

La ruta hacia un café verde **carbono neutro:** una guía práctica



Plataforma
Multiactor
del Café de
Cajamarca



La ruta hacia un café verde
carbono neutro:

una guía práctica



rikolto



VLAAMS-
BRABANT



La ruta hacia un café verde carbono neutro: una guía práctica

Rikolto | www.rikolto.org
Calle Bolognesi 321, Miraflores, Lima-Perú.

Unicafec | www.unicafec.org
Jirón Apurímac n°139, San Ignacio, Cajamarca-Perú.

Plataforma Multiactor del Café de Cajamarca | www.pmacc.pe
Jirón San Martín 332, oficina 105, San Ignacio, Cajamarca-Perú. Referencia: Agencia Agraria
Calle Río Chunchuca s/n, sector El Huito, Jaén, Cajamarca-Perú. Referencia: Cenfrocafé.

La presente guía fue elaborada en el marco de la Plataforma Multiactor del Café de Cajamarca (PMACC) y del proyecto Café & Clima, ejecutado por Rikolto y Unicafec con el apoyo financiero de Vlaams Bravant, Jacobs Douwe Egberts y la Cooperación belga. Los conceptos vertidos en el presente texto manifiestan el criterio de sus autores, no la postura oficial de los donantes. El contenido puede ser utilizado libremente, siempre y cuando se cite la fuente.

Contenidos | Isabel Quispe, Alexis Dueñas, Shirley Muñoz, Patricia Mogrovejo (PUCP)

Principales contribuidores y equipo coordinador | Michael Montalván, Aladino Pérez, Nilter Garcia (La Prosperidad), Abdías Ortiz, Wilson Pérez (Aprocassi) Teodomiro Melendres, Albertino Meza, James De la Cruz (Cenfrocafe), Donald Delgado, Gabriel Tantarico (Unicafec), Maria del Pilar Alarcon, Jorge Barrientos (Promperú), Mariela Wismann, Armando Inga y Lith Montes (Rikolto)

Revisión y cuidado de edición | Natalia Palomino Castañeda (Rikolto)
Diseño, diagramación e Ilustraciones | Gama Gráfica S.R.L.

Primera edición - Setiembre 2022. Tiraje: 300 ejemplares

Impresión | Gama Gráfica S.R.L.

Jr. Risso Nro. 560, Lince, Lima – Perú. Setiembre 2022

Fotografías: Aprocassi, La Prosperidad, Red Técnica del Norte, Rikolto y Plataforma Multiactor del Café de Cajamarca.

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS E ÍNDICE DE TABLAS	05
PRESENTACIÓN	07
1. CONCEPTOS CLAVE	09
1.1. Cambio climático	10
1.2. Cambio climático y la caficultura	10
1.3. Pensamiento ciclo de vida	11
1.4. Análisis ciclo de vida (ACV)	11
1.5. Huella de carbono	12
1.6. Captura de carbono	14
1.7. Carbono neutro	14
2. METODOLOGÍA	16
2.1. Descripción de metodología ACV:	17
2.2. Captura de carbono y servicios ecosistémicos	20
2.2.1. Captura de carbono (biomasa)	22
2.2.2. Ecuaciones alométricas	25
3. LA RUTA HACIA EL CAFÉ VERDE CARBONO NEUTRO	31
4. PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CAFÉ	33
4.1. Cultivo, manejo agronómico y cosecha	34
4.2. Beneficio húmedo (Poscosecha)	34
4.3. Beneficio seco (Trillado)	35
5. CÁLCULO DE EMISIONES E IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS	36

6. CÁLCULO DE LA CAPTURA	41
7. BUENAS PRÁCTICAS PARA LA MITIGACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO	44
7.1. Buenas prácticas para la mitigación en el cultivo y cosecha	46
7.1.1. Suelo	46
7.1.2. Fertilización	47
7.1.3. Sistema agroforestal	47
7.1.4. Árboles sombra	48
7.1.5. Plagas y Enfermedades	49
7.2. Buenas prácticas para la mitigación en la poscosecha y trillado	51
7.2.1. Residuos sólidos orgánicos	51
7.2.2. Consumo de agua	53
8. BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXO A	60
ANEXO B	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Etapas del ciclo de vida	12
Figura 2	Representación de la huella de carbono del café	13
Figura 3	Balance de carbono en equilibrio: carbono neutro	15
Figura 4	Fases del análisis del ciclo de vida	17
Figura 5	Ciclo biogeoquímico del carbono en la tierra	21
Figura 6	Flujos y stock de carbono en un SAF	23
Figura 7	Modelos estilizados de crecimiento para SAF	28
Figura 8	Ruta hacia el café verde carbono neutro	32
Figura 9	Emisiones de CO ₂ - eq en el ciclo de vida del café y escenarios de compostaje	37
Figura 10	Flujograma de la etapa de cultivo y cosecha con % de emisiones y captura	38
Figura 11	Flujograma de la etapa de poscosecha con % de emisiones y escenario 50% compostaje	39
Figura 12	Flujograma de la etapa de trillado con % de emisiones	40
Figura 13	Comparación de la captura de carbono de cafetos y árboles sombra en un SAF	43
Figura 14	Cadena productiva del café, con perspectiva de ciclo de vida de puerta a puerta	45
Figura 15	Pasos para la elaboración de trampa artesanal contra la broca del fruto del café	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Ecuaciones para el cálculo de emisiones	19
Tabla 2	Diversos métodos para calcular la biomasa de los cafetos	27
Tabla 3	Diversos métodos para calcular la biomasa de los árboles sombra	27
Tabla 4	Variables de interés para la captura de carbono en parcelas de SAF con café	30
Tabla 5	Cálculo de la captura de carbono en un SAF de café según la unidad funcional (U.F.)	42
Tabla 6	Medidas de mitigación organizadas según la perspectiva de ciclo de vida y bajo el paradigma de carbono neutralidad	55



PRESENTACIÓN

Las familias de agricultores en general, y las de caficultores en particular, enfrentan una nueva realidad que afecta directa y negativamente la producción de café: el calor aumenta y el clima varía. Además, las economías mundiales, principales importadoras de café, están tomando mayor conciencia del cambio climático y optan por comprar café orgánico que no contribuya al calentamiento global; es decir: carbono neutro.

Como respuesta al escenario descrito, es necesario y urgente actuar para mitigar las emisiones de carbono generadas en la producción de café. No solo para hacerle frente al cambio climático, sino también para satisfacer las nuevas condiciones del mercado y obtener mayores ganancias. Es así como nace esta guía práctica que propone una ruta de soluciones ambientales para producir café carbono neutro de forma sostenible y rentable.

En primer lugar, se explica qué es el cambio climático y cuáles son sus consecuencias en la caficultura. Además, se definen otros conceptos clave como el pensamiento Ciclo de vida, huella de carbono, entre otros. En segundo lugar, se detallan las metodologías para cuantificar los impactos ambientales (que ayudan a priorizar etapas de mayor emisión de gases contaminantes) y para estimar la captura de carbono. Esta guía finaliza con recomendaciones para las buenas prácticas de mitigación del carbono, en base a las etapas del ciclo de vida del café.



**CONCEPTOS
CLAVE**

Es importante conocer y relacionar los conceptos ambientales en la caficultura para comprender mejor la producción sostenible del café.

1.1. Cambio climático

Es un fenómeno donde el clima se altera debido a los cambios en las condiciones meteorológicas tales como: vientos, temperatura, precipitaciones, humedad y presión.

Estudios concluyen que hay una relación directa entre el incremento de la temperatura de la Tierra y el cambio climático; es decir, cuando se incrementa la temperatura, entonces habrá cambio climático. Por ejemplo, se puede visualizar lluvia en lugares donde antes no llovía.

Ahora, ¿qué ha ocasionado que la temperatura de la Tierra incremente? Uno de los principales causantes es la emisión de los gases de efecto invernadero (GEI) que quedan en la superficie de la atmósfera, permitiendo que aumente el grosor de ésta y que los reflejos de los rayos del sol queden atrapados en el planeta. En consecuencia, se eleva la temperatura de la Tierra ocasionando el impacto ambiental conocido como calentamiento global.

Los GEI son generados por fenómenos naturales y/o los seres vivos, pero en los últimos años se incrementó aceleradamente con las actividades del ser humano, principalmente por la producción y consumo de bienes y servicios. Entre los GEI más conocidos se encuentran el CO_2 , CO , CH_4 , N_2O . El metano contamina 28 veces más que el CO_2 y el N_2O , 265 veces (IPPC, 2014).

1.2. Cambio climático y la caficultura

En general, las actividades agroindustriales (como la obtención del café verde) también generan GEI. Por ejemplo, debido al uso de fertilizantes se emiten N_2O y CO_2 , mientras que por la descomposición de los residuos sólidos (como la pulpa del cerezo) se emite metano (CH_4).

Las GEI contribuyen al calentamiento global que desencadena el cambio climático, el cual perjudica a la agroindustria, ya sea por la escasez o abundancia de lluvia, alteración de la humedad, entre otros factores. Todas estas condiciones incentivan la aparición de plagas y enfermedades que dañan a los cultivos.

Por lo anterior es importante intervenir en la cadena de valor del café para disminuir estas emisiones a través de buenas prácticas de producción que mitiguen las emisiones de GEI y contribuyan a la sostenibilidad, de manera eficaz.

1.3. Pensamiento ciclo de vida

El concepto de ciclo de vida es la base para un manejo integral de los impactos ambientales que generan el producir un bien o el prestar un servicio.

Todo ello se encuentra señalado en la Ley General del Ambiente (2005) en el artículo 75, inciso 1, donde se señala lo siguiente:

“El titular de operaciones debe adoptar prioritariamente medidas de prevención del riesgo y daño ambiental en la fuente generadora de los mismos, así como las demás medidas de conservación y protección ambiental que corresponda en cada una de las etapas de sus operaciones, bajo el concepto de **ciclo de vida** de los bienes que produzca o los servicios que provea, de conformidad con los principios establecidos en el Título Preliminar de la presente Ley y las demás normas legales vigentes”.

1.4. Análisis ciclo de vida (ACV)

La primera definición de este término fue realizada por la *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC, 1993, p.5) y la describió del siguiente modo:

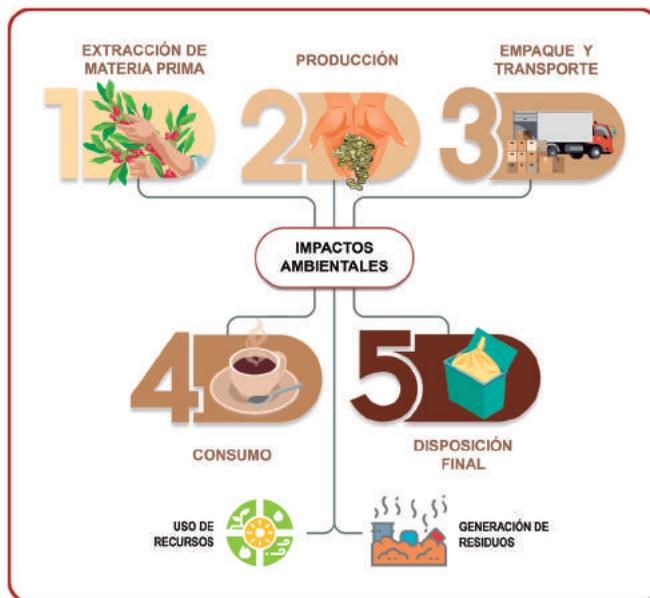
“Es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o una actividad, que se efectúa identificando los materiales, la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final”.

La Organización Internacional de Estandarización – ISO 14040 (2006, p.3), por su parte, describe al ACV como:

“La recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de todas las etapas, desde la adquisición de la materia prima a partir de los recursos naturales hasta su disposición final”.

En la Figura 1, se muestran las etapas del ciclo de vida del café, incluyendo el uso y la generación de recursos del sistema.

Figura 1
Etapas del Ciclo de Vida



En resumen, el ACV es una herramienta de gestión que cuantifica los impactos ambientales de un bien o servicio en todas las etapas de su ciclo de vida, considerando en cada una de ellas las entradas (recursos, materiales y energía) y salidas (emisiones, efluentes, residuos sólidos).

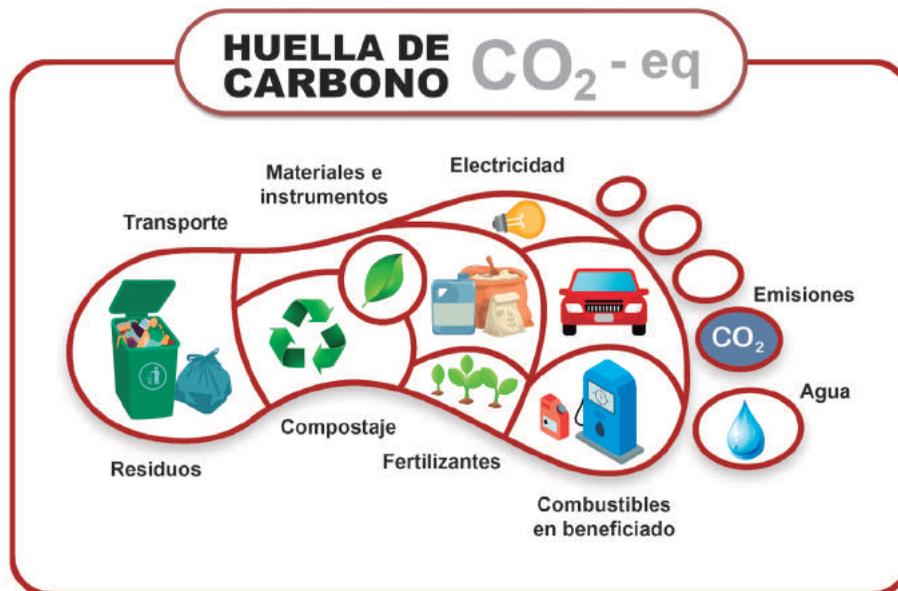
1.5. Huella de carbono

La huella de carbono representa cuantitativamente los GEI que el consumo de bienes y/o servicios emiten a la atmósfera a causa de sus diferentes procesos (Wiedmann, 2009), este valor tiene como unidad de medida el dióxido de carbono equivalente (CO_2 – eq.). Para el caso del café, la huella de carbono es la suma de todas las emisiones que generan sus procesos, como lo muestra la Figura 2. En las últimas décadas, se ha fomentado el desarrollo de diferentes herramientas y metodologías que cuantifiquen los niveles de emisión de GEI en diferentes ámbitos como en una organización, en un territorio o en una persona (Padgett et al., 2008).

En la actualidad existen seis enfoques o perspectivas de la huella de carbono que siguen las normas internacionales o metodologías (MMA, s.f.). Estas son:

- a) **Personal:** incluye la rutina de consumo y las posesiones de un individuo. Esto genera, de manera directa o indirecta, GEI. Todo ello se evalúa en un período específico de tiempo.
- b) **Territorial:** determina el impacto global del cambio climático en un área que puede delimitarse política o geográficamente. Luego de tener los resultados se procede a crear un plan o propuesta de mitigación.
- c) **Por industria:** evalúa la huella de carbono por sector productivo (de manera independiente) y con ello se puede realizar un óptimo uso de materias primas y recursos, que incidan en la emisión de GEI.
- d) **En eventos:** considera todos los recursos empleados en la planificación y la realización del evento en específico, que generen emisiones de GEI
- e) **Corporativa:** mide la huella de carbono de una empresa o corporación. El periodo de tiempo es de 1 año. El objetivo es aprovechar eficientemente los recursos y proponer medidas de mitigación.
- f) **Por producto o servicio:** mide las emisiones de GEI de productos o servicios a lo largo de su cadena productiva, consumo y desecho final. Es el enfoque que ha tenido una mayor aprobación en Japón, Europa y otros países.

Figura 2
Representación de la Huella de Carbono del Café



1.6. Captura de carbono

El término captura de carbono parte de una respuesta y necesidad ante las consecuencias de las actividades del ser humano (antropogénicas), como niveles crecientes de CO_2 en la atmósfera y el calentamiento global (Nowak et al., 2002).

Según Schrag (2007), hay tres principales estrategias para reducir emisiones de CO_2 y mitigar el cambio climático: (i) reducir el uso global de energía, (ii) desarrollar combustibles bajos en carbono o sin carbono, y (iii) **secuestrar o capturar el CO_2** de fuentes puntuales o de la atmósfera, a través de técnicas naturales y de ingeniería.

La FAO define a la captura de carbono como el proceso o actividad que implica la remoción de GEI de la atmósfera. Esta se puede dividir en secuestro abiótico o biótico. El secuestro abiótico implica la no intervención de organismos vivos (por ejemplo, plantas o microbios) y se basa en factores físicos y químicos con reacciones y técnicas de ingeniería como el secuestro geológico de carbono (Carloto et ál, 2022).

Por otro lado, el secuestro biótico, es una intervención “natural” gestionada por seres vivos, principalmente plantas y microorganismos en la eliminación de CO_2 de la atmósfera (Lal, R., 2008), al cual se le conoce como secuestro fotosintético.

1.7. Carbono neutro

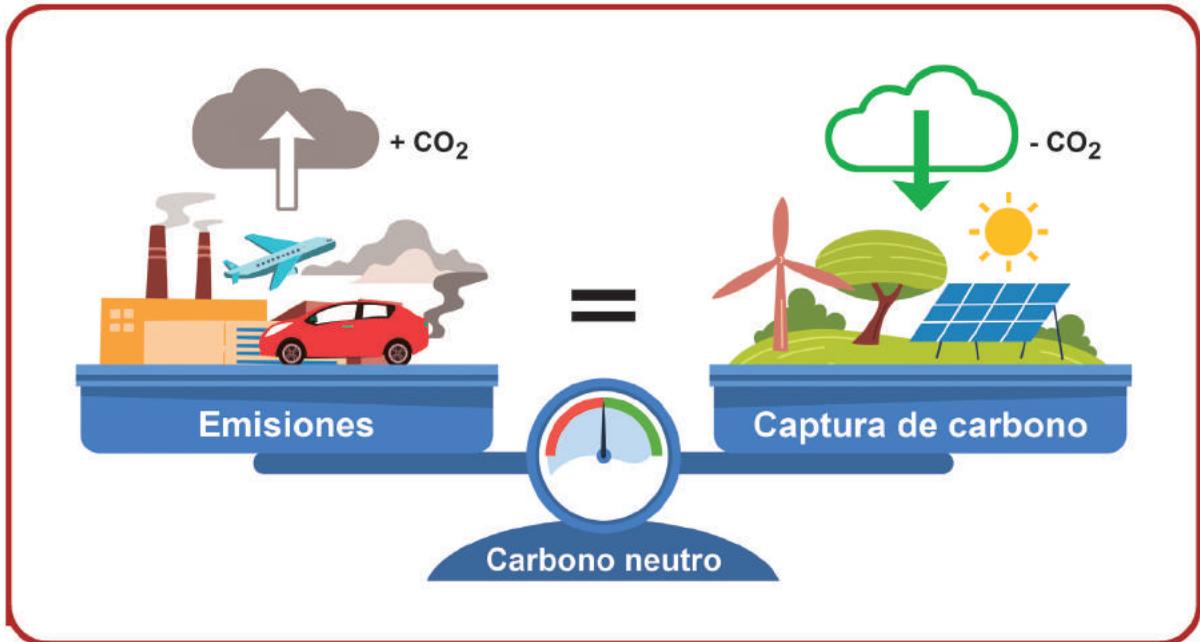
El concepto de carbono neutralidad nace de las iniciativas “cero emisiones” de la Cumbre de Río en 1992. Implicaba no solo mitigar y reducir las emisiones de carbono a la atmósfera, sino un esfuerzo integrado de sustituir las fuentes de energía, evitar la generación de los desechos sólidos y cambiar los patrones de producción y consumo (Sánchez, 2010).

En la Figura 3 se muestra la idea principal del carbono neutro: obtener el equilibrio en el balance de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2). Este balance se obtiene luego de capturar el CO_2 emitido para detener el aumento de estos gases en la atmósfera y mitigar el calentamiento global (Chan, 2021).

El balance busca compensar la cantidad de gases emitidos a través de la remoción o captura de esta misma cantidad y así lograr una suma cero (Sánchez, 2010). Es decir, que al menos la misma cantidad de CO_2 emitido sea también capturado o secuestrado. Estas emisiones incluyen a los gases de efecto invernadero (GEI) medidos en sus equivalentes de dióxido de carbono (CO_2 - eq.).

En otras palabras, ser carbono neutro significa que **las emisiones sean iguales o menores que la captura de carbono.**

Figura 3
Balance de Carbono en Equilibrio: Carbono Neutro





2 METODOLOGÍA

A continuación, se detallan las metodologías que hacen posible la cuantificación de emisiones y la captura de estas. Estas metodologías son la base para la toma de decisiones y para el diseño de propuestas de mejoras en cualquier sistema de producción, incluida la cadena del café verde.

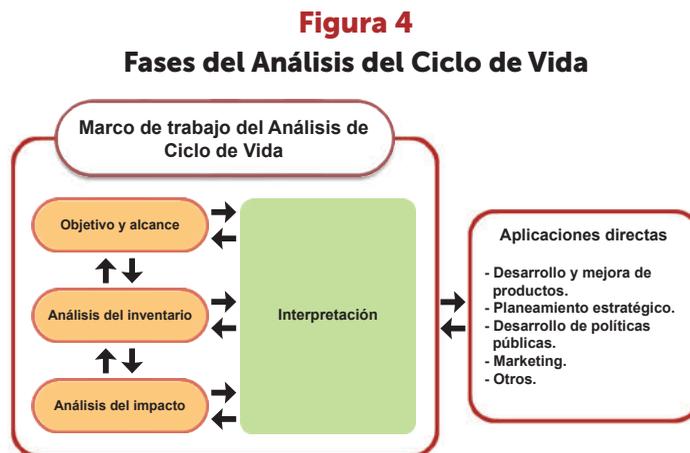
2.1. Descripción de metodología ACV:

El ACV es una metodología que permite analizar y evaluar los impactos ambientales asociados a un producto o servicio considerando todo su ciclo de vida, lo que incluye la extracción y adquisición de materia prima, la producción y su disposición final.

Los resultados del ACV son útiles para:

- Contar con un sustento para la toma de decisiones.
- Identificar oportunidades de mejora en el desempeño ambiental de los productos.
- Registrar y cuantificar los principales impactos ambientales.
- Investigar los factores que contribuyen a un mayor impacto ambiental
- Evaluar las regulaciones y políticas que deben desarrollar las entidades gubernamentales en materia ambiental.

Según la norma ISO 14040:2006, un ACV es un ciclo iterativo de conocimiento y optimización que comprende cuatro fases. En la Figura 4, se muestra la interacción de las distintas fases y se incluye las aplicaciones directas de los resultados del análisis.



- **Fase 1: Objetivo y alcance.** Consiste en definir el objetivo y alcance del estudio, lo que incluye precisar el sistema a estudiar y el campo de aplicación del estudio.

La metodología inicia al definir cuál es el objetivo del estudio; es decir, por qué se realiza, qué se va a estudiar, para qué fin o para quién irá dirigido el estudio. Asimismo, se debe definir ¿cuál será el alcance? En otras palabras, ¿cuáles serán las etapas del ciclo de vida a estudiar?, ¿cuál es el escenario temporal?, por ejemplo, el año en el cual se levantará la información, ¿cuáles son los límites geográficos en donde se centrará el trabajo a realizar? y ¿cuál será la unidad funcional?

- **Fase 2: Análisis del inventario.** Consiste en desarrollar el inventario de ciclo de vida abarcando los distintos flujos de entradas y salidas para los distintos procesos mediante la elaboración de un modelo de ciclo de vida del producto.

Un inventario es una lista al detalle de todo lo que le pertenece a algo o a alguien. Para el caso del café, se emplea una ficha de levantamiento de información, que se muestra en el Anexo A, el cual sirve para documentar los datos requeridos y con base en ellos poder elaborar una tabla de entradas y salidas. En este caso, se hace una relación de todos los recursos, materiales y energía que intervienen en los procesos y a los cuales se les denomina entradas.

Cada productor conoce empíricamente qué materiales o insumos intervienen en las actividades que realiza, pero con el inventario se contabiliza de manera numérica. Las salidas son todos los residuos sólidos, los efluentes y emisiones que se producen tras realizar las actividades productivas. Las emisiones se calculan haciendo uso de diferentes ecuaciones que provienen de la literatura especializada, como se observa en la Tabla 1.

- **Fase 3: Análisis del impacto.** Consiste en determinar los impactos ambientales de tal manera que se entienda la relevancia de todos los flujos descritos en el modelo en dichos impactos.

En esta fase se añaden indicadores al inventario, los cuales corresponden a los potenciales impactos referidos al ambiente, disponibilidad de recursos y a la salud humana para que se evalúe su importancia. Luego, se establece cuáles son las categorías de impacto y se les asignan los flujos descritos en el inventario con el modelo de dichos impactos.

Tabla 1
Ecuaciones para el Cálculo de Emisiones

EMISIONES		ECUACIONES	FUENTE
AIRE	NO _x	NO _x (kg) = (2.6/100) x (30/14) x kg N aplicado	(EEA, 2013)
	N ₂ O	N ₂ O (kg/ha) = (44/28) x (0.01 x (N tot + Ncr + Nbf) + 0.01 x (14/17) x NH ₃ + 0.0075 x (14/62) x NO ₃ ⁻)	(IPCC, 2006)
	NH ₃	NH ₃ (kg/ha) = (17/14) x (0.787TAN x M + 0757) x 0.75 x A _m	(Nemec ek & Kagi, 2007)
	CH ₄	CH ₄ (Gg/año) = [(RSU _T x RSU _F x L ₀) - R] x (1 - OX)	(IPCC, 2006)
AGUA	NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻ (kg/ha) = N (kg / ha) x Factor Factor = 0.1	(BARRY, 2011)
	P	P (kg/ha) = 0.175 + (1 + (0.4/80) x P ₂ O ₅ aplicado)	(Nemec ek & Kagi, 2007)

Nota. En las ecuaciones, N tot se refiere al total de nitrógeno (N) (kg N ha⁻¹). Ncr es el N residual en el cultivo (kg N ha⁻¹) y Nbf es el N proveniente de fijación biológica (kg N ha⁻¹), según el IPCC, a ambos valores le corresponde el valor de 0. En la misma ecuación, el parámetro NH₃ indica la volatilización de amonio expresado en kg NH₃ ha⁻¹ y el NO₃⁻ es el nitrato lixiviado expresado en kg NO₃⁻ ha⁻¹. Para el cálculo del NH₃ se necesita el TAN que se refiere al contenido total de amonio - N en la excreta (kg NH₄ -N/ t), el M es la cantidad de la excreta sólida esparcida (t/ ha de superficie fertilizada) y A_m es la fracción del área total donde la excreta sólida es esparcida (%). Finalmente, para el cálculo del CH₄, el RSU_T significa la cantidad de residuos sólidos generados (Gg/año), el RSU_F se refiere a la fracción de residuos sólidos eliminados, que según el IPCC tiene el valor de 0.5. El parámetro R que es el CH₄ recuperado (Gg/año) y el OX que es el factor de oxidación tienen el valor de 0, según el IPCC. El término L₀ es el potencial de generación de metano (Gg de CH₄/Gg de desechos), el cual puede ser revisado en la fuente correspondiente.

- **Fase 4: Interpretación.** Consiste en interpretar los resultados obtenidos en los impactos ambientales.

Los resultados se interpretan según los objetivos y el alcance previamente establecidos. Se debe analizar su coherencia, sensibilidad e integridad. Finalmente, se podrá establecer cuáles son las limitaciones del estudio y, según los hallazgos obtenidos, plantear las conclusiones y recomendaciones.

Además de la metodología descrita, se cuenta con Calcafé, un software de cálculo para la huella ambiental del café peruano de exportación utilizando el ACV.

Esta herramienta informática facilita el cálculo de las emisiones y captura. El usuario solo debe ingresar datos puntuales, que son solicitados en las fichas de levantamiento de información. Así, la calculadora que ha sido programada bajo un modelamiento matemático permitirá entregar ambos resultados: emisiones ambientales y captura de carbono en la producción de café. Ello simplifica el trabajo de utilizar las fórmulas detalladas en las Tablas 1, 2 y 3.

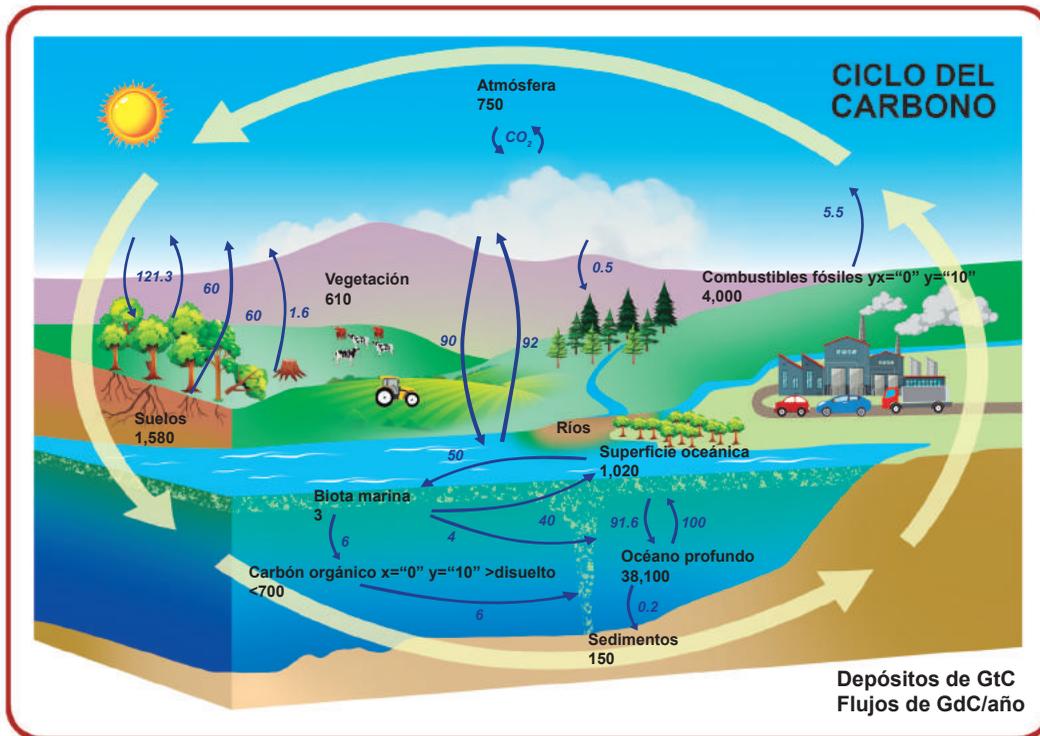
2.2. Captura de carbono y servicios ecosistémicos.

La estimación de la captura de carbono permite conocer la cantidad de carbono que almacenan los diversos ecosistemas para evaluar cuáles son aquellos que presentan un mayor potencial de captura.

En los sistemas de producción de café el uso de la tierra se realiza de forma asociada a especies forestales y agrícolas dentro de un mismo espacio y de manera simultánea.

En ese sentido, es importante que se tome en consideración el ciclo de carbono, que es uno de los principales ciclos químicos y biológicos que ocurre en el planeta. Por eso se le suele denominar ciclo biogeoquímico, que es uno de los responsables no solo de la vida, sino de la regulación del clima, tal como se aprecia en la Figura 5.

Figura 5
Ciclo biogeoquímico del carbono en la tierra



Nota. En el ciclo del carbono se aprecia la notable interrelación que existe entre las tres fases (agua, aire y suelo). Destacan en las interfaces agua y suelo, la propiedad de fijar o absorber carbono, siendo los de ecosistemas terrestres los que brindan un mayor servicio de captura de carbono que los ecosistemas marinos. Una consecuencia directa de la emisión de GEI es la suspensión, en el aire, de volúmenes crecientes de CO_2 , N_2O y SO_2 , por señalar algunos, los cuales, al precipitarse con las lluvias, tienden a acidificar las fuentes de agua superficial, y el suelo, en primera instancia, pero también del agua subterránea (FAO, s.f.).

De esta forma, los ecosistemas naturales terrestres juegan un rol como sumideros de carbono, pero esta propiedad no se restringe al componente natural o silvestre, sino también se extiende a toda asociación vegetal, como bien pueden ser los sistemas de cultivo, y entre ellos, los sistemas agroforestales (SAF).

Según Nair (1993), los SAF se definen como aquellos sistemas de uso del suelo con especies leñosas perennes que se manejan junto con cultivos agrícolas y animales, y se producen interacciones ecológicas y económicas entre los componentes, resultantes de arreglos espaciales y temporales.

A diferencia de un sistema de cultivo convencional donde solo se obtiene un producto o un único tipo de biomasa (proveniente del cultivo principal), en un SAF se producen diferentes tipos de biomasa que provienen tanto del cultivo como de las especies forestales asociadas a este.

Una segunda diferencia se da en relación con los denominados servicios ambientales brindados por los SAF a los productores y a la sociedad en su conjunto. Estos servicios se traducen en la captura de CO₂ por medio de la fotosíntesis, la recarga de los acuíferos por medio de la infiltración de agua y disminución de la escorrentía, así como la conservación de la fauna silvestre con la provisión de hábitat y alimento, además de mostrar una belleza escénica por medio de la mejora del paisaje. Recientemente, se ha incorporado como servicio ambiental en los SAF el efecto de disipación térmica y ambiental (contaminantes gaseosos) en contextos de cambio de uso del suelo.

Por lo anterior, los SAF son una alternativa para el sistema de pago por servicios ecosistémicos (PSE), que, en países como Costa Rica, Birmania, y otros han sido una estrategia válida para la conservación del bosque tropical.

2.2.1. Captura de carbono (biomasa)

De acuerdo con Espinoza-Domínguez, et al., (2011) la captura de carbono es una forma de mitigar el CO₂ atmosférico. Particularmente, la captura de carbono correspondiente a la biomasa se realiza por medio de vegetación, a través de la fotosíntesis. La idea es mantenerlo “secuestrado” el mayor tiempo posible.

En ese contexto, la vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura. Es decir, lo fija y lo mantiene almacenado por largos periodos. Por esta razón los bosques son importantes sumideros de carbono (Benjamín & Masera, 2001).

El CO₂ presente en la atmósfera se captura por las plantas mediante los procesos metabólicos que corresponden al balance fotosíntesis-respiración-transpiración. La captura de carbono se expresa en términos de la biomasa constituida por el follaje, ramas, raíces, troncos, flores y frutos. Un incremento en la biomasa de un sistema de uso del suelo constituye una captura

A futuro, el reto es el diseño de SAF compatibles con la mitigación del cambio climático.

Los SAF son clave para el desarrollo de políticas y proyectos de carbono y/o conservación el identificar los sistemas que permitan una mayor acumulación de carbono y aquellas tecnologías "ganar-ganar", por generar este servicio ambiental y a la vez obtener productos (Mena et al., 2011).

Sin embargo, un paso previo es el diagnóstico de los stocks de carbono, así como la estimación de sus flujos. Esta información resulta valiosa y permitirá conocer qué especies son mejores, desde la perspectiva de la captura de carbono, y de los mecanismos de compensación.

No debe olvidarse que un SAF, al tener un origen antrópico, se comporta como cualquier otro sistema de cultivo. Y esto significa que no solo provee los servicios ambientales antes descritos, sino que también es una fuente de emisiones y generación de residuos, que tienen impacto en el ambiente.

Por lo anterior es más correcto hablar no solo de la captura potencial, sino de las tasas efectivas. Es decir, del balance entre emisiones y captura que hace que un SAF pueda ser sumidero o fuente de carbono, y como consecuencia de ello, se le puede designar como carbono positivo, neutral o carbono negativo.

Para explicar mejor los últimos conceptos se trae a colación la ecuación de balance de carbono. Esta considera que el balance de carbono está explicado por las emisiones provenientes de la tecnosfera (EC), las mitigaciones que se puedan introducir como consecuencia de la mejora de los procesos productivos de bienes y servicios (M), y las compensaciones que se pudieran concertar en el ámbito de los programas de pagos por servicios ecosistémicos (C). Su ecuación es la siguiente:

$$CO_2 = EC - M - C$$

CO₂ son las emisiones totales de una unidad productiva. EC representa a las emisiones conforme al nivel de su actividad. M expresa las mejoras tecnológicas, operacionales y/o productivas que disminuyan emisiones. Por último, C correspond e a las compensaciones que se realicen, por ejemplo, compra de créditos de carbono.

Se tendrán los siguientes escenarios:

- a. **Carbono positivo:** si $CO_2 > (M+C)$, entonces las emisiones de CO_2 son mayores a las mitigación y compensación, juntas.
- b. **Carbono neutro:** si $CO_2 = (M+C)$, entonces las emisiones de CO_2 son iguales a las mitigación y compensación, juntas.
- c. **Carbono negativo:** si $CO_2 < (M+C)$, entonces las emisiones de CO_2 son menores a las mitigación y compensación, juntas.

De lo explicado se desprende que un SAF con café podría cumplir con neutralizar las emisiones de su cadena productiva si se convierte en un sumidero de carbono. Es decir, cuando su función de almacenamiento de CO_2 sea mayor al total de las emisiones que realiza la unidad productora.

Para ello, lo primero es determinar los “puntos críticos” del proceso de producción de café. Con base en ellos se procede a mitigar las emisiones considerando las mejoras ambientales del proceso en su conjunto. Después se diseñan los componentes del SAF para hacer más eficiente su captura.

2.2.2. Ecuaciones alométricas

Para evaluar la captura de carbono, en la actualidad, se disponen de tres métodos.

Uno primero considera la extracción de muestras de biomasa provenientes de lotes o parcelas de evaluación, las cuales son secadas y enviadas a un laboratorio para obtener el contenido de carbono. A este método se le conoce como destructivo.

Un segundo método emplea sensores remotos, satélites y drones, con los cuales se obtiene información, tanto del nivel de concentración de carbono en la superficie, es decir a nivel del dosel, como a la profundidad de 1 metro del suelo. A este método se le conoce como percepción remota.

Por último, dadas las evidentes restricciones que imponen los métodos destructivo y remoto, el primero por las implicancias en la afectación de las unidades productoras, y el segundo por los costos asociados al uso de la tecnología, se emplea un tercer método: método no destructivo. Este supone el uso de ecuaciones alométricas, las cuales consideran que existen ciertos parámetros biométricos de las plantas, que pueden ser empleados para estimar la biomasa.

El método no destructivo es usado con mayor frecuencia en los sistemas agroforestales (SAF) y permite, razonablemente, estimar la biomasa y con ello el contenido de carbono, tanto almacenado, como la tasa de secuestro por unidad de tiempo.

Modelos de estimación de la captura potencial y tasa anual de secuestro carbono en SAF.

Para estimar la captura de carbono y, a través de ello, la tasa de secuestro del sistema agroforestal (SAF) con base en café; es necesario evaluar un universo significativo de unidades de producción. Estas muestran diferencias importantes en cuanto a la superficie cultivada, distanciamientos de siembra y densidad de la plantación. De ese modo, se desarrolla un inventario, con un nivel de certidumbre suficiente, que permite calcular la captura potencial anual de carbono, tanto en los árboles de café como de sus correspondientes árboles sombra.

La metodología empleada se dirige a desarrollar un inventario del potencial de captura de los SAF con café de las fincas seleccionadas en una muestra, con las consideraciones técnicas establecidas en la ISO 14064.

La norma señala que “se están desarrollando e implementando iniciativas internacionales, regionales, nacionales y locales para limitar las concentraciones de GEI en la atmósfera terrestre” (ISO, 2006, p. vi). De ese modo, se determinan los escenarios de línea base de cada una de las fincas y se realiza su medición para analizar el desempeño de las unidades con relación al escenario de la línea base.

En la estimación de carbono con el uso de ecuaciones alométricas, a pesar de las variantes existentes, se aprecia que en diversas especies es suficiente conocer dos dimensiones básicas de las plantas (altura y diámetro) y con ellas estimar la biomasa, la cual puede ser convertida en materia seca y finalmente en stock de carbono.

Ecuaciones alométricas conocidas o estándar se aprecian en la Tabla 2. En ella se asume que existe una relación directa entre el diámetro de la planta y su altura (Ecuación FRIN), un supuesto que en primer lugar debe evaluarse mediante un procedimiento estadístico sencillo (coeficiente de correlación de Pearson). Una segunda posibilidad es emplear una ecuación que considera que el diámetro es suficientemente consistente como para estimar la biomasa (Ecuación Hariah), que normalmente se aplica a especies forestales y algunas adecuaciones y cuidados al café.

Tabla 2
Diversos Métodos para Calcular la Biomasa de los Cafetos

MÉTODO	ECUACIONES ALOMÉTRICAS	FUENTE	OBSERVACIONES	BIOMASA
1	$B = 0.15HD^2$ $B = 0.25HD^2$	FRIN (2009)	DAP pulgadas >11, 0.15	lb/árbol
2	$B = 0.2811D^2.0653$	Hariah et al. 2001	DAP en cm	kg/árbol

Nota. Donde D representa al diámetro en la parte media de la planta de café, y H su altura. En algunos casos, ambos parámetros se emplean como unidades del sistema métrico internacional, sin embargo, en el caso de la ecuación Frin, las unidades corresponden a pulgadas (D) y pies para (H), por tanto, su resultado en masa corresponde a libras, en los otros casos es kilogramo o metro, según corresponda.

Similares ecuaciones se emplean para el caso de las especies forestales y frutícolas que los productores disponen en un SAF con café. Estas ecuaciones consideran especificaciones muy propias en dependencia de la arquitectura del árbol (estructura morfológica) y de las características de su crecimiento, las cuales se aprecian en la Tabla 3.

Tabla 3
Diversos métodos para calcular la biomasa de los árboles sombra

ESPECIES	ECUACIONES ALOMÉTRICAS	FUENTE	OBSERVACIONES	BIOMASA
Todas	$B = 0.15HD^2$ $B = 0.25HD^2$	FRIN (2009)	DAP pulgadas >11, 0.15	lb/árbol
Frutales	$\text{Log } B = -1.1 + 2.64 * \text{LOGDAP}$	CATIE	DAP en cm	kg/árbol
Madereros	$B = 21.297 - 6.953 * \text{DAP} + 0.740 * (\text{DAP}^2)$	Brown e Iverson	DAP en cm	kg/árbol
Plátano	$B = 0.0303 * D^2.1345$	Hariah et al. 2001	DAP en cm	kg/árbol
	$B = 1.5 \text{kg} * H$	Tanaka Yamaguchi 1972	H en metros	kg/árbol
Guaba	$B = \alpha + \beta_1 * \log \text{DAP} + \beta_2 * (\log \text{DAP})^2$	Douterloigne et al. (2013)	B en kg, $\alpha = -4.04$, $\beta_1 = 4$, $\beta_2 = -0.29$, DAP en cm	kg/árbol
Palmera	$B = 10 + 6.4 * H$	Frangi & Lugo (1985)	H en metros	kg/árbol

Nota: De manera similar a la Tabla 2, H corresponde a la altura y DAP al diámetro, en este caso a la altura del pecho del evaluador. Salvo la ecuación de FRIN, las unidades de los parámetros corresponden al sistema métrico internacional.

Procedimiento de estimación de la tasa anual de secuestro de carbono

En cuanto al procedimiento de estimación de la tasa de secuestro, se emplearán herramientas estadísticas basadas en las ecuaciones de crecimiento.

Un paso previo consistirá en la determinación, a partir de los casos recogidos en la muestra y del tipo de distribución de los datos, por medio de un modelo que permita estimar las tasas de secuestro anual. Asumiendo que los modelos elegidos son los que se aprecian en la Figura 7, se identifican los tres componentes típicos de modelo de crecimiento: crecimiento nulo o inicial, acelerado, máximo o estado estacionario y decrecimiento acelerado y estancamiento.

Figura 7
Modelos estilizados de crecimiento para SAF.

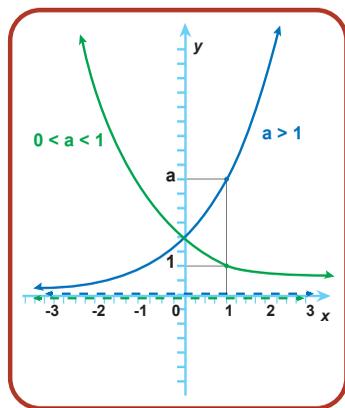


Figura 7-A. Modelo de crecimiento exponencial continuo

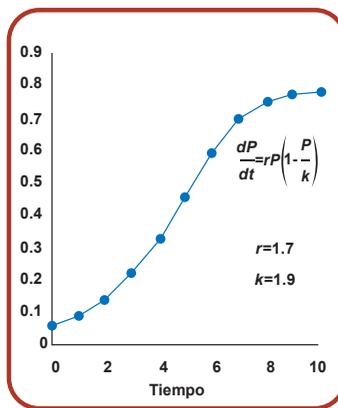


Figura 7-B. Modelo de crecimiento logístico

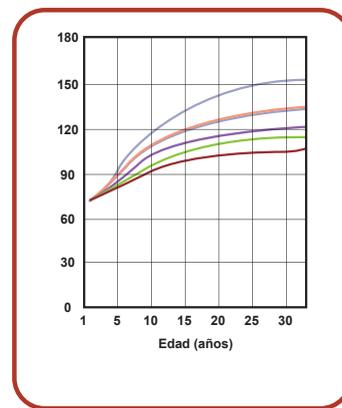


Figura 7-C. Modelo de crecimiento acotado por la edad del espécimen vegetal

Nota. Adaptado de Cerda, R et al (2013) y Dueñas (2020).

Los agricultores o productores de las fincas toman decisiones que limitan el desarrollo de una planta a través de todas y cada una de las fases de la curva de crecimiento, como se aprecia en la Figura 7-C. Es el caso de las podas, renovación o sustitución de las plantas de café e inclusive las plantas sombra, que normalmente son especies forestales de aprovechamiento múltiple (leña, madera, fruta, cuerdas, recarga de acuíferos, entre otros).

Estos aspectos pueden afectar el denominado crecimiento continuado, por ello, se emplean únicamente dos modelos: crecimiento exponencial continuo (Figura 7-A) y crecimiento logístico (Figura 7-B).

Si se asume un modelo de crecimiento exponencial continuo, para determinar la captura potencial (B_t) se emplea, a pesar de su naturaleza continua, una ecuación puntual donde r es la tasa de crecimiento y t el tiempo. Su expresión es la siguiente:

$$B_t = B_0 e^{rt}$$

La siguiente es la expresión para estimar la captura potencial para el caso de un modelo logístico, donde la novedad es el parámetro k que representa un límite que restringe el crecimiento

$$B_t = \frac{kB_0 e^{rt}}{k + B_0(e^{rt} - 1)}$$

Y para estimar la tasa de captura, se hallará la variación inter temporal, con ayuda de la ecuación siguiente:

$$\frac{aB}{aB} = B_0 e^{rt}$$

Por último, la expresión siguiente, permite estimar la tasa de captura anual, en el caso de considerar un modelo de crecimiento básico exponencial:

$$(B_t - B_0) = B_0 e^{rt}$$
$$\frac{\log(B_t - B_0)/B_0}{t} = r$$

Técnicas de evaluación en campo del almacenamiento y captura anual de carbono.

Con el propósito de obtener una tasa de crecimiento, se recomienda hacer dos mediciones en las unidades de análisis. Para lo cual se desarrolla una ficha técnica de recolección de datos provenientes de las mediciones, cuyo ejemplo se aprecia en el Anexo B. En esta ficha se consignan los parámetros biométricos requeridos por las ecuaciones alométricas y, con los cuales mediante un sencillo proceso de cálculo se obtiene tanto el carbono almacenado como la tasa de secuestro o fijación (anual).

En cuanto a los materiales e instrumentos, dadas las condiciones de campo en el que se encuentran las unidades productoras del SAF cafetalero, se emplean un clinómetro casero o puede disponerse de un clinómetro digital (app-celular), cintas métricas y GPS (app-celular). Con estos elementos se miden los especímenes vegetales de café y árboles sombra, instalando parcelas centrales en cada finca o chacra, con dimensiones de 2 x 2 (m). Las variables medidas son las que se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4
Variables de Interés para la Captura de Carbono en Parcelas de SAF con Café

VARIABLE	UNIDAD	COMENTARIO
Altura	m	Indirecta*
Diámetro	cm	Directa
Edad	años	Directa**
Estado	Sin unidad	Directa** Categoría [Productivo (si/no)]
Número de árboles	Sin unidad	Directa** Categoría [Productivo (si/no)]

* Con base en los ángulos de elevación y complemento

** Encuesta o entrevista al agricultor

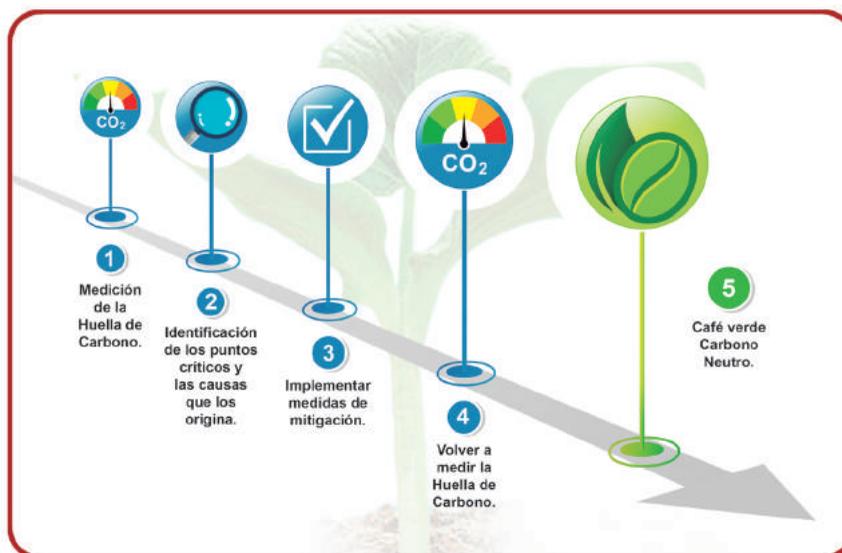
El cultivo del café en Perú se desarrolla en un sistema agroforestal (SAF) que comprende a los cafetos y árboles sombras. Estos capturan carbono durante su vida útil contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del SAF de café.

Para lograr cero emisiones de GEI, primero se debe tener una línea base de dónde partir. Se inicia midiendo la huella de carbono actual, considerando las emisiones en cada etapa del ciclo de vida, así como la captura de carbono a causa de los cafetos y árboles sombra.

Una vez calculada la huella de carbono, se identifican los aspectos ambientales significativos y las causas que los originan para implementar medidas de mitigación. Una vez implementadas estas medidas, se debe volver a medir para validar la reducción de la huella de carbono o haber alcanzado emisiones cero, como se muestra en la Figura 8.

En caso no se logre obtener café verde carbono neutro con la implementación de las medidas de mitigación, se procede a la compensación. Es decir, a realizar actividades externas al cultivo del café que capturen carbono o que aumenten su capacidad mediante el diseño del sistema agroforestal.

Figura 8
Ruta Hacia el Café Verde Carbono Neutro.





4

PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CAFÉ

4.1. Cultivo, manejo agronómico y cosecha

Limpieza del terreno. Antes de realizar el trasplante definitivo se debe limpiar el terreno. Para ello, se remueven las malezas que suelen competir en la absorción de nutrientes con el café.

Preparación del suelo. Las actividades realizadas consisten en obtener un suelo nutrido que esté apto para el crecimiento de los cafetos. Por ello, se hace uso de algunos insumos como guano de isla, roca fosfórica, entre otros. Luego se realiza el trazado de las distancias de separación de las plantaciones (calle y callejón) y se finaliza con el ahoyado que tiene la medida de 30 cm de diámetro y de 30 cm de profundidad. Para realizar los hoyos se retira la tierra y las materias orgánicas presentes que no están descompuestas.

Trasplante. Las plántulas seleccionadas por su buen estado son colocadas en los hoyos. En la primera capa se coloca la tierra fértil acompañado, en algunos casos, de compost u otros tipos de abono. Los hoyos se deben llenar, pero no significa que se sobrecargue porque las plántulas pueden resultar asfixiadas.

Manejo agronómico. Las tareas consisten básicamente en fertilizar los cafetos con diferentes fertilizantes orgánicos, algunos sintéticos, bioles, entre otros. El control de plagas se hace por medio de trampas con atrayentes. También se realiza el deshierbo y el manejo de la sombra por medio de podas de formación. En el caso del café, las podas son por renovación o sanidad.

Cosecha. Los cafetos inician su edad productiva a los dos años y medio. Sus frutos son los cerezos y para ser cosechados, generalmente, se utilizan recipientes plásticos conocidos como medias latas, canastas y sacos de polipropileno.

4.2. Beneficio húmedo (Poscosecha)

Rebalse o Flote. Los cerezos se colocan en tinas con agua para que los frutos que flotan sean descartados porque en la mayoría de los casos, se encuentran en mal estado y no pueden continuar con el proceso.

Despulpado. Consiste en eliminar la pulpa del cerezo y su piel exterior. Se utiliza una máquina, conocida como despulpadora, que se alimenta por combustible. Los granos son extraídos de manera sencilla porque el despulpado se realiza por presión y el mucílago, que rodea al grano de café, funciona como lubricante.

Fermentación. El mucílago es insoluble al agua y para que sea removido debe ser, primeramente, degradado mediante la fermentación. Este proceso consiste en llenar los tanques tinas con el pergamino en baba, obtenido luego del despulpado. A continuación, se le deja reposar de 18 a 36 horas. El tiempo de fermentación varía según la temperatura del ambiente y la altitud de las fincas.

Un método sencillo para saber cuándo ha finalizado el proceso es verificar que al introducir una pala dentro del tanque el hoyo formado no vuelva a su estado natural. Otro método para realizar la fermentación es introducir el café en baba en sacos que serán cerrados y reposarán por un tiempo un poco más prolongado, que el anterior método

Lavado. El objetivo es extraer todo resto de mucílago remanente que queda en el pergamino. Para ello, se utiliza agua que proviene de las tuberías y se procede a realizar los enjuagues necesarios para obtener un pergamino limpio. En promedio, suelen realizarse de 2 a 3 enjuagues.

Secado. El café pergamino se extiende sobre carpas de polipropileno negro y estas se exponen a los rayos del sol. Se debe remover el pergamino para que el secado sea uniforme. Una limitante a este proceso son las lluvias constantes. Por este motivo, muchos productores han fabricado sus módulos de secado que son como un invernadero en donde el pergamino se coloca sobre bandejas de madera.

El tiempo de secado tarda de 5 a 15 días, de modo que el pergamino seco alcance la humedad de 11 o 12%. Los productores almacenan el pergamino seco temporalmente en sus hogares hasta que acumulan una cantidad significativa y proceden a trasladarlo a las cooperativas.

4.3. Beneficio seco (Trillado)

Trillado. En el proceso se hace uso de trilladoras que mediante la fricción convierten el café pergamino seco en café verde, pues el pergamino está envuelto en una cascarilla delgada que al ser removida se logra obtener el café verde. Este proceso se puede realizar manualmente, pero al trabajar con toneladas de café es necesario el uso de las trilladoras.

El café verde se embolsa en bolsas *Grain Pro* y éstas a su vez en sacos de yute, con el fin de evitar cualquier tipo de contaminación hasta que llegue a su destino final. Los sacos de café verde se transportan a los diferentes puertos y se colocan contenedores para su posterior exportación hacia sus respectivos destinos.



5

CÁLCULO DE EMISIONES E IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS

La metodología ACV permite que, a lo largo del proceso productivo para la obtención de café verde, se identifique de forma cualitativa y cuantitativa qué materiales, energía, equipos y otros, son necesarios para el desarrollo de un proceso. De la misma manera, luego de que se lleve a cabo el proceso, se identifica cuáles son los residuos, mermas, efluentes, entre otros.

Muchas veces los productores realizan las actividades en campo de manera mecánica, porque trabajan en algo que conocen y saben cómo hacerlo. Pero el desarrollar un inventario contribuye al análisis de cada acción. Además, el conocimiento del proceso se amplía y mejora de manera más comprensiva.

Otra etapa de la metodología es la evaluación del impacto. Es aquí donde se identifican cuáles son los procesos en donde se genera la mayor contribución a las emisiones correspondientes a la categoría de impacto elegida. En esta guía, la principal categoría de impacto es el cambio climático, siendo los GEI los que contribuyen a esta categoría, donde el indicador es el CO₂ - eq.

Para una cooperativa cafetalera el cálculo de sus emisiones se divide en tres procesos. En primer lugar, todo lo relacionado con la cosecha de cerezo. En segundo lugar, la etapa de poscosecha. Ésta se subdivide en tres escenarios (0%, 50% y 100% compostaje) para comparar casos. Por último, el proceso de trillado (incluye el transporte del café verde al puerto). Como se puede observar en la Figura 9, la etapa que contribuye a una mayor emisión del CO₂ eq. es la poscosecha.

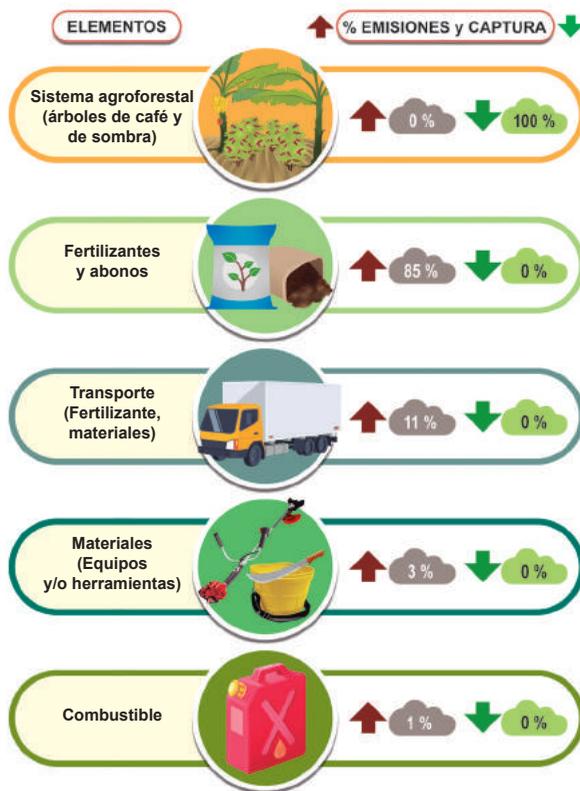
Figura 9
Emisiones de CO₂ - eq en el Ciclo de Vida del Café y Escenarios de Compostaje



El principal hallazgo es que la principal fuente de emisión de CO₂ – eq. es el metano (CH₄) en la etapa de poscosecha debido a la descomposición de los residuos del despulpado. Pero la duda puede surgir sobre qué elementos contribuyeron a esta emisión y en qué medida.

Para detallar las emisiones de cada etapa, se presentarán tres flujos con los porcentajes de contribución de emisiones y captura de cada elemento involucrado en cada etapa. La Figura 10 detalla los elementos involucrados en la primera etapa.

Figura 10
Flujograma de la Etapa de Cultivo y Cosecha con % de Emisiones y Captura



Nota. La etapa de cultivo y cosecha es la única que cuenta con captura de carbono debido al Sistema Agroforestal del café (árboles de café y árboles sombra).

En este caso la emisión total para la etapa de cultivo y cosecha es de 0.61 kg de CO₂ – eq. por 1 kg de café verde y el 85.31% corresponde a la generación de óxido nitroso (N₂O) a causa del uso de fertilizantes (orgánicos y sintéticos).

Para el cálculo de N₂O se consideraron las emisiones directas, indirectas y por lixiviación en los suelos. Se usaron las cantidades declaradas de fertilizantes orgánicos e inorgánicos y se calculó la cantidad de nitrógeno en dichos fertilizantes de forma independiente. De esa manera se pudieron aplicar las fórmulas del IPCC para la cuantificación de emisiones.

Para la segunda etapa (poscosecha), la Figura 11 muestra el detalle de las emisiones por cada elemento involucrado.

Figura 11

Flujograma de la etapa de poscosecha con % de emisiones y escenario 50% compostaje



Nota. En esta etapa no se cuenta con captura de carbono y solo se muestran los % de emisiones del escenario en donde se composte el 50% de la pulpa y cáscara de café (cercano al real).

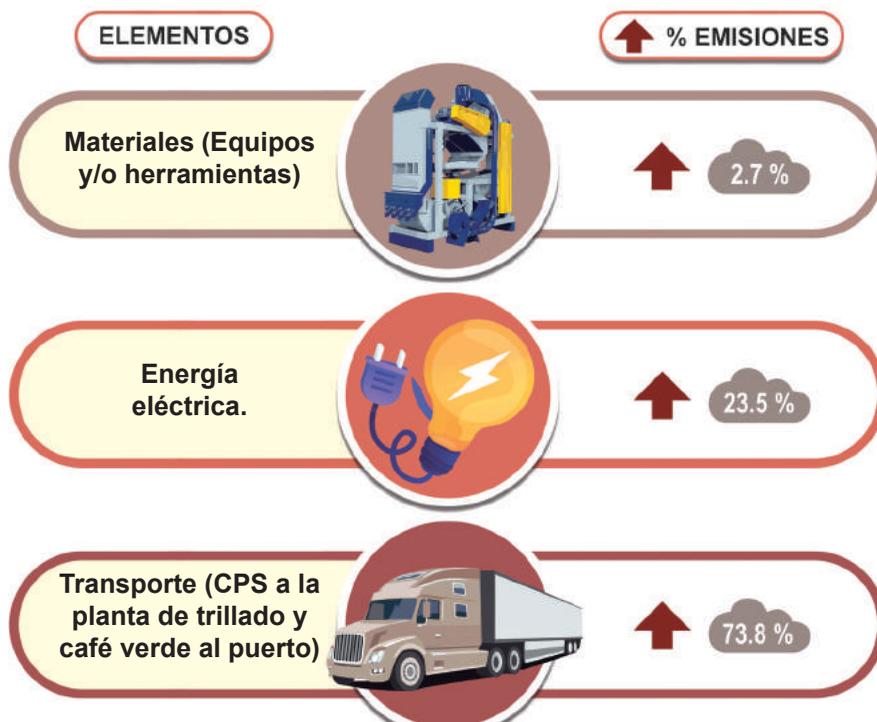
En la poscosecha, la descomposición de la materia orgánica al ambiente sin ningún tratamiento es la causante de la mayoría de las emisiones debido a la presencia del metano. Por ejemplo, en un escenario en donde no se realiza compostaje, la emisión es de 2.14 kg de CO₂ – eq. por 1 kg de café verde y el despulpado representa el 89.06% de la emisión total.

La situación cambia si el nivel de compostaje se eleva a 50%, donde la emisión de metano se reduce a 1.19 kg de CO₂ – eq. por 1 kg de café verde que representa el 80.3% de la emisión total. Sin embargo, en una situación ideal en la que el 100% de residuos orgánicos se composta, la emisión de metano disminuye en gran escala pues solo sería 0.23 kg de CO₂ – eq. por 1 kg de café verde.

Finalmente, la Figura 12 muestra el detalle de las emisiones en la última etapa. Esta incluye el transporte al puerto y solo se tienen emisiones.

Figura 12

Flujograma de la Etapa de Trillado con % de Emisiones





6

CÁLCULO DE LA CAPTURA

Con la ayuda de la metodología explicada en el capítulo 2, se calculó la captura de carbono de un SAF con café.

Primero, se tomó muestra de las características de los árboles de café y árboles sombra con los formatos del Anexo B. El carbono secuestrado puede variar según el tipo de cafeto, edad de la plantación, la densidad y el tipo de árbol sombra. Además, los datos recopilados muestran que hay distintas variedades de café y de árboles sombra en una misma hectárea y a cargo de un mismo productor.

Para calcular su captura, se usan las distintas ecuaciones alométricas presentadas anteriormente, según la especie de árbol correspondiente. Para el cálculo de la captura total y análisis de los resultados se recomienda compilar la información en solo dos tipos: cafetos y árboles sombra. Los resultados promedio obtenidos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Cálculo de la Captura de Carbono en un SAF con Café según la Unidad Funcional (U.F.)

Tipo	Tasa de captura ponderada (t CO ₂ / árbol-año)	Densidad (árboles/ha)	Captura (t CO ₂ / ha-año)	Captura (kg CO ₂ / ha-año)	Producción café verde (kg/ha-año)	Captura para la U.F. (kg CO ₂ /Kg café verde)
Cafetos	0.000152	4773	0.725	725.4	897.5	0.81
Árboles sombra	0.02743	59	1.618	1618.4	897.5	1.80
CAPTURA TOTAL						2.61

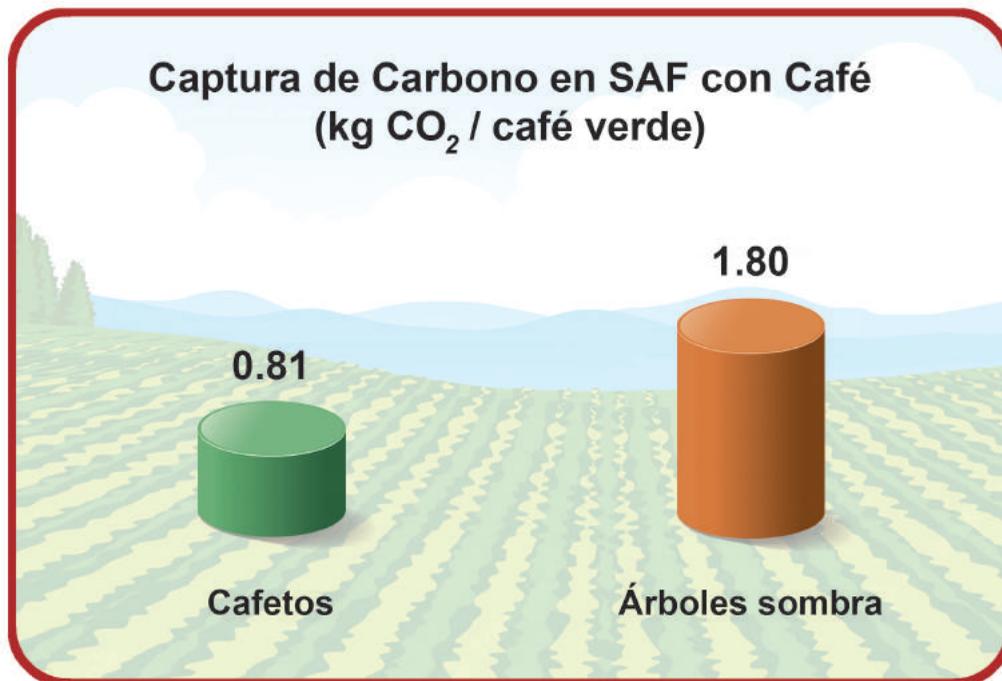
En la Tabla 5 se muestran los cálculos para obtener la captura de carbono con base en la unidad funcional para cada tipo de árbol. En la segunda columna se detalla la tasa de captura, la cual está referenciada en base a la cantidad de CO₂ que se captura por cada árbol en un año, según sea su tipo (0.000152 tCO₂ / cafeto al año y 0.02743 tCO₂/ árbol sombra al año).

Al multiplicar la tasa de captura ponderada con la densidad de árboles correspondiente (en promedio 4773 cafetos y 59 árboles sombra) se obtiene la captura para cada hectárea en un año. Para estimar la captura respecto a la unidad funcional (kg de café verde), primero se calcula la

producción de café verde en una hectárea al año (897.5 kg café verde /ha-año) y luego se divide con el valor obtenido anteriormente. De esta manera, se obtiene que la captura de los cafetos para 1 kg de café verde es de 0.81 kg CO₂ y la captura para los árboles sombra es de 1.80 kg CO₂, con una captura total de 2.61 kg CO₂/kg café verde.

La Figura 13 muestra un gráfico comparativo entre la captura de los cafetos y árboles sombra. Además, se muestra que la captura correspondiente a los árboles sombra alcanza un 69% de captura respecto del total y la captura de los cafetos solo representa el 31% de la captura obtenida.

Figura 13
Comparación de la Captura de Carbono de Cafetos y Árboles Sombra en un SAF



Los valores muestran que la captura de los árboles sombra son superiores (más del doble) a la captura de los cafetos, confirmando sus beneficios ambientales en adición a sus ventajas agronómicas.



7

**BUENAS PRÁCTICAS PARA
LA MITIGACIÓN DE LA
HUELLA DE CARBONO**

Existen diversas recomendaciones a nivel técnico que permiten desarrollar un sistema de producción del café sostenible. Los acuerdos giran en tres ejes principales que cumplen con respetar la perspectiva de ciclo de vida, organizando en torno a sus etapas las medidas de mitigación.

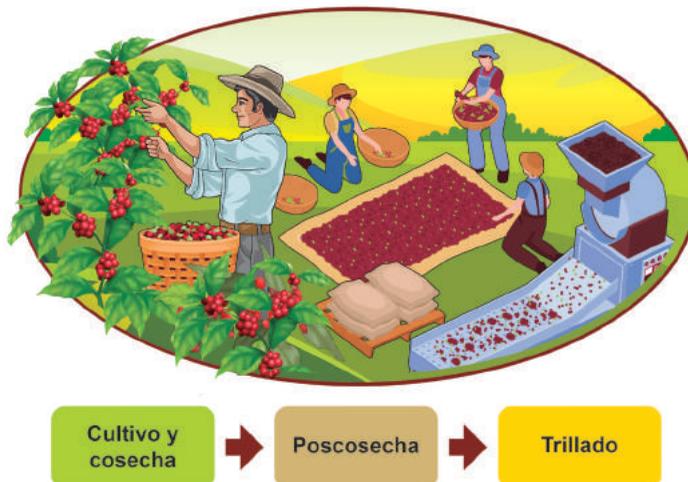
Se tienen tres etapas definidas:

- a) Etapa de cultivo y cosecha, que incluye todas las operaciones del manejo agronómico y SAF.
- b) Etapa de poscosecha, que implica el beneficio húmedo y procesamiento del cerezo.
- c) El trillado y la puesta en puerto.

En primera instancia se pueden organizar las medidas de mitigación y luego continuar con las de compensación, bajo una perspectiva de ciclo de vida. Se puede seguir el esquema básico mostrado en la Figura 14.

Las medidas de mitigación descritas cumplen con la *Estrategia de producción más limpia* (ahorro en el consumo de materias primas, agua, energía, entre otros) y con el *Modelo de producción de economía circular* que implica mantener los recursos en ciclos productivos por más tiempo como, por ejemplo, compostar los residuos, aprovechar los subproductos no deseados y usarlos en otras producciones (cascarilla, pulpa de café, entre otros).

Figura 14
Cadena Productiva del Café, con Perspectiva de Ciclo de Vida de Puerta a Puerta



Nota. Los estudios y evaluaciones de ciclo de vida del café orgánico, entre otros, suelen considerar este alcance como una forma eficaz y próxima a la realidad de los socios productores de organizaciones asociativas como las cooperativas, en la medida que ellos pueden implementar estas recomendaciones y lograr, en el mejor de los casos, el escenario carbono neutro.

7.1. Buenas prácticas para la mitigación en el cultivo y cosecha

Para lograr un café verde carbono neutro el reto principal es mantener o mejorar el nivel de productividad de los cafetos y mitigar las emisiones provenientes de sus procesos. Para la etapa de cultivo y cosecha, eso significa mejorar el manejo agronómico mediante prácticas que mejoren el rendimiento y al mismo tiempo minimicen las emisiones de GEI y mejoren la captura de carbono. A continuación, se detallan recomendaciones para los principales elementos del cultivo y cosecha.

7.1.1. Suelo

El suelo es una de las mayores riquezas que posee el caficultor ya que, además de servir como soporte a los cafetos, es almacén y fuente de nutrientes para las plantas.

Las características principales del suelo y la calidad de sus nutrientes dependen de la zona donde se ubiquen, pero también de las actividades y buenas prácticas que se realicen para combatir la erosión (Aranda et al., 2014).

Un suelo fértil y conservado con prácticas ambientales es el mejor fundamento para un cultivo productivo y sostenible. Para lograrlo, se propone lo siguiente:

- **Reposición de nutrientes al suelo.** Para reponer la extracción de nutrientes por parte del cultivo, es necesario abonar los suelos. En la medida de lo posible, se recomienda un análisis de suelos para conocer qué es lo que debemos suplir sin afectar la estructura física/química del suelo, ni la disponibilidad de nutrientes que el suelo tiene. Estas dosificaciones deben ser aplicadas al comienzo de la época lluviosa y a dosis bajas evitando la erosión y lixiviación por el efecto de las lluvias (Programa de Desarrollo Alternativo-Satipo, s.f.).

Esta práctica es recomendada a través de la aplicación de abonos orgánicos, como el compostaje, ya que estimula la diversidad y actividad microbiana del suelo. Se recomienda un buen manejo de la compostera (controlar humedad y temperatura) y que esta tenga un techo o protector para que facilite el proceso de descomposición y evite la emisión de GEI.

- **Manejo del suelo.** Como medida de conservación de los suelos, se recomienda contar con árboles sombra compatibles con el cultivo de café para mantener la humedad y, a su vez, generar materia orgánica que luego de la poda sea incorporada al suelo. Asimismo, una buena práctica ambiental es contar con canales de infiltración, que deben ir con el contorno del suelo, para que recojan las aguas de lluvia y se infiltren en el suelo sin causar erosión (IICA, 2019).

7.1.2. Fertilización

La fertilización es un factor importante en la mitigación de la huella de carbono, dada su importancia para la productividad de la planta y las emisiones de GEI que conlleva su aplicación. Aranda et al. (s.f.), indican que el grado de fertilidad depende del tipo de suelo y de las condiciones del clima, sin embargo, hay cuatro elementos que deben considerarse:

- **Utilizar el fertilizante correcto y además orgánico.** Tales como el compost, el abono de la lombriz californiana y/o abonos orgánicos preparados (Bocashi, Pashakushi, entre otros).
- **Aplicar el fertilizante en la dosis necesaria y adecuada.** El saber cuánto fertilizante necesita la planta y no sobre fertilizar los cultivos, ahorra recursos económicos y materia prima (*Producción más limpia*), y a su vez evita GEI innecesarios.
- **Aplicar los fertilizantes en el momento idóneo.** Esto es clave para mejorar la producción de los cafetos. Por ejemplo, se sugiere fertilizar cuando el suelo esté húmedo y no en horas en que la temperatura sea muy alta. Evitar aplicar el fertilizante cuando se avecine una tormenta de lluvia para evitar que este lave los fertilizantes.
- **Fertilizar en el lugar correcto respecto a la planta.** El abono se debe aplicar en semicírculo o media luna a 20 - 40 cm alrededor de la planta en la parte superior del suelo y luego se debe cubrir con hojarasca para evitar que se pierda o se lave (IICA, 2019).

7.1.3. Sistema agroforestal

Los sistemas agroforestales (SAF) constituyen una forma de uso de la tierra en donde al menos dos especies de plantas interactúan biológicamente. Una de ellas es perenne y la otra tiene fines agrícolas, puede ser anual o peri anual.

En el caso de los cafetales en SAF, los árboles que acompañan al cultivo deben favorecer la productividad del café y, además, prestar servicios ambientales (IICA, 2019). Por otra parte, los SAF tienen el potencial de conservar la diversidad de árboles nativos y secuestrar carbono para mitigar el cambio climático (Richards et al., 2014).

Según Aranda (2014), para lograr un productivo SAF con café se depende de varios factores. En primer lugar, la selección de la semilla o especie del cultivo de café, la cual debe ser la mejor adaptada al sitio o lugar donde se requiere establecer o renovar la plantación.

La semilla seleccionada debe provenir de cerezas bien maduras y estas deben estar ubicadas en medio de las ramas de la parte central de los cafetos. El semillero debe estar ubicado en un terreno plano y poco inclinado, cerca del lugar donde se realizarán las plantaciones.

Gracias a las interacciones de los árboles con el cultivo, el SAF contribuye de manera positiva al incremento de la productividad de las parcelas, la adaptación del sistema productivo y los medios de vida del productor al cambio climático, a la mitigación de su impacto y al incremento de los sumideros de carbono (ICRAF, 2017).

Los beneficios de un SAF son objetivos y, por lo tanto, su correcta planificación y adecuada implementación en las parcelas de café contribuirá a la mitigación de los GEI.

7.1.4. Árboles sombra

El tener árboles sombra en el cultivo de café contribuye a la captura de carbono y de otros gases que contaminan la atmósfera, con lo cual se mitigan efectos del cambio climático (Aranda, 2014). En ese sentido, el manejo de la sombra es esencial para maximizar el beneficio de la adaptación de los árboles, el secuestro de carbono y mejorar la productividad de los cafetos.

Para lograr un manejo de la sombra adecuado, es necesario conocer los árboles adecuados para dar sombra al café. Un árbol de sombra ideal debe pertenecer a la familia de las leguminosas (que pueden fijar el nitrógeno atmosférico en el suelo) y tener un alto hábito de crecimiento extendido, hojas pequeñas y ser resistente al daño del viento.

Teniendo en cuenta los anteriores parámetros, los árboles identificados como aptos para acompañar a los cafetales son *Albizia sp.*, *Ficus sp.*, *Acacia albida*, *Cordia africana*, *Leucaena leucocephala*, *Citrus sinensis*, *Sesbania sesban*, *Grevilia robusta*, *Pterocarpus marsupium*, *Cedrella toona*, *Artocarpus integrifolia*, *Artocarpus hirsute*, *Bischofia javanica*, *Erythrina lithosperma*, *Terminalia bellarica*, etc. Es deseable tener una mezcla de todos estos árboles en una determinada plantación para proporcionar sombra del dosel y mejorar la biodiversidad del sistema (Alemu, 2015).

Además, Aranda (s.f.), menciona que los árboles sombra generan un microclima que disminuye el desgaste acelerado de los cafetos y permite una maduración casi homogénea de los granos de café, lo que favorece su calidad. También genera una cantidad considerable de materia orgánica con las hojas que caen al suelo. De esta manera, los nutrientes en los suelos cafetaleros se regeneran de forma natural y se mantienen húmedos. Ello los protege contra los efectos de la sequía y del cambio climático.

La densidad de la sombra puede variar según las condiciones agroclimáticas de cada lugar y del árbol sombreador. La sombra de mayor densidad es la de cobertura entre un 50-70% y la de menor densidad de 25 a 30% (Aguilar, 2012).

El nivel de sombra en el cafetal depende de factores ambientales como la precipitación, las horas luz, la humedad relativa, la nubosidad, también de la arquitectura o las características de la especie vegetal seleccionada como sombrero, de características edáficas y de la competencia por nutrientes y agua que la especie arbórea ejerza sobre el cafetal (IICA, 2019).

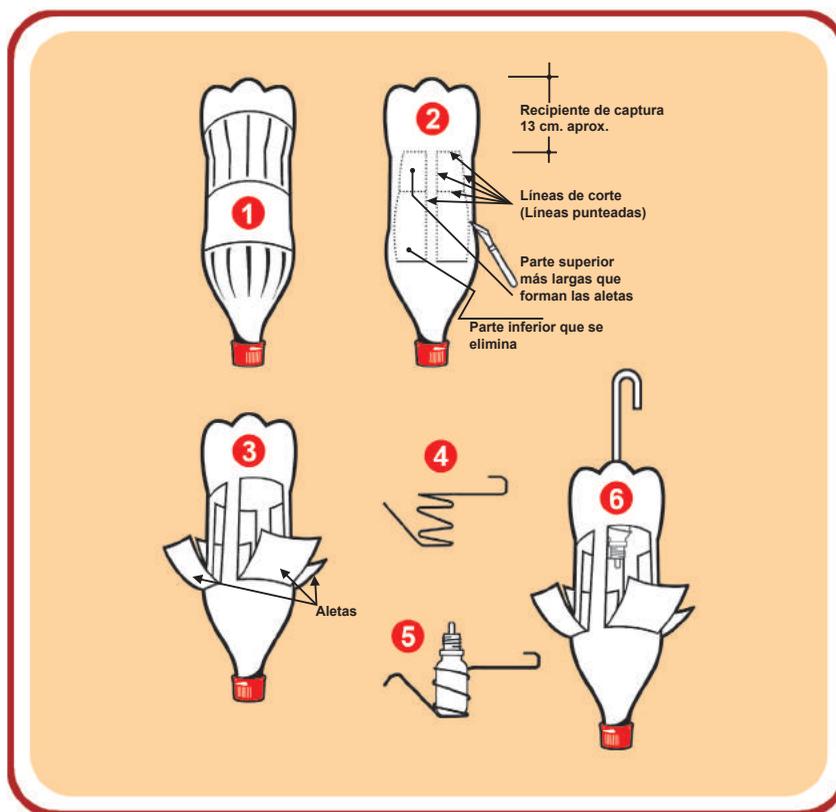
Según el Programa de desarrollo activo en Satipo (s.f.), la cantidad de árboles sombra depende, además, de la altura de los cultivos. Entre 900 a 1200 m.s.n.m. se recomienda sembrar en promedio 156 árboles/ha. y a mayores alturas este número se reducirá a 100 árboles/ha. Además, recomiendan sembrar árboles de sombra de diferentes especies (12 especies como mínimo) para mantener la biodiversidad.

7.1.5. Plagas y Enfermedades

Para combatir a plagas y enfermedades, mitigando los GEI, se requiere el uso de sustancias y/o labores que estén permitidas en la agricultura orgánica certificada. Es decir, se descarta el uso de químicos o elementos contaminantes como los insecticidas y fitosanitarios.

En primer lugar, las condiciones dentro del cafetal deben ser óptimas en cuanto a humedad, luz, temperatura; y las plantas deben estar bien nutridas. Se recomienda un adecuado calendario de podas y deshierbo de los cultivos. Es importante cosechar siempre todas las cerezas maduras para evitar que se conviertan en alimento de las plagas (Aranda, 2014).

Figura 15
Pasos para Elaborar Trampa Artesanal contra la Broca del Fruto del Café.



Nota. PROCAGICA (El Salvador)

Asimismo, se pueden usar prácticas artesanales para preparar trampas. Por ejemplo, botellas plásticas recicladas para atraer el principal enemigo del café: la broca, como se muestra en la Figura 15.

Según IICA (2020), estas trampas deben estar a una altura no mayor a los 1.20 m, ya que la broca no vuela más alto que eso. Además, es necesario un adecuado mantenimiento de las trampas y que estas sean colocadas después de finalizada la cosecha y antes de que se haya formado el grano (época en donde la hembra vuela para buscar poner sus huevos).

7.2. Buenas prácticas para la mitigación en la poscosecha y trillado

7.2.1. Residuos sólidos orgánicos

Compostaje. Con base en los puntos críticos identificados, se conoce que el mayor impacto ambiental se genera por la emisión de metano, producto de la descomposición ambiental de la pulpa y cáscara que son los residuos del proceso de despulpado.

Los productores conocen cómo realizar el proceso de compostaje, pero la recomendación no radica en ello sino en el tamaño de sus composteras. En algunos casos, solo se construyen para cumplir la exigencia de las inspecciones y no terminan siendo proporcionales con la cantidad de pulpa y cáscara que se obtendrá del despulpado. Los técnicos deben ser más rigurosos con las exigencias de la inspección porque basta con que se observe que está construida la compostera para que se considere que se cumple con el requerimiento.

Otro factor importante por considerar es la altitud de las fincas pues a mayor altitud es menor el grado de descomposición de los residuos orgánicos. Esta condición repercute en la homogeneidad de la descomposición porque si no se realizan volteos, la temperatura se centraliza en ciertos sectores.

En resumen, con una compostera del tamaño apropiado se agilizará la actividad de compostaje en las fincas cafetaleras. Esta práctica del compostaje incluye producción más limpia y economía circular al reducir los residuos y generar un nuevo producto (abono) con los mismos.

La literatura define al compostaje como una mezcla de diferentes tipos de materia orgánica en descomposición que, al someterse a condiciones aeróbicas, favorece al suelo porque le suministra nutrientes (FAO, 2009). También se define como una constante interrelación entre residuos orgánicos, microorganismos, el aire y la generación de calor. (Moreno & Moral, 2008).

Es importante considerar la dureza que presentan los insumos que se utilizarán en la elaboración del compost. Por ejemplo, la textura de una hoja no es la misma que la de una rama o la de la pulpa de cerezo. Para combinar todos los elementos y lograr que se integren adecuadamente se les debe cortar en pequeños pedazos. Si es de una textura más difícil de desintegrar, su corte debe de ser en pedazos más finos y de menor tamaño.

Otra forma de contribuir a la descomposición son los microorganismos. En primer lugar, se tienen a los microorganismos artificiales como la levadura. En segundo lugar, están los microorganismos naturales que se pueden encontrar en el mantillo de las montañas.

Utilizando cualquiera de ellos, se le debe de alimentar con menestras, leche fresca, harinas de trigo y miel de café para que se fermenten. Tras ello, la mezcla fermentada contribuirá en la desintegración de los residuos que se encuentren en las composteras. No olvidar la serie de volteos para la aireación y tiempo de reposo para la generación de calor que favorezca la desintegración de los elementos que se están compostando. Finalmente, se utiliza una zaranda para cernir el compost y lo que no se haya logrado descomponer se reserva para que se utilice en el siguiente proceso de compostaje.

Cada productor cafetalero puede producir su propio compost en sus fincas o puede optar por vender los sacos de compost para la fertilización.

Para ello, primero deben capturar a los microorganismos del bosque. Esta labor pueden realizarla fácilmente llevando al lugar arroz cocido en un táper. A continuación, retirar la tapa y cubrirla con tierra. De 10 a 15 días se debe dejar el táper en el bosque para garantizar que los microorganismos se adhieran al arroz (Condori, 2020).

Otro paso es colocar los microorganismos en un tanque, adicionar agua, melaza de caña, menestras, previamente molidas y leche o suero. Luego de tapar bien el tanque, se le hace un agujero a la tapa y se coloca un pedazo de manguera para que salga el gas que desembocará en una botella que estará, hasta la mitad, llena de agua. Este biodigestor estará en reposo de 2 a 3 semanas hasta que se cumpla la fermentación anaeróbica. Se puede reconocer que el proceso ha finalizado cuando se forma una especie de costra blanca en la parte superior.

El contenido del tanque se adicionará a los residuos orgánicos y guano que esté en la compostera para que se acelere la descomposición. Se recomienda que 2 veces por semana se realicen los volteos, durante alrededor de 60 a 90 días, tiempo que dura el compostaje y en los que se deben incorporar los microorganismos continuamente (IICA, 2020). Una ventaja del biodigestor es que cuando esté a punto de acabarse se vuelve a adicionar agua y alimentar nuevamente con los diferentes aditivos, y nuevamente puede utilizarse para contribuir a la elaboración del compost.

Reúso de la cascarilla de café. Una opción para secar el café pergamino y lograr que alcance la humedad de 10-11% es mediante el secado mecánico. Usualmente estos secadores son como tanques o silos en donde los granos son depositados. Posteriormente la corriente de aire que ha sido calentada transferirá ese calor a los granos de café para que reduzcan su contenido de humedad.

Para que funcione esta máquina se necesita una fuente de combustible, la propuesta es emplear la cascarilla de café que es un residuo del proceso de trillado. Si se analiza el poder calorífico de la cascarilla resulta que es de 17.9 MJ/kg lo cual sería una buena opción frente al carbón mineral (hulla) que tiene un poder calorífico de 33.4 MJ/ kg (Oliveros et al., 2009).

Estableciendo una relación simple, se necesitan 2 kg de cascarilla de café para que, energéticamente, sea equivalente a 1 kg de hulla. Por lo tanto, en vez de que se compre la hulla u otro tipo de combustible, se puede utilizar la cascarilla para ahorrar dinero y evitar la quema de un combustible fósil que es perjudicial para el ambiente. Esta práctica incluye producción más limpia y economía circular al reducir los residuos y utilizar la cascarilla como combustible en otro proceso.

Por otro lado, se recomienda que también se tenga presente propuestas de mejora para que se disminuya los niveles de ruido y mitigar la contaminación auditiva. Una manera es que entre las especificaciones de las maquinarias se incluya los niveles de emisión sonora así elegir las menos peligrosas. Los niveles de ruido pueden aminorarse haciendo uso de silenciadores o deflectores en la zona donde está ubicado la máquina y a su vez con elementos de protección para los operarios como orejeras. Asimismo, se derivan impactos como la generación de material particulado y por el consumo de energía. Hoy en día, las empresas optan por la adquisición de maquinarias y equipos energéticamente más eficientes y modernos que aminoren los impactos ambientales.

7.2.2. Consumo de agua

En algunos lugares no es necesario regar los cultivos, ya que las lluvias anuales y las precipitaciones a lo largo de los meses del año son suficientes para tener buenas cosechas y producción. Sin embargo, el cambio climático está provocando cambios en las precipitaciones anuales, provocando distorsiones en las precipitaciones y manifestándose también en fenómenos meteorológicos extremos, como lluvias o sequías prolongadas e intensas. Por todo ello, es vital

aprovechar los períodos de lluvia y captar esa agua construyendo fosas de contención. De ese modo, mediante la infiltración, se mantendrá húmedo el suelo y se tendrá la disponibilidad de agua en los períodos de sequía.

Asimismo, para reducir el consumo de agua en la etapa de poscosecha del café se debe instalar un contador de agua para tener un registro del consumo diario. De la misma manera, también se debe registrar la cantidad de café lavado.

Con ambos datos se puede calcular cuál es la cantidad de agua consumida versus la cantidad de café lavado. Luego se podrá establecer un indicador que permita controlar dicho consumo. Otra propuesta es hacer una inspección de todas las tuberías para evitar cualquier fuga de agua que contribuya a incrementar el consumo.

Resumen de buenas prácticas.

Briones-Ruiz y et al. (2022) evaluaron las vinculaciones sociales y la introducción de buenas prácticas, agrupadas en siete rubros: 1) nutrición, 2) sanidad, 3) manejo de suelos, 4) manejo de plantaciones, 5) administración, 6) organización y 7) reproducción y genética; aspectos que fueron además recogidos desde diversas fuentes como el INIFAP (2013) y SAGARPA (2016).

Sin embargo, esta agrupación no considera a la perspectiva de ciclo de vida, que se propone antes, y como tal debe ser reordenada no solo por su pertenencia a los diferentes eslabones de la cadena o ciclo de vida, sino también por su contribución a la disminución de emisiones. De ese modo, luego de una explicación a detalle de las medidas de mitigación de cada etapa, se elaboró la matriz resumen de la Tabla 6.

Tabla 6
Medidas de Mitigación Organizadas según la Perspectiva de Ciclo de Vida y Bajo el Paradigma de Carbono Neutralidad

Etapas del ciclo de vida	Procesos de mejora	Responsable de la mejora	Nivel de mitigación total
<p>Cultivo y cosecha</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Manejo de suelos (Fertilidad) - SAF (reproducción y genética de los cultivos) - Implementación y cuidado de árboles sombra - Fertilización orgánica - Sanidad orgánica y artesanal 	<p>Productor</p> <p>Productor</p> <p>Productor</p> <p>Productor</p> <p>Productor</p>	<p>Alta</p> <p>Baja</p> <p>Alta</p> <p>Alta</p> <p>Alta</p>
<p>Poscosecha</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Prácticas de compostaje - Cuidados en el consumo de agua 	<p>Productor</p> <p>Productor</p>	<p>Alta-baja</p> <p>Productor</p>
<p>Trillado</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Reciclaje y reúso de los residuos generados (cascarilla de café) 	<p>Cooperativa</p>	<p>Cooperativa</p>

Nota. Imágenes de IICA (2019) y Aranda et al. (s.f.)



8

BIBLIOGRAFÍA

Escuela de Organización Industrial. (2016). *Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental: Análisis de ciclo de vida [Publicación]*. Recuperado de <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/25482/analisis-de-ciclo-de-vida>.

Estévez, R. (2016). *El Análisis de Ciclo de Vida y su marco normativo*. Recuperado de <https://www.ecointeligencia.com/2016/05/acv-marco-normativo/>

Ley N° 28611. Ley General del Ambiente (15 de octubre del 2005) <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (s.f.). *Huella de carbono*. <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>

Organización Internacional de Normalización. (2006). *Gestión ambiental – Análisis del ciclo de vida: Principios y marco de referencia (ISO 14040)*. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>

Padgett, P., Steneman, A., Clarke, J., & Vanderbergh, M.A. (2008). A Comparison of Carbon Calculators, *Environmental Impact Assessment Review*, (28), 106-115.

Pinedo, J. (s.f.). *Huella de Carbono*. Recuperado de <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/huella-de-carbono/>

PNUMA. (2004). *¿Por qué adoptar un enfoque de ciclo de vida?* [Publicación]. Recuperado de https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1731Why_take_a_life_cycle_approach_ES.pdf

SETAC. (1993). *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A "Code of Practice"*. Bruselas: SETAC.Sierra Exportadora. (s.f.). *Abonamiento de café* [Cartilla informativa]. Recuperado de http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/Abonamiento_cafe.pdf

Wiedmann, T. (2009). Carbon Footprint and Input – Output Analysis. *Economic Systems Research*, (21), 175-186.

Sánchez, D. G. (2010). Costa Rica: una agenda ambiental más allá del carbono neutro. *Iberoamericana* (2001-), 10(38), 169-172.

Espinoza-Domínguez, W., Krishnamurthy, L., Vázquez-Alarcón, A., & Torres-Rivera, A. (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(1), 57-70.

Nair, P. K. R. (1993). An introduction to agroforestry. The Netherlands. Kluwer Academic Publishers.

Carvajal-Agudelo, B. N., & Andrade, H. J. (2020). Carbon capture regarding biomass from rural land use systems near the municipality of Yopal, Casanare, Colombia. *ORINOQUIA*, 24(1), 13-22.

Benjamín, J. A., & Maser, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y bosques*, 7(1), 3-12.

Chen, J. M. (2021). Carbon neutrality: Toward a sustainable future. *The Innovation*, 2(3).

Richards, M. B., & Méndez, V. E. (2014). Interactions between carbon sequestration and shade tree diversity in a smallholder coffee cooperative in El Salvador. *Conservation Biology*, 28(2), 489-497.

Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental pollution*, 116(3), 381-389.

Schrag, D. P. 2007 Preparing to capture carbon. *Science* 315, 812–813. (doi:10.1126/science.1137632)

Lal, R. (2008). Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 815-830.

Moreno, J., & Moral, R. (2008). *Compostaje*. Madrid, España: Mundi – Prensa.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. (2009). *Glosario de Agricultura Orgánica*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-as989t.pdf>

Richards, M. B., & Méndez, V. E. (2014). Interactions between carbon sequestration and shade tree diversity in a smallholder coffee cooperative in El Salvador. *Conservation Biology*, 28(2), 489-497.

Alemu, M. M. (2015). Effect of tree shade on coffee crop production. *Journal of Sustainable Development*, 8(9), 66.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), (2020). Guía práctica de caficultura. El Salvador.

Rapidel, B., Allinne, C., Cerdán, C., Meylan, L., Virginio-Filho, E., & Avelino, J. (2015). Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales. *Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie técnica. Informe técnico*, 42, 5-20.

IICA (2019). Manual de producción sostenible de café en la República Dominicana / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. – República Dominicana: IICA, 2019.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), (2020). Guía práctica de caficultura. El Salvador.

Condori, X. (2020). Identificación y clasificación de microorganismos eficientes del suelo en la estación experimental Patacamaya. (Tesis de grado). Recuperado de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/24902/T-2770.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2020). Guía práctica de caficultura [Guía]. Recuperado de <https://iica.int/sites/default/files/2020-11/impresion%20GPCAFI%2010.2020.pdf>

Oliveros, C.E., Sanz J. R., Ramírez, C.A. & Peñuela A.E. (2009). Aprovechamiento eficiente de la energía en el secado mecánico del café [Ficha técnica]. Recuperado de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0380.pdf>.

Carlotto, C, Dueñas, A, Ingol-Blanco, E, Santa-Cruz, S. (2022). A multi-criteria approach to the selection of geological storage of CO2 sites in Peru. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 114. P. 10360

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781107415324

ANEXO A

FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL ASOCIADO (UNIDAD PRODUCTORA) - ACV DEL CAFÉ

a) Datos Generales del Asociado

I	Nombres	
II	Apellidos	
III	Cooperativa a la que se está asociado	

b) Datos Generales del técnico

IV	Nombres	
V	Apellidos	
VI	Celular	
VII	Correo electrónico	

1. Datos Generales de la Finca

1	Nombres	
2	Tipo de producción	Orgánica <input type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/>
3	Variedad de café	Bourbon <input type="checkbox"/> Catimor <input type="checkbox"/> Catuai <input type="checkbox"/> Caturra <input type="checkbox"/> Gueisha <input type="checkbox"/> Pacasmara <input type="checkbox"/> Pache <input type="checkbox"/> Típica <input type="checkbox"/> Otra <input type="checkbox"/> Especifique:.....
4	Número de parcelas que posee el asociado	
5	Extensión total de los campos de cultivos de café (ha)	
6	Cantidad de cafetos en total	

- Especifique la totalidad de cafetos por variedad y edad

7	Variedad del café	Cantidad	8	Edad del cafeto	Cantidad
				De 0 a 2 años	
				De 2 a 4 años	
				Mayores de 6 años	
	Total			Total	

2. Cultivo

2.1. Limpieza del terreno

- Descripción de la limpieza: Mencione usted cómo limpia su terreno o qué actividades realiza antes de trasplantar las plántulas al campo de cultivo

9	¿Utiliza chaleadoras, motosierra, otros equipos para limpiar su terreno?	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Si responde Sí, pase a la pregunta 10. Si marcó No, continúe en la pregunta 13			
10	¿Cuánto combustible necesita para limpiar todo su terreno?		
11	¿Cuántas veces utiliza este equipo al año?		
12	¿Cuántas horas por vez?		
13	¿Realiza la tumba y el roce?	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Si responde Sí, pase a la pregunta 14. Si marcó No, continúe en la pregunta 15			
14	¿Cuántas veces realiza la tumba y el roce al año?		

- Especifique qué residuos o desechos se producen en la limpieza del terreno (Ej. ramas, hojas, árboles, otros).

15	Tipo de Residuo	Cantidad (t/campaña)	Mencione qué hizo con el residuo

2.2. Preparación del suelo

- Descripción de la preparación: Mencione usted cómo prepara el suelo o qué actividades realiza antes de trasplantar las plántulas.

16	
----	--

- Indicar la cantidad de insumos utilizados para la preparación del suelo antes del trasplante. Por ejemplo, abono, fertilizante, entre otros. Es importante indicar el lugar de procedencia del insumo y qué tipo de transporte se utilizó (auto, moto, camión, etc.) para llevarlo a su terreno.

17	Nombre del abono (orgánico)	Tipo de abono	Cantidad (kg/plántula)	Procedencia (dónde compró el abono)	Tipo de transporte
	Nombre de fertilizante (sintético)		Cantidad (kg)/plántula)	Procedencia (dónde compró el fertilizante)	Tipo de transporte
	Otros insumos		Cantidad (kg)/plántula)	Procedencia (dónde compró el insumo)	Tipo de transporte

- Especifique qué residuos o desechos se producen en la preparación del suelo (Ej. Bolsas, plásticos, sacos, otros).

	Tipo de Residuo	Cantidad (unidad/campaña)	Mencione qué hizo con el residuo
18			

2.3 Trasplante

- Describa cómo realiza el trasplante a su campo de cultivo y señale cuántas plántulas se pierden por algún daño o defecto. Indicar un porcentaje de pérdida. Por ejemplo, el 3% de las plántulas iniciales no califican para ser trasplantadas.

19	¿Qué hacen con esas plántulas desechas?	
20	¿Realiza un control o indentifican plántulas con cola de chancho?	
21	¿Cuántas plántulas presentan cola de chancho en 1 campaña?	

2.4 Manejo agronómico

2.4.1 Abono y/o Fertilización de los cafetos

- Mencione la cantidad, dosis o proporción que utiliza para abonar y/o fertilizar cada cafeto. Por cada variedad de café, especifique las cantidades que aplica a cada cafeto (puñados, tapitas, otros) y su frecuencia (cada cuanto tiempo lo realiza).

	Variedad de cafeto	Nombre de abono o fertilizante	Cantidad (g/cafeto)	Frecuencia de aplicación
22				

- Especifique los tipos de abonos y fertilizantes que utiliza. Es importante indicar su lugar de procedencia y el tipo de transporte que utilizó (auto, moto, camión, etc.) para llevarlo a su terreno. De la misma manera, indicar todos los insumos que se utilizó, por ejemplo, herramientas, sacos, baldes, entre otros.

23	Nombre del abono (orgánico)	Tipo de abono	Procedencia (dónde compró el abono)	Tipo de transporte
	Nombre de fertilizante (sintético)		Procedencia (dónde compró el abono)	Tipo de transporte
	Otro insumo		Procedencia (dónde compro el abono)	Tipo de transporte

- Especifique qué residuos o desechos se producen en el abono y/o fertilización. Por ejemplo, sacos, bolsas, plástico, entre otros.

24	Tipo de Residuo	Cantidad (unidad/campaña)	Mencione qué hizo con el residuo

2.4.2 Poda de cafetos

25	¿Usted poda sus cafetos?	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Si responde Sí, pase a la pregunta 26. Si marcó No, continúe en la pregunta 36			
26	Describa el proceso de poda		
27	¿Cuántas veces al año realiza la poda?		
28	¿Utiliza motosierra u otros equipos para podar los cafetos?	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Si responde Sí, pase a la pregunta 29. Si marcó No, continúe en la pregunta 32			
29	¿Cuánto combustible utiliza para que funcione su equipo?		
30	¿Cuántas veces utiliza este equipo al año?		
31	¿Cuántas horas por vez?		

- **Especifique los tipos de herramientas o equipos que utiliza en la poda de cafetos. Por ejemplo, tijeras, machetes, motosierra, entre otros.**

32	Nombres	Material	Peso unitario (kg)	Cantidad (unidades por Campaña)	Procedencia (dónde lo compró)	Tipo de transporte	Frecuencia de cambio (años)

- **Especifique qué residuos o desechos se producen en la poda.**

33	Tipo de Residuo	Cantidad (kg/m ²)	Mencione qué hizo con el residuo

2.4.3 Deshierbo

34	¿Usted realiza el deshierbo en sus campos de cultivo de café?	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Si responde Sí, pase a la pregunta 35. Si marcó No, continúe en la pregunta 39			
35	Describa el proceso de deshierbo		
36	¿Cuántas veces al año realiza el deshierbo?		

- Especifique los tipos de herramientas o equipos que utiliza en el deshierbo. Por ejemplo, tijeras, machetes, entre otros.

37	Nombres	Material	Peso unitario (kg)	Cantidad (unidades por Campaña)	Procedencia (dónde lo compró)	Tipo de transporte	Frecuencia de cambio (años)

- Especifique qué residuos o desechos se producen en el deshierbo.

38	Tipo de Residuo	Cantidad (kg/m ²)	Mencione qué hizo con el residuo

2.2.4. Especifique qué residuos o desechos se producen en el deshierbo.

39	Describa las plagas y enfermedades que presentan sus cafetos y cómo hace para prevenirlas o controlarlas	
40	¿Con qué frecuencia aparecen las plagas y/o enfermedades a sus cultivos?	

- Mencione la cantidad, dosis o proporción que utiliza para prevenir o controlar las plagas y/o enfermedades por cada cafeto. Especifique los tipos de variedad que tiene, las cantidades empleada por cada cafeto y la frecuencia de aplicación.

41	Variedad de cafeto	Nombre de producto	Cantidad (g/cafeto) (ml/cafeto)	Frecuencia de aplicación

- Especifique los insumos y/o productos usados en el control de plagas y enfermedades. Es importante indicar el lugar de procedencia del remedio o insumo y qué tipo de transporte se utilizó (auto, moto, camión, etc.) para llevarlo a su terreno.

42	Nombre del producto		Procedencia (dónde compró el remedio)	Tipo de transporte
	Otros insumos (botella, tapa, rafia, otros)	Cantidad (unidades por cafeto)	Procedencia (dónde compró el insumo)	Tipo de transporte

- Equipos en la prevención o control de plagas.**

43	¿Utiliza moto pulverizadoras u otros equipos para prevenir o controlar las enfermedades?	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Si responde Sí, pase a la pregunta 44. Si marcó No, continúe en la pregunta 47			
44	¿Qué cantidad de combustible utiliza en una campaña?		
45	¿Cuántas veces al año utiliza estos equipos?		
46	Por vez utilizada, ¿cuántas horas se demora?		

- Especifique los tipos de herramientas o equipos que utiliza en el control y prevención de plagas. Por ejemplo, mochila a palanca, baldes, botellas, entre otros.

47	Nombres	Material	Peso unitario (kg)	Cantidad (unidades por Campaña)	Procedencia (dónde lo compró)	Tipo de transporte	Frecuencia de cambio (años)

2.4.5 Renovación de cafetos

48	Edad en que renueva cafetos según su variedad	
	Variedad	Edad de renovación
49	¿Por qué otros motivos renuevan los cafetos?	
50	Según la variedad, cuántos cafetos cambia al año (recalce)	Variedad
		Cantidad de cafetos (recalce)
51	¿Por qué otros motivos renuevan los cafetos?	

3. Cosecha

52	Describe el proceso de cosecha	
53	¿Cuántas veces cosecha al año?	
54	¿Cuál es el total de cerezos cosechados (kg/ ha – año)? (Respecto al año 2019)	
55	¿Cuántos kilos de cerezo se pierde por cosecha? (Respecto al año 2019)	

- **Detalle las cantidades de cerezos cosechados por cada variedad de café.**

56	Variedad de café	Cantidad de cerezos (kg/cafeto)	57	Variedad de café	Cantidad de cerezos (kg/ha-año)

- **Señalar todos los elementos empleados durante la cosecha.**

58	Nombre	Material (Plástico, yute, madera otros)	Peso Unitario (kg)	Cantidad (unidades/campaña)	Capacidad (m ³)	Frecuencia de cambio

4. Rebalse

59	¿Usted realiza el rebalse?	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>										
Si responde Sí, pase a la pregunta 60. Si marcó No, continúe en la pregunta 67													
60	Describa el proceso de rebalse												
61	¿Qué tipo de recipiente utiliza para realizar el rebalse?												
62	Indicar las dimensiones del recipiente												
63	¿Qué cantidad de agua utiliza para realizar el rebalse de cerezos?												
64	¿Luego del rebalse, qué cantidad final se obtiene de cerezos por variedad de café?	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variedad</th> <th>Cantidad de cerezos (kg - año)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Variedad	Cantidad de cerezos (kg - año)								
		Variedad	Cantidad de cerezos (kg - año)										

- Señalar todos los elementos empleados durante el rebalse de cerezos.

65	Nombres	Material (plástico, madera, otros)	Peso unitario (kg)	Capacidad (m ³)	Cantidad (unidades/campaña)	Frecuencia de cambio (años)
	Baldes					
	Colador					
	...					
	Otros					

- Especifique qué residuos o desechos se producen en el rebalse de cerezos.

	Tipo de Residuo	Cantidad (%)	Mencione qué hizo con el residuo
66	Cerezos con defectos		
	Cerezos no maduros		
	Piedras o ramitas		
	Otros		

5. Beneficiado

5.1. Despulpado

67	¿Qué máquina utiliza para el despulpado?	Despulpadora manual <input type="checkbox"/> Despulpadora de 2 salidas <input type="checkbox"/> Despulpadora de 3 salidas <input type="checkbox"/> Despulpadora de 4 salidas <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Especifique:.....
68	¿Cuál es la potencia de la maquina?	
69	¿Cuántos kilogramos de cerezo despulpa en una hora?	
70	¿Qué tipo de combustible utiliza?	Gasolina <input type="checkbox"/> Diésel <input type="checkbox"/> Electricidad <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Especifique:.....
71	Si utiliza gasolina o diésel, ¿Cuánto es el consumo por una hora?	
72	¿Cuál es la vida útil de la maquina?	
73	¿Dónde compró la máquina y con qué medio de transporte la trasladó hacia su finca?	
74	¿Cuál es el peso en kg o porcentaje del café en baba obtenido luego de despulpar?	
75	¿Qué se hace con la cáscara o pulpa obtenida? Indicar todas las actividades y su porcentaje de participación	

5.2 Fermentado

- Describa usted cómo fermenta su café o cuáles son las actividades que realiza.

76	Por cada variedad, ¿Cuántas horas emplea para fermentar todo el café en baba?	Variedad	Horas de fermentación		
77	¿Usted utiliza tanque tina?	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>		
Si responde Sí, pase a la pregunta 78. Si marcó No, continúe en la pregunta 79					
78	Detalle lo siguiente				
	Nombres	Largo (m)	Ancho (m)	Material	Cantidad de café fermentado por tina (kg)
	Tanque tina 1				
	Tanque tina 2				
**Si tiene forma circular indicar el radio del tanque					

- Señalar todos los elementos empleados durante el fermentado.

79	Nombres	Material (plástico, madera, otros)	Peso unitario (kg)	Capacidad (m ³)	Cantidad (unidades/campaña)	Frecuencia de cambio (años)
	Sacos					
	Palas					
	Otros					

5.3. Lavado

80	¿Usted lava su café fermentado?	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Si responde Sí, pase a la pregunta 81. Si marcó No, continúe en la pregunta 87			
81	Describa el proceso de lavado		
82	¿Cuántas veces lava su café?		
83	¿Qué cantidad de agua alberga el tanque o recipiente utilizado para el lavado?		
84	¿Qué cantidad de aguas mieles se genera?		
85	¿Cuál es el peso total de café lavado?		
86	¿Cuál es la humedad del café luego del lavado?		

5.4. Secado

- **Describa usted cómo seca su café o cuáles son las actividades que realiza.**

87	Por cada variedad, ¿Cuántas horas emplea para secar todo el café lavado?	Variedad	Horas o días de secado
88	¿Cuál es el porcentaje de humedad final de este proceso?		
89	Finalmente, ¿cuál es la cantidad de café pergamino seco obtenido por cada variedad?	Variedad	Cantidad de café pergamino seco (kg - año)

- Señalar todos los elementos empleados durante el secado.

	Nombres	Material	Peso unitario (kg)	Cantidad (unidades por Campaña)	Procedencia (dónde lo compró)	Tipo de transporte	Frecuencia de cambio (años)
90	Carpas						
	Calamina						
	Mallas metálicas						
	Tablas de Madera						
	...						
	Otros						

- Especifique qué productos y subproductos se produjeron durante el secado en la campaña del 2019.

	Salidas	Cantidad (kg/campaña)	Mencione qué hizo con las salidas
91	Pergamino seco		
	Coco		
	Otros		

6. Almacenamiento

- Describa usted cómo almacena el café pergamino seco.

92	¿Dónde almacena el café pergamino seco?	
93	¿Qué medio de transporte utilizó para trasladar el café pergamino seco hasta el lugar de almacenamiento?	

- Señalar todos los elementos empleados durante el almacenamiento de café.

94	Nombres	Material (plástico, madera, otros)	Peso unitario (kg)	Capacidad (m ³)	Cantidad (unidades/ campaña)	Frecuencia de cambio (años)
	Sacos					
	Tarimas					
	...					
	Otros					

ANEXO B

FICHA DE LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LA CAPTURA DE CARBONO- DATOS GENERALES

1. Nombre de la cooperativa:	
------------------------------	--

I. Datos generales del técnico

2. Nombres y Apellidos	
------------------------	--

3. Celular	
------------	--

4. Correo electrónico	
-----------------------	--

II. Datos de parcela – finca

5. Nombre de Parcela - Finca	
------------------------------	--

6. Coordenadas (Latitud, longitud) Calibrar en UTM	
---	--

7. Nombre del asociado - productor	
------------------------------------	--

8. Cultivo	Café	Tipo	
------------	------	------	--

9. Altitud (m.s.n.m.)	
-----------------------	--

10. Anexo (cacerío, comunidad, sector)	
--	--

11. Distrito	
--------------	--

12. Provincia	
---------------	--

13. Departamento	
------------------	--

III. Cultivo

14. Antigüedad de la finca (años)	
15. Extensión asignada al cultivo de café en producción (m ²)	
Esquema de siembra de cafetos	
16. Distancia entre surcos (m)	
17. Distancia entre plantas (m)	
18. Densidad declarada (cantidad plantas/extensión)	

IV. Sombramiento

19. Distancia entre surcos (m)	
20. Distancia entre plantas (m)	
21. Densidad declarada (cantidad árboles/extensión)	
22. Porcentaje de sombra	

COMPOSICIÓN DE LA PARCELA

I. Caracterización de cafetos (tomar como mínimo de 5 a 7 cafetos)

N° de cafeto	Cultivares /variedades	Altura (m)	VER IMAGEN B		Edad (años)	Condición	CAFETO EN TERRENO PLANO VER IMAGEN A (a.1 - a.2)			CAFETO EN TERRENO CON PENDIENTE VER IMAGEN A (a.1 - a.3)		
			Diámetro	Altura al Pecho (m)			Ángulo del transportador para hallar alfa (°)	d1 = distancia del observador al cafeto (m)	d2 = altura del observador hasta sus ojos (m)	Ángulo del transportador para hallar alfa (°)	Ángulo del transportador para hallar beta (°)	d3 = distancia horizontal del observador al cafeto (m)
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												

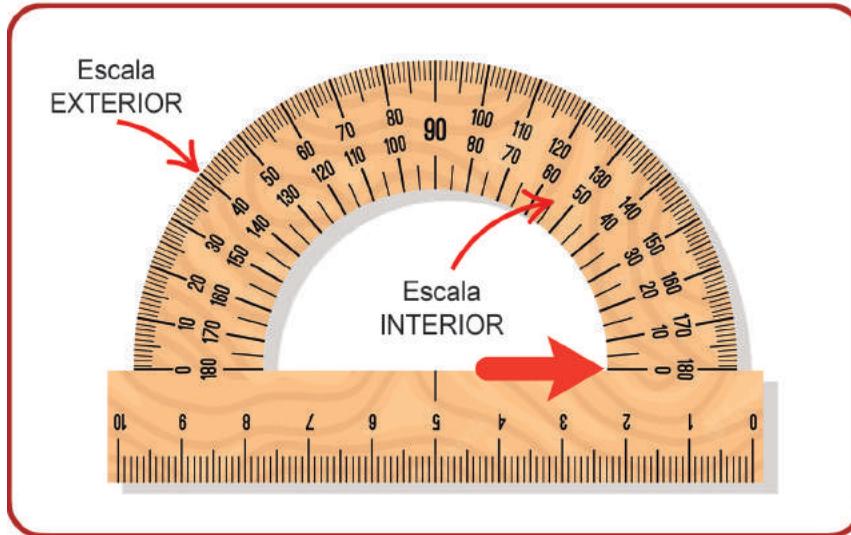
II. Caracterización de árboles sombra (tomar como mínimo 3 árboles sombra)

N° de árbol sombra	Cultivares /variedades	Altura (m)	VER IMAGEN B		Edad (años)	Condición	ÁRBOL SOMBRA EN TERRENO PLANO VER IMAGEN A (a.1 - a.2)			ÁRBOL SOMBRA EN TERRENO CON PENDIENTE VER IMAGEN A (a.1 - a.3)		
			Diámetro	Altura al Pecho (m)			Ángulo del transportador para hallar alfa (°)	d1 = distancia del observador al árbol sombra (m)	d2 = altura del observador hasta sus ojos (m)	Ángulo del transportador para hallar alfa (°)	Ángulo del transportador para hallar beta (°)	d3 = distancia horizontal del observador al árbol sombra (m)
1												
2												
3												

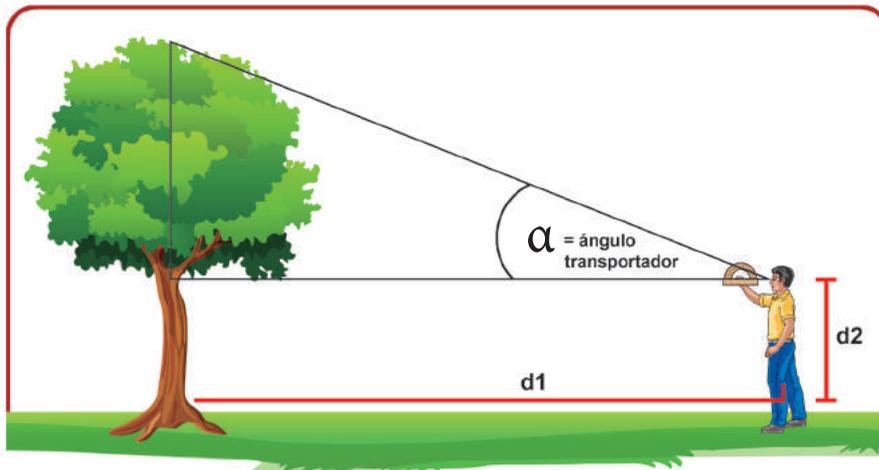
IMAGEN A:

a. 1

Si existe 2 escalas, elegir la ESCALA INTERIOR para la lectura del ángulo (Inicio 0°).



a. 2 Método del clinómetro en terreno plano o llano



a. 3 Método del clinómetro en terreno con pendiente

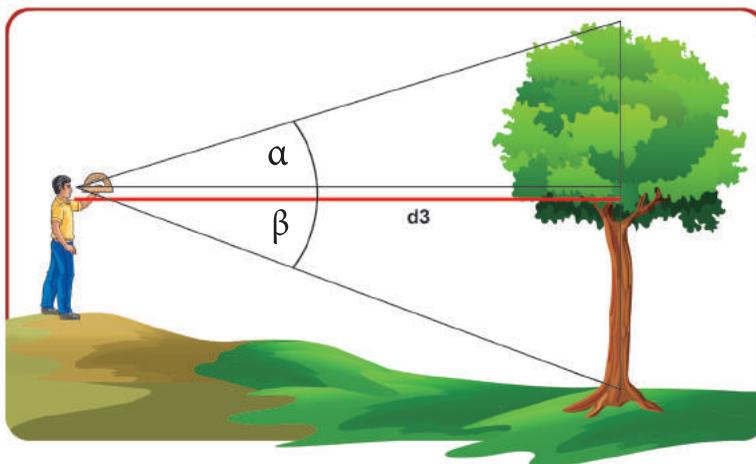


IMAGEN B:

Medición del Diámetro altura al pecho (diámetro)



Una publicación
en el marco de



En alianza con



PERÚ

Ministerio
de Comercio Exterior
y Turismo



Las familias de agricultores en general, y las de caficultores en particular, enfrentan una nueva realidad que afecta directa y negativamente la producción de café: el calor aumenta y el clima varía. En este escenario, los mercados demandan productos que tengan un mayor impacto económico y social. Consumidores y productores asocian la calidad de los productos con la sostenibilidad. Es así como el café carbono neutro se convierte en un elemento necesario y diferenciador para los mercados internacionales.

La ruta hacia un café verde carbono neutro: una guía práctica propone soluciones ambientales para producir café de forma sostenible y rentable. Es una publicación del proyecto *Café & Clima*, ejecutado por Rikolto y Unicafec como miembros de la Plataforma Multiactor del Café de Cajamarca (PMACC).

El contenido se basa en investigaciones piloto, capacitaciones y validaciones previas lideradas y acompañadas por la Pontificia Universidad Católica del Perú, en alianza con la Red Técnica del Norte y organizaciones cafetaleras (Aprocassi, Cenfrocafé, La Prosperidad de Chirinos).