

Reporte

Marco conceptual para medir las contribuciones de las intervenciones en agricultura para mitigar el cambio climático y construir paz



Autores

Lisset Pérez Marulanda
Augusto Castro

lisset.perez@cgiar.org
augusto.castro@cgiar.org



AgriLAC Resiliente:
Sistemas de Innovación
Agroalimentaria Resilientes
en América Latina y el Caribe



Mitigate+: Research
for Low-Emission
Food Systems



Contenido

1. Introducción	3
2. Zona de estudio	4
3. Datos	5
4. Antecedentes teóricos: Marcos de evaluación de sostenibilidad agrícola.....	6
5. Marco teórico para evaluar las contribuciones de los sistemas de producción de cacao a la producción agrícola, la acción climática y la consolidación de la paz.....	12
6. Metodología	14
7. Tipologías de sistemas de producción de cacao en Caquetá y Cesar.....	18
7.1 Tipologías de sistemas de producción de cacao en Caquetá.....	18
7.2 Tipologías de sistemas de producción de cacao en el Cesar.....	19
7.3 Diferencias en las contribuciones entre los departamentos de Caquetá y Cesar.....	21
7.4 Implicaciones para las prácticas y políticas agrícolas.....	25
8. Conclusiones	26
Referencias.....	27

1. Introducción

Diversas intervenciones en el sector agrícola en entornos afectados por conflictos tienen como objetivo mejorar los medios de vida y generar resultados de acción climática y consolidación de la paz. En este contexto, varios marcos intentan medir la sostenibilidad de la agricultura, el cambio climático y la consolidación de la paz. Sin embargo, en la literatura, existe la necesidad de un marco integrado que evalúe simultáneamente estas tres dimensiones en varias escalas que van desde la finca hasta el nivel de la cadena de valor. Los marcos existentes en agricultura sostenible carecen de elementos que integren la consolidación de la paz, la mitigación del cambio climático o ambos. Ninguno de los marcos existentes contribuye simultáneamente a la cuantificación de la contribución de las intervenciones destinadas a mejorar la sostenibilidad agrícola, la consolidación de la paz y mitigación del cambio climático. Estas categorías no están cubiertas en su totalidad en ninguno de los marcos conceptuales, pueden tener elementos de una u otra categoría, pero no de ambas. En ninguno de los marcos se menciona explícitamente la mitigación del cambio climático, aunque este ha sido un tema fundamental en los últimos tiempos. Por otro lado, la construcción de paz está completamente ausente, aunque se incluyen algunos de los aspectos fundamentales de la cohesión social como las asociaciones, la formación, la gobernanza, el papel de los potenciales conflictos en el territorio y el impacto que esto puede causar en los sistemas productivos. Por lo tanto, es fundamental el desarrollo de un nuevo marco de sostenibilidad que proporcione una medida orientada a la sostenibilidad ecológica-social (Pérez Marulanda et al., 2020) y que cuantifique la contribución de las intervenciones en la mitigación del cambio climático y la construcción de paz.

Con esta investigación, el proyecto SLUS busca contribuir al cierre del vacío de conocimiento en la cuantificación de la contribución de las intervenciones a nivel de finca en la producción agrícola, construcción de paz y mitigación del cambio climático cuando los sistemas de uso sostenible de la tierra son adaptados al contexto local. En este reporte, desarrollamos un marco que integra las dimensiones de sostenibilidad agrícola, acción climática y construcción de paz. Para validar dicho marco, usamos datos del cultivo de cacao (*teobroma cacao*) en los departamentos de Caquetá y Cesar en Colombia. Ambos departamentos están emergiendo de un conflicto y han sido objetivo de diversas intervenciones agrícolas como un medio para lograr reducir la presión sobre los bosques y lograr la paz. Para validar el marco utilizamos alrededor de 922 encuestas de hogares. Clasificamos los sistemas productivos en función de sus características socioeconómicas y estrategias de gestión agrícola. Operacionalizamos el marco utilizando indicadores de la encuesta para analizar las variaciones entre tipologías de los sistemas de producción de cacao. Nuestros resultados sugieren que los sistemas de producción sostenible de cacao, es decir, sistemas agroforestales implementados con fertilización orgánica, junto con las prácticas prescritas de postcosecha y el riego, influyen positivamente en (1) la producción agrícola a través del aumento de los rendimientos y (2) la consolidación de la paz a través de la reducción de los conflictos por el uso de los recursos naturales y la creación de espacios de cooperación y diálogo. Sin embargo,

no encontramos diferencias entre las contribuciones de los sistemas de producción sostenible de cacao a la mitigación del cambio climático, posiblemente porque la mayoría de las fincas de cacao están bajo sistemas agroforestales. Nuestros hallazgos indican que la producción de cacao contribuye a la paz, lo cual es coherente con las políticas públicas promovidas en Colombia

2. Zona de estudio

Realizamos nuestro estudio en Caquetá y Cesar, dos departamentos de Colombia que históricamente se han visto afectados por el conflicto armado. Esta situación se superpone a las altas tasas de deforestación en Caquetá y a la alta degradación de los suelos en Cesar, ambas debidas principalmente a la ganadería, al cultivo de la hoja de coca para producir cocaína y a la expansión de la minería (Ganzenmüller et al., 2022). Estos dos departamentos también han sido objeto de políticas gubernamentales para erradicar y sustituir el cultivo de coca por alternativas productivas, como el cultivo de cacao. [En la Figura 1 se muestra que los lugares prioritarios donde se podría almacenar carbono en los bosques y los destinados a la implementación de programas de construcción de la paz se superponen en algunos municipios de estos departamentos, y permiten entender la relación entre el conflicto armado y la cobertura forestal. La Figura 1 muestra la superposición entre el conflicto armado y (a) la deforestación en Caquetá; y (b) la degradación del suelo en Cesar. El índice de incidencia del conflicto armado entre 2019 y 2022 (DNP, 2021) representa el conflicto, la pérdida de cobertura arbórea de Hansen (2001-2018) representa la deforestación (Hansen et al., 2013), y la zonificación de la degradación del suelo por erosión proveniente del instituto colombiano de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM, 2019) representa la degradación del suelo. La superposición geográfica del conflicto armado con la deforestación y con la degradación del suelo hace que el Caquetá y el Cesar, respectivamente, sean casos notables para evaluar el nexo entre los sistemas de uso del suelo -utilizando los sistemas de producción de cacao como ejemplo- y la mitigación del cambio climático y la construcción de la paz.

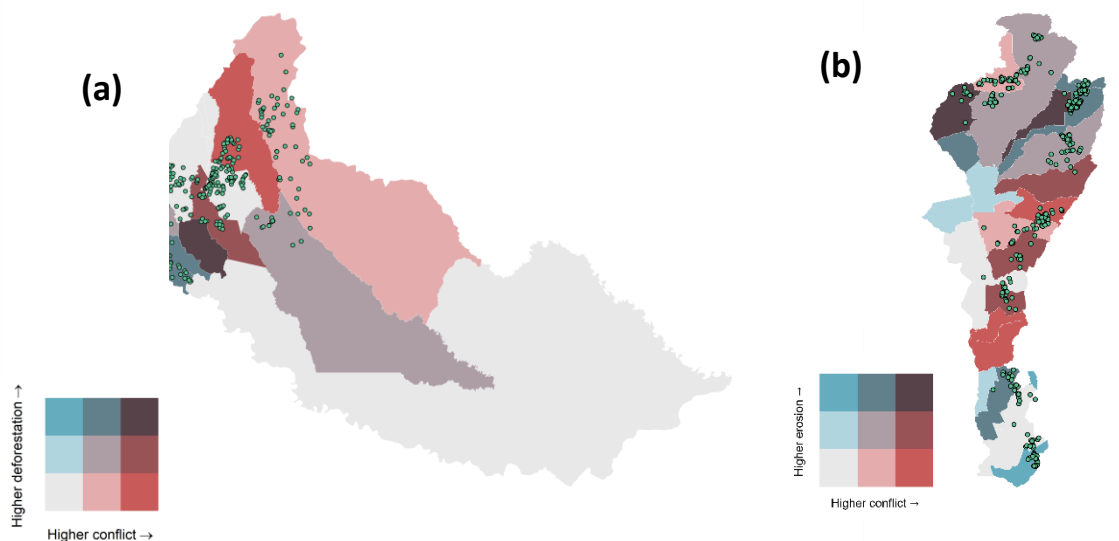


Figura 1: Zona de estudio. Departamento del Caquetá (a). Departamento del Cesar (b). (a) muestra el nexo entre el conflicto armado, que se basa en el índice de incidencia del conflicto armado entre 2019-2022 (DNP, 2021) y la deforestación, que se basa en la suma de la pérdida de cobertura arbórea de Hansen et al. (2013), V.1.6 entre 2001 y 2018. (b) muestra el nexo entre el índice de erosión del suelo (IDEAM, 2019) y la pérdida de cobertura arbórea. En este mapa, cada una de las dos variables x = incidencia de conflicto/erosión del suelo e y = pérdida de cobertura arbórea se divide en terciles, luego se extraen todas las combinaciones posibles entre las dos variables: T1 conflicto y T1 deforestación (bajo conflicto y baja deforestación), ..., T3 conflicto y T3 deforestación (alto conflicto y alta deforestación/degradación del suelo). Presentamos 9 combinaciones posibles y asignamos colores a los municipios según el valor de la combinación. Las áreas en escala roja reflejan los municipios más afectados por el conflicto armado. La escala azul refleja un mayor porcentaje de pérdida de cobertura arbórea o una alta degradación del suelo. Los colores marrones más oscuros representan las áreas donde hay una alta incidencia del conflicto y una alta pérdida de bosque o degradación del suelo. Los puntos verdes representan las fincas encuestadas.

3. Datos

Realizamos una encuesta a 922 hogares de pequeños productores de cacao en ambas regiones de estudio, de los cuales 495 agricultores en Cesar (54%) y 427 en Caquetá (46%) (Romero Sanchez et al., 2022). Cubrimos 13 de los 16 municipios del departamento del Caquetá y 18 de los 26 municipios del departamento del César. No encuestamos a los productores de cacao de tres municipios del Caquetá por problemas de orden público relacionado con la presencia de grupos armados y la inestabilidad política hicieron imposible el trabajo de campo. En el Cesar, excluimos los municipios donde el cultivo de cacao no es una actividad agrícola principal. Se utilizó una estrategia de muestreo aleatorio en el conjunto de 4.492 productores asociados a la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao) en ambos departamentos.

La encuesta captó información sobre las características de las explotaciones (como la superficie total, el porcentaje de superficie plantada con cacao, el rendimiento del cacao, las prácticas agrícolas y las actividades de postcosecha del cacao) y las características generales de los hogares,

como el tamaño, la edad, los ingresos, la seguridad alimentaria, el nivel educativo, la superficie de bosque primario, la asociatividad, el número total de cultivos y la percepción de la contribución de los sistemas agroforestales a la consolidación de la paz.

Los datos de la encuesta se recogieron utilizando dispositivos de Tablet a través del software CSPro 6.2 y 6.3 Android (US Census Bureau, 2020). Las entrevistas se realizaron cara a cara en español, sobre la base de un cuestionario de preguntas cerradas y duraron aproximadamente 60 minutos. Los datos se recogieron desde enero de 2021 hasta agosto de 2021. La participación fue voluntaria y los agricultores respondieron libremente y bajo consentimiento informado previo.

4. Antecedentes teóricos: Marcos de evaluación de sostenibilidad agrícola

Por el contrario, la literatura científica se centra en la gestión y protección del medio ambiente en el sector agrícola mientras se mantiene cierto grado de productividad y rentabilidad. Esta literatura vincula la agricultura sostenible con preocupaciones ambientales como la calidad del suelo, la gestión de nutrientes, la eco(agroecología) y los agroecosistemas, la agrobiodiversidad, la agrosilvicultura, la fertilización alternativa entre otros (Jancker et al., 2018). En este orden de ideas, existe una creciente literatura sobre herramientas de evaluación de la sostenibilidad en la agricultura. La siguiente tabla presenta una revisión de la literatura de los diferentes marcos existentes para medir la sostenibilidad en los sistemas agrícolas. En común, todos ellos tienen a las explotaciones agrícolas como unidad de análisis. A excepción de MESMIS y SCALA, todos los métodos arrojan una medida cuantitativa de la sostenibilidad. El único marco que vincula la producción agrícola con la acción climática y la construcción de la paz es SCALA y sus resultados se miden hacia la sostenibilidad de las explotaciones (Löhr et al., 2022; Schindler et al., 2015; Sieber et al., 2015, 2018).

Tabla1: antecedentes teóricos

	n	Dimensiones / pilares / componentes	Construcción de paz / Cohesión social	Mitigación del cambio climático
RISE ¹	El método de evaluación de la sostenibilidad inductora de respuestas se desarrolló en el Swiss College of Agriculture (SHL). El objetivo principal es proporcionar al agricultor un método de evaluación de la sostenibilidad orientado a la medición. La evaluación incluye aspectos productivos agrícolas, económicos, ambientales y sociales que dan cuenta de 12 indicadores de composición.	Energía, agua, suelo, biodiversidad, potencial de emisiones de N&P, protección vegetal, residuos, estabilidad económica, eficiencia económica, economía local, condiciones de trabajo, seguridad social	No	Si
SAFE ²	El marco de la Evaluación de la Sostenibilidad de la Agricultura y el Medio Ambiente (SAFE) es un enfoque holístico que refleja las funciones de los (agro) ecosistemas para evaluar la sostenibilidad en los sistemas agrícolas. Los límites del sistema del marco SAFE se definen en función del ciclo de vida del producto y tienen un componente espacial y temporal. Está bien estructurado en una estructura jerárquica de la actividad agrícola.	Pilar ambiental: aire, suelo, agua, energía, biodiversidad, pilar económico: viabilidad, función económica, pilar social: función de producción de seguridad y seguridad alimentaria, calidad de vida, aceptabilidad social, aceptabilidad cultural	Si	No
IDEA ³	El método IDEA (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles o Farm Sustainability Indicators) está diseñado como un marco de autoevaluación para los agricultores, proporciona contenido operativo para la evaluación de la sostenibilidad agrícola. Se basa en 41 indicadores de sostenibilidad que abarcan	Escala agroecológica: diversidad, organización del espacio, prácticas agrícolas; escala socioterritorial: Calidad de productos y tierras, empleo y servicios, ética y desarrollo humano;	Si	No

Tabla1: antecedentes teóricos

	n	Dimensiones / pilares / componentes	Construcción de paz / Cohesión social	Mitigación del cambio climático
	Dimensiones de la sostenibilidad: sostenibilidad agroecológica, sostenibilidad socio-territorial y escala de sostenibilidad económica.	escala económica: viabilidad económica, eficiencia		
MOTIFS ⁴	MOTIFS es una herramienta de seguimiento para la sostenibilidad agrícola integrada. MOTIFS se basa en la igualdad de las dimensiones de sostenibilidad económica, ecológica y social, y esta igualdad está intrínsecamente integrada en el sistema.	Ecológica, económica, social	No	No
SEAMLESS ⁵	Se diseñó un marco basado en componentes para la Unión Europea (SEAMLESS) para evaluar, ex ante, políticas y tecnologías agrícolas y agroambientales en una variedad de escalas, desde el campo-finca hasta la región y la Unión Europea, así como algunas interacciones globales	Ecológica, económica, social	No	No
MCDA ⁶	Es un enfoque metodológico para evaluar y comparar el nivel de sostenibilidad de los sistemas de producción de plantas agrícolas a escala regional combinando los tres pilares de la sostenibilidad del medio ambiente, la economía y la sociedad. Consiste en la combinación de 21 indicadores individuales expresados como un indicador único.	Ecológica, económica, social	No	No

Tabla1: antecedentes teóricos

	n	Dimensiones / pilares / componentes	Construcción de paz / Cohesión social	Mitigación del cambio climático
MESMIS ⁷	<p>Para evaluar la sostenibilidad de los sistemas de gestión de recursos naturales es un intento de traducir los principios generales de sostenibilidad en definiciones operativas. La estructura operativa del MESMIS se concibe como un ciclo que consta de seis pasos. Los tres primeros pasos consisten en la caracterización de los sistemas, la identificación de puntos críticos y la selección de indicadores ambientales, sociales y económicos específicos. Los otros tres pasos se refieren a la información obtenida a través de los indicadores que se integra mediante técnicas de análisis cualitativo.</p>	Productividad, estabilidad, adaptabilidad, equidad, autosuficiencia	Si	No
SAFA ⁸	<p>SAFA es un marco global holístico para la evaluación de la sostenibilidad a lo largo de las cadenas de valor de la agricultura y la alimentación. SAFA establece una referencia internacional para evaluar las compensaciones y sinergias entre las cuatro dimensiones de la sostenibilidad.</p> <p>El marco de los medios de vida rurales sostenibles comprende cinco dimensiones. La pregunta clave es qué combinación de recursos de medios de vida o estrategias de medios de vida permite lograr la</p>	Integridad ambiental, resiliencia económica, bienestar social, buen gobierno	Si	No
SRLF ⁹	<p>El marco de los medios de vida rurales sostenibles comprende cinco dimensiones. La pregunta clave es qué combinación de recursos de medios de vida o estrategias de medios de vida permite lograr la</p>	Capital natural, económico, humano, físico y social	Si	No

Tabla1: antecedentes teóricos

	n	Dimensiones / pilares / componentes	Construcción de paz / Cohesión social	Mitigación del cambio climático
Indicator-based tools ¹⁰	<p>lad en un contexto específico (política, historia, socioeconómico). Este marco propone un procedimiento analítico que comienza con la recopilación de datos de las fincas. Dependiendo de su naturaleza, estos datos son convertidos por indicadores en números adimensionales atribuidos a través de rangos graduados. Se aplican diferentes criterios para diferentes indicadores, según su naturaleza y el objetivo de sostenibilidad que necesitan evaluar.</p>	Ecológica, económica, social Económicos, agronómicos y ecológicos, que se dividen en un total de doce sub-dimensiones. Estos incluyen: fertilizantes, agua y manejo de agroquímicos; sistema de cultivo; entrada de energía; el valor de la producción; valor añadido; ingresos de los hogares agrícolas;	Si	No
SOSTARE ¹¹	<p>El modelo SOSTARE (análisis de la eficiencia técnica de la finca y los impactos en la sostenibilidad ambiental y económica), tiene como objetivo principal proporcionar una herramienta de diagnóstico a los agricultores y servicios de asesoría para evaluar el desempeño general de la finca, explorar en detalle cualquier debilidad percibida en la gestión de la finca. e investigar el impacto de los cambios que podrían mejorar la eficiencia. El resultado es un indicador sintético para cada uno de los tres aspectos analizados de sostenibilidad.</p>	Independencia de la PAC; diversificación del negocio agrícola; el valor natural de la finca y el patrón funcional del paisaje	No	No

Tabla1: antecedentes teóricos

	n	Dimensiones / pilares / componentes	Construcción de paz / Cohesión social	Mitigación del cambio climático
4Agro ¹²	se basa en la estructura típica de los marcos basados en indicadores: es una compilación de los otros 5 marcos de sostenibilidad diferentes, en los que se selecciona un conjunto de indicadores agrícolas y se crea un índice compuesto. El procedimiento de ponderación de indicadores se deriva de una evaluación subjetiva según la relevancia atribuida por la literatura (cuando esté disponible) y las características del estudio de caso y sus objetivos.	Ambiental, social, económico, gobernanza	Si	No

Fuente: Autores

5. Marco teórico para evaluar las contribuciones de los sistemas de producción de cacao a la producción agrícola, la acción climática y la consolidación de la paz

En los territorios tropicales afectados por el cambio climático y el conflicto, se están llevando a cabo diversas intervenciones agrícolas a nivel de finca para reducir la deforestación con el fin de mitigar el cambio climático, aumentar la producción agrícola y contribuir a la construcción de la paz (Castro-Nunez, 2018). Hasta donde sabemos, las contribuciones de los diferentes sistemas de producción agrícola se evalúan utilizando métodos cualitativos, pero, hasta ahora, no cuantitativos. Para facilitar la evaluación cuantitativa en el futuro, desarrollamos un marco integrado para analizar las contribuciones de los sistemas de producción agrícola a la acción climática y la construcción de la paz (ver Figura 2). El marco permite cuantificar las contribuciones mediante un conjunto de puntos críticos (9) y un conjunto de indicadores (27). Los puntos críticos muestran lo que queremos medir dentro de cada dimensión de sostenibilidad. Los indicadores permiten medir los puntos críticos. Estos indicadores corresponden a información que puede obtenerse de las encuestas de hogares o de las bases de datos existentes. Los indicadores nos permiten operacionalizar el marco y comparar los resultados para y entre diferentes sistemas de producción agrícola.

Para evaluar la contribución de los sistemas de producción agrícola, propusimos dos puntos críticos para la producción agrícola: la productividad y la producción rentable. La productividad puede medirse por el rendimiento de los cultivos, mientras que la producción rentable puede medirse por la diversificación de los cultivos, de los ingresos y la demanda de mano de obra en la explotación (López-Ridaura et al., 2002). La acción climática comprende dos puntos críticos. El primero son las emisiones de carbono, que pueden medirse a través de los cambios en las reservas de carbono y el secuestro de carbono (Romero Sánchez et al., 2022). El segundo es la gestión de los recursos naturales, que puede medirse mediante el agua, los bosques, la biodiversidad, la diversidad, el suelo y las prácticas de conservación (Castro-Nunez et al., 2016). En el caso de la construcción de la paz, los puntos críticos son la seguridad alimentaria, la inclusión socioeconómica, la cooperación, la gobernanza de los recursos naturales y la confianza, y el capital social (Löhr et al., 2021, 2022; Morales-Muñoz et al., 2021). Éstos pueden medirse a través de las percepciones de seguridad alimentaria, el acceso al crédito, los mercados y la educación, las percepciones sobre la creación de espacios de diálogo y cooperación, las percepciones sobre la reducción del conflicto por el uso de los recursos naturales, la pertenencia a asociaciones y si los actores han sido reconocidos oficialmente como víctimas del conflicto.

Marco para evaluar las contribuciones a la acción climática basada en la tierra y la consolidación de la paz de las intervenciones en la agricultura sostenible en las zonas afectadas por el conflicto

Contribuciones de los sistemas de uso sostenible de la tierra	Critical points	Indicators
Producción agrícola	Productividad Rentabilidad	Rendimientos Ingreso neto de la finca, mano de obra, número de cultivos, número de fuentes de ingreso
Acción climática	Emisiones de carbono Manejo de los recursos naturales	Secuestro y stock de carbono Agua: oferta y calidad Bosque y ecosistemas naturales: área y tipo Biodiversidad: número de especies, diversidad de hábitats, Diversidad del paisaje Suelo: Calidad, fertilidad Conservación: Reforestación, deforestación
Construcción de paz	Seguridad alimentaria Inclusión socioeconómica Cooperación Gobernanza de los recursos naturales Capital Social	Provisión adecuada de alimentos Acceso a créditos, a mercados y educación Cooperación, espacios para el diálogo Conflicto sobre el uso de recursos naturales Asociaciones, relaciones comunitarias, víctimas del conflict armado

Figura 2: Marco para evaluar las contribuciones a la acción climática basada en la tierra y la consolidación de la paz de las intervenciones en la agricultura sostenible en las zonas afectadas por el conflicto

Fuente: Autores

Evaluamos los indicadores del marco y comparamos su rendimiento entre diferentes tipologías de sistemas de producción de cacao. En primer lugar, utilizamos el marco para seleccionar las variables de la encuesta de hogares que estaban relacionadas con las dimensiones relevantes: producción agrícola, acción climática y construcción de la paz. A continuación, comparamos los valores estandarizados entre las tipologías y discutimos sus contribuciones.

- **Producción agrícola:** Utilizamos el rendimiento del cacao como indicador de la productividad agrícola. Para representar el ingreso agrícola, utilizamos el ingreso anual per cápita y las fuentes de ingresos. Como representación de la competitividad, utilizamos la mano de obra contratada, y el número de cultivos como proxy de la diversificación de productos.
- **Acción climática:** Comprende el potencial de secuestro de carbono, que está representado por el número de árboles maderables y no maderables. La gestión de los recursos naturales

está representada por la diversidad paisajística y arbórea, la conservación del bosque primario y la percepción de la calidad del suelo.

- **Construcción de la paz:** Utilizamos "meses sin suministro de alimentos adecuados en el hogar" (Bilinsky & Swindale, 2010) para representar la seguridad alimentaria. La inclusión socioeconómica se caracteriza por el acceso al crédito, la distancia a los mercados (número de horas de viaje) y el nivel educativo del jefe del hogar. En cuanto a la cooperación, se eligieron tres variables: espacios de diálogo, reducción de los conflictos por los recursos naturales y cooperación con otros miembros de la comunidad. La gobernanza de los recursos naturales está representada por el conflicto sobre el uso del agua y los bosques. El capital social está incluido y representado por la pertenencia a una organización. Finalmente, como elemento diferenciador de este estudio, se incluyó la variable víctima del conflicto armado. Esta variable se construyó identificando a los productores encuestados en las bases de datos oficiales de la Unidad de Víctimas del gobierno colombiano.

6. Metodología

Primero, definimos el arquetipo de sostenibilidad como las prácticas agrícolas que contribuyen a la mitigación del cambio climático a través de la implementación de sistemas agroforestales y de fertilización orgánica, que deben ir acompañados de un procesamiento postcosecha, donde se garantice la calidad del grano y el acceso a los mercados y el riego como práctica sostenible para asegurar el uso adecuado de los recursos hídricos y que no se generen conflictos sociales (Figura 3).



Figura 3: Prácticas sostenibles que componen un sistema de uso sostenible del suelo (SLUS)



Figura 4: Prácticas SLUS. (a) Secado en marquesina, (b) Biofábrica, (c) Cajón fermentador

Fotos: Lisset Pérez- Marulanda, Eliza Villarino

Creamos tipologías de fincas clasificando la muestra de productores en base a un conjunto variables que representan las características socioeconómicas y las prácticas agrícolas de los sistemas de producción (Figura 5). En primer lugar, se utilizó la dependencia financiera de los ingresos procedentes de la producción de cacao para caracterizar la producción de cacao como actividad económica principal. Para caracterizar los sistemas de producción de cacao, se utilizó el área de producción de cacao a pleno sol en Cesar y de cacao agroforestal a la sombra para Cesar y Caquetá, así como el número de árboles maderables y no maderables plantados en el sistema agroforestal. Para caracterizar las prácticas agrícolas, incluimos el uso de fertilizantes químicos y orgánicos, el uso de pesticidas y el riego. Por último, incorporamos las prácticas de postcosecha, como la fermentación y el secado, que afectan a la calidad y el sabor del cacao (Wattnem et al., 2022), así como la forma en que se vende el cacao. En el caso de los sistemas de riego, esta variable se utilizó sólo para el Cesar porque la disponibilidad de agua constituye la principal limitación en el departamento y una fuente potencial de conflicto. Se incluyó el riego con agua tomada de los ríos, lo cual asumimos que tiene un efecto negativo en la construcción de la paz y la mitigación del cambio climático, ya que genera competencia y por lo tanto conflicto por el uso de este recurso natural. También incluimos los embalses de agua de lluvia, que suponemos que indican una gestión más sostenible de los recursos naturales y evitan el conflicto social por el uso del agua (Figura 6).

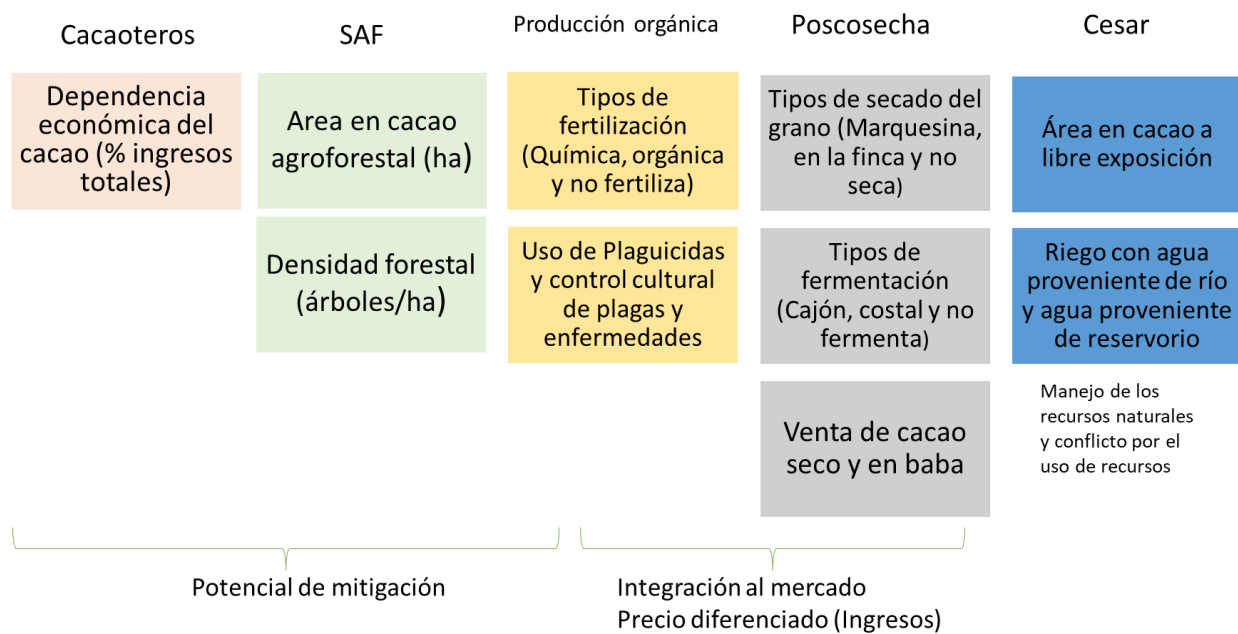


Figura 5: Variables utilizadas para crear tipologías de los sistemas productivos



Figura 6: Sistema de riego por embalses de agua lluvia en el Cesar

Foto: Silvia Vanegas

Una vez seleccionado el conjunto de variables para definir las tipologías, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para resumir las relaciones entre las variables y encontrar similitudes entre las explotaciones. A continuación, utilizando los componentes principales que recogen la mayor cantidad de varianza explicada, realizamos una agrupación jerárquica de componentes principales (HCPC) para producir las tipologías finales. El procedimiento realiza una agrupación jerárquica mediante el método de Ward (Lê et al., 2008) y divide los datos maximizando la suma de la inercia dentro del clúster como función objetivo. Los grupos obtenidos pueden describirse en términos de las variables originales identificando los factores más distintivos.

Mostramos los resultados obtenidos del HCPC utilizando Biplots. Los Biplots exponen la estructura de correlación entre los patrones de agrupación de las variables y las observaciones. Se componen de flechas y puntos. Cuanto mayor sea la varianza, más larga será la línea de la flecha y más influencia tendrá la variable en el componente principal. Los puntos representan las observaciones, que, en nuestro caso, son las explotaciones agrícolas. La distancia entre dos puntos denota la distancia euclidiana entre dos observaciones en el espacio multivariante. Los ángulos entre los vectores de diversas variables demuestran su asociación: los ángulos pequeños indican una alta correlación positiva; las líneas perpendiculares indican que no hay correlación; y los ángulos opuestos indican una correlación negativa significativa (Lê et al., 2008).

Utilizamos el software estadístico R para realizar el análisis estadístico a través de los siguientes paquetes: FactoMineR (Lê et al., 2008) para PCA y HCPC; factoextra (Kassambara & Mundt, 2020) para PCA; corrplot (Wei et al., 2021) para la visualización; y tidyverse (Wickham et al., 2019) para el manejo de datos.

7. Tipologías de sistemas de producción de cacao en Caquetá y Cesar

Obtuvimos tres tipologías bien diferenciadas de sistemas de producción de cacao en Caquetá (Figura 7) y cuatro en Cesar (Figura 8), que describimos a continuación según sus principales características.

7.1 Tipologías de sistemas de producción de cacao en Caquetá

Tipología 1, (Figura 7, en azul), "Productores agroforestales menores de cacao " (menores): Esta tipología está compuesta por 70 fincas que tienen alrededor de 1,8 hectáreas de cacao agroforestal, venden el cacao en grano como pulpa (69%) y no realizan prácticas de postcosecha, como el secado y la fermentación del grano de cacao (93%). Sólo el 9% de los productores aplica plaguicidas y el 60% realiza un control manual de plagas y enfermedades. Una característica fundamental de esta tipología es la baja dependencia financiera del cultivo del cacao (31%), lo que refleja que la producción de cacao no es su principal actividad económica.

Tipología 2 (Figura 7, en amarillo), "Mayores productores agroforestales de cacao con prácticas de postcosecha rudimentarias" (mayores-rudimentarias): Esta tipología comprende 224 fincas, cada una de las cuales tiene en promedio 2,1 hectáreas de cacao agroforestal. Su dependencia financiera de la producción de cacao se acerca al 69%. Los agricultores venden cacao seco (97%) y aplican principalmente fertilizantes químicos (56%) y orgánicos (29%). Sólo el 4% aplica plaguicidas, mientras que el 83% practica el control manual de las plagas. Las prácticas de postcosecha utilizadas en la fermentación y el secado son rudimentarias, en particular el secado al sol a cielo abierto (95%) y la fermentación en sacos (38%).

Tipología 3 (Figura 7, en gris), "Grandes productores agroforestales de cacao con prácticas de postcosecha mecanizadas" (Grandes-mecanizadas): La tipología 3 está compuesta por 133 fincas, cada una de ellas con 2,5 hectáreas de cacao agroforestal. Su dependencia financiera del cacao es superior al 70%, y el 99% de los agricultores venden cacao seco. Alrededor del 49% de los agricultores de este grupo aplica fertilizantes químicos, mientras que el 40% aplica fertilizantes orgánicos. Sólo el 2% aplica plaguicidas, frente al 99% que practica el control manual de las plagas. Este grupo aplica principalmente técnicas de secado y fermentación postcosecha, como el secado en marquesina (99%) y la fermentación en cajones de madera (79%).

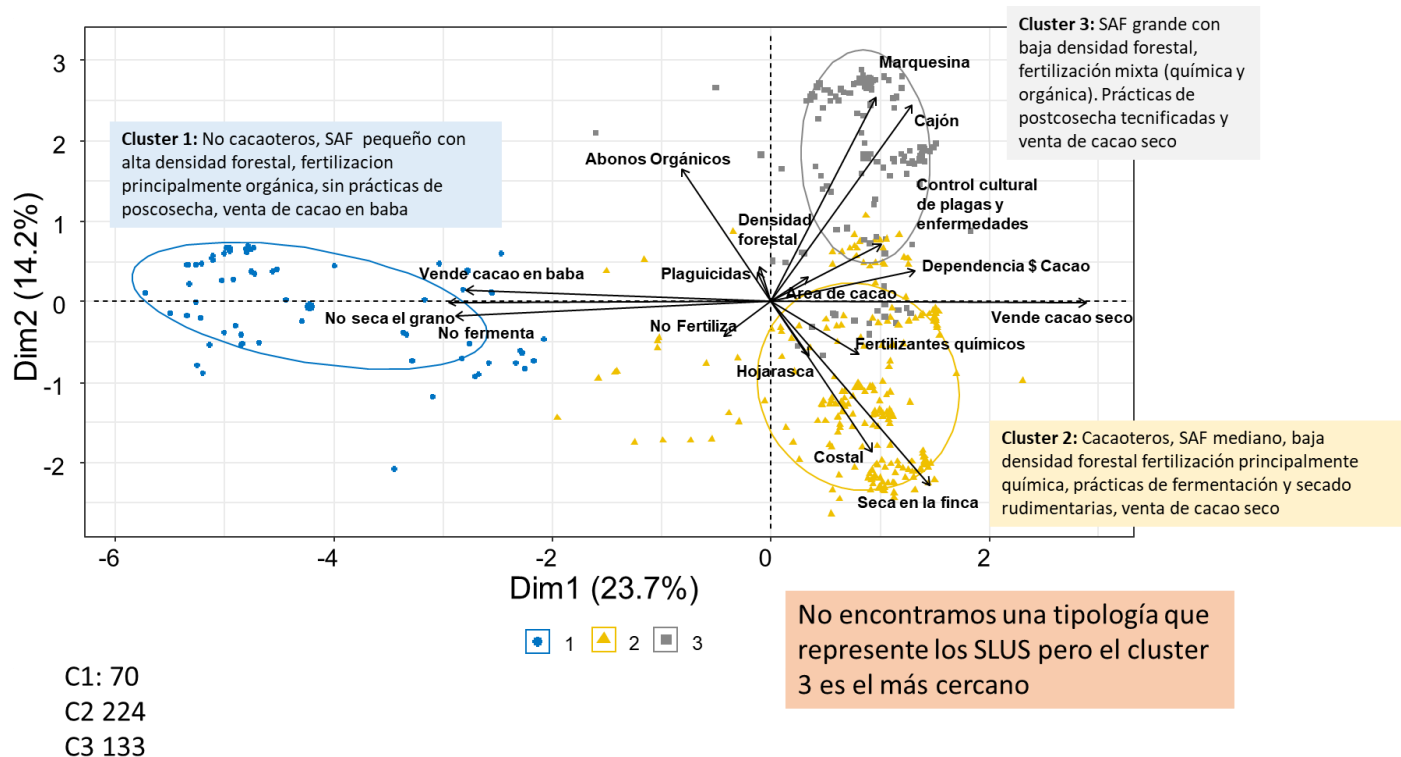


Figura 7: Tipologías de sistemas de producción en Caquetá

7.2 Tipologías de sistemas de producción de cacao en el Cesar

Tipología 1 (Figura 8, en azul), "Productores de cacao en monocultivo" (Monocultivo): Está representada por 52 productores con sistemas de cacao a pleno sol (2,11 hectáreas en promedio), que presentan una densidad de árboles muy baja (menos de cuatro árboles por hectárea). La dependencia financiera del cacao se acerca al 47%. Este grupo vende los granos de cacao como pulpa, no utiliza fertilizantes (92%) y tiene un pobre control manual de plagas y enfermedades (10%); nadie aplica pesticidas. Este grupo carece significativamente de riego (1% de depósitos de agua de lluvia y 3% de ríos).

Tipología 2 (Figura 8, en amarillo), "Productores agroforestales menores de cacao " (menores): Se compone de 88 fincas con aproximadamente tres hectáreas sembradas de cacao agroforestal, con una dependencia financiera de la producción de cacao del 30%; el 57% del cacao se vende como pulpa, el resto como grano. Entre estos productores, el 66% aplica abono químico, el 24% aplica abono orgánico y el 16% no utiliza abono. Alrededor del 19% utiliza plaguicidas, el 63% practica el control manual de plagas y enfermedades, mientras que el 18% restante no realiza ninguna forma de gestión de plagas y enfermedades. En cuanto a las prácticas poscosecha, una gran proporción de los agricultores no realiza ni el secado poscosecha (63%) ni la fermentación (81%). En este grupo, 35 productores (el 40% del grupo) riegan con agua procedente de ríos y el 7% con agua de lluvia.

Tipología 3 (Figura 8, en gris), "Grandes productores agroforestales de cacao con fertilización orgánica" (Grandes-orgánicos). Este grupo está compuesto por 149 explotaciones, cada una de ellas con unas dos hectáreas de cacao agroforestal. Tienen una alta dependencia financiera del cultivo del cacao (71%) y venden principalmente cacao seco (97%). Ninguno de los agricultores de este grupo utiliza fertilizantes químicos; el 44% utiliza fertilizantes orgánicos, el 19% deja las hojas secas (hojarasca), mientras que el 38% no aplica ningún tipo de fertilizante. Alrededor del 10% aplica plaguicidas, el 58% practica el control manual de plagas y enfermedades, mientras que el resto no practica ningún control de plagas y enfermedades. En cuanto a las prácticas de postcosecha, el secado al sol (83%) y la fermentación en sacos (64%) son formas habituales de secar y fermentar los granos de cacao. En este grupo, sólo el 4% riega con depósitos de agua de lluvia y el 26% lo hace con agua de los ríos.

Tipología 4 (Figura 8, en rojo), "Productores agroforestales de cacao con fertilización inorgánica" (Mayor-inorgánico). Este grupo se compone de 206 fincas, cada una de las cuales cuenta con unas tres hectáreas plantadas de cacao agroforestal en promedio. La dependencia financiera del cacao es de alrededor del 72% y los agricultores venden principalmente cacao seco (98%). Todos los productores (100%) utilizan fertilizantes químicos, mientras que, entre ellos, el 10% utiliza también fertilizantes orgánicos. El 69% de los productores lleva a cabo un control manual de las plagas y el 10% aplica plaguicidas. Las prácticas de postcosecha se caracterizan sobre todo por el secado al sol (78%) y la fermentación en cajones de madera (57%). El 38% del agua utilizada para el riego procede de los ríos y el 10% de los depósitos de agua de lluvia.

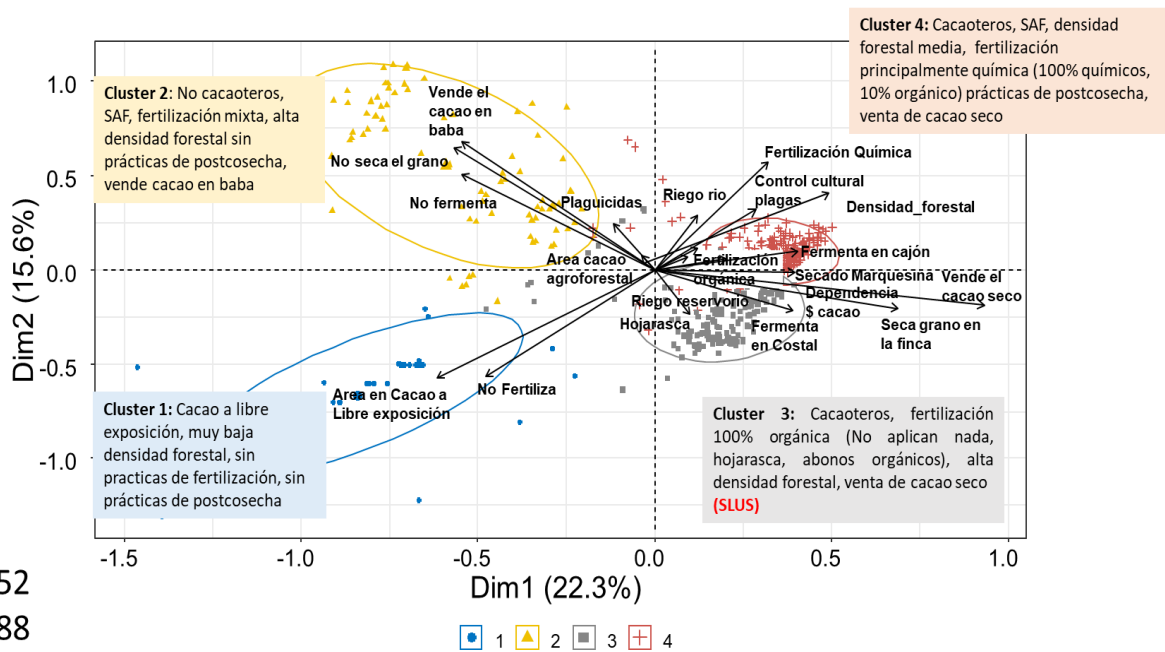


Figura 8: Tipologías de sistemas de producción en el Cesar

7.3 Diferencias en las contribuciones entre los departamentos de Caquetá y Cesar

De acuerdo con nuestros resultados, la principal diferencia entre los dos departamentos de Caquetá y Cesar es la caracterización de los sistemas de producción. En Caquetá, todas las tipologías se relacionan con sistemas agroforestales y se diferencian por las prácticas de postcosecha, ya sean tecnológicas o rudimentarias. En el Cesar, hay sistemas de monocultivo y los principales sistemas agroforestales se diferencian por su forma de uso de fertilizantes orgánicos o inorgánicos. Comparando ambos departamentos, encontramos que en cuanto a la dimensión de producción agrícola, Cesar tiene un mejor desempeño que Caquetá, posiblemente porque la caracterización separa los sistemas que utilizan alguna forma de fertilización que tiene un mayor efecto en los rendimientos promedio. En general, los sistemas que utilizan fertilización química u orgánica muestran mayores rendimientos de los cultivos, mayores ingresos y más fuentes de ingreso.

En el Cesar, los sistemas agroforestales se diferencian de los sistemas de monocultivo, que utilizan poca o ninguna cobertura forestal. En cuanto a la calidad del suelo, cabe destacar que, en Caquetá, la percepción de los agricultores sobre la calidad del suelo es moderada. Mientras que en el Cesar -un departamento conocido por sus altos niveles de erosión y degradación del suelo- los operadores de sistemas agroforestales muestran una percepción mayoritariamente positiva de la calidad del suelo (alta calidad). Esto podría estar relacionado con el potencial de restauración del suelo de los sistemas agroforestales reportado en la literatura (Villarino et al., 2021). El Cesar también tiene problemas relacionados con el acceso al agua. Para satisfacer los requerimientos hídricos de los cultivos, en general, el sistema de riego más utilizado es el fluvial, y el riego con agua de embalse es incipiente en todas las tipologías.

En cuanto a la construcción de la paz, en Caquetá se observa una mejora en el desempeño de los indicadores seleccionados según las tipologías, con un menor desempeño en construcción de la paz en la tipología 1 (Cacaoteros menores) frente a uno mayor en las tipologías 2 (Mayor-rudimentario) y posteriormente 3 (Mayor-técnico). Entre las tipologías, las mayores diferencias son las conseguidas por los sistemas "Mayor-rudimentario" y "Mayor-técnico" en cuanto a la reducción de los conflictos por el uso de los recursos naturales, así como en la creación de espacios de diálogo y cooperación. La tipología Mayor-técnica está más conectada con las organizaciones y los mercados. Estos resultados reflejan la literatura, que establece que los sistemas agroforestales ayudan a fortalecer las relaciones institucionales y sociales (Morales-Muñoz et al., 2021; Rodríguez et al., 2022) que a su vez generan incentivos para escalar los sistemas (Rodríguez et al., 2022).

La seguridad alimentaria es un problema generalizado en todos los sitios. En ambos departamentos de Caquetá y Cesar, las tipologías 'Mayor-rudimentaria' y 'Mayor-técnica', y 'Mayor-orgánica' y 'Mayor-inorgánica' reportaron problemas de acceso a los alimentos. En ambos departamentos, los sistemas 'Mayor-técnico' y 'Mayor-orgánico' fueron también los que lograron un mayor impacto en la reducción de los conflictos por el uso de los recursos naturales.

En el Cesar, las tipologías 'Mayor orgánico' y 'Mayor inorgánico' tienen una menor dependencia de los recursos crediticios. Estas tipologías también muestran menos conflictos por el uso de los recursos naturales. Este departamento también refleja otro tipo de dinámicas sociales y políticas. La tipología 2 (Cacaoteros menores) muestra una gran proporción de jefes de familia víctimas de conflictos y que también tienen mayores conexiones con asociaciones y acceso al crédito. La creación de espacios de diálogo y cooperación está directamente relacionada con los "sistemas mayoritarios-inorgánicos", que presentan mayores ingresos y rendimientos que las otras tipologías en el Cesar.

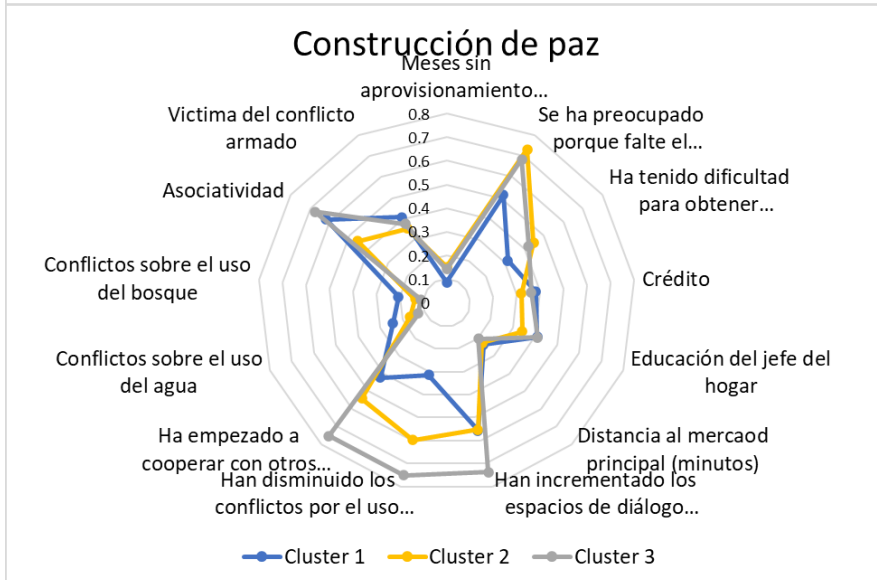
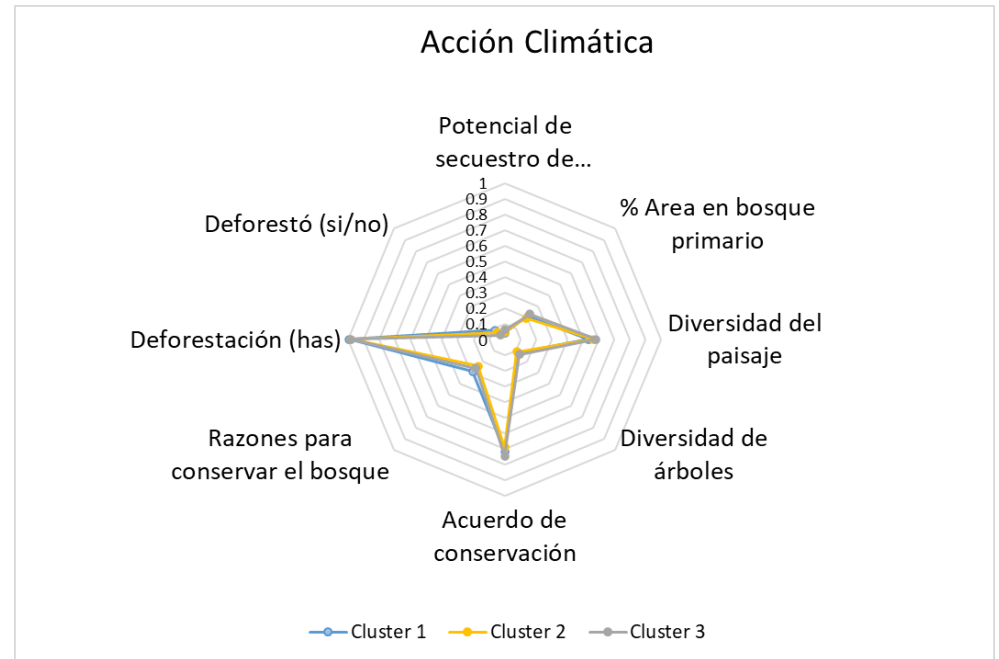
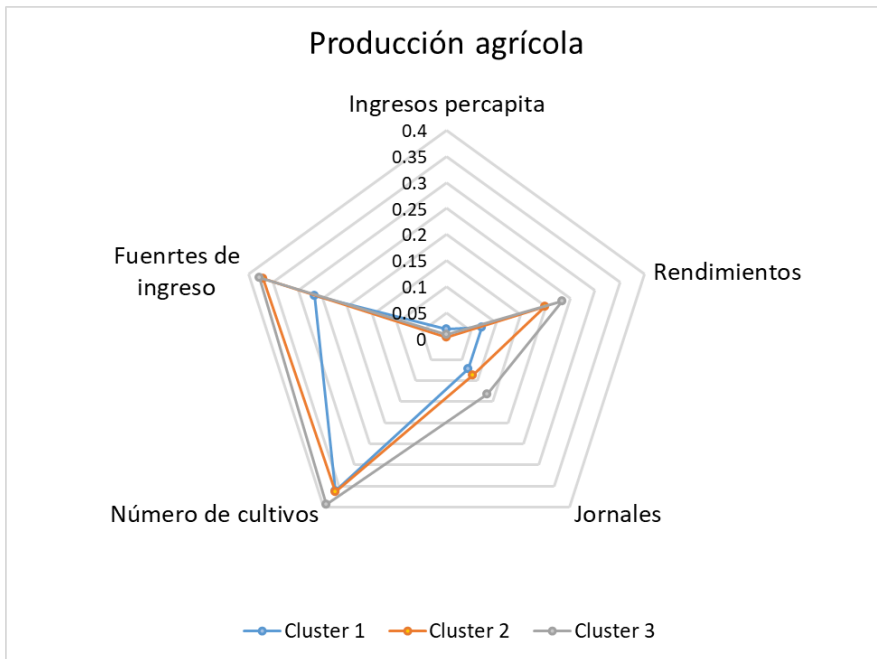


Figura 9: Contribuciones a la producción agrícola, la construcción de paz y la acción climática de los sistemas de cacao en Caquetá

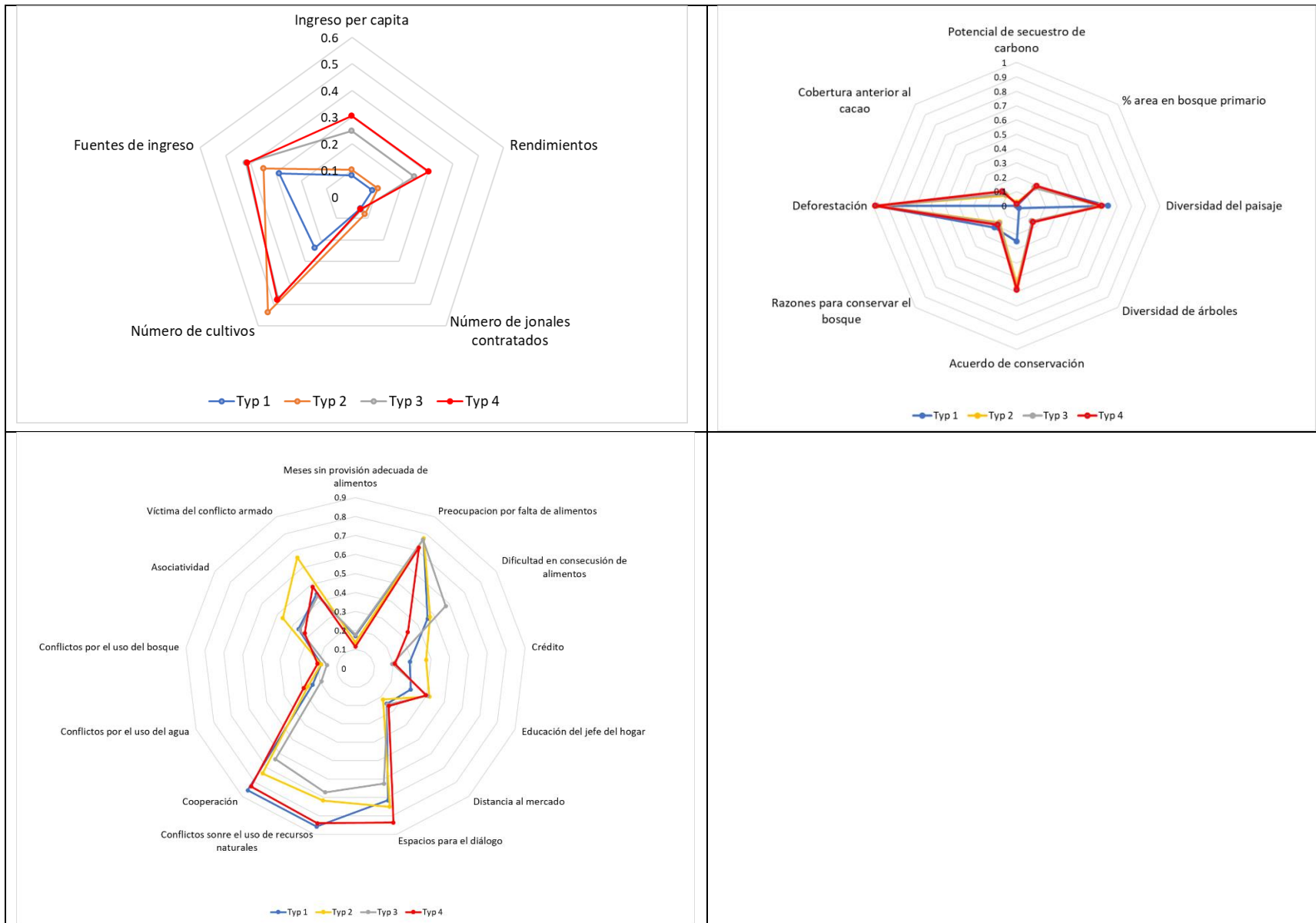


Figura 10: Contribuciones a la producción agrícola, la construcción de paz y la acción climática de los sistemas de cacao en Cesar

7.4 Implicaciones para las prácticas y políticas agrícolas

Basándonos en nuestros resultados, sugerimos que los resultados en la producción agrícola, la acción de mitigación climática basada en la tierra y la construcción de la paz pueden mejorarse mediante la implementación de un sistema productivo que:

i) Se genere a partir de un sistema agroforestal, por lo que tiene el potencial de capturar carbono dentro del suelo y de restaurar las tierras degradadas. (Montagnini & Nair, 2004) sostienen que existe un beneficio medioambiental infraexplotado de los sistemas agroforestales por su potencial de captura de carbono en múltiples especies vegetales. La agrosilvicultura tiene la capacidad de retener cantidades mucho mayores de carbono en la biomasa por encima y por debajo del suelo que los sistemas convencionales de cultivo y pastoreo (Abbas et al., 2017). A pesar de estos beneficios, si se practica la invasión, aumentará la presión forestal y no se lograrán los efectos de mitigación (Brobby et al., 2020; Romero Sánchez et al., 2022).

ii) Incentivar la producción ecológica para aumentar los rendimientos y reducir las emisiones de GEI. Los datos recogidos en las zonas de estudio muestran los beneficios de los sistemas de producción sostenible de cacao, tanto en términos de mejora de la calidad del suelo como de reducción de las emisiones de GEI por unidad producida (Romero Sánchez et al., 2022). Sin embargo, los estudios que han explorado el efecto de la producción orgánica en la mitigación del clima han encontrado resultados mixtos, incluyendo una correlación positiva con las emisiones de GEI y el uso de fertilizantes orgánicos (Kitamura et al., 2021).

iii) Incentivar el riego desde los depósitos de agua de lluvia, cuando sea necesario, lo que puede tener un efecto positivo en el rendimiento de los cultivos a través de un uso responsable del agua. El uso del agua es un aspecto de vital importancia para los cultivos de cacao en el departamento del Cesar, y se han identificado limitaciones relacionadas con el acceso, la disponibilidad y el uso eficiente del recurso hídrico. El acceso y la disponibilidad de agua son particularmente difíciles para los agricultores ubicados en la zona centro-norte, núcleo de la producción cacaotera del departamento, donde la mayoría de las extracciones de agua se realizan de manera ilegal a través de conexiones no autorizadas a manantiales u otras fuentes superficiales, modificando y desviando en ocasiones los cauces (Hurtado et al., 2022). Una sugerencia para dotar de agua al cultivo del cacao sin generar conflictos sociales sería la instalación de sistemas de riego como depósitos de agua de lluvia en las fincas (Romero Sánchez et al., 2022).

iv) Desarrollar la infraestructura requerida para las actividades de postcosecha, garantiza una mayor conectividad con las asociaciones, la integración a los mercados y el acceso a precios diferenciados para la producción orgánica, lo cual debe estar respaldado por certificaciones. La necesidad de mejorar la infraestructura de postcosecha ya ha sido identificada por el gobierno, que reconoce que el 95% de la base social productiva del subsector cacaotero se caracteriza por ser de pequeños productores. También existe heterogeneidad en la implementación de las prácticas de postcosecha del cacao en grano. La infraestructura para la fermentación y el secado es deficiente, al igual que la capacitación de los productores para aprovechar el alto potencial del grano de cacao colombiano, valorado en todo el mundo por su particular sabor y aroma (Ministerio de Agricultura

y Desarrollo Rural, 2020). Además, para promover la adopción de los principales sistemas agroforestales de cacao orgánico a largo plazo, es necesario garantizar los incentivos de mercado (Ruzzante & Bilton, 2018) por ejemplo, a través de mercados premium, esquemas de certificación y estabilidad de precios.

8. Conclusiones

Los resultados de nuestro estudio muestran que los sistemas agroforestales que utilizan prácticas de fertilización orgánica, junto con las prácticas postcosecha prescritas y el riego, afectan significativamente a la producción agrícola en términos de aumento de los rendimientos y los ingresos. Los sistemas agroforestales también favorecen la consolidación de la paz al reducir los conflictos por el uso de los recursos naturales y crear espacios de cooperación y diálogo cuando se refuerzan las prácticas postcosecha y los vínculos con el mercado. Según nuestra investigación, el cacao es un cultivo que contribuye a la paz, lo que es congruente con las políticas gubernamentales apoyadas en Colombia.

Las acciones para reducir las emisiones de GEI, como las prácticas de uso sostenible de la tierra, tienen un importante potencial para mejorar la construcción de la paz, según la evaluación del AR6 del IPCC (Pörtner et al., 2022). Para evaluar cuantitativamente cómo las prácticas de uso sostenible de la tierra pueden afectar a la consolidación de la paz y a la acción climática -utilizando el ejemplo de los sistemas de producción sostenible de cacao en Colombia- desarrollamos un marco integrado para cuantificar las contribuciones de la producción agrícola a estos procesos. Este marco permite medir las contribuciones de la agricultura sostenible a la acción climática y a la construcción de la paz y realizar comparaciones entre diferentes áreas de estudio o sistemas de producción. Además, puede reproducirse en zonas de estudio que están saliendo de un conflicto y son propensas a la deforestación.

Según nuestros resultados, los sistemas de producción sostenible de cacao tienen un efecto positivo sobre la producción agrícola y la consolidación de la paz si el sistema procede de la agrosilvicultura y con el refuerzo de prácticas agrícolas sostenibles, como la fertilización orgánica, la promoción de buenas prácticas postcosecha. Sin embargo, los efectos sobre las contribuciones de los sistemas de producción sostenible de cacao a la mitigación del cambio climático no fueron evidentes. Esto podría deberse a que la mayor parte de la producción de cacao se realiza en sistemas agroforestales. Además, es posible que los productores de cacao practiquen la invasión; en este caso, el sistema no reduce las emisiones sino que aumenta la presión sobre el bosque. Son necesarios futuros estudios para cuantificar las emisiones de GEI de los sistemas de producción sostenible de cacao, para determinar si los productores invaden los bosques para aplicar el sistema y para evitar la fragmentación de los bosques primarios y la pérdida de áreas de conservación como efectos adversos de las políticas públicas.

Referencias

- Abbas, F., Hammad, H. M., Fahad, S., Cerdà, A., Rizwan, M., Farhad, W., Ehsan, S., & Bakhat, H. F. (2017). Agroforestry: A sustainable environmental practice for carbon sequestration under the climate change scenarios—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(12), 11177–11191. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8687-0>
- Bilinsky, P., & Swindale, A. (2010). *Months of Adequate Household Food Provisioning (MAHFP) for Measurement of Household Food Access: Indicator Guide (Version 4)*. 11.
- Brobbe, L. K., Agyei, F. K., & Osei-Tutu, P. (2020). Drivers of Cocoa Encroachment into Protected Forests: The Case of Three Forest Reserves in Ghana. *International Forestry Review*, 22(4), 425–437. <https://doi.org/10.1505/146554820831255533>
- Castro-Nunez, A. (2018). Responding to Climate Change in Tropical Countries Emerging from Armed Conflicts: Harnessing Climate Finance, Peacebuilding, and Sustainable Food. *Forests*, 9(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/f9100621>
- Castro-Nunez, A., Mertz, O., & Quintero, M. (2016). Propensity of farmers to conserve forest within REDD+ projects in areas affected by armed-conflict. *Forest Policy and Economics*, 66, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.02.005>
- Ganzenmüller, R., Sylvester, J., & Castro-Nunez, A. (2022). What Peace Means for Deforestation: An Analysis of Local Deforestation Dynamics in Times of Conflict and Peace in Colombia. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.803368>
- Hansen, M. C., Potapov, V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, V., Goetz, T., Loveland, A., Kommareddy, A., Egorov, L., Chini, C., Justice, O., & Townshend, R. (2013). *High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change*. *Science* 342 (15 November): 850–53. <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>
- Hurtado, J. J., Bravo, A., Diaz, L., & Castro-Nunez, A. (2022). *Reporte sobre análisis de cuellos de botella y limitantes al desarrollo sostenible de la cadena de cacao en el departamento de Cesar, con enfoque en la adopción de prácticas de producción sostenibles*. Alliance Bioversity-CIAT.
- IDEAM. (2019). *Boletín de Detección Temprana de Deforestación (Cuarto trimestre de 2019)* (p. 2). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). <http://smbyc.ideam.gov.co/MonitoreoBC-WEB/pub/alertasDeforestacion.jsp?0.5834114422521522>

- Janker, J., Mann, S., & Rist, S. (2018). What is Sustainable Agriculture? Critical Analysis of the International Political Discourse. *Sustainability*, *10*(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/su10124707>
- Kassambara, A., & Mundt, F. (2020). *factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses* (1.0.7). <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Kitamura, R., Sugiyama, C., Yasuda, K., Nagatake, A., Yuan, Y., Du, J., Yamaki, N., Taira, K., Kawai, M., & Hatano, R. (2021). Effects of Three Types of Organic Fertilizers on Greenhouse Gas Emissions in a Grassland on Andosol in Southern Hokkaido, Japan. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *5*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.649613>
- Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, *25*, 1–18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Löhr, K., Aruqaj, B., Baumert, D., Bonatti, M., Brüntrup, M., Bunn, C., Castro-Nunez, A., Chavez-Miguel, G., Del Rio, M. L., Hachmann, S., Morales Muñoz, H. C., Ollendorf, F., Rodriguez, T., Rudloff, B., Schorling, J., Schuffenhauer, A., Schulte, I., Sieber, S., Tadesse, S., ... Weinhardt, M. (2021). Social Cohesion as the Missing Link between Natural Resource Management and Peacebuilding: Lessons from Cocoa Production in Côte d’Ivoire and Colombia. *Sustainability*, *13*(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/su132313002>
- Löhr, K., Morales-Muñoz, H., Rodriguez, T., Lozano, C., Del Rio, M., Hachmann, S., Bonatti, M., Pazmino, J., Castro-Nuñez, A., & Sieber, S. (2022). Integrating the concept of peacebuilding in sustainability impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, *95*, 106803. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106803>
- López-Ridaura, S., Maser, O., & Astier, M. (2002). Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. *Ecological Indicators*, *2*(1), 135–148. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00043-2)
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *CADENA DE CACAO. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Montagnini, F., & Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. In P. K. R. Nair, M. R. Rao, & L. E. Buck (Eds.), *New Vistas in Agroforestry: A Compendium for 1st World Congress of Agroforestry, 2004* (pp. 281–295). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1_20
- Morales-Muñoz, H., Löhr, K., Bonatti, M., Eufemia, L., & Sieber, S. (2021). Assessing impacts of environmental peacebuilding in Caquetá, Colombia: A multistakeholder perspective. *International Affairs*, *97*(1), 179–199. <https://doi.org/10.1093/ia/iaa175>
- Pérez Marulanda, L., Lavelle, P., Rudbeck Jepsen, M., Castro-Nunez, A., Francesconi, W., Camilo, K., Vanegas-Cubillos, M., Antonio Romero, M., Suárez, J. C., Solarte, A., & Quintero, M. (2020). Farmscape composition and livelihood sustainability in deforested landscapes of

colombian amazonia. *Agriculture*, 10(12), Article 12.
<https://doi.org/10.3390/agriculture10120588>

Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Adams, H., Adler, C., Aldunce, P., Ali, E., Begum, R. A., Betts, R., Kerr, R. B., & Biesbroek, R. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. <https://edepot.wur.nl/565644>

Rodríguez, T., Bonatti, M., Löhr, K., Lana, M., Del Río, M., & Sieber, S. (2022). Analyzing influencing factors to scale up agroforestry systems in Colombia: A comparative ex-ante assessment of cacao farming and cattle ranching in two regions. *Agroforestry Systems*, 96(2), 435–446. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00730-1>

Romero Sanchez, M. A., Perez Marulanda, L., Quintero, M., Gonzalez, C., Calderon, V., Vanegas, S., Del Rio Duque, M., Vanegas-Cubillos, M., & Castro-Nunez, A. (2022). *Socioeconomic and environmental survey for implementing sustainable cacao systems for forest conservation for climate change mitigation and peacebuilding in Colombia* [Data set]. Harvard Dataverse. <https://doi.org/10.7910/DVN/G76RMO>

Romero Sánchez, M., Quintero, M., Castro-Nunez, A., & Lana, M. (2022). *Best management practices in sustainable land-use system to reduce GHG emissions of cocoa cropping production in Colombia*. (Manuscript in preparation).

Ruzzante, S. W., & Bilton, A. M. (2018). *Agricultural technology in the developing world: A meta-analysis of the adoption literature*. 2B-2018. Scopus. <https://doi.org/10.1115/DETC2018-86343>

Schindler, J., Graef, F., & König, H. J. (2015). Methods to assess farming sustainability in developing countries. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), Article 3. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0305-2>

Sieber, S., Amjath-Babu, T. S., Reidsma, P., Koenig, H., Piorr, A., Bezlepkina, I., & Mueller, K. (2018). Sustainability impact assessment tools for land use policy advice: A comparative analysis of five research approaches. *Land Use Policy*, 71, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.042>

Sieber, S., Jha, S., Tharayil Shereef, A.-B., Bringe, F., Crewett, W., Uckert, G., Polreich, S., Ndah, T. H., Graef, F., & Mueller, K. (2015). Integrated assessment of sustainable agricultural practices to enhance climate resilience in Morogoro, Tanzania. *Regional Environmental Change*, 15(7), 1281–1292. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0810-5>

US Census Bureau. (2020). *CSPro Software*. The United States Census Bureau. <https://www.census.gov/data/software/cspro.html>

Villarino, Ma. E. J., Da Silva, M., Becerra Lopez-Lavalle, L. A., & Castro-Nuñez, A. (2021). “Rambo root” to the rescue: How a simple, low-cost solution can lead to multiple sustainable development gains. *Conservation Science and Practice*, 3(2). <https://doi.org/10.1111/csp2.320>

Wattnem, T., Wiegel, J., Gonzalez, C., & Reyes, B. (2022). Who Defines Fine Chocolate? *The International Journal of Sociology of Agriculture and Food*, 73-87 Pages. <https://doi.org/10.48416/IJSAF.V28I1.448>

Wei, T., Simko, V. R., & Levy, M. (2021). package “corrplot”: Visualization of a Correlation Matrix. 2017. *Version 0.84*. <https://cran.r-project.org/web/packages/corrplot/corrplot.pdf>

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D., François, R., Golemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T. L., Miller, E., Bache, S. M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D. P., Spinu, V., ... Yutani, H. (2019). Welcome to the Tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>