	1	1	0	0	0	2	0	2
Yuca y Arracacha	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Tasa ponderada de implementación	16.87 %	14.31 %	9.71 %	7.33 %	12.27 %	9.71 %	4.60 %	2.04 %	3.58 %	2.39 %	17.21 %

Caracterización de la zonas de estudio

Perú

En la figura 1 se describe la localización y las características generales de la zona de estudio. En Perú las encuestas fueron implementadas en el departamento de Junín en los distritos de Pucará (48.6%), Pazos – Mullaca (23%), Asca (21.6%) y Raquina (6.8%). Donde el barrio más encuestado fue 28 de julio con un porcentaje de 12.2% y las estimaciones de GEI se realizaron en los cultivos de hortalizas (73%) y Papa (27%).

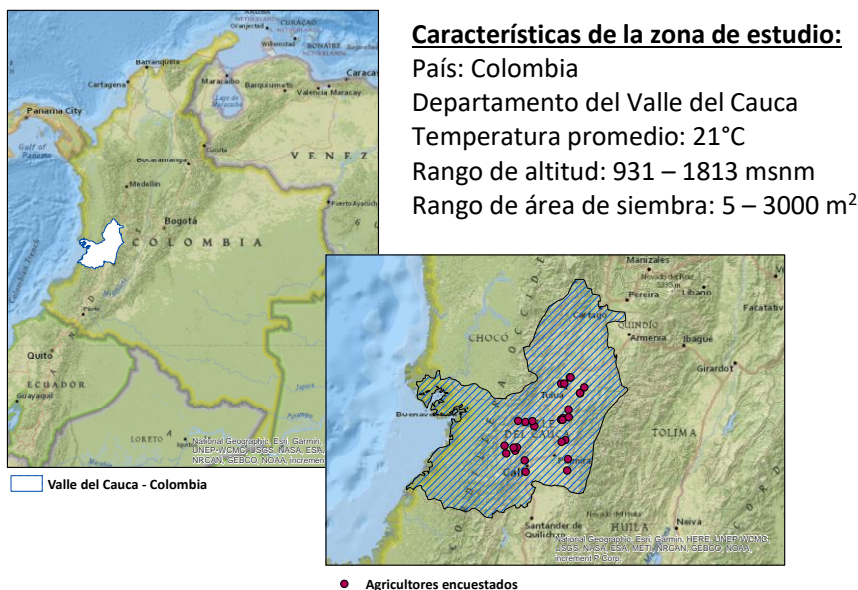
Figura 1: Localización de los agricultores encuestados en Perú (National Geographic map).



Colombia

En la figura 2 se describe la localización y las características generales de la zona de estudio en Colombia. Las encuestas fueron implementadas en el departamento del Valle del Cauca en los municipios de Dagua (23%), Tuluá (16%), Sevilla, Restrepo, Buga zona alta (12% cada uno), Guacarí (9%) y Andalucía, Cerrito, Jamundí, La Cumbre, Palmira, Pradera y Cali zona rural (2%). Donde las características de suelo más representativas fueron textura fina (74%), pH entre 5.5 < pH < 7.3 y materia orgánica del suelo 5.16 < MOS < 10.32.

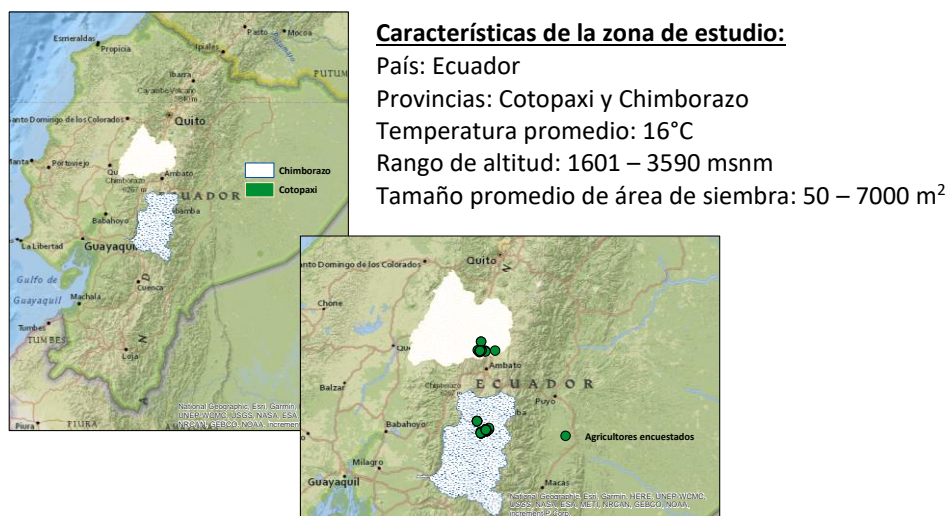
Figura 2: Localización de los agricultores encuestados en Colombia (National Geographic map).



Ecuador

En la figura 3 se describe la localización y las características generales de la zona de estudio en Ecuador. Las encuestas fueron implementadas en las provincias de Chimborazo (50.6%) en el cantón de Riobamba y Cotopaxi (49.4%) en los cantones Salcedo y Pujilí. Las parroquias más representativas fueron Cusubamba (40.4%) y Licto (34%) y en las comunidades de Cuelloloma (18%) y Carrillo (15%). Tipo de clima característico lluvioso (84.3%). Las características de suelo distintivas fueron textura de suelo media (50.6%), $7.3 < \text{pH} \leq 8.5$ (47.2%) y materia orgánica del suelo (50.6%).

Figura 3: Localización de los agricultores encuestados en Ecuador (National Geographic map).



Estimación de emisiones de GEI con Cool Farm Tool

En esta sección detallan el perfil de las emisiones promedio de GEI en toneladas por hectárea para el último ciclo de los cultivos seleccionados del año 2021 y los sistemas de producción animal, estimados a través de la calculadora CFT. La calculadora incluye las emisiones inducidas por el tipo y cantidad de aplicación de fertilizantes de origen orgánico e inorgánico, emisiones directas e indirecta de óxido nitroso (N_2O), el número de pesticidas aplicados, manejo de residuos de cosecha, impacto de las fuentes de energía usadas para las actividades agronómicas de los cultivos y el transporte de la cosecha hacia el centro de acopio o punto de venta en los mercados locales.

Perú

Cultivos

En el análisis por número de prácticas implementadas que se describe en la figura 4, se evidencia que con el aumento en la implementación de este tipo de prácticas agroecológicas el potencial de mitigación de los sistemas de producción agrícola no presenta una tendencia a disminuir o a incrementarse por fuentes de emisión, la reducción de las emisiones depende del tipo de práctica implementada más no por la cantidad de prácticas.

Dentro de los trece (13) cultivos encuestados se encontró que en el cultivo de espinaca con el 18% de representatividad se evidenciaron las menores emisiones de GEI relacionadas con las prácticas de manejo de residuos de cosecha (0.0003 toneladas CO_2 eq ha^{-1}) donde se implementó la incorporación de los residuos, práctica que mejora la estructura y capacidad de infiltración del suelo, permite el aumento de los organismos por la incorporación de materia orgánica, aporta nutrientes liberando nitrógeno, potasio, calcio y magnesio y reduce la erosión hídrica del suelo (Pugesgaard et al., 2017; Xu et al., 2017; Hiel et al., 2018); el tipo y cantidad de fertilizante aplicado (0.022 toneladas CO_2 eq ha^{-1}) práctica que se encuentra relacionada con los requerimientos de los cultivos, los elementos que conforman el fertilizante y la cantidad de aplicación, para el caso de la espinaca la diferencia fue en la cantidad de aplicación promedio que estuvo cerca de 15 kilogramos por unidad de área productiva, la cual estuvo ligeramente por debajo de los demás cultivos encuestados. Sin embargo, a lo largo del análisis de la información se evidenció el uso de fertilizantes nitrogenados en su mayoría era urea con un contenido cercano al 46% de nitrógeno donde el uso intensivo de fertilizantes químicos sobre el suelo contribuye a emisiones altas de N_2O , por lo cual se debe considerar la reducción de la tasa de aplicación de este tipo de fertilizantes que podría contribuir a una disminución del 20 al 40% de emisiones de GEI (Abdalla et al., 2016); en la aplicación de pesticidas para este cultivo fueron pocas en comparación con los demás sistemas de producción donde se presentó una emisión de 0.0041 toneladas CO_2 eq ha^{-1} .

En el almacenamiento de carbono, el cultivo que presentó captura de dióxido de carbono (CO₂) equivalente fue el cultivo de rábano con -2.38 toneladas CO₂ eq ha⁻¹. Las prácticas que estuvieron asociadas con la captura de carbono fueron: labranza mínima, uso de coberturas, asociación de cultivos y aplicación de excretas de animales como enmiendas. La práctica de la labranza tiene el potencial de influir fuertemente en las emisiones de GEI, por medio del impacto que esta genera en las propiedades biofísicas del suelo (Mangalassery, 2014). El efecto de implementar la labranza mínima es disminuir la compactación del suelo y a su vez reducir las emisiones de GEI por la mayor retención de los residuos de cultivos que puede contribuir a un mayor contenido de materia orgánica (Abdalla, 2013) y de biomasa microbiana por la mayor cantidad de sustratos de carbono y nitrógeno disponibles para los microorganismos lo que favorece la salud del suelo (Kinoshita et al., 2017, Vázquez et al., 2019, Zhong & Zeng, 2020). Finalmente, las emisiones promedio por el transporte de las cosechas para este mismo cultivo fueron de 0.076 toneladas CO₂ eq ha⁻¹, este valor se encuentra relacionado con el volumen de cosecha transportado y la distancia recorrida la cuales fueron más cortas (ver figura 5).

En las emisiones por uso de fuentes de energía en las actividades agronómicas desarrolladas en campo a lo largo del ciclo fenológico de las plantas, el cultivo de acelga con el 9 % de representatividad fue el que menos fuentes de energía requirió para el desarrollo de las actividades con una emisión de 0.03 toneladas CO₂ eq ha⁻¹ (ver figura 5).

Figura 4: Perfil de emisiones promedio de GEI por número de prácticas agroecológicas implementadas en toneladas CO₂ eq ha⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Perú utilizando la herramienta Cool Farm.

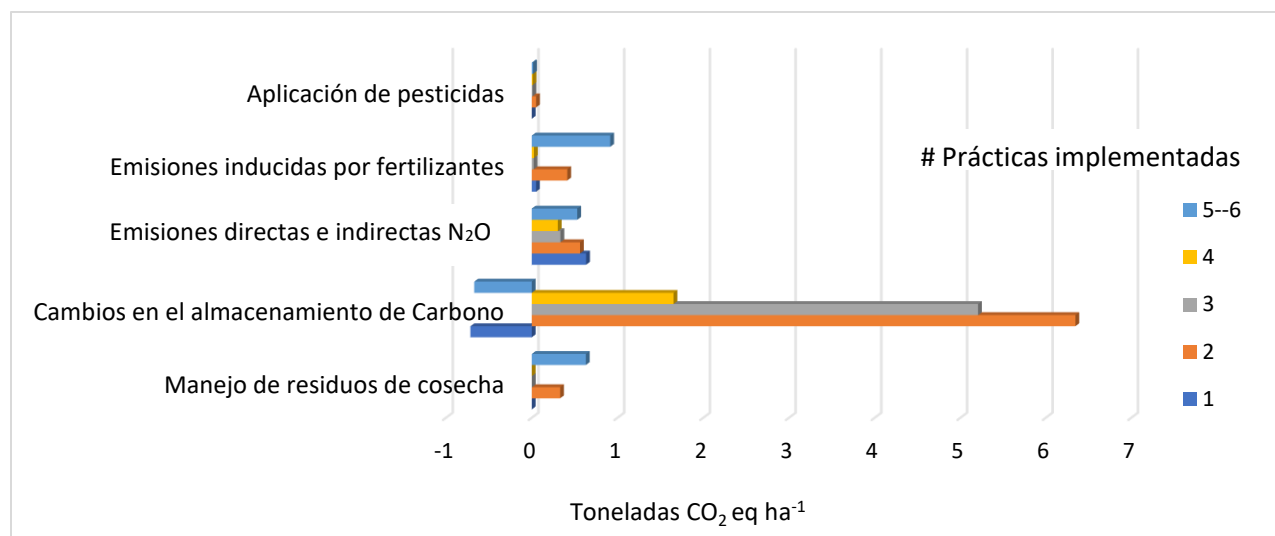
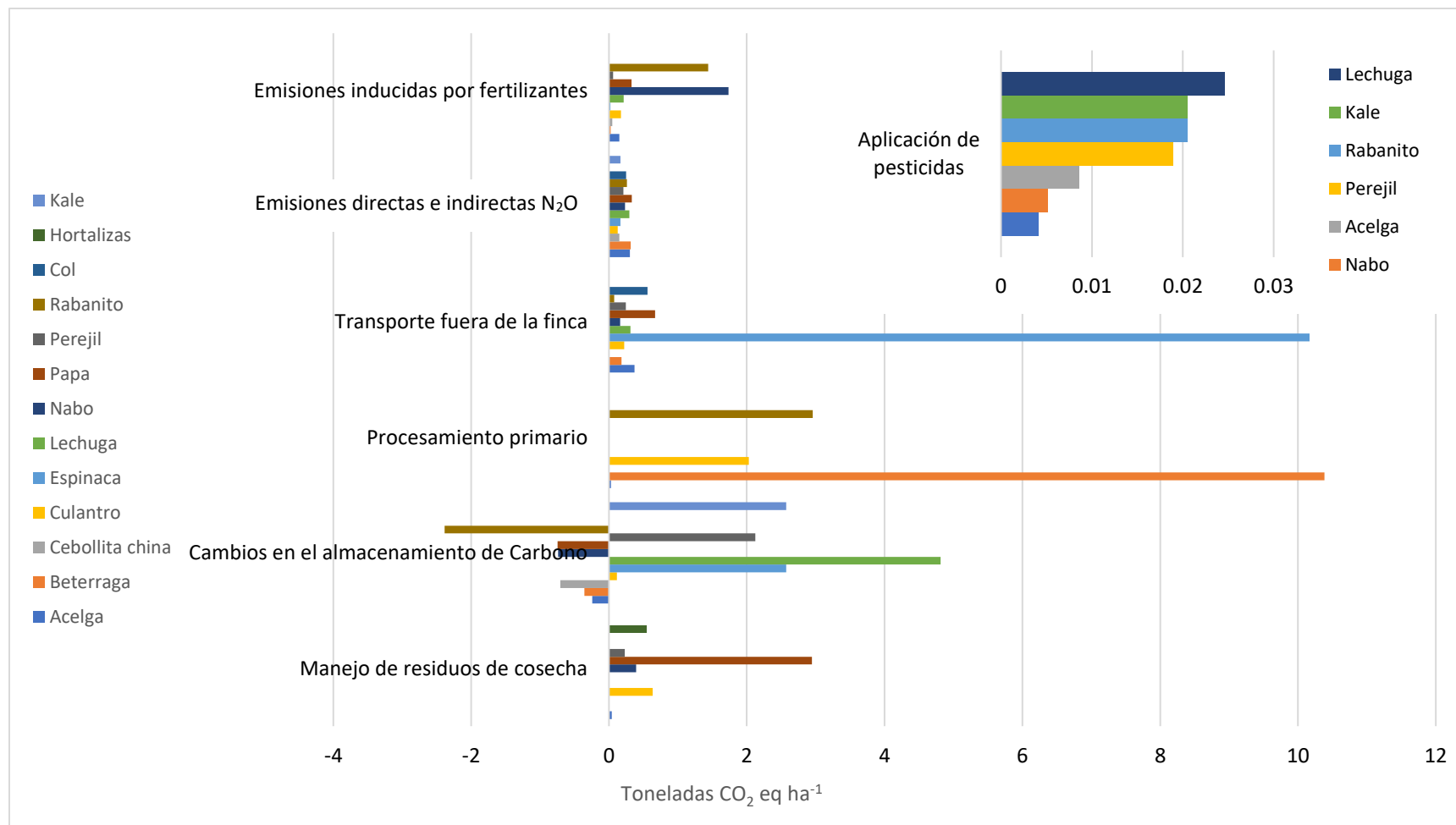


Figura 5: Perfil de emisiones promedio de GEI por cultivo en toneladas CO₂ eq ha⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Perú utilizando la herramienta Cool Farm.



Colombia

En esta sección se identificaron los cultivos y sistema de producción pecuaria que contribuyeron con la reducción e incremento de emisiones en cada una de las fuentes evaluadas por medio de la calculadora CFT.

Cultivos

La figura 6 describe el comportamiento de las emisiones directas e indirectas de N_2O que provienen de fuentes propias del suelo y como consecuencia de las actividades realizadas en cada uno de los cultivos (implementación de prácticas agroecológicas – fertilización, asociación de cultivos), respectivamente. Los cultivos que presentaron menos emisiones en toneladas de CO_2 eq ha^{-1} fueron: acedera (0.14 Ton CO_2 eq ha^{-1}), cidra, plantas medicinales y perejil (0.17 Ton CO_2 eq ha^{-1}) y las de mayor emisión fueron: Ruibarbo, caña de azúcar, guanábanas (0.95 Ton CO_2 eq ha^{-1}) y berros (0.93 Ton CO_2 eq ha^{-1}).

En la figura 7 se identificó que el cultivo de acedera es el que emite menos con una captura de carbono de -47.02 Ton CO_2 eq ha^{-1} y los cultivos de mayor emisión fueron sancha inchi con 36.67 Ton CO_2 eq ha^{-1} y cidra con un valor de 11.93 Ton CO_2 eq ha^{-1} , el cultivo que presentó mayor captura de carbono fue el que tuvo mayor tiempo de implementación de la práctica (25 años) de incorporar los residuos de cosecha al suelo a diferencia de los cultivos que emiten, los cuales tiene como manejo de los residuos de cosecha la alimentación de los animales y producción de compostaje manejos que contribuyen a emisiones de GEI además del tiempo de la implementación de la práctica la cual fue menor a dos años. Estudios mostraron que la adopción de incorporación de residuos de cosecha al suelo aumenta significativamente el almacenamiento de carbono en el suelo en los primeros 20 cm, disminuye las emisiones de GEI entre 2.5 a 5 veces y mejora el ciclo de nutrientes (Ambaw et al., 2020, Abdalla et al., 2019, Lin et al., 2019)

En relación con la fuente de emisión o captura de carbono en el suelo ilustrada en la figura 8, se muestra que los cultivos de perejil (-27675.5 Ton CO_2 eq ha^{-1}), banano, lechuga, limón, maíz y papaya (-8689.7 Ton CO_2 eq ha^{-1}) fueron los de mayor captura de carbono por la implementación de prácticas agroecológicas como uso de cobertura, labranza mínima, incorporación de residuos de cosecha, aplicación de materia orgánica, aplicación de excretas de animales y rotación de cultivos al igual del tiempo de implementación de las prácticas que fue entre 10 a 40 años. Los cultivos de menor captura de carbono en el suelo fueron los cultivos de berros (-0.32 Ton CO_2 eq ha^{-1}) y sagu (-0.81 Ton CO_2 eq ha^{-1}). A pesar de que algunos cultivos presentaron menos almacenamiento de carbono en general todos contribuyeron a la reducción de emisiones de GEI por la implementación de al menos una práctica y el tiempo de aplicación de la práctica en el cultivo que fue mayor a dos años.

En la figura 9 se evidencia las emisiones provenientes del tipo y cantidad de fertilizante aplicado en cada uno de los cultivos. Donde los que presentaron menos emisiones de GEI fueron los cultivos de acedera (0.044 Ton CO_2 eq ha^{-1}) y pepino (0.092 Ton CO_2 eq ha^{-1}). En los cultivos de menos emisiones no se presentaron aplicación de fertilizantes nitrogenados sintéticos, pero si la aplicación de abono vegetal de

producción propia con un tiempo de implementación de este tipo de práctica por más de 25 años en el cultivo de acedera e incorporación de 40 kg por 6 metros cuadrados de gallinaza por más de 16 años en el cultivo de pepino. El cultivo de mayor emisiones fue la cidra con un valor de 736.37 Ton CO₂ eq ha⁻¹, este valor se debe a la cantidad de aplicación de gallinaza por metro cuadro (2 toneladas en 20 metros cuadrados), lo que indica que la cantidad excesiva de fertilizante orgánico puede contribuir de la misma forma que un fertilizante de origen sintético a las emisiones de GEI. La fertilización orgánica contribuye significativamente en el rendimiento, calidad de los cultivos, proporciona una amplia gama de nutrientes que contribuyen a la salud del suelo y almacenamiento de carbono; sin embargo, una aplicación inadecuada puede también causar un riesgo ambiental por contaminación de nitratos (Assefa & Tadesse, 2019; Li et al., 2017). Por lo tanto, a la hora de la implementación de las prácticas agroecológicas se debe considerar las condiciones locales como clima, suelo, tipo de cultivo para identificar cuándo y cómo aplicar este tipo de fertilizantes.

Con relación a la fuente de emisiones por uso de combustibles fósiles para el transporte de la cosecha de los cultivos hacia los mercados locales. La figura 10 muestra que los cultivos de cítricos, espinaca y yuca presentaron las mayores emisiones de toneladas de CO₂ equivalentes por hectárea con valores entre 382.84 a 49.18 Ton CO₂ eq ha⁻¹. Estos cultivos transportan las cosechas desde el centro de acopio hasta los mercados locales a una distancia corta con mayores cargas en comparación con los otros sistemas productivos, lo que indica la poca eficiencia en el uso de combustible fósil contribuye al aumento de las emisiones de GEI. El sector energético es el que más contribuye con las emisiones de GEI globales con un porcentaje de 73.2%, donde el transporte contribuye en un 16.2% y el transporte en carretera un 22.9% (Hannah & Max, 2020).

La figura 11 muestra el perfil de emisiones de GEI por el uso de combustibles fósiles en los procesos de mecanización por el uso de maquinaria para la preparación del suelo (labranza), los cultivos que presentaron mayores emisiones fueron espinaca, repollo (510.4 Ton CO₂ eq ha⁻¹) y lechuga (127.6 Ton CO₂ eq ha⁻¹), estos valores representaron el número de pases del tractor para la preparación del suelo y la cantidad de gasolina usada para esta actividad la cual fue 22 litros para un promedio de 3 pases en un área de siembra de 1 a 4 metros cuadrados. Para los cultivos de arracacha y cítricos con menores emisiones (0.017 Ton CO₂ eq ha⁻¹) se realizaron el mismo número de pases con menos insumos de gasolina (3 litros) para un área de siembra de 2000 metros cuadrados.

A lo largo de todo el análisis de la base de datos se encontró que el único cultivo que emite GEI por el tipo de tratamiento implementado para manejo de las aguas residuales a lo largo de las actividades del cultivo fue el café, donde la contribución de GEI por esta actividad fue de 4.29 Ton CO₂ eq ha⁻¹. Este valor se encuentra asociado con la cantidad de agua residual generada la cual fue de 2600 litros para lavado del grano del café, calidad del agua residual con una demanda química de oxígeno de 9000 miligramos por litro y el tipo de tratamiento el cual se destacó el reactor anaeróbico.

Figura 6: Perfil de emisiones directas e indirectas de N_2O promedio de GEI por cultivo en toneladas CO_2 eq ha^{-1} que representa la línea de base (2021) para Colombia utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.

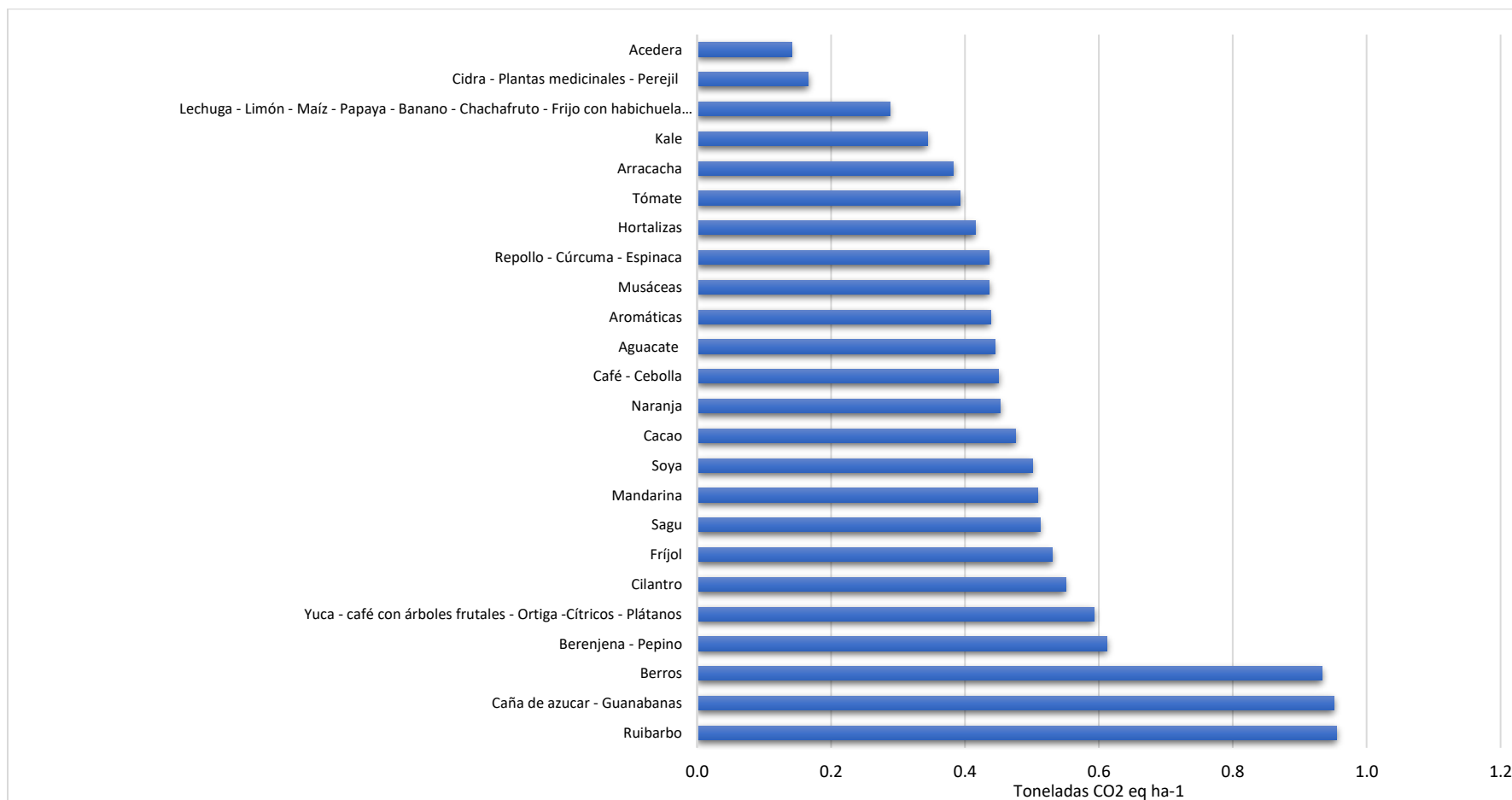


Figura 7: Perfil de emisiones promedio de GEI por el manejo de residuos de cosecha en los cultivos en toneladas $\text{CO}_2 \text{ eq ha}^{-1}$ que representa la línea de base (2021) para Colombia utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.

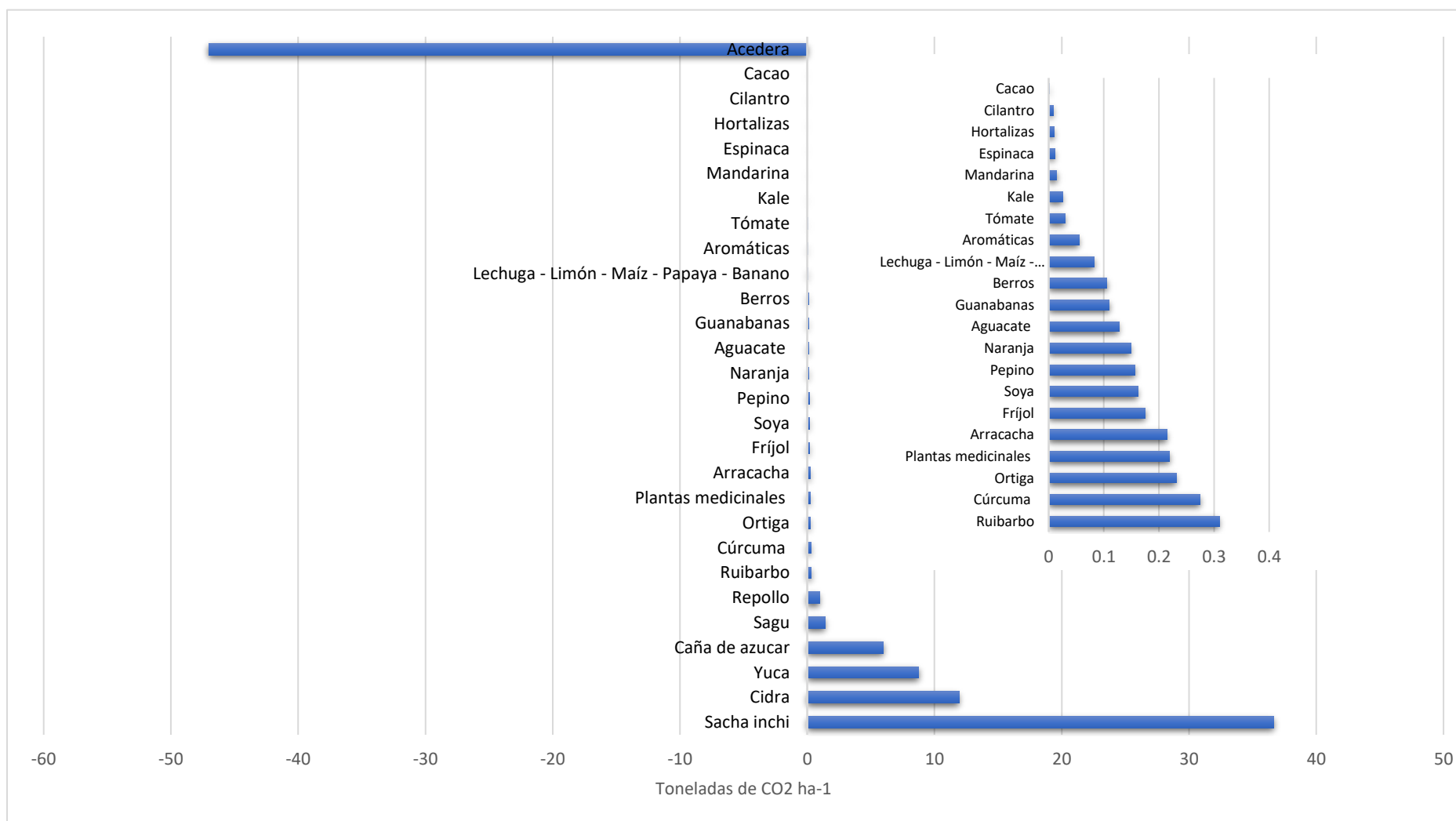


Figura 8: Perfil de emisiones promedio de GEI por el cambio en el almacenamiento de carbono en los cultivos en toneladas CO₂ eq ha⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Colombia utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.

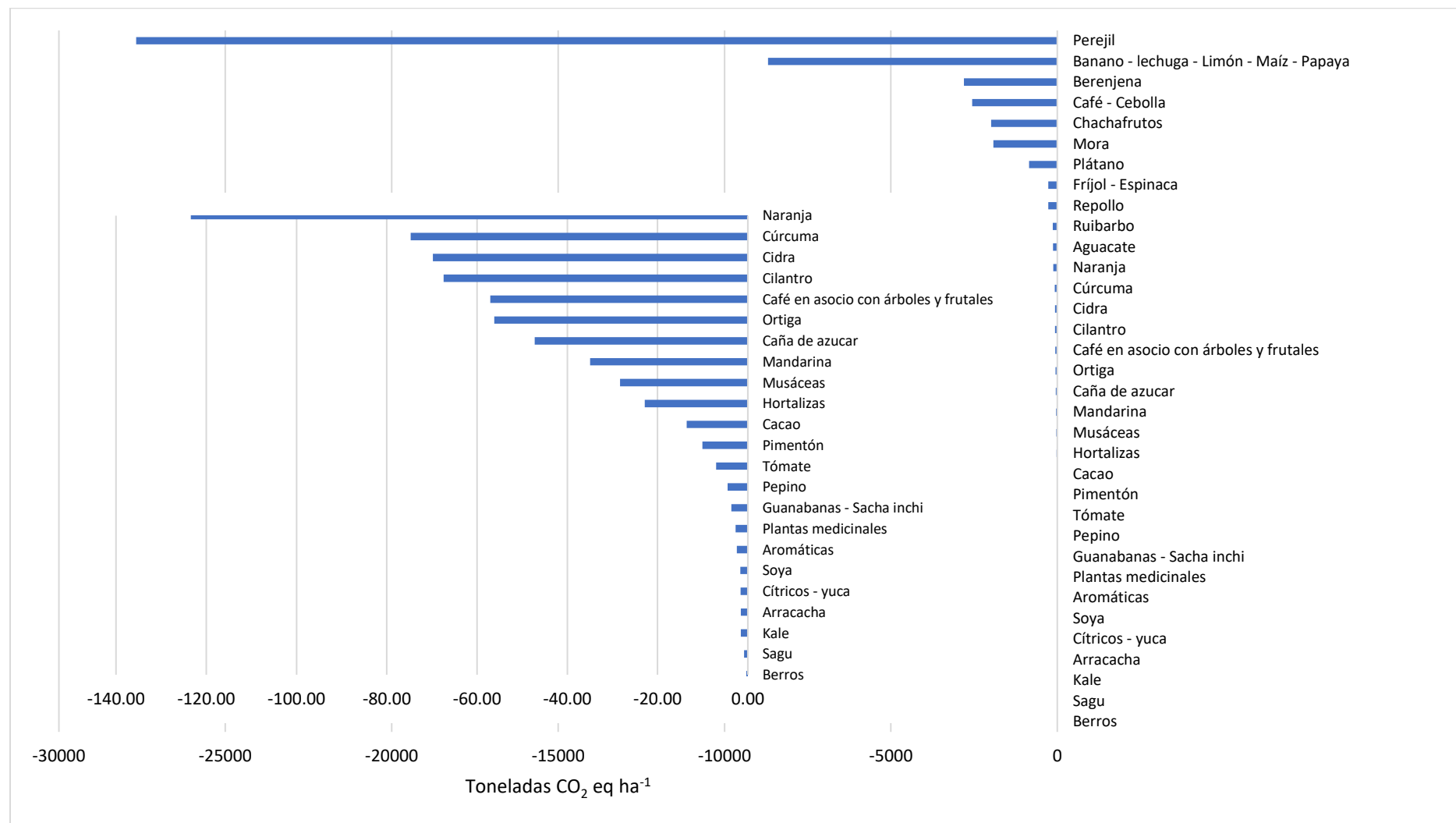


Figura 9: Perfil de emisiones promedio de GEI inducidas por la aplicación de fertilizantes en el cultivo en toneladas $\text{CO}_2 \text{ eq ha}^{-1}$ que representa la línea de base (2021) para Colombia utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.

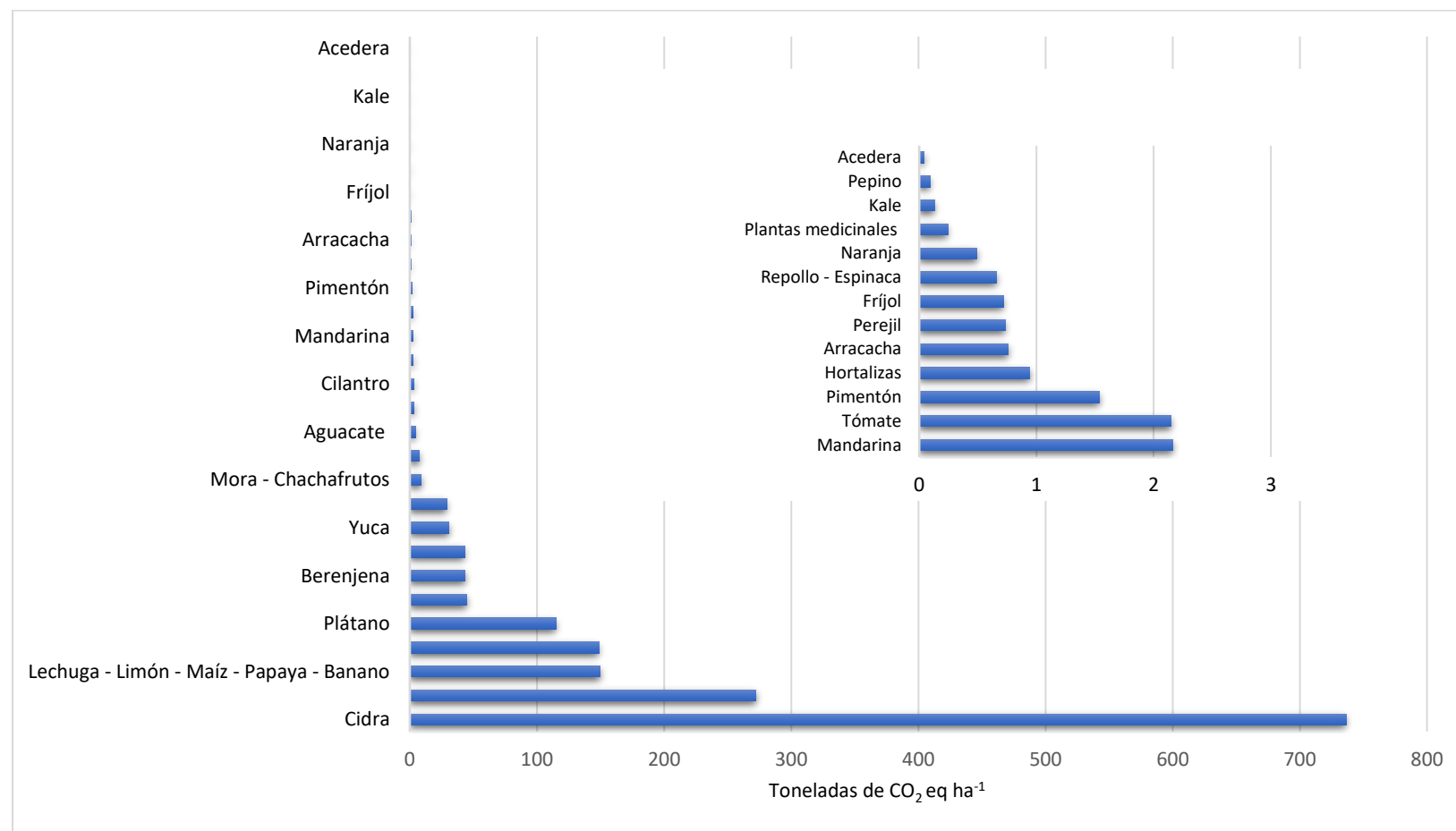


Figura 10: Perfil de emisiones promedio de GEI por transporte de cosecha de los cultivos hacia los mercados locales en toneladas $\text{CO}_2 \text{ eq ha}^{-1}$ que representa la línea de base (2021) para Colombia utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.

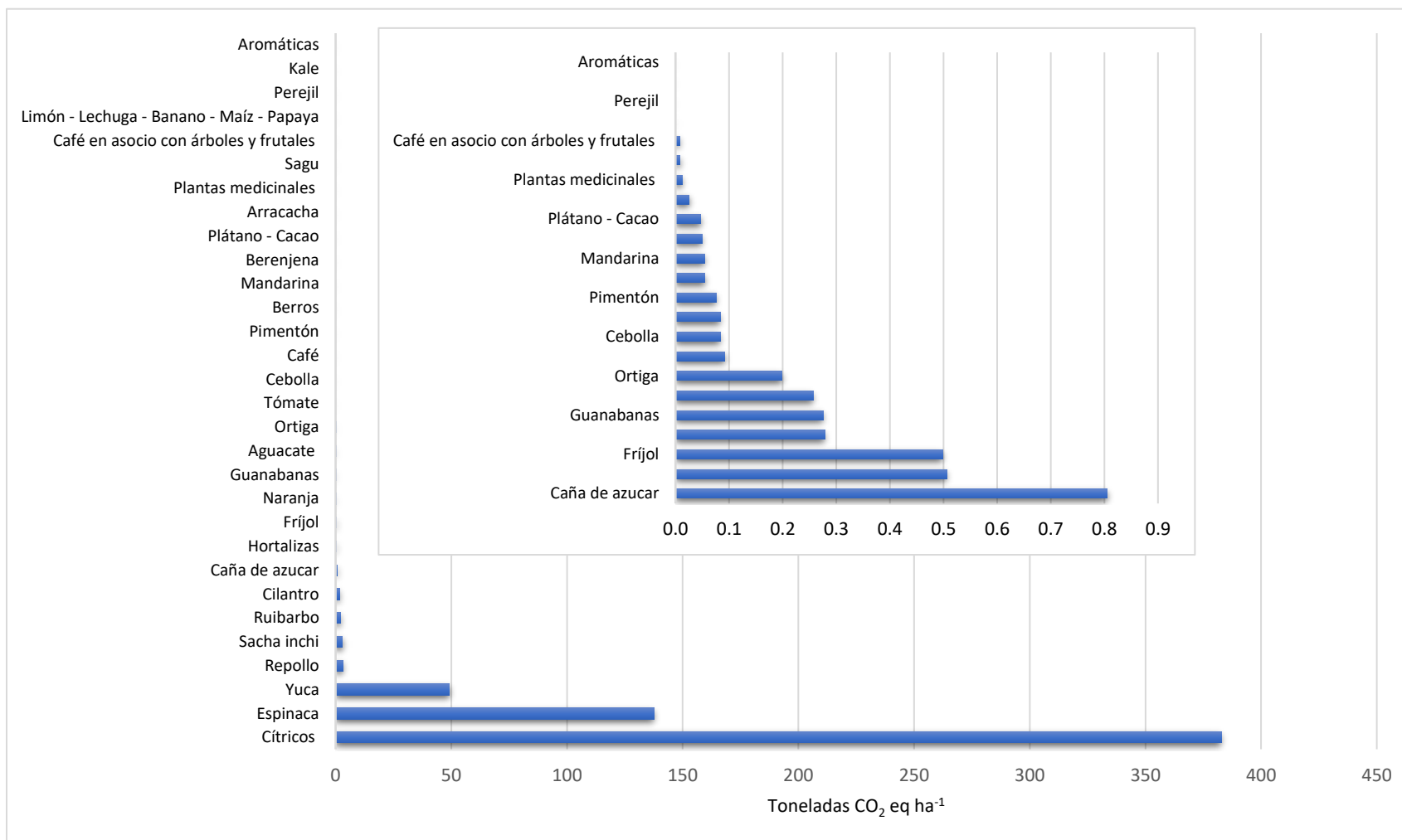
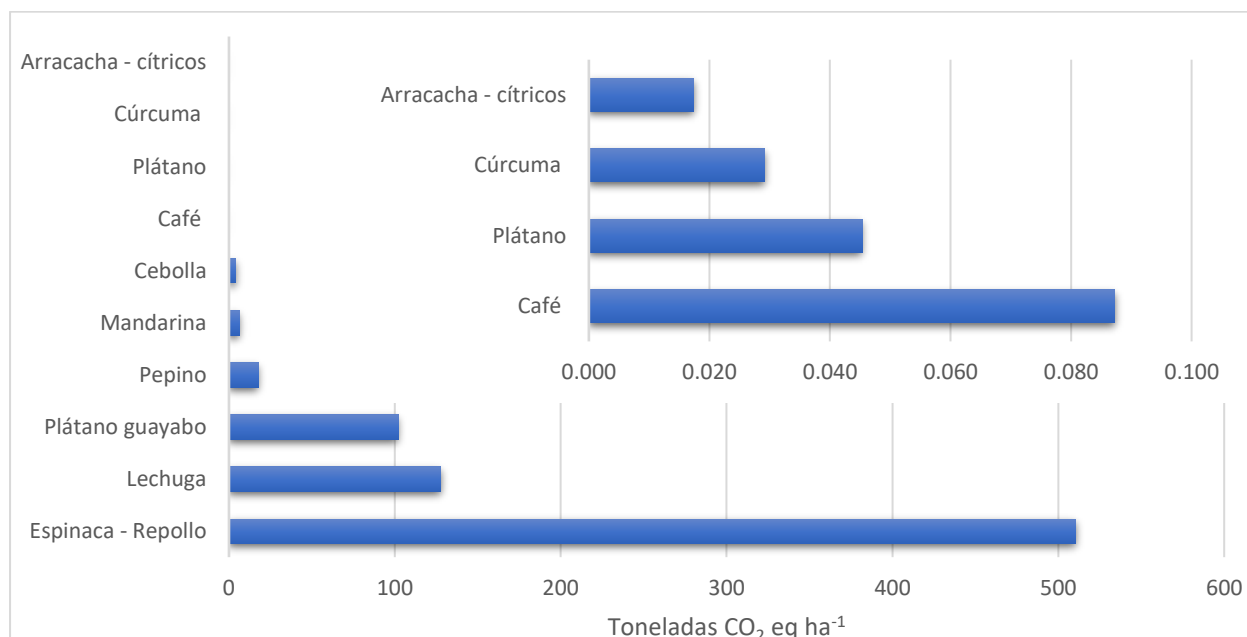


Figura 11: Perfil de emisiones promedio de GEI por uso de combustible para actividades agronómicas en el cultivo en toneladas CO₂ eq ha⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Colombia utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.

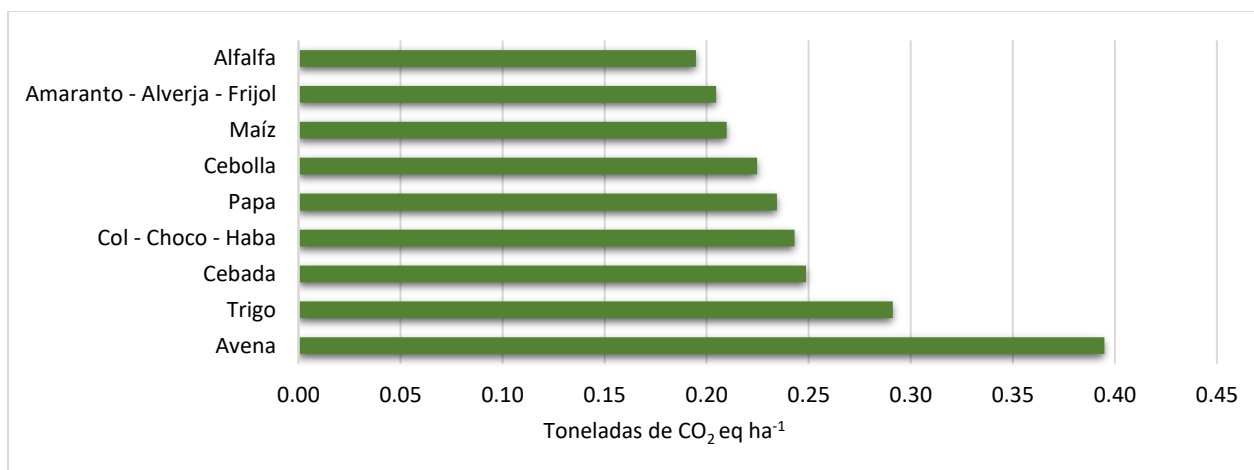


Ecuador

Cultivos

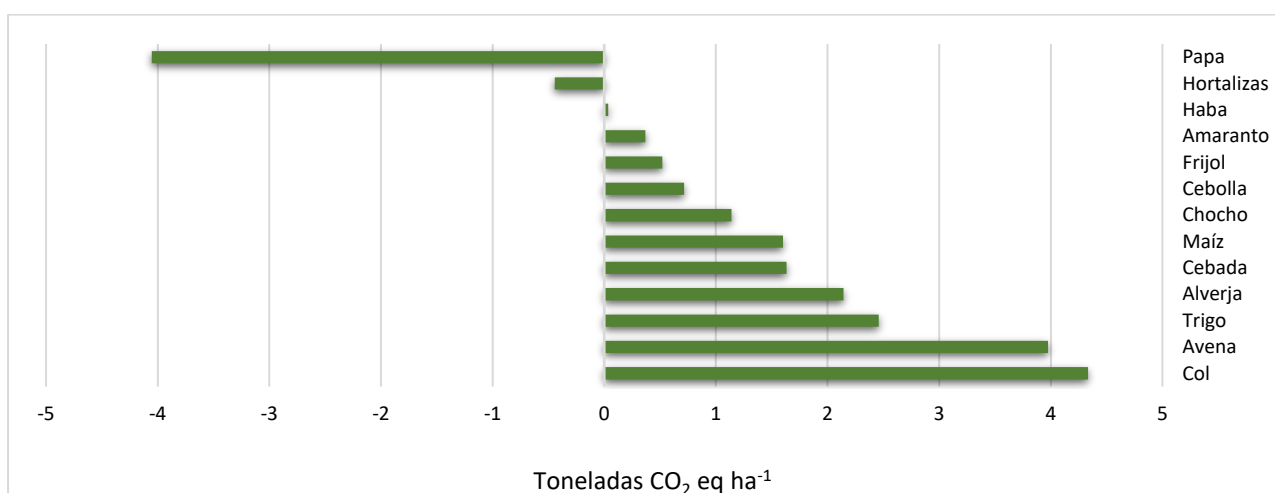
En la figura 12 se muestra el perfil de emisiones directas e indirectas de N₂O para cada uno de los cultivos identificados en la encuesta implementada en algunos agricultores de Ecuador. Las emisiones directas son fuentes de emisión provenientes de la dinámica propia del suelo, es decir son las emisiones liberadas *in situ* por los mecanismos que ocurren en el suelo por consecuencia de la diversidad, cantidad de microorganismos, las propiedades físico - químicas del suelo y la influencia de las condiciones climáticas de las regiones o localidades en el suelo. Las emisiones indirectas son consecuencia de las actividades desarrolladas por los agricultores para el manejo de sus cultivos (implementación de prácticas agronómicas). El cultivo que presentó mayores emisiones fue el de avena con promedio de 0.39 toneladas CO₂ eq ha⁻¹ y los de menor emisiones los cultivos de alfalfa (0.19 toneladas CO₂ eq ha⁻¹), amaranto, alverja y frijol con un valor promedio de 0.20 toneladas CO₂ eq ha⁻¹. Estas emisiones fueron estimadas a partir de los datos sobre la cantidad de nitrógeno suministrado en los suelos por los agricultores, gestión de residuos de cosecha y conversión del uso del suelo que incrementan la mineralización del nitrógeno en la materia orgánica del suelo. La diferencia entre los cultivos fue el número de agricultores por cultivo y el número de prácticas implementadas que favorecieron estos procesos de mineralización de la materia orgánica.

Figura 12: Perfil de emisiones directas e indirectas de N₂O promedio de GEI por cultivo en toneladas CO₂ eq ha⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.



En la figura 13 se ilustra la captura o emisiones de carbono por la incorporación de residuos de cosecha, asociación de cultivos, rotación de cultivos, aplicación de abono orgánicos o estiércol de animales como enmienda, cambios en el uso del suelo y aumento o reducción en la labranza. Los cultivos que presentaron mayor captura de carbono en el suelo fueron los de Alfalfa, papa y hortalizas. Esto se debe al número de prácticas implementadas, al tiempo de implementación, las cuales fueron mayores a un año y el porcentaje de aplicación de la práctica en el área de siembra del cultivo. Estos factores favorecieron la captura de carbono en el suelo en comparación con el resto de los cultivos. El tiempo de implementación de este tipo de prácticas favorecieron la presencia de microorganismo que contribuyen a la captura de carbono (bacterias metanotrofas), reducción en los procesos de mineralización y volatilización del nitrógeno en el suelo. Los tres cultivos se caracterizaron por realizar rotación y asociación de cultivos prácticas que favorecen la salud del suelo con la reducción de la erosión e incorporación de nutrientes.

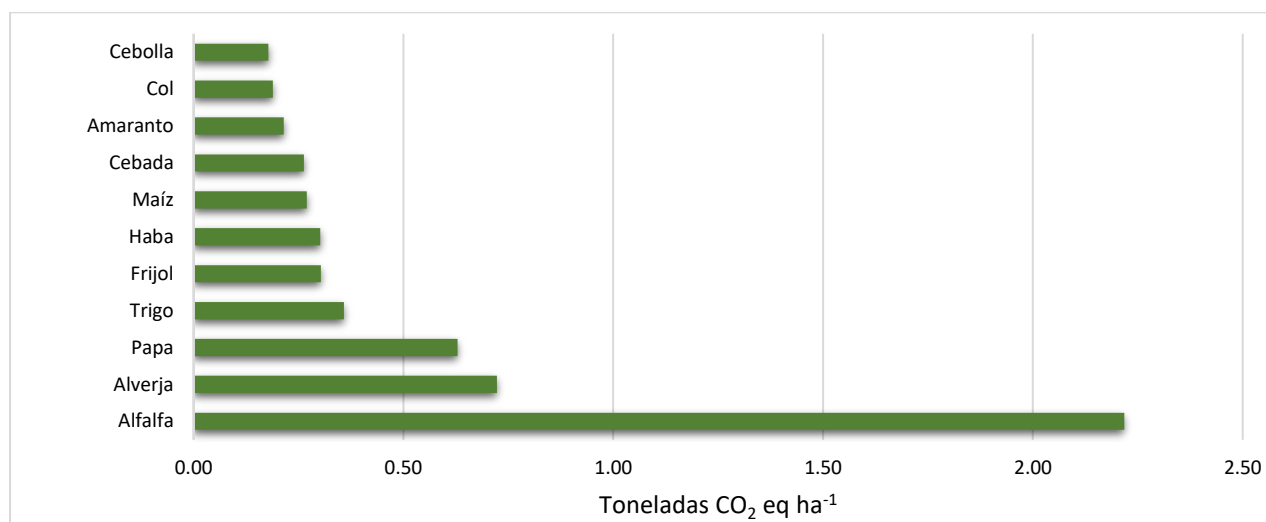
Figura 13: Perfil de emisiones promedio de GEI por el cambio en el almacenamiento de carbono en los cultivos en toneladas CO₂ eq ha⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm.



El perfil de emisiones promedio de GEI por la aplicación de fertilizantes de origen orgánico e inorgánico destacaron los cultivos de alfalfa (2.22 toneladas CO₂ eq ha⁻¹), alverja (0.72 toneladas CO₂ eq ha⁻¹), como los de mayor valor de emisiones y los cultivos de cebolla (0.18 toneladas CO₂ eq ha⁻¹) y col (0.19 toneladas CO₂ eq ha⁻¹) como lo de menos emisiones hacia la atmósfera (figura 14). Los cultivos que presentaron mayores emisiones fueron los que aplicaron más de un tipo de fertilización como fertilización orgánica, aplicación de estiércol de animales como enmiendas y fertilización de origen

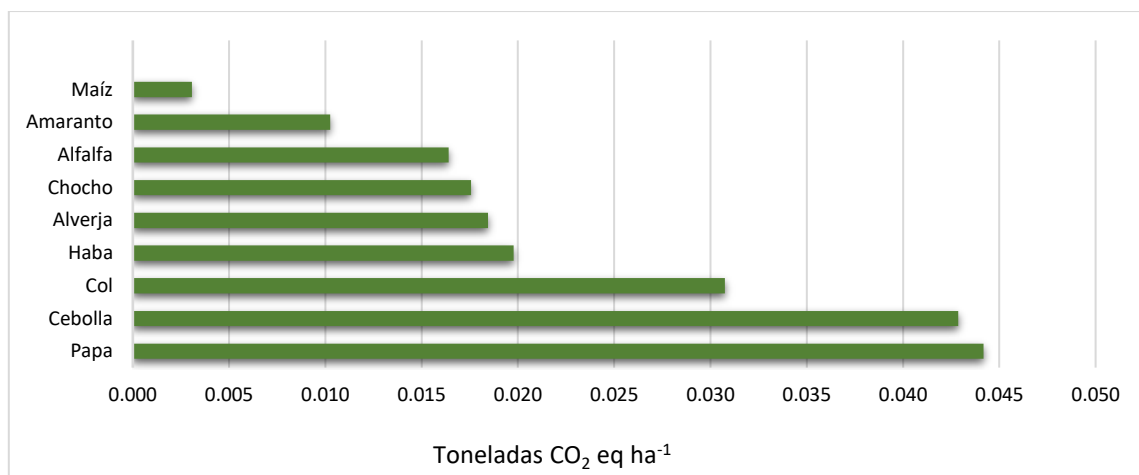
químico. Las emisiones de GEI procedentes de la fertilización orgánica e inorgánica consiste en la producción de óxido nitroso por las adiciones de nitrógeno a los suelos agrícolas por parte de los agricultores para suplir las necesidades de los cultivos. No obstante, la cantidad y tipo de fertilizantes aplicados pueden no ser capturados por la planta y el suelo y contribuir a los procesos microbianos de nitrificación y desnitrificación por las altas fuentes de sustrato en el suelo.

Figura 14: Perfil de emisiones promedio de GEI inducidas por la aplicación de fertilizantes de origen orgánico e inorgánico en el cultivo en toneladas CO₂ eq ha⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm.



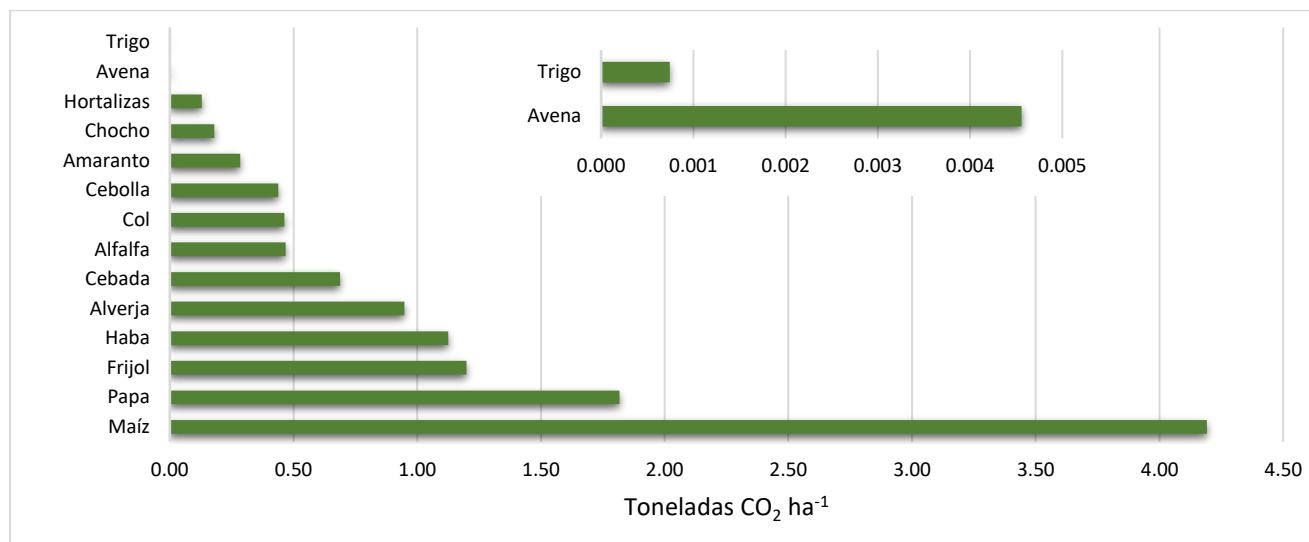
En la figura 15 se observa las emisiones asociadas al efecto de los pesticidas donde los mayores valores se presentaron en los cultivos de papa (0.044 toneladas CO₂ eq ha⁻¹), cebolla (0.043 toneladas CO₂ eq ha⁻¹) y col (0.031 toneladas CO₂ eq ha⁻¹), por el número de aplicaciones largo del ciclo productivo de los cultivos. Los pesticidas que son utilizados en suelos agrícolas contribuyen al aumento de emisiones GEI en el suelo debido a que el uso de estos afecta la ecología microbiana del mismo. Es decir que la diversidad y cantidad de bacterias metanotrofas, las nitrificantes y desnitrificantes que participan en los procesos de captura o emisiones de carbono y nitrógeno pueden verse perturbadas. Los cultivos que no hicieron parte de esta fuente de emisiones por no aplicar pesticidas fueron la avena, cebada, frijol, hortalizas y trigo.

Figura 15: Perfil de emisiones promedio de GEI por aplicación de pesticidas en el cultivo en toneladas CO₂ eq ha⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm. Los cultivos que presentaban las mismas emisiones o cercanas fueron agrupados.



La figura 16 muestra los perfiles de emisiones debido al tipo de manejo de los residuos de cosecha. Las emisiones de GEI de estos residuos consisten en la generación del óxido nitroso por la descomposición del nitrógeno de estos. Los cultivos que presentaron menores valores de emisiones fueron los cultivos de trigo y avena por la cantidad de residuos generados y el tipo de manejo, el cual fue la práctica de incorporación o cobertura en el suelo que contribuye al mejoramiento de la estructura y calidad del suelo, contrario al cultivo de maíz que mostró que es uno de los cultivos que genera más residuos de cosecha y que la mayoría de agricultores que tiene sembrado este cultivo no implementan ningún tipo de práctica de aprovechamiento.

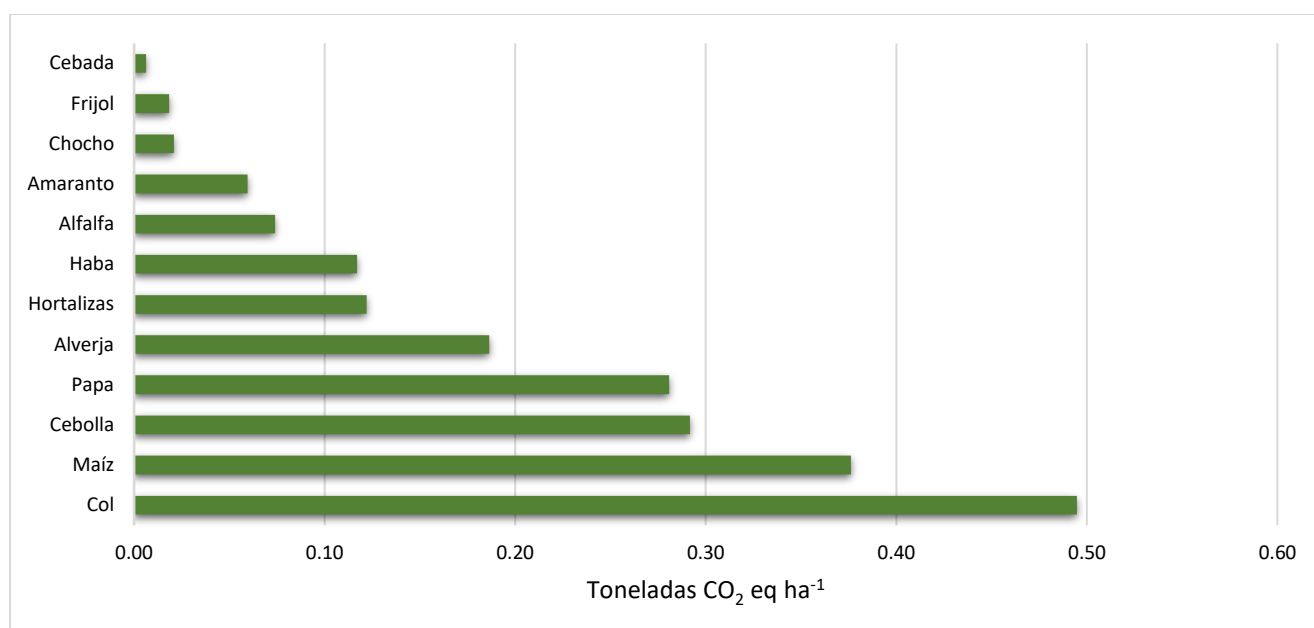
Figura 16: Perfil de emisiones promedio de GEI por el manejo de residuos de cosecha en los cultivos en toneladas CO₂ eq ha⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm.



Las emisiones de GEI procedentes del uso directo de energía, consisten en emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso asociados a la quema de combustibles que se utilizan en la agricultura en este caso en el transporte de las cosechas hasta los puntos de mercados locales. El perfil de emisiones de la figura 17 evidencia como la distancia, el tipo de vehículo y la cantidad de cosecha transportada pueden contribuir a la eficiencia de combustión del combustible fósil. Los cultivos con mayores valores fueron los cultivos de col y maíz con distancias de desplazamiento entre los 1 a 30

kilómetros y transporte de 500 a 10000 kilogramos de cosecha. Los cultivos que presentaron menos emisiones realizaron menos recorrido y con cargas entre 100 a 400 kilogramos.

Figura 17: Perfil de emisiones promedio de GEI por transporte de cosecha de los cultivos hacia los mercados locales en toneladas CO₂ eq ha⁻¹ que representa la línea de base (2021) para Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm.



Sistemas de producción agropecuarios – análisis de componentes principales.

Perú

Los resultados del análisis multifactorial de la figura 18 (a), indica que el grupo de variables asociadas a las fuentes de emisiones de los cultivos encuestados explicaron el 28.9% de la varianza, lo que permitió identificar el impacto de las variables relacionadas con las diferentes grupos de emisiones: emisiones directas e indirectas de óxido nitroso N₂O, emisiones inducidas por fertilización, manejo de los residuos de cosecha, aplicación de pesticidas y transporte de la cosecha.

La dimensión 1 explicó el 16.7% de la varianza que indica la relación que existe entre las variables evaluadas con los siguientes grupos de emisiones: directas e indirectas de óxido nitroso (N₂O), fertilizante y pesticidas que tienen una contribución mayor al 10%, esta dimensión explica el impacto de los manejos agronómicos de los cultivos, ya que agrupa a las fuentes de emisión asociadas a las prácticas agronómicas. Donde las variables que tienen relación directamente proporcional con la fuente de emisión directa e indirecta de N₂O, fueron la disponibilidad de agua en el cultivo para riego y la relación inversamente proporcional con la práctica de rotación de cultivos, lo que indica que a medida que se implementa esta última práctica disminuyen las emisiones de GEI asociadas a las emisiones directas e indirectas N₂O. La fuente de emisiones por fertilizantes está directamente relacionada con la cantidad de fertilizante aplicado en el cultivo, en donde a mayor cantidad de fertilizante por unidad de área productividad mayores emisiones de GEI a igual que la fuente de emisiones por aplicación de pesticidas.

La contribución de las de las fuentes de emisiones por grupo en la dimensión 1, mostró que los grupos de emisiones que se destacaron por tener mayor peso en el análisis y que contribuyen a mayores emisiones hacia la atmósfera fueron: pesticidas, emisiones directas e indirectas de N_2O con un porcentaje de contribución mayor al 15%. La dimensión 2 explicó el 12.2% de la varianza según la permutación. Las emisiones más representativas en esta dimensión fueron las mismas que la dimensión 1 con una contribución mayor del 15%. Lo que indica que las fuentes de emisión más relevantes fueron las asociadas al manejo agronómico de los cultivos. Sin embargo, en la fuente de emisiones directas e indirectas de N_2O la variable aplicación de abonos orgánicos presentó una relación inversamente proporcional. En relación con la fuente de emisiones directas e indirectas de N_2O para los cultivos evaluados, las prácticas que contribuyeron a la reducción de emisiones de GEI fueron la aplicación de abonos orgánicos y la rotación de cultivos.

En el mapa de factores (Figura 18 (b)) la distribución de la información es dispersa por la gran diversidad de grupos de cultivos. Ambas dimensiones en este análisis explicaron el impacto de las prácticas agronómicas implementadas en los cultivos. En este caso el grupo de hortalizas espinacas – cebollitas chinas se destacó por ser el sistema con mayores aplicaciones de pesticidas y emisiones por esta misma fuente.



Figura 18: Proyección de las variables en el círculo de inercia asociados a las emisiones promedio de los grupos de cultivos por fuentes de emisiones representativas (a) y 42 agricultores encuestados en el plano formando por las dimensiones 1 y 2 del análisis multifactorial – mapa de factores. El círculo de correlaciones comprende los grupos: **características**: contiene todas la variables asociadas al suelo y clima, **Directas e indirectas**: variables asociadas a las prácticas agroecológicas, **Fertilizantes**: comprende la cantidad aplicada de fertilizantes, **MRC**: manejo de residuos de cosecha, **pesticidas**: variables asociadas a la aplicación, **Transporte**: variables asociadas a las emisiones por uso de combustibles fósiles. Cada uno de los grupos considera las variables: área: superficie de siembra del cultivo; TEMP: temperatura; TEXTURA: textura de suelo; MOS: materia orgánica del suelo; pH; drenaje; Humedad; Cobertura: uso de coberturas; Labranza M: labranza mínima; AORG: producción de abonos orgánicos; ROT: rotación de cultivos; AAO: aplica abonos orgánicos; EA: aplica excretas de animales; Contorno: siembra al contorno o curvas de nivel; UCA: uso de camas altas; VS: voltear el suelo; NS: nivelar el suelo; AC: asociación de cultivos; CZ: clima de la zona; DA: disponibilidad de agua; PS: profundidad del suelo; TS: tipo de suelo; IP: inclinación de la parcela; EBDI: emisiones directas e indirectas de N_2O ; Fertilizante: fertilizante aplicado; TP: total de pesticidas aplicados; EMP: emisiones por pesticidas aplicados; CR: cantidad de residuos; MR: tipo de manejo de residuos; ECRM: emisiones de manejo de residuos de cosecha; TD: total de la distancia recorrida hasta el lugar de almacenamiento;

Transporte: emisiones por el uso de combustibles para el transporte de la cosecha. (b) En el mapa de factores donde se presentan los grupos de cultivos: CEH: Culantro – Espinaca; ACCH: Acelga - Cebollita china; APH: Acelga – Perejil; BCH: Beterraga – Culantro; CCAH: Cebolla china – Acelga; CCBH: Cebolla china – Betarraga; CCCH: Cebolla china – Culantro; CCEH: Cebolla china – Espinaca; CCPH: Cebolla china – Perejil; CCRH: Cebolla china – Rabanito; CCLH: Cebollita china – Lechuga; CCNH: Cebollita china – Nabo; CPH: Col – Perejil; CNH: Culandro – Nabo; EHH: Espinaca – Hortalizas; ELH: Espinaca – Lechuga; EPH: Espinaca – Perejil; ERH: Espinaca – Rabanito; KBH: Kale – Beterraga; LRH: Lechuga – Rabanito; NAH: Nabo – Acelga; PAH: Perejil – Acelga; PCCH: Perejil – Acelga.

Colombia

Los resultados del análisis multifactorial de la figura 19 (a), muestran que el grupo de variables relacionadas con las diferentes fuentes de emisiones de los cultivos encuestados explicaron el 19.3% de la varianza, mostrando el impacto de las variables relacionadas con los grupos de emisiones estimados: emisiones directas e indirectas de N₂O, emisiones inducidas por fertilización, manejo de los residuos de cosecha, cambios en el almacenamiento de carbono, transporte de la cosecha y uso de energía.

La dimensión 1 explicó el 11.2% de la varianza relacionando los siguientes grupos de emisiones: directas e indirectas de N₂O, uso de energía y cambios en el almacenamiento de carbono con una contribución mayor al 20%. Esta dimensión explica la relación de los manejos agronómicos asociados a fuentes propias del suelo y a las actividades implementadas para el manejo del cultivo. Las variables que presentaron una relación inversamente proporcional con las emisiones directas e indirectas de N₂O con un porcentaje de contribución mayor al 10 % fueron nivelación del suelo (NS), profundidad del suelo (PS) e inclinación del suelo (IP), lo que indica que la preparación del suelo de forma adecuada bajo la implementación de estas prácticas agronómicas contribuye a la disminución de las emisiones de GEI y una relación directamente proporcional con la temperatura atmosférica y la altitud de la zona de estudio. En relación con la fuente de emisiones por uso de energía se presentó una relación directamente proporcional con el uso de combustibles fósiles para la preparación del suelo con un porcentaje de contribución mayor al 10%. Las emisiones en el almacenamiento de carbono mostraron una relación inversamente proporcional con una contribución del 2% entre el tiempo de implementación de las prácticas de aplicación de abonos orgánicos (TAAO) y estiércol de animales como enmiendas (TAEA) y una relación directamente proporcional con la humedad del suelo. La dimensión 2 del círculo de coinerencia explicó el 8.1% de la varianza según la permutación. Las fuentes de emisiones por transporte y fertilización fueron las más representativas con un porcentaje de contribución mayor al 12%. Donde se confirmó la relación directamente proporcional que existe entre la distancia recorrida por el vehículo desde el centro de acopio hasta el mercado local y la cantidad de fertilizante orgánico e inorgánico aplicado, respectivamente.

En el mapa de factores de la figura 19 (b), la distribución de la información es dispersa por la gran diversidad de cultivos. Ambas dimensiones en este análisis explicaron el impacto de las prácticas agronómicas implementadas. En este caso el cultivo de repollo se destacó por ser el que más contribuyó a las emisiones por la fuente de emisión de uso de energía por el uso de combustibles para la preparación del suelo.

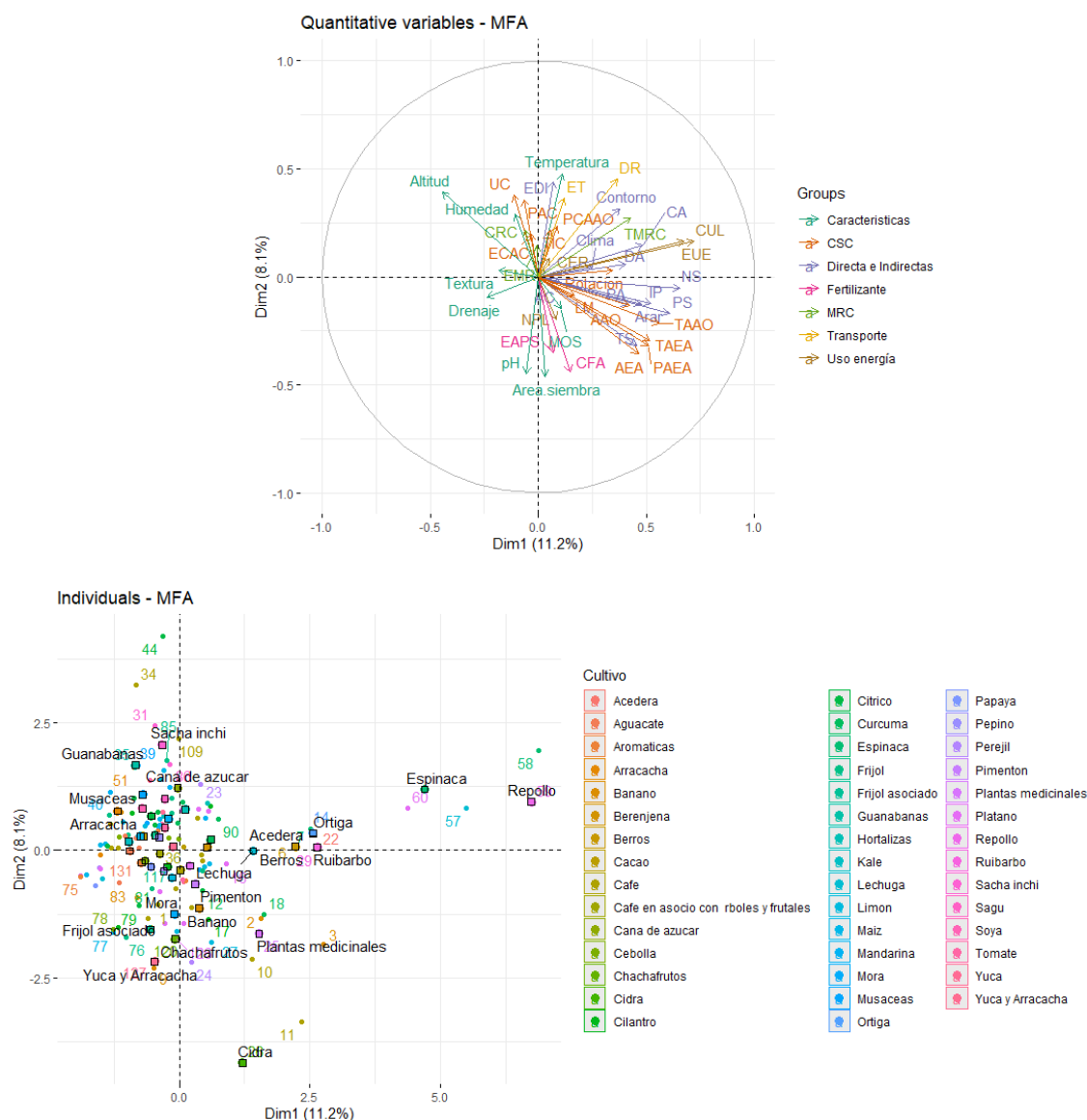


Figura 19: Proyección de las variables en el círculo de coinerencia asociadas a los grupos representativos de emisiones de los cultivos (a). El círculo de correlaciones comprende los grupos de emisiones: **características**: contiene todas la variables asociadas al suelo y clima, **CSC**: cambios en el almacenamiento de carbono, **Directas e indirectas**: variables asociadas a las prácticas agroecológicas, **Fertilizantes**: comprende la cantidad aplicada de fertilizantes, **MRC**: manejo de residuos de cosecha, **Transporte**: variables asociadas a las emisiones por uso de combustibles fósiles. **Uso de energía**: uso de combustibles fósiles para actividades durante el desarrollo del cultivo. El grupo de color verde oscuro (**Características**) agrupa las variables: Altitud, Temperatura, Textura, Drenaje, Humedad del suelo, Contenido de materia orgánica en el suelo (MOS), pH del suelo, área de siembra, producción (cosecha). El grupo de color naranja (**CSC**) agrupa las variables en uso de coberturas en el cultivo (UC), tiempo de uso de coberturas en el cultivo (TIC), % de área sembrada del cultivo a la que se ha incorporado coberturas (PAC), Labranza mínima (LM), aplica abonos orgánicos (AAO), tiempo en el que se comenzó a aplicar abono orgánico (TAAO), % del área sembrada del cultivo en la que se aplicó abono orgánico (PCAA), Rotación de cultivos, aplicación de excretas de animales como enmiendas (AEA), tiempo en el que se comenzó a aplicar excretas de animales (TAEA), % del área del cultivo en la que se aplicó excreta de animal (PAEA), emisiones por almacenamiento de carbono (ECAC), El grupo de color morado agrupa (**Directas e indirectas**) las variables: Producción de abonos o enmiendas orgánicas (PA), Siembra al contorno o en curvas de nivel (Contorno), Uso de camas altas (CA), Arar o voltear el suelo (Arar), Nivelar el suelo (NS), Asociación de cultivos (AC), El clima de la zona (Clima), La disponibilidad del agua (DA), La profundidad del suelo (PS), El tipo de suelo (TS), La inclinación de la parcela (IP), emisiones directas e indirectas N₂O. El grupo de color verde claro (MRC): Cantidad de residuos de cosecha generados (CRC), tipo de manejo para los residuos de cosecha (TMRC), emisiones por el manejo de los residuos de cosecha. El grupo de color amarillo (**Transporte**): Distancia recorrida (DR), emisiones por el uso de vehículo para el transporte de la cosecha (ET). El grupo de color café (**uso de energía**) agrupa las variables: cantidad de energía usa para la distribución de riego del cultivo (CER), número de pases para la preparación de suelo (NPL), cantidad de combustible usado en el número de pases (CUL), emisiones por uso de energía (EUE). (b) en el mapa de factores donde se presentan los cultivos identificados.

El análisis multifactorial de la figura 20 (a), agrupa el conjunto de emisión por cambios en el almacenamiento de carbono, emisiones directas e indirectas de N_2O , por aplicación de fertilizantes (sintéticos y orgánicos), manejo de los residuos de cosecha y aplicación de pesticidas todas asociadas a los manejos agronómicos de los cultivos, explicando el 23.8% de la varianza.

La dimensión 1 del círculo de coinerencia explicó el 13.3% de la varianza relacionando los siguientes grupos de emisiones: cambios en el almacenamiento de carbono (CSC) y manejo de residuos de cosecha (MRC) con un porcentaje de contribución mayor al 15%. Esta dimensión agrupa los cambios en el uso del suelo, las prácticas como aplicación de fertilizantes orgánicos y estiércol como enmienda, incorporación de residuos de cosecha y las fuentes propias del suelo. Las variables asociadas a las emisiones por el cambio en el almacenamiento de carbono con un porcentaje de contribución mayor al 5% fueron: el porcentaje y tiempo de incorporación de residuos de cosecha (PIRC y TIRC), las cuales están relacionadas con los contenidos de materia orgánica, textura y pH, y una relación inversamente proporcional con el tiempo de aplicación de abonos orgánicos (TAAO). Esta última indica que mayor tiempo de implementación más significativa será la captura de carbono en el suelo. El grupo de emisiones por manejo de residuos de cosecha es el segundo con mayor porcentaje de contribución, donde relaciona el tipo de manejo y cantidad de residuos de cosecha, es decir que, dependiendo del tipo de práctica implementada para el manejo de los residuos de cosechas este puede contribuir a la reducción de emisiones como, por ejemplo, que la incorporación de residuos en el suelo puede favorecer la captura de carbono y reducir los procesos de mineralización de la materia orgánica.

La dimensión 2 del círculo de coinerencia explicó el 10.5% de la varianza. Los grupos de emisiones más representativos con un porcentaje de contribución mayor al 20% fueron: fertilizante y emisiones directas e indirectas de N_2O y al final con un porcentaje de contribución menor al 20% las emisiones por uso de pesticidas que está directamente relacionado con el número de aplicaciones en el cultivo. En el grupo de fertilizantes, el número de aplicaciones, la cantidad de fertilizantes sintéticos (inorgánicos) incorporados a los cultivos y las emisiones de GEI se encuentran directamente relacionados. Es decir que al incrementarse la cantidad y el número de aplicaciones de fertilizantes de origen inorgánico mayor las emisiones GEI. En el grupo de emisiones directas e indirectas de N_2O , la variable que se encuentra inversamente relacionada con las emisiones de GEI fueron la rotación de cultivos, lo que indica que a medida que se implementa este tipo de práctica menores emisiones se generan hacia la atmósfera; contrario a la variable de humedad de suelo que está directamente relacionada con este grupo de emisiones debido a que esta variable favorece el mecanismo de desnitrificación en el suelo generando condiciones anaeróbicas para la reducción de nitratos y finalmente la formación de óxido nitroso.

El mapa de factores de la figura 20 (b), muestra la distribución por tipo de cultivos donde se observa la dispersión de los datos. No se logra diferenciar si alguno de los cultivos analizados se destaca por la reducción o aumento de emisiones de GEI por la implementación de alguna de las prácticas agroecológicas evaluadas o por la condiciones de clima o tipo de suelo.

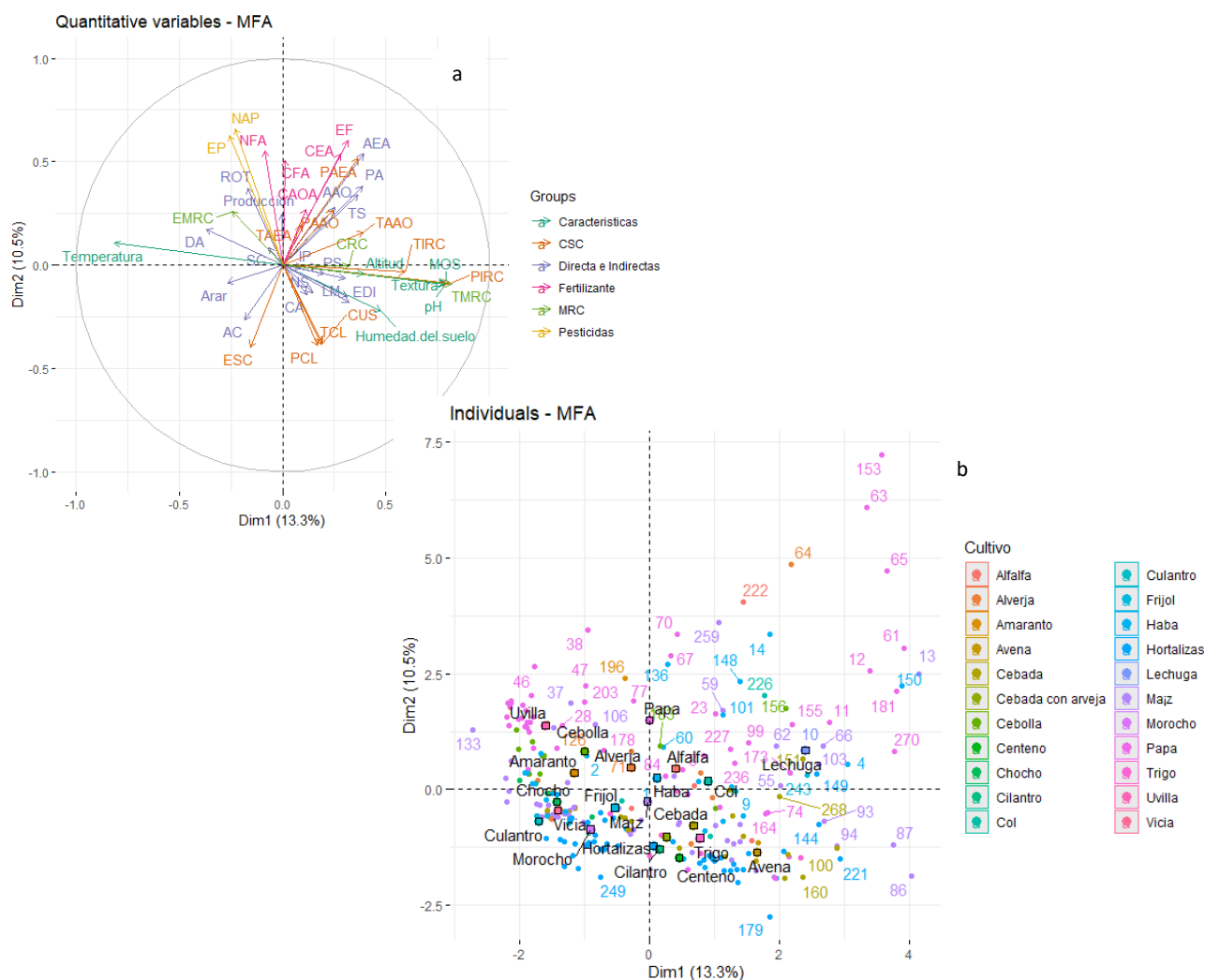


Figura 20: Proyección de las variables en el círculo de inercia asociadas a los grupos representativos de emisiones de los cultivos (a). El círculo de correlaciones comprende los grupos de emisiones: **características**: contiene todas la variables asociadas al suelo y clima, **CSC**: cambios en el almacenamiento de carbono, **Directas e indirectas**: variables asociadas a las prácticas agroecológicas, **Fertilizantes**: comprende la cantidad aplicada de fertilizantes, **MRC**: manejo de residuos de cosecha, **Pesticidas**: variables asociadas uso de pesticidas. El grupo de color verde oscuro (**Características**) agrupa las variables: Altitud, Temperatura Textura, Drenaje, Humedad del suelo, Contenido de materia orgánica en el suelo (MOS), pH del suelo. El grupo de color naranja (**CSC**) agrupa las variables: tiempo de aplicación de abono orgánico (TAAO), porcentaje de incorporación de abono orgánico en el área sembrada (PAAO), tiempo de aplicación de excretas de animales (TAEA), porcentaje de incorporación de excretas de animales en el área sembrada (PAEA), tiempo de implementación de la práctica de incorporación de residuos de cosecha (TIRC),), porcentaje de incorporación de residuos de cosecha en el área sembrada (CUS), tipo de cambio en la labranza (TCL),), porcentaje en el área sembrada en la cual se realizó cambio en la labranza (PCL), emisiones de GEI por almacenamiento de carbono (ECS). El grupo de color morado (**Directas e indirectas**) agrupa las variables: labranza mínima (LM), producción de abonos (PA), rotación de cultivos (RC), aplicación de abonos orgánicos (AAO), aplicación de excretas de animales (AEA), siembra al contorno (SC), uso de camas altas (CA), Arar, nivelar el suelo (NS), asociación de cultivos (AC), clima, disponibilidad de agua (DA), profundidad del suelo (PS), inclinación de las parcelas (IP). El grupo de color rosa (**fertilizante**) agrupa las variables: cantidad de abono orgánico aplicado (CAOA), cantidad de excretas de animales aplicadas (CEA), número de fertilizantes aplicados (NFA), cantidad de fertilizante sintéticos aplicados (CFA), emisiones por fertilizantes (EF). El grupo de color verde claro (MRC) agrupa las variables: cantidad de residuos de cosecha (CRC), tipo de manejo de residuos de cosecha (TMRC), emisiones por manejo de residuos de cosecha (EMRC). (b) mapa de factores de los cultivos identificados en las encuestas aplicadas.

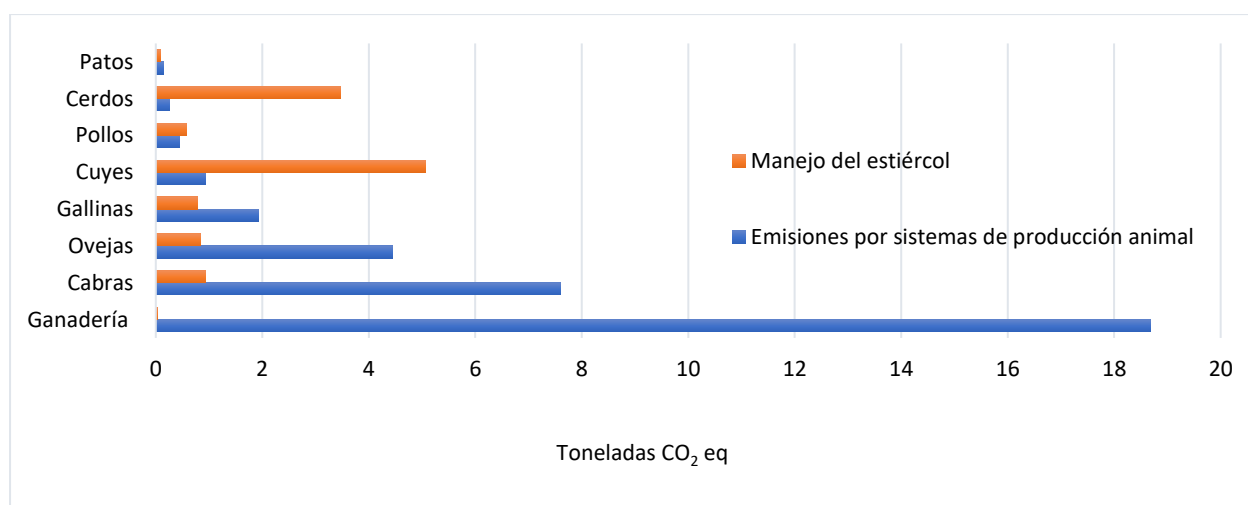
Sistemas de producción animal

En relación con las emisiones provenientes de los sistemas de producción animal, el manejo de los sistemas incluyendo las prácticas de alimentación y gestión del estiércol afecta significativamente las emisiones totales de estos sistemas de producción. La fermentación entérica que tiene lugar en el sistema digestivo de los animales está asociada con las características del tipo de pasturas, la calidad nutricional de la suplementación animal (concentrado o cultivos forrajeros), actividad y salud del animal (Tongwane & Moeleltsi, 2020). Las emisiones de GEI que se producen provienen de la fermentación microbiana que se produce en el rumen de los animales es el gas metano (CH_4) (Bannink et al., 2011).

Colombia

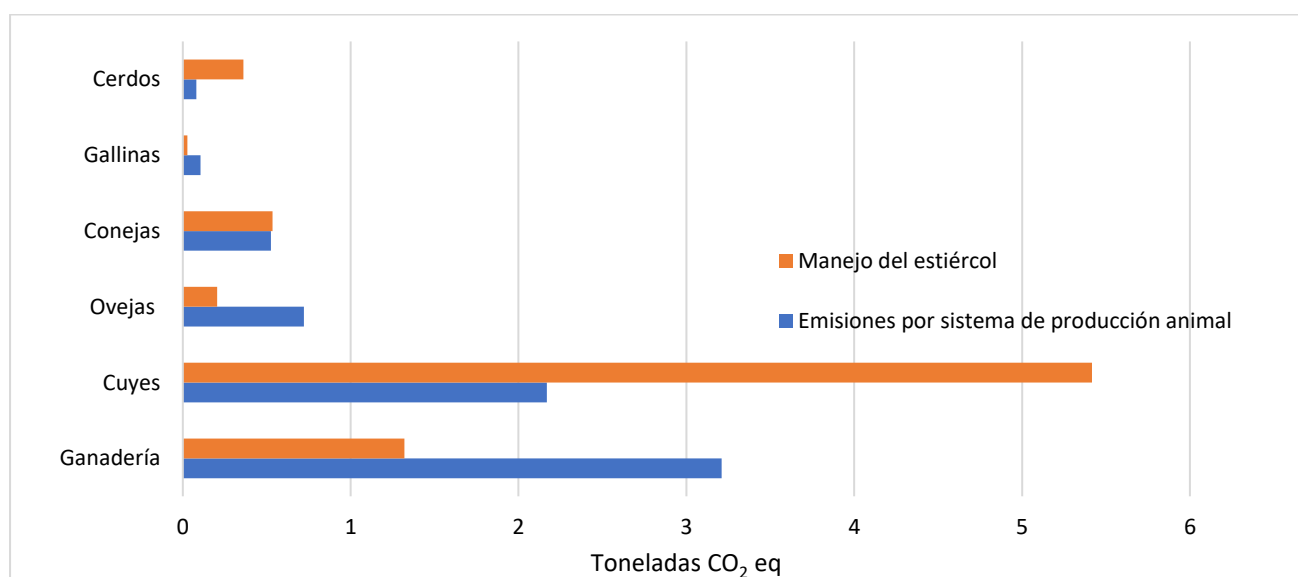
El sistema de producción de ganadería tiene las emisiones promedio más altas con 18.68 toneladas CO_2 eq, lo cual se debe al número de animales por área, la calidad de las pasturas de media (digestibilidad de la materia seca (DMS) entre 55 al 70 %) a baja (DMS inferior al 55%.) (Da Silva et al, 2017) y el bajo porcentaje de suplementación. En el manejo del estiércol del ganado solo el 50% de los encuestados que tienen ganadería implementa algún tipo de práctica de manejo. La práctica que implementaron los agricultores fue el compostaje, práctica que contribuyó a que las emisiones por manejo del estiércol fueran más bajas comparado con todos los demás sistemas. El sistema de producción pecuaria que evidencio menos emisiones fueron los cerdos debido al porcentaje y calidad de la suplementación animal con lo que son alimentados estos animales, los cuales no representaron una fuente significativa para la producción de metano. Sin embargo, en el manejo de los residuos de estiércol los cerdos y los cuyes fueron los sistemas con mayores contribuciones de GEI por el tipo de manejo los cuales fueron: producción de fertilizante líquido, digestor anaeróbico y sin manejo (ver figura 21).

Figura 21: Perfil de emisiones promedio de GEI de cada sistema de producción animales en toneladas CO_2 eq, que representa la línea de base (2021) para algunas regiones de Colombia utilizando la herramienta Cool Farm.



El sistema de ganadería bovino fue el sistema más representativo entre los agricultores y el que presentó las emisiones promedio más altas con un valor de 3.21 toneladas CO₂ eq, como resultado de la calidad de la pastura suministrada la cual fue clasificada como media que se caracteriza por tener una digestibilidad de la materia seca (DMS) entre 55 al 70 % (Da Silva et al, 2017) y que favorece la producción de gas metano por los procesos fermentativos que ocurren en el rumen donde se considera las emisiones como una pérdida de energía potencialmente utilizable para la ganancia de peso del animal y además el bajo porcentaje de suplementación que fue evidenciado. El sistema pecuario con más bajas emisiones fueron los cerdos debido a que este tipo de animales producen menos metano por el tipo de sistema pecuario y las características físico – químicas de las dietas suministradas que en particular afectaron el nivel de consumo y la frecuencia de alimentación que se vieron reflejadas en las emisiones de GEI. En el manejo del estiércol el sistema de animales que más contribuyó a las emisiones de GEI fueron los cuyes con un valor de 5.4 toneladas CO₂ eq gracias a que la práctica de manejo más representativa entre los agricultores fue el almacenamiento en fosas o dejarlo en pozos debajo del corral y el almacenamiento en sólido lo que favorece los procesos microbianos por la fuentes de sustratos en el suelo lo que incrementa las emisiones de GEI.

Figura 22: Perfil de emisiones promedio de GEI de cada sistema de producción animales en toneladas CO₂ eq, que representa la línea de base (2021) para algunas regiones de Ecuador utilizando la herramienta Cool Farm.



Conclusiones

Las prácticas agroecológicas implementadas por los agricultores son aquellas que mejor se adaptan a las condiciones socioeconómicas y de manejo agronómico de los cultivos. Las prácticas agroecológicas más implementadas para Colombia fueron asociación de cultivos, uso de coberturas y labranza mínima; Perú volteo de suelo, labranza mínima y rotación de cultivos y para Ecuador volteo de suelo, rotación y asociación de cultivos con tasas de implementación promedio de adopción de prácticas agroecológicas de 11%. Lo que indica que la adopción e implementación de prácticas en los tres países está por debajo del 50%, lo cual es baja. La diferencia entre los tres países fue el tiempo de implementación de algunas de las prácticas, para el caso de Colombia favoreció la captura de carbono en el suelo por los tiempos de implementación por más de 20 años de algunas de las prácticas en los cultivos de sus fincas o unidades productivas con una captura de carbono de más de 20000 toneladas $\text{CO}_2 \text{ eq ha}^{-1}$. Sin embargo, Las emisiones por la aplicación de fertilizantes nitrogenados contribuyeron en las emisiones de GEI por la cantidad de aplicación en unidad de área, las cuales en su mayoría superan los valores promedio de fertilización. A lo largo del análisis de las encuestas los resultados sugieren trabajar con los agricultores en el desarrollo de talleres prácticos donde se trabaje de forma integral y didáctica que manejos pueden contribuir la reducción de GEI, donde se evalúen los costos y beneficios reales para los agricultores de acuerdo al contexto local para que puedan implementarse las prácticas de acuerdo con el tipo de cultivo, suelo y condiciones climáticas que favorezcan la parte ambiental y los rendimientos del cultivo. Los resultados mostraron que, aunque los agricultores mencionan implementar prácticas agroecológicas no tienen claro cuándo y cómo aplicarlas a sus cultivos, ya que en algunos de los casos aplicaban hasta tres tipos de fertilizantes (orgánicos, estiércol de animales y sintéticos) en cantidades considerables para áreas muy pequeñas lo que al final se convierte en una práctica de manejo tradicional debido a que mezclan diferentes fertilizantes en cantidades que superan los 2000 kilogramos por hectárea, lo que contrarresta los beneficios ambientales de la implementación de prácticas con potencial de mitigación en este caso la fertilización orgánica. Se logró identificar con este análisis que se presentan una gran diversidad de grupos de cultivos y manejo agronómicos en cada una de las unidades productivas en los tres países, esto conlleva a que no existen agricultores que contribuyan con más o menos emisiones de GEI, lo importante es comprender que fuente de emisión emite más y que tipos de cultivos para que se enfoquen las investigaciones y trabajos con los agricultores en identificar qué tipo de práctica se está implementando y como para lograr definir cuál es el mejor forma de adopción e implementación. En los sistemas de producción pecuario los sistemas más representativos entre los agricultores y los que contribuyeron con mayores emisiones de GEI fueron el sistema de ganadería bovino, estas emisiones estuvieron asociadas a la calidad de la pasturas que fueron de media a baja digestibilidad de la materia seca y el tipo de suplementación animal, factores que acrecentaron los procesos de la fermentación de los alimentos y a su vez la producción de gases lo que aumentó la pérdida de energía que emplea el animal para su ganancia de peso, lo que afecta al agricultor en su seguridad alimentaria y socioeconómica.

Agradecimientos

Este trabajo fue coordinado por el Programa de Investigación del CGIAR sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CAAFS). Agradecemos el apoyo recibido por los socios EkoRural (Ecuador), CEAR (Perú) y REDMAC (Colombia).

Referencias

Abdalla. M., Osborne, B., Lanigan, G., Forristal, D., Williams, M., Smith, P., Jones, M. B. (2013). Conservation tillage systems: a review of its consequences for greenhouse gas emissions. *Soil Use and Management*, 10, 1-12

Abdalla, M., Richards, M., Pogson, M., Smith, J. U., Smith, P. (2016). Estimating the effect of nitrogen fertilizer on the greenhouse gas balance of soils in Wales under current and future climate. *Regional Environmental Change*, 16, 2357-2368.

Abdalla, M., Hasting, A., Cheng, K., Yue, Q., Chadwick, D., Espenberg, M., Truu, J., Rees, R., Smith, P. (2019). A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Global Change Biology*, 25, 2530 – 2543.

Aggarwal, P., Vyas, S., Thornton, P., Campbell, B., 2018. How much does climate change add to the challenge of feeding the planet this century? *Environ. Res. Lett.* [https:// doi.org/10.1088/1748-9326/aafa3e](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aafa3e).

AGRISUD INTERNATIONAL. (2010). Agroecology, best practices – GUIDE 2010 edition. [PDF file]. Available from http://www.agrisud.org/wp-content/uploads/2013/05/Guide_Anglais.pdf

- Akter, S., Krupnik, T. J., Rossi, F., & Khanam, F. (2016). The influence of gender and product design on farmers' preferences for weather-indexed crop insurance. *Global Environmental Change*, 38, 217-229.
- Altieri, M. A. (s.f). Developing and promoting agroecological innovations within country program strategies to address agroecosystem resilience in production landscapes: a guide [PDF file]. Available from <https://comdeksproject.files.wordpress.com/2017/04/agroecology-guidance-note.pdf>
- Ambaw, G., Recha, J.W., Nigussie, A., Solomon, D., Radeny, M. (2020). Soil Carbon Sequestration Potential of Climate-Smart Villages in East African Countries. *Climate*. 2020, 8(11), 124. <https://doi.org/10.3390/cli8110124>.
- Ameur, F., Amichi, H. & Leauthaud, C. (2020). Agroecology in North African irrigated plains? Mapping promising practices and characterizing farmers' underlying logics. *Regional Environmental Change*, 20, 1 - 17.
- Apazhev, A., Smelik, V., Shekikhachev, Y., & Hazhmetov, L. (2019). Combined unit for preparation of soil for sowing grain crops. *Engineering for Rural Development*, 18, 192-198.
- Assefa, S., Tadesse, S. (2019). The Principal Role of Organic Fertilizer on Soil Properties and Agricultural Productivity -A Review. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal*, 22, 46-48.
- Blanco, L., & Grier, R. (2012). Natural resource dependence and the accumulation of physical and human capital in Latin America. *Resources Policy*, 37(3), 281-295.
- Bannink, A., van Schijnde, M. W., Dijkstra, J. (2011). A model of enteric fermentation in dairy cows to estimate methane emission for the Dutch National Inventory Report using the IPCC Tier 3 approach. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 603-618.
- Bausenwein, U., Gattinger, A., Langer, U., Embacher, A., Hartmann, H. P., Sommer, M., Munch, J. C., Schloter, M. (2008). Exploring soil microbial communities and soil organic matter: Variability and interactions in arable soils under minimum tillage practice. *Applied Soil Ecology*, 40, 67 – 77.
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2019, November 28). cover crop. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/topic/cover-crop>
- Brown, J., Stobart, R., Hallett, P., Morris, N. I., George, T. S., Newton, A. C., Valentine, T. A, McKenzie, B. M. (2021). Variable impacts of reduced and zero tillage on soil carbon storage across 4–10 years of UK field experiments. *Journal Soils Sediments*, 21, 890–904.
- Cai, Y., Chang, S., Cheng, Y. (2017). Greenhouse gas emissions from excreta patches of grazing animals and their mitigation strategies. *Earth-Science Reviews*, 171, 44 – 57.
- Campbell, B.M., Thornton, P., Zougmore, R., van Asten, P., Lipper, L. (2014). Sustainable intensification: What is its role in climate smart agriculture? *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 8, 39–43.
- Carlile, R., & Garnett, T. (2021). What is agroecology? TABLE Explainer Series. TABLE, University of Oxford, Swedish University of Agricultural Sciences and Wageningen University & Research.
- Daryanto, S., Fu, B., Wang, L., Jacinthe, P.A., Zhao, W. (2018). Quantitative synthesis on the 146 ecosystem services of cover crops. *Earth-Science Reviews* 185, 357–373.
- Da Silva, T., Da Silva, L., Santos, E, Oliveira, D., Perazzo, A. (2017). Importance of the Fermentation to Produce. *High-Quality Silage*, 10, 1-18.

Davinia, A. Z. I. Z. (2012). Global public-private partnerships in international law. *Asian Journal of International Law*, 2(2), 339-374.

Dunnett, A., Shirsath, P. B., Aggarwal, P. K., Thornton, P., Joshi, P. K., Pal, B. D., ... & Ghosh, J. (2018). Multi-objective land use allocation modelling for prioritizing climate-smart agricultural interventions. *Ecological Modelling*, 381, 23-35.

FAO. 2007. FAO/UNESCO Digital Soil Map of the World and derived soil properties. Land and Water Digital Media Series #1 rev 1. FAO, Roma.

FAO 2017a. Liberación del potencial del carbono orgánico del suelo. En: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ed.), Documento de resultados del Simposio internacional sobre el carbono orgánico del suelo 21-23 de marzo de 2017, pp. 40. FAO, Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i7268s/i7268s.pdf>

FAO 2017b. Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia.

FAO, ITPS 2020. Global Soil Organic Carbon Map (V1.5) Technical Report. FAO, Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca7597en/ca7597en.pdf>

FAO. 2021. Sistema de Información de Suelos de Latinoamérica y el Caribe Series #1 rev 1. FAO, Roma. Disponible en: <http://54.229.242.119/sislac/es>

Gong, Y., Li, P., Lu, W., Nishiwaki, J., & Komatsuzaki, M. (2021). Response of soil carbon dioxide emissions to no-tillage and moldboard plow systems on Andosols in a humid, subtropical climate, Japan. *Geoderma*, 386, 114920.

Grabowski, P. P., Kerr, J., Haggblade, S., Kabwe, S. (2016). Determinants of adoption and disadoption of minimum tillage by cotton farmers in eastern Zambia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231, 54–67.

Hannah R., and Max, R. (2020). CO₂ and Greenhouse Gas Emission. Our World in Data. Recuperado de <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.

Hiel, M., Barbieux, S., Pierreux, J., Olivier, C., Lobet, G., Roisin, C., Garré, S., Colinet, G., Bodson, B., Dumont, B. (2018). Impact of crop residue management on crop production and soil chemistry after seven years of crop rotation in temperate climate, loamy soils. *PeerJ*, 6, 2 – 23.

Hillier, J., Walter, C., Malin, D., Garcia-Suarez, T., Mila-I-Canals, L., & Smith, P. (2011). A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production. *Environmental Modelling & Software*, 26(9), 1070–1078.

Husson, F., Sebastien, L., Jérôme P. (2017). *Exploratory Multivariate Analysis by Example Using R*. 2nd ed. Boca Raton, Florida: Chapman; Hall/CRC. <http://factominer.free.fr/bookV2/index.html>

Khan, N., Zamir, H., Hanan, F., Shah, F., Naushad, M. (2019). Critical Review of Agriculture Role in the Development of Rural Economy of Pakistan. *SSRN Electronic Journal*.

Kinoshita, R., Schindelbeck, R.R., and van Es, H.M. (2017). Quantitative soil profile-scale assessment of the sustainability of long-term maize residue and tillage management. *Soil and Tillage Research*, 174, 34-44.

- Kumarasinghe, U. (2021). A review on new technologies in soil erosion management. *Journal of Research Technology and Engineering*, 2, 120 – 126.
- Lal, R. (2015). Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. *Soil Water Conservation*, 70(3), 55 – 62.
- Le Coq, J. F., Sabourin, É., Bonin, M., Gresh, S.F., Marzin, J., Niederle, P., Patrouilleau, M. M., Vásquez, L. (2020). Public policy support for agroecology in Latin America: Lessons and perspectives. *Global Journal Ecology*, 5(1), 129-138.
- Li, S., Li, J., Zhang, B., Li, D., Li, G., & Li, Y. (2017). Effect of different organic fertilizers application on growth and environmental risk of nitrate under a vegetable field. *Scientific reports*, 7(1), 1-9.
- Lin, J., Khanna, N., Liu, X. et al. (2019). China's Non-CO₂ Greenhouse Gas Emissions: Future Trajectories and Mitigation Options and Potential. *Sci Rep* 9, 1-8.
- Li, M., Guo, J., Ren, T., Luo, G., Shen, Q., Lu, J., & Ling, N. (2021). Crop rotation history constrains soil biodiversity and multifunctionality relationships. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 319, 107550.
- Loboguerrero, A. M., Boshell, F., León, G., Martinez-Baron, D., Giraldo, D., Mejía, L. R., & Cock, J. (2018). Bridging the gap between climate science and farmers in Colombia. *Climate Risk Management*, 22, 67-81.
- Mangalassery, S., Sjögersten, S., Sparkes, D., Sturrock, C. J., Craigon, J., Mooney, S. J. (2014). To what extent can zero tillage lead to a reduction in greenhouse gas emissions from temperate soils?. *Scientific Reports* 4, 1-8.
- Marennya, P. P., Kassie, M., Jaleta, M., Rahunt, D., Erenstein, O. (2017). Predecir la adopción de la labranza mínima entre los pequeños agricultores utilizando variables de políticas y a nivel micro. *Agricultura and Food Economics*, 5, 2 - 22.
- Márquez-Sánchez, F. 1981. Clasificación tecnológica de los Sistemas de producción agrícola (agroecosistemas) según ejes espacio y tiempo. 255-275. En: E. HernándezXolocotzi (ed.). *Agroecosistemas de México: Contribuciones a la Enseñanza, Investigación y Divulgación Agrícola*. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de México
- Meleha, A. M., Hassan, A. F., El-Bialy, M. A., & El-Mansoury, M. A. (2020). Effect of planting dates and planting methods on water relations of wheat. *International Journal of Agronomy*, 2020, 1 – 11.
- Migliorini, P., Wezel, A. (2017). Converging and diverging principles and practices of organic agriculture regulations and agroecology. A review. *Agronomy Sustainable Development* 37, 2-18.
- Muhammad, I., Sainju, U. M., Zhao, F., Khan, A., Ghimire, R., Fu, X., Wang, J. (2019). Regulation of soil CO₂ and N₂O emissions by cover crops: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 192, 103 -109.
- Nicholls, C. I., Altieri, M. A. (2018). Pathways for the amplification of agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42, 1170 – 1193.
- Osewe, M., Mwungu, C., Liu, A. (2020). Does Minimum Tillage Improve Smallholder Farmers' Welfare? Evidence from Southern Tanzania. *Land*, 9, 1 – 12.

- Palomo-Campesino, S., González, J. A., García-Llorente, M. (2018). Exploring the Connections between Agroecological Practices and Ecosystem Services: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 10, 1-21.
- Phibunwatthanawong, T., Riddech, N. (2019). Liquid organic fertilizer production for growing vegetables under hydroponic condition. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 369–380.
- Plastina, A., Liu, F., Miguez, F., & Carlson, S. (2020). Cover crops use in Midwestern US agriculture: Perceived benefits and net returns. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 35(1), 38-48.
- Piñeiro, V., Arias, J., Dürr, J., Elverdin, P., Ibáñez, A.M., Kinengyere, A., Opazo, C.M., Owoo, N., Page, J.R., Prager, S.D., Torero, M. (2020). A scoping review on incentives for adoption of sustainable agricultural practices and their outcomes. *Nature Sustainability*, 3, 809-820.
- Pugesgaard, S., Petersen, S. O., Chirinda, N., Olesen, J. E. (2017). Crop residues as driver for N₂O emissions from a sandy loam soil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 233, 45 – 54.
- Ranjan, P. (2021). Extension services as key determining factor for adoption of minimum tillage practice in Kenya: A plot level analysis. *Journal of Public Affairs*, 1 – 6.
- R Development Core Team. (2004). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rinkesh, A. (18 de septiembre 2021). *What is Crop Rotation?*. Conserve Energy Future. <https://www.conserve-energy-future.com/advantages-disadvantages-crop-rotation.php>
- Roberts, T., Ortel, C., Hoegenauer, K., Wright, H., & Durre, T. (2018). Understanding cover crops. Retrieved in December, 14, 2021.
- Schaufler, G., Kitzler, B., Schindlbacher, A., Skiba, U., Sutton, M.A., Zechmeister, S. (2010). Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: effects of soil moisture and temperature. *European Journal Soil Science*, 61, 683–696.
- Schoonhoven, Y & Runhaar, H. (2018). Conditions for the adoption of agro-ecological farming practices: a holistic framework illustrated with the case of almond farming in Andalusia. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 16, 442 – 454.
- Seebauer, M. (2014). Whole farm quantification of GHG emissions within smallholder farms in developing countries. *Environmental Research Letters*, 9. 1-13.
- Selim, M. (2019). A review of Advantages, Disadvantages and Challenges of Crop Rotations. *Egyptian Journal of Agronomy*, 41, 1-10.
- Sharma, P., Singh, A., Kahlon, C., Brar, A., Grover, K., & Dia, M., Steiner, R. (2018). The Role of Cover Crops towards Sustainable Soil Health and Agriculture—A Review Paper. *American Journal of Plant Sciences*, 09. 1935-1951.
- Singh, A., Verma, K., Kumar, D., Lothe, N. B., Kumar, A., Chaudhary, A., & Singh, S. (2021). Optimized irrigation regime and planting technique improve yields and economics in aloe vera [*Aloe barbadensis* (Miller)]. *Industrial Crops and Products*, 167, 113539.

- Teixeira, H. M., Van den Berg, L., Cardoso, I. M., Vermue, A. J., Bianchi, F. J. J. A., Peña-Claros, M., Tiftonell, P. (2018). Understanding Farm Diversity to Promote Agroecological Transitions. *Sustainability*, 10, 1-20.
- Thioulouse, J., Chessel, D., Doledec, S., Olivier, J.M. (1997). ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing* 7, 75–83.
- Third World Network & Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA). (2015). *Agroecology: Key Concepts, Principles and Practices* [PDF file]. Available from <https://agroeco.org/wp-content/uploads/2015/11/Agroecology-training-manual-TWN-SOCLA.pdf>
- Tongwane, M., Moeletsi, M. E. (2020). Emission factors and carbon emissions of methane from enteric fermentation of cattle produced under different management systems in South Africa. *Cleaner Production*, 265, 1-13.
- Torres, S., Huaraca, J., Pezos, D. L., Calderon, R. C. (2018). Asociación de cultivos, maíz y leguminosas para la conservación de la fertilidad del suelo. *Revista de Investigación Ciencia Tecnología y Desarrollo* 4(1), 15 – 22.
- Tiftonell, P., Piñeiro, G., Garibaldi, L. A., Dogliotti, S., Olff, H., Jobbagy, E. G. (2020). Agroecology in Large Scale Farming—A Research Agenda. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 1 – 15.
- Valencia, F., Royo, A., Juárez, A., Recasens, J. (2020). Different Ground Vegetation Cover Management Systems to Manage *Cynodon dactylon* in an Irrigated Vineyard. *Agronomy*, 10, 1 – 15.
- Van der Weerden, T. J., Noble, A. N., Luo, J., De Klein, C. A. M., Sagggar, S., Giltrap, D., & Rys, G. (2020). Meta-analysis of New Zealand's nitrous oxide emission factors for ruminant excreta supports disaggregation based on excreta form, livestock type and slope class. *Science of the Total Environment*, 732, 139 - 235.
- Vázquez, E., Benito, M., Espejo, R., and Teutscherova, N. (2019). Effects of no-tillage and liming amendment combination on soil carbon and nitrogen mineralization. *European Journal of Soil Biology* 93:103090.
- Vukicevich, E., Lowery, D. T., Bennett, J. A., Hart, M. (2019). Influence of Groundcover Vegetation, Soil Physicochemical Properties, and Irrigation Practices on Soil Fungi in Semi-arid Vineyards. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 1 – 10.
- Westermann, A., Azambre B., Bacarizaa, M.C., Grac, I., Ribeiroa, M.F., Lopes, J.M., Henriques, C. (2015). Insight into CO₂ methanation mechanism over NiUSY zeolites: An operando IR study. *Applied Catalysis B: Environmental*, 174, 120–125.
- Williams, R., Pelsler, D. & Black, V. (Eds). (2018). *Agroecology is best practice. Biowatch South Africa's work with smallholder farmers*. Biowatch South Africa: Durban.
- Xu, Y., Chen, Z., Fontaine, S., Wang, W., Luo, J., Fan, J., Ding, W. (2017). Dominant effects of organic carbon chemistry on decomposition dynamics of crop residues in a Mollisol. *Soil Biology and Biochemistry*, 115, 221 – 232.
- Zhong, S., Zeng, H. (2020). Long-term interactions of reduced tillage and different amounts of residue retaining improved soil environment in a semi-arid tropical climate. *Chilean journal of agricultural research*, 80(2), 197-208.

Anexos

Anexo A: Encuestas implementadas en Kobocollect en cada uno de los tres países.

- Enlace de KoBoCollect para Colombia: <https://ee.humanitarianresponse.info/x/eTMRcIEi>

REDMAC_FINAL_SEPTIEMBRE

Encuesta REDMAC para 4 cultivos y 4 sistemas de producción animal a nivel de productor	
Fecha	<input type="text" value="more details"/> <input type="text" value="yyyy-mm-dd"/>
Nombre del encuestador	<input type="text" value="none selected"/>

▼ Información general del agricultor

Identifique las coordenadas de la finca	
latitude (x,y °) longitude (x,y °) altitude (m) accuracy (m)	search for place or address <input type="text"/> <input type="button" value="Q"/> <input type="button" value="X"/> 
Apellido y nombre del agricultor	
¿Cuál es el género del agricultor <input type="radio"/> Femenino <input type="radio"/> Masculino <input type="radio"/> Otro	
Número de contacto del agricultor (# de celular)	
Nombre de la finca	
Seleccione del municipio <input type="text" value="none selected"/>	
Nombre de la vereda o localidad	

▼ Clima

Tipo de clima <input type="radio"/> Clima lluvioso <input type="radio"/> Clima seco <input type="radio"/> Templado <input type="radio"/> Tropical
Temperatura promedio anual

- Enlace de KoBoCollect para Perú: <https://ee.humanitarianresponse.info/x/udg52S53>

CEAR_Final

Encuesta CEAR: Cultivos de hortalizas - cultivo papa	
Fecha de implementación de la encuesta » more details	
yyyy-mm-dd	
Número de identificación del encuestador	
<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9 <input type="radio"/> 10	

▼ Información general del agricultor

Identifique las coordenadas de la finca	
latitude (x,y °)	search for place or address
longitude (x,y °)	
altitude (m)	 © OpenStreetMap & Yohan Bonifacio & Humanitarian OpenStreetMap Team Terms
accuracy (m)	
Apellido y nombre del agricultor	
Genero <input type="radio"/> Femenino <input type="radio"/> Masculino <input type="radio"/> Otro	
Número de contacto del agricultor (# de celular)	
Seleccione Distritos o Comunidades <input type="radio"/> Raquina <input type="radio"/> Asca <input type="radio"/> Pucara <input type="radio"/> Pazos - Mullaca	
Nombre del barrio	

- Enlace de KoBoCollect para Ecuador: <https://ee.humanitarianresponse.info/x/JsMQAaHF>

Ekorural_19_septiembre

Propuesta de encuesta Ekorural: para 4 cultivos y 4 sistemas de producción animal a nivel de productor

Fecha

more details

yyyy-mm-dd

Identificación del encuestador

none selected

Información general del agricultor

Identifique las coordenadas de la finca

latitude (x,y °)

longitude (x,y °)

altitude (m)

accuracy (m)

search for place or address



Apellido y nombre del agricultor

Cuál es el género del agricultor

- ☐ Femenino
☐ Masculino
☐ Otro

Número de contacto del agricultor (# de celular)

Nombre de la finca

Seleccione la provincia

none selected

Nombre de la parroquia

Nombre de la comunidad

Clima

Tipo de clima

- ☐ Clima lluvioso
☐ Clima seco

Temperatura promedio anual

Anexo B: Tabla de revisión de literatura para la determinación de prácticas agroecológicas.

Referencia	Nombre del artículo	Temática
Ameur, Amichi, & Leauthaud, 2020.	Agroecology in North African irrigated plains? Mapping promising practices	Ejemplos de aplicabilidad de la agroecología.

	and characterizing farmers' underlying logics.	
Altieri, M. A. (S.F)	Developing and promoting agroecological innovations within country program strategies to address agroecosystem resilience in production landscapes: a guide	Guía para el desarrollo y adopción de prácticas agroecológicas.
AGRISUD INTERNATIONAL, 2010	Agroecology, best practices – GUIDE 2010 edition.	Prácticas agroecológicas.
Carlile, & Garnett, 2021.	What is agroecology? TABLE Explainer Series	Definición sobre agroecología.
Le Coq et al., 2020.	Public policy support for agroecology in Latin America: Lessons and perspectives.	Contextualización sobre agroecología.
Migliorini & Wesel, 2017.	Converging and diverging principles and practices of organic agriculture regulations and agroecology. A review.	Agroecología y agricultura orgánica, revisión y comparación de prácticas.
Palomo-Campesino et al., 2018.	Exploring the Connections between Agroecological Practices and Ecosystem Services: A Systematic Literature Review.	Prácticas agroecológicas y servicios ecosistémicos.
Schoonhoven & Unhear, 2018.	Conditions for the adoption of agro-ecological farming practices: a holistic framework illustrated with the case of almond farming in Andalusia	Caso de estudio en la implementación de prácticas agroecológicas.
Teixeira et al., 2018.	Understanding Farm Diversity to Promote Agroecological Transitions.	Agroecología en diferentes tipologías de fincas – transición hacia sistemas agroecológicos.
Third World Network & SOCLA, 2015.	Agroecology: Key Concepts, Principles and Practices.	Conceptualización sobre agroecología.
Tittonell et al., 2020.	Agroecology in Large Scale Farming—A Research Agenda.	Agenda de investigación para la agroecología en la agricultura a gran escala organizada en cinco dominios: (i) Mejoramiento para la diversidad, (ii) Complejidad escalable, (iii) Manejo de ciclos más allá de campos y fincas, (iv) Compartiendo el paisaje cultivado, y (v) Co-innovación con agricultores, cadenas de valor y responsables políticos.
Williams, Pelser, & Black, 2018.	Agroecology is best practice. Biowatch South Africa's work with smallholder farmers.	Identificación de las mejores prácticas agroecológicas implementadas.

Anexo C: Tabla de caracterización de fincas o unidad productiva en Colombia.

Grupo de cultivos por agricultor
Café - Banano - Cilantro - Perejil
Banano - Café - Cúrcuma - Plantas medicinales
Banano - Café - Yuca - Cidra
Mandarino Oneco - Naranja - limón mandarina - Limón Tahití

Sacha inchi - Café en asocio con árboles y frutales - Hortalizas (habichuela, cebolla, zanahoria)
Kale - Perejil - Lechuga crespa verde
musáceas, plátano - Banano - Hortalizas (cebolla, zanahoria, habichuela) - Tomate Santa Clara
Mandarina común - Naranja - Limón arrugado - Aguacate
Berros - Ortiga - Acedera - Ruibarbo
Cúrcuma - Café - Limón Mandarino - Maíz
Café - Plátano - Maíz - Aromáticas
Frijol - Maíz - Cebolla larga - Cilantro
Lechuga - Espinaca - Repollo - Plátano guayabo
Café - Cítricos - Papaya - Banano
Platano - Maíz - Frijol - Cítricos
Espinaca - Cilantro - Perejil - Cebolla puerro
Café - Plátano
Banano - Aguacate - Café
Café - Musáceas - Cítricos (naranjas, mandarinas) - Tómate
Guanabanas - Mandarinas - Plantas ornamentales
Frijol - Papaya - Maíz - Berenjena
Cebolla – Café
Café
Yuca - Arracacha - Frijol - Maíz
Maíz - Frijol
Maíz - Frijol - Sacha inchi - Cacao
Arracacha - Plátano - Cítricos
Café - Plataneras y Bananeras - Aguacates
Frijol - Maíz - Cebolla cabeza
Café - Curcuma
Curcuma - Platano - Aromáticas
Plátanos y Bananos - Yuca y Arracacha - Frijol cargamanto y habichuela blanca
Cebolla - Cilantro - Pepino
Pimentón - Lechuga - Paquetes de aromáticas - Tómate cherry
Mora - Limón mandarina - Chachafrutos - Plátanos y Bananos
Caña - Guadua - Mandarina
Mandarina - Cacao – Café - Platano
Plátanos - Frijol
Maíz - Soya - Frijol - Sagu
Cacao - Naranjas - Aguacate

Anexo D: Definición de las prácticas identificadas entre los agricultores de los tres países.

- **Uso de coberturas:** Esta práctica de mantener la superficie del suelo cubierta es un aspecto relevante en la agricultura sostenible y resiliente al cambio climático. Los residuos orgánicos que se dejan en la superficie o las plantas que son usadas para coberturas mejora la estabilidad de los sistemas agrícolas no solo por el mejoramiento de las propiedades del suelo sino también la capacidad que tiene esta práctica para incrementar la biodiversidad en este mismo ecosistema. Se entiende que el uso de coberturas genera una acción protectora proporcionada por los residuos orgánicos dejados por los cultivos. Los residuos o plantas que son utilizadas para coberturas protegen el suelo y mejora las propiedades físico – químicas y biológicas para el desarrollo del siguiente cultivo, debido a que protegen el suelo en periodos

de descanso, moviliza y recicla nutrientes, mejora la estructura del suelo, ya que los aportes continuos de materia orgánica, la acción de los microorganismos y las partículas del suelo se agrupan para formar los agregados y de esta manera construir una buena estructura y es usado para el control de plagas y enfermedades (Vukicevich et al., 2019; Britannica, 2019). Las coberturas permiten el control de la temperatura del suelo factor que ejerce influencia sobre los procesos físicos, químicos y biológicos y control de la humedad que inhiben la evaporación del suelo lo que proporciona una mayor infiltración de agua en este. El uso de coberturas también produce un efecto aleopático sobre las malezas o arvenses reduciendo su incidencia en el cultivo y disminuyendo el uso de agroquímicos para la quema química de estos. Adicionalmente, controla la erosión por el impacto directo de las gotas de lluvia debido a que estas coberturas facilitan que el agua escurra lentamente y se infiltre más rápido en el suelo (Sharma et al., 2018; Roberts et al., 2018; Valencia et al., 2020).

- **Labranza mínima:** Práctica agrícola de conservación que tiene como objetivo incrementar la productividad y estabilizar el rendimiento de los cultivos bajo variaciones climáticas (Osewe, Mwungu & Liu, 2020). Es un método que implica la mínima perturbación o ruptura del suelo para obtener una adecuada cobertura de las semillas. La labranza mínima mejora la estructura del suelo, aumenta el crecimiento y desarrollo de las plantas e incrementando la productividad del cultivo (Grabowski et al., 2016; Marenja et al., 2017). En sí es una práctica que emplea el mínimo número de operaciones o pases de labranza haciendo ranuras limitadas para colocar la semilla. Esto reduce la erosión y el aumento de la compactación del suelo.
- **Producción de abonos o enmiendas orgánicas:** Proceso de descomposición o transformación de la materia orgánica en condiciones aeróbicas o anaeróbicas y con control de temperatura de los residuos transformados a través de la presencia de microorganismos del suelo y que están presente en los residuos que en condiciones controladas producen un material estable de lenta descomposición sin ningún tipo de aditivo o sustancia química. Estos abonos o enmiendas orgánicas están conformados por nutrientes vegetales esenciales y microorganismo benéficos, que reciclan la materia orgánica (Phibunwatthanawong & Riddech, 2019).
- **Rotación de cultivos:** Práctica que consiste en sembrar diferentes tipos de cultivos secuencialmente en la misma unidad productiva para mejorar la fertilidad, reducir la erosión, mejora la salud del suelo e incrementa la viabilidad de nutrientes sin uso de insumos sintéticos. Manejo que permite interrumpir los ciclos de las plagas y enfermedades aumentando la biomasa de las estructuras radiculares de los diferentes cultivos y aumenta la biodiversidad de los ecosistemas agrícolas (Selim, 2019; Li et al., 2021).
- **Aplicación de abonos orgánicos:** Práctica que consiste en la aplicación de abonos provenientes de los procesos de descomposición de la materia orgánica, de forma adecuada de acuerdo con los requerimientos nutricionales de la planta y el suelo y a las condiciones climáticas que define que, cuando y como aplicar este tipo de abonos, sin exceder la cantidad requerida por los sistemas productivos.
- **Aplicación de excretas de animales como enmiendas:** Las excretas de animales o estiércol se reconoce a los materiales orgánicos de gran volumen que se incorporan al suelo directamente. Estos son generados a través del tracto digestivo de los animales. Aportan materia orgánica al suelo, que en gran parte se pierde por transformarse en dióxido de carbono, aunque parte de

esta se transforma en humus, sustancia orgánica de color negro que persiste en el suelo y mejora sus propiedades físicas - químicas. Las excretas de los animales también aportan a las plantas una diversidad de nutrientes derivados de los residuos de las cosechas de las que proceden (Cai, Chang & Cheng, 2017; Van der Weerden et al., 2020).

- **Siembra al contorno o en curvas de nivel:** Es una práctica de conservación de suelo que consiste en preparar las hileras del cultivo siguiendo las curvas de nivel. Así cada surco de plantas forma un obstáculo al agua de escorrentía para que disminuya la velocidad y fuerza de la corriente de esta, la cual puede generar erosión por la remoción de las partículas del suelo. Es un método para el control de la erosión del suelo, debido a que las curvas nivel provocan una ruptura del agua, lo que reduce la formación de cárcavas durante las temporadas de lluvia intensas. Aparte de reducir la pérdida por erosión se ha demostrado que reduce la pérdida de fertilizante, consumo de energía y tiempo y aumento del rendimiento de los cultivos (Kumarasinghe, 2020)
- **Uso de camas altas:** Esta práctica se implementa para facilitar el crecimiento y cuidado de especies vegetales, estas camas generalmente son cuadradas o rectangulares delimitadas por cercos de madera, PVC, hormigón, etc., rellenos de un sustrato adecuado donde se plantan generalmente especies vegetales de una misma familia. Estos tipos de plantaciones se pueden utilizar en zonas montañosas para controlar la erosión que se produce por las lluvias. También ayudan a conservar los nutrientes del suelo, optimizar el agua para el riego, mejorar y mantener más homogénea la temperatura del sustrato para el desarrollo óptimo de las plantas e impide el crecimiento de malas hierbas (Meleha et al., 2020; Sing et al., 2021).
- **Arar o voltear el suelo:** Práctica que se realiza después de la cosecha que permite incrementar el número de macroporos debido al movimiento del suelo eliminando las malas hierbas o malezas, sin aplicación de insumos químicos, además de la incorporación de los residuos de cosecha a lo largo del perfil del suelo mejorando de humedad, aireado y la oxigenación del suelo, la estructura y los contenidos de materia orgánica debido a que el movimiento del suelo remueve toda la materia orgánica contenida a lo largo del perfil donde las plantas no puede acceder, por lo tanto, al remover capas de suelo profundas y mezclarlas con las superficiales todo el contenido mineral y orgánico del suelo estará disponible para las plantas (Apazhev et al., 2019; Gong et al., 2021).
- **Nivelar el suelo:** Práctica que tiene como objetivo convertir una superficie con pendiente a un plano con pendiente cero, para facilitar las labores agrícolas, maximizando la rentabilidad de los cultivos debido a que facilita el manejo del agua, la siembra y las aplicaciones de insumos (Meleha et al., 2020; Li et al., 2021). La nivelación es clave para la germinación de la semilla uniforme y la prevención de zonas encharcadas que favorecen las emisiones de GEI.
- **Asociación de cultivos:** De acuerdo con la clasificación de agroecosistemas (Márquez-Sánchez, 1981) la asociación de cultivos consiste en la plantación conjunta de distintos cultivos con la intención de promover y optimizar la captura de nutrientes es decir que es una mezcla completa entre ellos. Esta práctica promueve una mayor diversidad biológica, disminución del riesgo de pérdida total de la cosecha, mejora el uso de los recursos naturales, y proporciona protección a los cultivos contra daños por plagas y enfermedades.



RESEARCH PROGRAM ON
**Climate Change,
Agriculture and
Food Security**



El Programa de Investigación del CGIAR sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS) es una iniciativa estratégica del CGIAR y Future Earth, liderada por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). CCAFS es el programa de investigación global más completo del mundo para examinar y abordar las interacciones críticas entre el cambio climático, la agricultura y la seguridad alimentaria.

Para mayor información, visita www.ccafs.cgiar.org

Los títulos de esta serie de documentos de trabajo tienen como objetivo difundir las investigaciones y prácticas provisionales sobre el cambio climático, la agricultura y la seguridad alimentaria y estimular la retroalimentación de la comunidad científica.

CCAFS es liderado por:

Alianza



Investigación apoyada por:



Fund



Irish Aid



Ministry of Foreign Affairs of the Netherlands

NEW ZEALAND MINISTRY OF
FOREIGN AFFAIRS & TRADE
MANATŌ AORERE



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC



FROM THE AMERICAN PEOPLE

