

**Diagnóstico de sostenibilidad ambiental en cultivos de cacao (*Theobroma cacao L.*) en San Vicente de Chucuri a través del análisis de indicadores.**

**Sebastián Garzón Vesga**

**Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental**

**Director**

**Alix Estela Yusara Contreras Gómez**

**Magíster en ingeniería ambiental**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ingeniería y Arquitectura**

**Facultad de Ingeniería Ambiental**

**2026**

## Contenido

Introducción .....	9
1. Diagnóstico de sostenibilidad ambiental en cultivos de cacao ( <i>Theobroma cacao L.</i> ) en San Vicente de Chucuri a través del análisis de indicadores. ....	11
1.1 Planteamiento del problema .....	11
1.2 Justificación.....	12
1.3 Objetivos .....	13
1.3.1 Objetivo general .....	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
2. Marco referencial .....	14
2.1 Marco teórico .....	14
2.1.1 Sostenibilidad .....	16
2.1.2 El cacao.....	23
2.1.3 San Vicente de Chucuri .....	27
2.1.4 Estado del arte .....	29
3. Método .....	32
3.1 Establecimiento de un marco evaluativo de sostenibilidad.....	33
3.2 Definición de objetivos y alcances.....	34
3.3 Identificación de las fincas a evaluar .....	34
3.4 Contextualización y selección preliminar de indicadores .....	35
3.5 Reconocimiento en campo y toma de datos .....	35
3.6 Definición de indicadores de sostenibilidad.....	36
3.7 Análisis de muestras y datos .....	36

3.8 Evaluación de la sostenibilidad, análisis y propuestas de mejora. ....	37
3.9 Presentación de resultados .....	38
4. Resultados.....	39
4.1 Establecimiento de un marco evaluativo de sostenibilidad.....	39
4.1 Definición de objetivos y alcances.....	41
4.3 Generalidades de las fincas .....	41
4.3.1 Finca El Manantial .....	41
4.3.2 Finca Paso Llano .....	43
4.3.3 Finca Mata de Fique .....	45
4.3.4 Finca El Paraíso .....	47
4.3.5 Finca El Eucalipto .....	48
4.4 Indicadores de sostenibilidad .....	50
4.5 Análisis de muestras y datos .....	57
4.5.1 Mediciones del suelo .....	57
4.5.2 Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo .....	58
4.6 Estado de sostenibilidad.....	59
4.7 Lineamientos de mejora .....	65
5. Conclusiones.....	66
Referencias.....	68

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Marcos evaluativos de sostenibilidad</i> .....	39
<b>Tabla 2.</b> <i>Selección del marco normativo</i> .....	40
<b>Tabla 3.</b> <i>Indicadores de sostenibilidad de la matriz aire</i> .....	51
<b>Tabla 4.</b> <i>Indicadores de sostenibilidad matriz agua</i> .....	52
<b>Tabla 5.</b> <i>Indicadores de sostenibilidad matriz suelo</i> .....	53
<b>Tabla 6.</b> <i>Indicadores de sostenibilidad matriz biodiversidad</i> .....	54
<b>Tabla 7.</b> <i>Indicadores de sostenibilidad gestión de residuos</i> .....	56
<b>Tabla 8.</b> <i>Análisis del suelo.</i> .....	57

**Lista de figuras**

<b>Figura 1.</b> <i>Producción Departamental de Cacao 2015 – 2020</i> .....	26
<b>Figura 2.</b> <i>Mayores productores de cacao en Santander 2018 – 2022</i> .....	27
<b>Figura 3.</b> <i>Flujo metodológico del proyecto</i> .....	33
<b>Figura 4.</b> <i>categorías de sostenibilidad</i> .....	38
<b>Figura 5.</b> <i>Finca El Manantial</i> .....	42
<b>Figura 6.</b> <i>Finca Paso Llano</i> .....	43
<b>Figura 7.</b> <i>Finca Mata de Fique</i> .....	45
<b>Figura 8.</b> <i>Cambio de la cobertura boscosa de las fincas</i> .....	58
<b>Figura 9.</b> <i>Calificación de sostenibilidad</i> .....	59
<b>Figura 10.</b> <i>Resultados por componente El Eucalipto</i> .....	60
<b>Figura 11.</b> <i>Resultados por componente El Manantial</i> .....	61
<b>Figura 12.</b> <i>Resultados por componente Mata de Fique</i> .....	62
<b>Figura 13.</b> <i>Resultados por componente El Paraíso</i> .....	63
<b>Figura 14.</b> <i>Resultados por componente Paso Llano</i> .....	63

**Lista de apéndices**

<b>Apéndice A.</b> <i>Clasificación de la cobertura de las fincas estudiadas</i> .....	81
<b>Apéndice B.</b> <i>Calificación de indicadores por finca</i> .....	84
<b>Apéndice C.</b> <i>Resultados de las mediciones de pH y conductividad en suelos</i> .....	96
<b>Apéndice D.</b> <i>Instrumento captura de información</i>	
<b>Apéndice E.</b> <i>Encuesta de interesados</i>	

Nota: ver apéndices D y E en archivos externos.

### **Resumen**

El presente estudio evalúa la sostenibilidad ambiental de los cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en San Vicente de Chucurí, Santander, un municipio reconocido por su alta producción de cacao y su muy buena calidad (Alcaldía de San Vicente de Chucuri, 2018). A pesar de su importancia económica y cultural, la expansión del cultivo ha generado impactos ambientales significativos, como la deforestación, la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad (Rodríguez, 2020). Para analizar la sostenibilidad del sistema productivo, se emplea un enfoque basado en indicadores ambientales que permiten evaluar aspectos representativos del ecosistema y el manejo del cultivo estudiado. El proyecto hizo uso de encuestas, entrevistas y visitas de campo para obtener la información y pruebas en laboratorio y análisis de datos para la interpretación de esta. El estudio identifica las prácticas agrícolas de 5 fincas cacaoteras del municipio de San Vicente de Chucuri y asigna una calificación cuantitativa y cualitativa a la sostenibilidad encontrada a través de una serie de indicadores. Este trabajo hace parte del proyecto “Bioeconomía y Ecosistemas sostenibles para el producto Agroindustrial del Cacao en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, Colombia.” aprobado con la convocatoria Activa2 de UNIRED® que busca la creación de marcas colectivas sostenibles.

*Palabras clave:* cacao, sostenibilidad, indicadores ambientales

### **Abstract**

The present study evaluates the environmental sustainability of cacao crops (*Theobroma cacao* L.) in San Vicente de Chucurí, Santander, a municipality recognized for its high cacao production and excellent quality (Alcaldía de San Vicente de Chucurí, 2018). Despite its economic and cultural importance, the expansion of cacao cultivation has generated significant environmental impacts, such as deforestation, soil degradation, and biodiversity loss (Rodríguez, 2020). To analyze the sustainability of the production system, an approach based on environmental indicators is employed, allowing for the evaluation of representative aspects of the ecosystem and the management of the crop studied. The project made use of surveys, interviews, and field visits to obtain information, along with laboratory tests and data analysis for its interpretation. The study names the agricultural practices of five cacao farms in the municipality of San Vicente de Chucurí and assigns both a quantitative and qualitative rating to the sustainability found through a series of indicators. This work is part of the project “Bioeconomía y Ecosistemas sostenibles para el producto Agroindustrial del Cacao en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, Colombia,” approved under the UNIRED® Activa2 call, which seeks the creation of sustainable collective brands.

*Keywords:* cocoa, sustainability, environmental indicators

## Introducción

El cacao es uno de los cultivos más importantes de Colombia, tanto a nivel económico como social. El municipio de San Vicente de Chucurí se ha reconocido como la "capital cacaotera de Colombia", debido a que aporta una parte significativa a la producción nacional del grano y sustenta la economía local y representa un componente clave de la identidad cultural de la región (Alcaldía de San Vicente de Chucuri, 2018).

La expansión de este cultivo ha generado importantes desafíos ambientales y sociales, la conversión de bosques naturales en áreas agrícolas ha modificado los ecosistemas locales, afectando la biodiversidad y los servicios ecosistémicos esenciales, la sobreexplotación del suelo ha derivado en procesos de degradación, lo que compromete la sostenibilidad a largo plazo del sector agrícola (Rodríguez, 2020).

La vulnerabilidad de los suelos y la pérdida de biodiversidad también ha sido reportada como amenaza para la producción cacaotera en otras regiones del mundo, como Ghana y Costa de Marfil, donde los sistemas de cultivo han enfrentado pérdida de productividad y deterioro ambiental (Javier et al., 2024). En este contexto, la evaluación de la vuelve un tema prioritario para garantizar la viabilidad de la producción sin comprometer los recursos naturales de la región (Sarandón y Flores, 2014).

Este estudio busca analizar la sostenibilidad del cultivo de cacao en San Vicente de Chucurí mediante la aplicación de indicadores ambientales. A partir de esta evaluación, se generan estrategias que ayuden a equilibrar la relación entre la producción agrícola y la conservación de los ecosistemas, asegurando la resiliencia del sistema productivo frente a los desafíos ambientales y climáticos.

El presente estudio hace parte de la auxiliatura de investigación desarrollada en el marco del proyecto “Bioeconomía y Ecosistemas sostenibles para el producto Agroindustrial del Cacao en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, Colombia.” aprobado por la convocatoria externa AcTIva2.

## **1. Diagnóstico de sostenibilidad ambiental en cultivos de cacao (*Theobroma cacao L.*) en San Vicente de Chucuri a través del análisis de indicadores.**

### **1.1 Planteamiento del problema**

El municipio de San Vicente de Chucuri es el principal productor de cacao en Colombia, con una producción registrada a 2022 de más de 10.000 toneladas anuales y una extensión cultivada superior a las 16.000 hectáreas (Agronet, 2022). Esta actividad es el pilar económico de su población y una parte fundamental de su identidad cultural. Sin embargo, el crecimiento de este y otros cultivos ha generado una presión significativa sobre los ecosistemas de la región, transformando y desplazando áreas de bosque natural, como el bosque húmedo tropical y otras formaciones vegetales, que dan hogar a una gran variedad de aves nativas y migratorias, anfibios y mamíferos que dependen de estos ecosistemas para su supervivencia (Rodríguez, 2020). La transformación del paisaje debido a la expansión agrícola ha puesto en riesgo el equilibrio ecológico, afectando hábitats importantes y reduciendo la disponibilidad de recursos esenciales para la flora y fauna local (Alcaldía de San Vicente de Chucuri, 2018).

El uso intensivo del suelo y la deforestación en Santander han generado problemáticas ambientales que ponen en riesgo la sostenibilidad del sector agrícola. La entidad territorial registra que el 42% de sus suelos está sobreutilizado, y la deforestación anual ha alcanzado cifras superiores a las 2.100 hectáreas, llamando la atención sobre la gestión que se le está dando a los suelos del departamento y el impacto que puede tener esto sobre la viabilidad agrícola largo plazo (Gobernación de Santander, 2024). En otras naciones productoras de cacao como Ghana y Costa de Marfil, ocurrieron comportamientos y fenómenos similares a los descritos en el departamento

colombiano, y hoy ellos se enfrentan a suelos degradados y cultivos vulnerables a enfermedades y a la variabilidad climática, lo que llevado a pérdidas en la producción (Ruiz, et al. 2024).

Debido a que el cacao es la principal fuente de sustento para muchas familias en San Vicente de Chucurí, es de gran importancia evaluar la sostenibilidad de los sistemas de producción y determinar estrategias que permitan su permanencia sin comprometer el equilibrio ecológico (Sarandón y Flores, 2014). La implementación de modelos de agricultura sostenible no solo podría mitigar el impacto ambiental, sino también garantizar la resiliencia del cultivo ante el cambio climático, mejorar la calidad de vida de los productores y permitir el progresivo desarrollo de la región (Baffour-Ata, et al., 2023).

## **1.2 Justificación**

Con este estudio se busca evaluar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas de cacao en San Vicente de Chucuri desde una perspectiva ambiental, identificando prácticas que contribuyan tanto a la conservación de los ecosistemas regionales como al mantenimiento de la productividad agrícola óptima. Debido a que el cultivo de cacao ha formado grandes extensiones de bosques, afectando la biodiversidad y los suelos, hay que hacer un diagnóstico detallado que guiar a los productores hacia prácticas más sostenibles (Alcaldía de San Vicente de Chucuri, 2018).

La relevancia de este trabajo recae en el diseño y correcta aplicación de indicadores de sostenibilidad que puedan tomar la mayor cantidad de información posible de las fincas evaluadas, con el fin de que la comunidad cacaotera pueda tomar los resultados del estudio para mejorar sus prácticas agrícolas y reducir el impacto negativo sobre el medioambiente. Además, proporcionar información clara sobre el estado actual de la sostenibilidad permitirá generar lineamientos de

mejora en la gestión de las fincas cacaoteras, fomentando la adopción de modelos de producción más limpios, equilibrados y responsables.

A nivel global, la sostenibilidad agrícola es una prioridad para garantizar la seguridad alimentaria y la conservación de los recursos naturales. Este estudio aportará al conocimiento sobre la producción de cacao en ecosistemas biodiversos, contribuyendo con la construcción estrategias de producción sostenible aplicables a territorios con condiciones similares. Finalmente, la investigación busca consolidar una propuesta de sostenibilidad para la producción cacaotera en San Vicente de Chucurí, asegurando su viabilidad en el tiempo sin comprometer los ecosistemas que la rodean.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Evaluar la sostenibilidad de cultivos de cacao en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, mediante la aplicación de indicadores ambientales en el marco del proyecto UDES-USTA

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

Seleccionar los indicadores que permitan representar la sostenibilidad de las fincas de cacao estudiadas en los aspectos relacionados con los componentes edáficos, atmosférico, hídrico y biodiversidad.

Estimar el estado de sostenibilidad ambiental de las fincas de cacao estudiadas en el municipio de San Vicente de Chucuri, a partir de los resultados de campo y aplicación de indicadores.

Desarrollar lineamientos de mejora ambiental a partir del análisis de sostenibilidad de las fincas de cacao estudiadas.

## **2. Marco referencial**

### **2.1 Marco teórico**

La humanidad a estado pasando por un periodo de crisis y alto riesgo en el sector económico, energético, ambiental y social (Bravo, et al., 2020). La población mundial presenta una tendencia creciente, con la que se estima que en 2050 se registraron más de 9,2 billones de personas en el planeta, de las que se espera que en su mayoría habiten regiones del mundo en desarrollo, territorios que actualmente ya presentan grandes retos para el sostenimiento de comunidades demográficas, sociales y ambientales que prevalecen o se degradan progresivamente (FAO, 2009). Con el tiempo, los recursos naturales como los suelos y el agua se han reducido en cantidad y calidad por las presiones de la industria, las grandes ciudades, la contaminación y la exigencia agroalimentaria de la humanidad, que solo ira en aumento hasta que la tendencia reproductiva del ser humano se reduzca (FAO, 2017).

Por otro lado, las áreas de cultivo en el mundo no han presentado cambios desde 1991, indicando que la creciente demanda global de productos agrícolas ha sido satisfecha intensificando la carga sobre el mismo suelo (O'Mara, 2012). Hoy en día se reconoce que el continuo aumento en la producción agraria del mundo bajo las condiciones de un modelo intensivo han estado acompañadas de problemáticas que ponen en peligro el futuro productivo de estas regiones, efectos

dentro de los que se puede destacar la salinización de zonas de regadío, degradación del suelo, extracción excesiva de aguas subterráneas, el incremento de la resistencia de las plagas, pérdida de biodiversidad, deforestación, emisión de gases de efecto invernadero, y contaminación de masas de agua con sustancias eutrofizantes (FAO, 2011). En todo el mundo se ha observado como debido al incremento en la demanda de frutas, verduras y cereales, y a la necesidad de los campesinos de mejorar los rendimientos de sus cultivos para competir en el mercado se recae en el uso indiscriminado de agroquímicos (pesticidas y fertilizantes) que degradan la salubridad de los productos y el mismo ambiente en donde se desarrollan (Bravo Martínez, et al., 2020).

En el mismo sentido, la seguridad alimentaria y la preservación de los recursos se ha visto cada vez más en riesgo por el factor del creciente cambio climático que se hace presente en el mundo con más fuerza con el pasar de los años, haciendo impredecible la regularidad y magnitud de las lluvias, variando la temperatura media de las regiones del mundo fuera de los registros históricos y produciendo como efecto secundario la subida del nivel del mar y la agresividad de los fenómenos asociados a este (Quiroga, et al., 2020). Las pérdidas de los cultivos y las consecuencias ambientales y socioeconómicas no son datos que se predigan a un futuro cercano, sino por el contrario en países como Ghana y Costa de marfil ya han vivido pérdidas del 11% al 40% de la producción anual de cacao por propagación de enfermedades en los cultivos causadas principalmente por el aumento repentino de las lluvias fuera de temporada (Afele et al., 2024).

La baja disponibilidad de suelos cultivables, recursos óptimos y la creciente variabilidad climática implica un gran reto para la seguridad alimentaria, más los lineamientos y las prácticas sostenibles en la agricultura que permitan conservar y/o mejorar los rendimientos con el tiempo sin afectar negativamente al medio ambiente y a las comunidades son la solución que debe de aplicarse desde el primer instante (FAO, 2011).

### ***2.1.1 Sostenibilidad***

Hace más de 37 años, en 1987, la Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU publicó el informe *Nuestro Futuro Común*, donde por primera vez se definió el término “sostenibilidad”, como aquel modelo integral que permite al ser humano “satisfacer sus necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras a satisfacer las suyas” (Larrouyet, 2015, p.11). Desde entonces, se plantea el concepto de desarrollo sostenible, basado en tres pilares: el crecimiento económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente.

Si bien la sostenibilidad toma forma concreta desde la emisión del Informe Brundtland, su construcción se basó en múltiples antecedentes históricos, como las publicaciones realizadas por los filósofos sociales y economistas Thomas Malthus y Davis Ricardi entre el siglo XVIII y XIX donde se expuso por primera vez una preocupación por la capacidad del planeta para seguir produciendo bienes ante el excesivo crecimiento poblacional y sus limitaciones futuras, luego la fundación del reconocido “Club de Roma” en 1968, quienes publicaron en 1972 uno de los informes más importantes de su tiempo titulado “Los límites del crecimiento”, la celebración de la Conferencia de Naciones Unidas sobre medio Humano en 1972 donde se creó el Programa de Naciones Unidas Sobre Medio Ambiente (PNUMA) y la primera reunión de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo en 1984, donde justamente se inició la redacción del Informe Brundtland, publicado tres años después (Universidad de Guanajuato, 2018).

Pero debido a que la publicación de este documento fue solo el punto de partida, la relación entre el ser humano y el medio ambiente continuó siendo objeto de debate, por ello en 1992 se celebró en Rio de Janeiro, la segunda “Cumbre de la tierra”, donde se aprobó el Convenio sobre

Cambio Climático y se publicito ampliamente el termino de desarrollo sostenible (Larrouyet, 2015).

Mas tarde, el 6 de septiembre del 2000 se dio en Nueva York, la Cumbre del Milenio, donde representantes de 189 naciones firmaron la Declaración del Milenio, que estableció ocho propósitos de desarrollo humano planeados para responder a varias de las principales problemáticas sociales, económicas y ambientales que padecen las comunidades en todo el mundo (Naciones Unidas, 1999). 15 años después se formulará una nueva agenda con 17 objetivos con cumplimiento a 2030 (Larrouyet, 2015).

Según Gracia (2015) el concepto de sostenibilidad surge de un proceso histórico en el cual la sociedad y los gobiernos fueron consientes de las fallas del modelo económico predominante, caracterizado por su enfoque destructivo y meramente industrial dado al consumo acelerado de recursos naturales y la producción masiva de residuos ajenos a los ecosistemas receptores. Este término se concibe como un largo proceso de adopción de visiones alternativas, propuestas, conceptos, desafíos y profundos debates por actores con diversos puntos de vista, comúnmente en conflicto, articulando los complejos contextos a nivel local, nacional y global en una visión pasada, presente y futura (Larrouyet, 2015).

**2.1.1.1 Evaluación de la sostenibilidad.** El diagnóstico de la sostenibilidad de algún proceso o actividad esta influenciada directamente con el enfoque sobre el cual se evalué, es decir, al tratarse de un concepto que abarca más de una disciplina, se requiere una definición concreta del término sobre el cual construir una base para la evaluación asertiva y delimitada del caso, para contar con la mínima cantidad posible de información, pero con los datos suficientes para generar un análisis y una conclusión (Masera, et al., 2000). Un ejemplo de esto lo da (Bustillo y Martínez,

s/f) cuando enuncia que la sostenibilidad se logra con el sostenimiento de los recursos bajo la premisa de que estos son finitos y no hay sociedad más allá de su agotamiento.

Actualmente hay varios marcos evaluativos de sostenibilidad enfocados a casi todas las actividades del ser humano, pero en estas destaca la agricultura, una de las tareas más antiguas del hombre desde que tiene uso de razón y uno de los enfoques más estudiados en la práctica de la sostenibilidad y aplicación de buenas prácticas.

**2.1.1.2 Agricultura sostenible.** La agricultura sostenible ha sido conceptualizada por muchos autores en la historia. Se ha definido, por ejemplo, según Van Cauwenbergh et al. (2007) como “El mantenimiento o mejora de las funciones ambientales, sociales y económicas de un agro sistema.” o como declara FAO (2014, p.1), las prácticas agrícolas que causen el menor daño ecológico protejan el suelo, el agua y la biodiversidad, sean solidas socioeconómica y ambientalmente y tenga fundamentos éticos.

Independientemente de los enfoques dados por los varios autores, se reconoce que hay un acuerdo común sobre algunos de los principios requeridos para un buen manejo de tierras, estableciendo que la agricultura debe de ser suficientemente productiva, ecológicamente adecuada, económicamente viable y cultural y socialmente aceptable (Sarandón y Flores, 2014; Smyth, et al., 1993).

En la literatura es posible encontrar una gran variedad de herramientas desarrolladas entorno a la evaluación de la sostenibilidad de cultivos, sistemas forestales y agroforestales, publicadas por grandes organizaciones o importantes investigadores. Algunos de estos marcos evaluativos son:

**2.1.1.2.1 Marco para la evaluación de los sistemas de manejo de recursos naturales (MESMIS).** Evalúa la sustentabilidad agrícola de los sistemas mediante una confrontación de uno o más sistemas alternativos con una referencia o bien mediante la observación de las características de sistemas agrícola de manejo particular a lo largo del tiempo. También presenta una estructura flexible para adaptarse a diferentes niveles de información y capacidades técnicas disponibles localmente (Masera et al., 2000).

De esta forma Omar Masera, Marta Astier y Santiago López-Ridaura presentan El Libro Verde MESMIS donde se plasman todos los detalles recopilados luego de varios años de estudio sobre como cuantificar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

MESMIS es considerado uno de los marcos evaluativos más complejos y extensos de aplicar, además de no arrojar una escala cuantificable de la sostenibilidad, sino un escalafón comparativo de criterios entre sistemas, pero permite tener una visión completa de los sistemas agrícolas y los aspectos que interviene en estos (Bonisoli, et al., 2018).

**2.1.1.2.2 Framework for evaluating sustainable land management (FESLM)** Es un enfoque estratégico desarrollado por la FAO y otros organismos internacionales para evaluar la sostenibilidad del manejo de la tierra. Se creó para proporcionar un marco estructurado y lógico para determinar si un modelo de gestión de tierras es sostenible en un contexto y periodo definido (Smyth, et al., 1993).

El marco evaluativo resalta porque es un modelo de dificultad media, destinado principalmente para la evaluación de la sostenibilidad a un nivel académico con una duración media, dependiente de la profundidad técnica con la que se abarque.

Las desventajas que se pueden llegar a encontrar en esta forma de evaluar los sistemas son la parcial descripción del medio que ofrece el marco en general y la poca o nula participación de involucrados en la formulación de los instrumentos evaluativos, mas esta última también es considerada ventajosa en casos de estudio con menor disponibilidad de tiempo (Bonisoli, et al., 2018).

**2.1.1.2.3 Sustainability assessment of food and agriculture systems (SAFA)** Es un marco holístico de evaluación de sostenibilidad global cadenas de valor agrícolas, forestales y de piscícolas. Su objetivo es ofrecer a las empresas y organizaciones una herramienta para evaluar su desempeño en el ámbito sostenible considerando todos los aspectos que se involucran en las cadenas valor alimentarias.

El marco evaluativo se construye sobre cuatro dimensiones clave de sostenibilidad, la gobernanza, la integridad ambiental, resiliencia económica y el bienestar social (FAO, 2013b).

Esta guía presenta la característica de ser fácilmente reproducible alrededor del mundo, debido a que buena parte del proceso de diseño de la evaluación ya está plasmada en el documento. Es una metodología de rápida evaluación y mediante esta se pueden obtener conclusiones lógicas de la sostenibilidad cuantificada con los indicadores. Por otro lado, la metodología consigue una representación parcial del sistema, la participación de los involucrados no es necesaria para el diseño de la evaluación y no es un modelo que se pueda aplicar a otros sistemas fuera del campo agrícola (Bonisoli et al., 2018).

**2.1.1.2.4 Multiscale methodological framework (MMF)** Es un marco evaluativo de sostenibilidad para sistemas agrícolas únicamente desde el contexto campesino. El documento fue

desarrollado por Santiago López-Ridaura, Herman Van Keulen y Martin Van Ittersum en la universidad de Wageningen, Países Bajos, más fue probado sobre un caso de estudio en la región de Purhepecha de Michoacan, México (López-Ridaura, et al., 2005).

El marco evaluativo tiene muchas similitudes con el MESMIS, siendo ambos modelos complejos de replicar en varios ambientes y con una muy certera representación del sistema de manejo. Lo anterior debido muy posiblemente a que ambos métodos comparten un autor que continua con el mismo enfoque de análisis (Bonisoli, et al., 2018).

**2.1.1.2.5 *Monitoring tool for integrated farm sustainability (MOTIFS)*** Es una herramienta de monitoreo basada en indicadores para evaluar la sostenibilidad de las granjas, considerando los aspectos económicos, ecológicos y sociales. El objetivo principal de MOTIFS es guiar a los agricultores hacia prácticas más sostenibles, utilizando un marco metodológico bien fundamentado y un conjunto de indicadores relevantes. La herramienta fue desarrollada a través de un proceso participativo que involucró a expertos y partes interesadas, y se aplicó como estudio de caso en una granja lechera en Flandes, Bélgica (Meul, et al., 2008).

El MOTIFS es un marco que puede reconocerse con una dificultad media de uso y replicación, con procedimientos que requieren una considerable inversión del tiempo. La participación de las partes involucradas es muy mínima, mas no irrelevante, y se considera que el marco tiene la capacidad de representar parcialmente el sistema de manejo en estudio (Bonisoli, et al., 2018).

**2.1.1.2.6 *Public goods tool (PGT)*** Una herramienta desarrollada por la Organic Research Centre (ORC), una organización líder en investigación y promoción de la agricultura orgánica y

sostenible en el Reino Unido. La PGT pretende evaluar y medir la contribución de las prácticas agrícolas a la provisión de bienes públicos, como la biodiversidad, la salud del suelo, la calidad del agua, el bienestar animal y el impacto social. La herramienta está diseñada para ayudar a agricultores, gestores de tierras y otros actores del sector agrícola a identificar y cuantificar los impactos positivos de sus prácticas en el medio ambiente y la sociedad, promoviendo así una agricultura más sostenible

PGT es una herramienta de fácil uso, completamente intuitiva y con una interfaz amigable con los usuarios menos capacitados en el manejo de programas virtuales. Para determinados contextos fuera de reino unido es válida su aplicación, más debe de revisarse su compatibilidad con los casos de estudio (Agricology, s/f; Organic Research Centre, s/f).

**2.1.1.2.7 Sostenibilidad en agrosistemas por Santiago Sarandón** La investigación que desarrolla esta metodología está escrita por Santiago J. Sarandón, un experto en agroecología y sostenibilidad agrícola. El autor en su libro describe su marco de trabajo para la construcción del estudio de sostenibilidad agrícola en el que permite al lector adaptar la metodología a cualquier tipo de contexto social, económico, temporal o con las condiciones ambientales que este requiera, definiendo estas características desde el inicio de la investigación con la definición de sostenibilidad sobre la cual quiere desempeñar su trabajo (*Sarandón y Flores, 2014*).

Esta es una de las metodologías con mayor adaptabilidad y flexibilidad para replicación alrededor del mundo, la velocidad y complejidad de trabajo dependen del usuario.

Por otro lado, al tratarse de un marco tan general desplaza la dificultad del estudio de su aplicación a su diseño, es decir, el investigador debe de ser más participativo en la producción de las bases sobre las cuales construye su diagnóstico y las herramientas que aplicara, escenario que

no se remarca con otros marcos evaluativos donde los atributos fundamentales y la línea de sostenibilidad ya está previamente definida (Sarandón, et al., 2006).

### **2.1.2 El cacao**

El cacao (*Theobroma cacao*) es un árbol perenne de la familia Esterculiácea, con crecimiento apical y altura entre 4-8 metros. Sus raíces penetran hasta 2 metros en suelos profundos, y sus flores son caulifloras, es decir, nacen directamente en troncos y ramas. El fruto, llamado mazorca, es una baya indehiscente, leñosa y alargada de colores desde el amarillo claro al púrpura. Cada fruto posee entre 20 a 64 semillas dispuestas en 5 filas, rodeadas de pulpa mucilaginosa (Nieves, 1981). Se clasifica en subespecies como criollo (Centroamérica y Colombia) y forastero (Amazonia y África), además de híbrido (Cubillos, 1990).

La relación entre el cacao y el ser humano tiene sus raíces en las civilizaciones mesoamericanas, donde los Mayas lo domesticaron hacia el siglo XIII, para posteriormente ser adoptado por los Aztecas, quienes impusieron tributos en granos de cacao a los pueblos conquistados y tras la llegada de los españoles, el cacao fue introducido en Europa, donde se transformó su consumo al añadirle azúcar y especias (Cubillos, 1990; Pino, 2019).

El nombre científico *Theobroma cacao* deriva del griego "Theo" (Dios) y "Broma" (alimento) que significa "alimento de los dioses", en alusión a su valor sagrado en culturas prehispánicas. La palabra "cacao" proviene del náhuatl, adoptado al español durante la colonización (Gomez y Guzmán, 2022).

Desde el proceso de colonia y el intercambio cultural entre conquistadores e indígenas, productos como el cacao solo han aumentado su producción y se han expandido por el mundo.

El cacao se convirtió en un “*commodity*” regulado en bolsas de valores internacionales, con precios volátiles dependiendo de la oferta y la demanda global. El fruto y sus derivados empezó a ser administrado y monitoreado internacionalmente por La Organización Internacional del Cacao en 1973, la cual desde dicho momento empezó a publicar informes sobre el desarrollo financiero del grano en el mundo y las estadísticas agrícolas de su producción y procesamiento (Navarrete, 2017).

**2.1.2.1 Cultivo del cacao.** La productividad o rendimiento de un cultivo de cacao varía mucho entre fincas y de un año a otro debido a factores como la variedad cultivada, el suelo, el manejo del terreno, la edad del cultivo, factores abióticos (clima) y factores bióticos (plagas, enfermedades y parásitos). Estos puntos están ligados entre sí y dependen del control y monitoreo de todos ellos como conjunto para que el cultivo genere resultados rentables (Soetanto et al., 2022).

El conocimiento de las condiciones óptimas para el crecimiento del cacao no solo asegura que el fruto se de en buenas proporciones, si no también le permite al campesino tener una mayor eficiencia en las inversiones de insumos y equipos para el mantenimiento del cultivo (Compañía Nacional de Chocolates, 2021). Algunas de las características requeridas por el árbol de cacao para su crecimiento y desarrollo son:

El cacao crece mejor en climas tropicales húmedos, con temperaturas entre 18 °C y 32 °C.

Necesita una humedad relativa alta y precipitaciones anuales entre 1.500 y 2.500 mm, distribuidas uniformemente a lo largo del año.

Se requiere suelos profundos, bien drenados y ricos en materia orgánica.

El pH óptimo del suelo es entre 5.0 y 7.5.

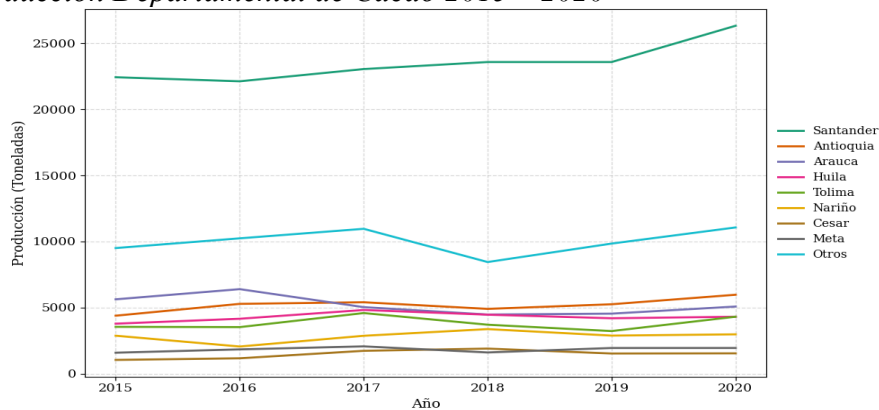
El cacao es una planta de sombra parcial, especialmente en sus primeros años, por ello se recomienda combinar el cultivo con árboles de sombra como plátano, guamo o maderables para protegerlo de temperaturas extremas y mejorar la retención de humedad en el suelo.

Aunque el cacao puede cultivarse sin riego, en zonas de déficit hídrico se recomienda un sistema de riego para garantizar la estabilidad en la producción, de igual forma, un drenaje adecuado es clave para evitar el encharcamiento y la proliferación de enfermedades fúngicas.

Referente a la fertilización del cacao, se encuentra en la literatura varios métodos para su óptima aplicación, pero desde la asistencia técnica brindada por Fedecacao se recomienda seguir la guía dada por “Las 4R’s para el manejo responsable de la fertilización”, cuatro principios con los cuales cuestionar la fertilización y hacerlo de forma correcta (comunicación personal, 10 de octubre de 2024).

**2.1.2.2 Cacao en Colombia.** En el país hay más de 188.000 ha de cacao sembradas en 422 municipios presentes en 27 departamentos, de los que se produce unas 63.000 toneladas de grano, o sea, que el rendimiento promedio del cultivo nacional es de 0.46 toneladas por hectárea a 2021 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Esta cifra es cercana al rendimiento promedio mundial de 0.5 ton/ha (Javier et al., 2024). Además, el cacao colombiano este certificado por la Organización Internacional del Cacao como fino sabor y aroma, la cual solo posee el 5% del grano mundialmente comercializado (ICCO, 2021).

En la *Figura 1* se presenta la producción colombiana de cacao por departamentos entre el año 2015 y 2020, con la cual se puede visualizar el panorama del cultivo entre estos años y la diferencia de producción entre los departamentos.

**Figura 1.** *Producción Departamental de Cacao 2015 – 2020*

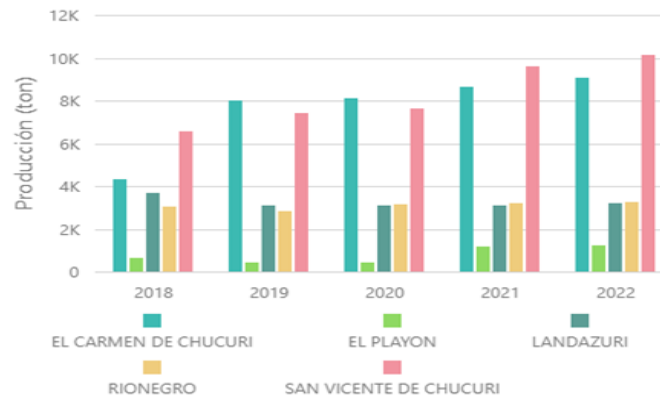
Adaptado de Cadena de Cacao (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

La producción de cacao en Colombia es en la región de Santander, que a 2020 produjo unas 236.315 toneladas, el 41 % de la cosecha nacional.

**2.1.2.3 El Cacao en Santander.** Santander es departamento pionero en este cultivo, se siembra en sistemas agroforestales que aportan protección de la inclemencia del sol, mejoran las condiciones del suelo y promueven la biodiversidad en el ecosistema (Fundación Natura, 2024).

Para los agricultores santandereanos el árbol de cacao es una representación de fortuna, cultura y desarrollo, su cultivo es una de las principales fuentes de ingreso en la región y ha sido una de las alternativas para aquellas zonas del territorio que sufrieron por el conflicto armado y el narcotráfico como sustituto a los cultivos ilícitos, permitiendo a miles de familias salir adelante luego de la violencia interna de las zonas rurales del territorio (Behar y Estupiñán, 2024).

Dentro del departamento se destacan algunos municipios por su gran aporte en la producción del grano de cacao en la región y en el país, no solo por su cantidad sino también por su calidad.

**Figura 2.** *Mayores productores de cacao en Santander 2018 – 2022*

Tomado de Producción por Municipio (AGRONET, 2022).

El municipio de San Vicente de Chucuri destaca en la región como el mayor productor, con más de 10.000 toneladas de grano seco en 2022, es decir, aproximadamente el 16% de la producción nacional de ese año. (Correa, et al., 2022).

### 2.1.3 San Vicente de Chucuri

En la provincia de Yariguíes, al centro occidente del departamento de Santander, Colombia, se encuentra el municipio de San Vicente de Chucuri, enmarcado bajo las coordenadas planas del IGAC Norte: 1'226.000 a 1'283.000 y Este: 1'036.000 a 1'083.000. Tiene un área territorial de 1.195,4 Km<sup>2</sup>, de los cuales 1183,4 Km<sup>2</sup> corresponden a un área rural organizada en 6 centros urbanos, 37 veredas y 5.406 predios, mientras que los restantes 11.9 Km<sup>2</sup> son del área urbana dividida en 31 barrios. A 85 Km de Bucaramanga, se le conoce como la capital cacaotera de Colombia, la despensa agrícola de Santander o la ciudad de los frutos valiosos, denotando su importancia como productor agrícola (Alcaldía de San Vicente de Chucuri, 2018).

San Vicente de Chucuri tiene una población de 33.593 habitantes, de los cuales el 37.75% corresponde a población urbana, mientras el 62.25% habita en zonas rurales (Rodríguez, 2020).

**2.1.5.1 Ecología del municipio.** El municipio de San Vicente de Chucurí cuenta con cuatro pisos térmicos que van desde los 0 a los 2700 msnm, incorporando en su jurisdicción las laderas bajas de la cuenca del Río Magdalena y las cumbres de la Serranía de los Yariguíes, teniendo temperaturas de más de 24°C a menores de 15°C promedio dependiendo de la ubicación (Alcaldía de San Vicente de Chucuri, 2018).

El municipio de San Vicente de Chucurí cuenta con una diversidad de ecosistemas y recursos naturales que incluyen cuerpos hídricos como la Ciénaga San Silvestre y los ríos Chucurí, Oponcito, Cascajales y Fuego, además de numerosas quebradas y caños. Sus bosques están representados por la reserva natural de la cordillera de los Yariguíes, la cordillera de La Paz, la zona del Bajo San Vicente, el valle del río Chucurí y las reservas El Talismán (Otero, 2004).

La fauna y flora es variada, característica de los varios ecosistemas que se forman en el territorio y que son posibles de identificar como: el bosque húmedo tropical en él se encuentran especies arbóreas como el cedro, la ceiba, el caracolí, el samán y el guayacán, así como diversas epífitas y lianas, el bosque muy húmedo premontano con especies propias como el nogal, el cámbulo y el balso blanco, el bosque muy húmedo montano bajo poblado por especies como el roble, el chaparro y el cedro blanco, y el bosque pluvial montano ubicado en la Serranía de los Yariguíes donde alberga un gran diversidad de epífitas y especies árboles también presentes en los demás ecosistemas.

Respecto a la fauna, los diferentes ecosistemas del municipio son hogar de una amplia variedad de especies. En las zonas cálidas habitan tigrillos (*Leopardus tigrinus*), ñeques (*Dasyprocta fuliginosa*), osos hormigueros (*Tamandua mexicana*) y una gran diversidad de aves como la Perdiz Santandereana (*Odontophorus strophium*), el Inca negro (*Coeligena prunellei*),

la Amazilia Buchicastana (*Amazilia castaneiventris*), el Torito Dorsiblanco (*Capito hypoleucus*), entre muchas otras, mientras que en los bosques más fríos pueden encontrarse especies como el venado (*Mazama americana*), el guache (*Didelphis marsupialis*) y el armadillo (*Dasyopus novemcinctus*). La presencia de ríos y quebradas favorece la presencia de fauna acuática como el bocachico (*Prochilodus magdalenae*) y la mojarra negra (*Geophagus steindachneri*) (Alcaldía de San Vicente de Chucuri, 2018).

#### **2.1.4 Estado del arte**

De los primeros estudios destacados en la academia sobre la sostenibilidad agrícola están los realizados por Smyth et al. (1993), Kaufmann y Cleveland (1995) y Masera et al. (2000) donde se establecieron principios para evaluar la sostenibilidad en la agricultura a nivel internacional, haciendo énfasis en la necesidad de abarcar el concepto y los estudios relacionados desde un enfoque multidisciplinar. De ellos se desprenden los marcos evaluativos “Framework for Evaluating Sustainable Land Management” (FESLM) y el “Marco para la Evaluación de los Sistemas de Manejo de Recursos Naturales” (MESMIS).

Sobre la misma línea, otros trabajos como el libro “Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable” por Sarandón (2002) y los marcos MMF, SAFE y MOTIF de los autores López-Ridaura et al. (2005), Van Cauwenbergh et al. (2007) y Meul et al. (2008) respectivamente, fueron complementando y nutriendo la literatura académica sobre los métodos para hacer una aproximación a sistemas más sostenibles, ampliando el número de alternativas disponible para el estudio de los varios tipos de sistemas de manejo que pueden encontrarse en Latinoamérica y el mundo.

Estudios como “Sustainability assessment of two cocoa production systems: Case studies in rural production units in Comalcalco, Tabasco” por Priego et al. (2008) son reconocidos por la implementación de marcos concretos, como el MESMIS, para la evaluación comparativa de sistemas agroforestales de cacao orgánico y convencional, en donde determinaron que muchas veces las propuestas alternativas como la agricultura orgánica no terminan siendo tan sostenibles por las implicaciones económicas que llevan estos y por el contrario se ahorra el modelo convencional.

Del periodo de 2013 a 2019 ocurre en la academia y la investigación mundial un auge por la producción de herramientas para la medición y/o evaluación de los sistemas agrícolas, por ello tan solo la FAO publico tres documentos con lineamientos, metodologías, indicadores y estrategias para los estudios de esta naturaleza y la promoción de la seguridad alimentaria (FAO, 2013b, 2014, 2019). También se conocieron documentos como “Using multi-criteria decision analysis for assessing sustainability of agricultural systems” que propone una estrategia con base en un análisis multicriterio para el estudio de las varias dimensiones que componen los sistemas de cultivo en las costas de Bangladesh por Talukder et al. (2018) y “Deconstructing criteria and assessment tools to build agri-sustainability indicators and support farmers’ decision-making process” que a diferencia de los demás no propone ninguna herramienta, si no por el contrario evalúa algunas de las existentes hasta ese momento y las compara en aspectos como facilidad de medición, participación de partes interesadas, entre otros, haciendo un documento bastante interesante para la planeación de estudios de sostenibilidad por la síntesis que hace de cada metodología (Bonisoli et al., 2018).

De 2020 en adelante se reconocen los estudios publicados con base a las principales vertientes u objetivos con los que se realizaron, siendo estos la sostenibilidad económica, ambiental y social.

Aplicando indicadores de sostenibilidad con un enfoque hacia la administración de bienes y la capacidad de los campesinos de acceder a programas de financiación se logró comprender que el acceso a los créditos agrícolas promueve de forma directa e indirecta los rendimientos de los cultivos de cacao por Attipoe et al. (2020), los sistemas agroforestales permiten a mediano y largo plazo que los productores alcancen una mayor estabilidad financiera en contraste con otros sistemas de manejo según Pino et al. (2023) y la asociación de campesinos o la integración de un productor a cooperativas y certificaciones mejoran los índices de sostenibilidad económica, pero presenta desafíos en la equidad de acceso a mercados competitivos (Krumbiegel y Tillie, 2024).

El análisis de sostenibilidad es, tal como mencionan los autores con más antigüedad, un estudio multidisciplinario donde como conclusión se reúnen criterios económicos, sociales y ambientales, pero en determinados documentos el aspecto ecológico llega a tener un poco más de relevancia por sus aportes a otros sistemas o su tecnicidad.

Estudios como “Sostenibilidad del cultivo de cacao convencional en el centro poblado Las Lomas – Río Negro.” por Mercado y Martín (2020) O “Sostenibilidad ambiental y manejo de residuos en sistemas de producción de cacao en Boyacá, Colombia” por Vargas et al. (2021) resaltan la identificación de como el uso de agroquímicos (pesticidas y fertilizantes) afecta muy negativamente toda la evaluación de sostenibilidad de un cultivo y por lo tanto el sistema está sufriendo un daño considerable por tales prácticas mientras que la buena gestión de residuos y uso de prácticas de reciclaje y compostaje son significativamente mejor para el ecosistema, siendo el uso de fertilizantes orgánicos un aspecto que contribuye enormemente a la protección del ambiente y a la producción de cultivos sanos y libres de compuestos nocivos para la salud (Idawati et al., 2023).

Dentro de la misma dimensión ecológica, hay estudios que se especializan aún más en aspectos como la medición de la biodiversidad, punto clave en los sistemas agroforestales de cacao y su sostenimiento, tal como menciona Raneri et al. (2021), o la idoneidad de los suelos para la siembra y cosecha de cultivos, como en este caso, el estudio “Land suitability analysis for cocoa (*Theobroma cacao*) production in the Sunyani municipality, Bono región, Ghana” presenta el análisis geoespacial de zonas rurales en Ghana dedicadas al cultivo del cacao y la relación entre producción, rendimiento y las características del suelo, encontrando patrones de propiedades del suelo que benefician los cultivos y por lo tanto son mejores solo por estar en dicho espacio (Osei-Gyabaah, et al., 2023).

También es de mencionar que los estudios pueden resaltar resultados o iniciativas encaminadas al ámbito social y de la gobernanza, como el estudio “Signs of agricultural sustainability: A global assessment of sustainability governance initiatives and their indicators in crop farming” que evalúa algunas de las estrategias de gobernanza a nivel mundial para la sostenibilidad agrícola y sus repercusiones sobre los sistemas de manejo (Konefal, et al., 2023). El aspecto social implica el correcto desarrollo de la vida de los campesinos y otros involucrados en los procesos productivos de bien que se cultiva, por ello la revisión de perspectivas sociales en la industria agroalimentaria y factores socioeconómicos que influyen en las evaluaciones de sostenibilidad deben de tenerse en alta relevancia para no dejar el valor humano fuera de los puntos a promover (Luna y Barcellos, 2024; Orou Sannou, et al., 2023).

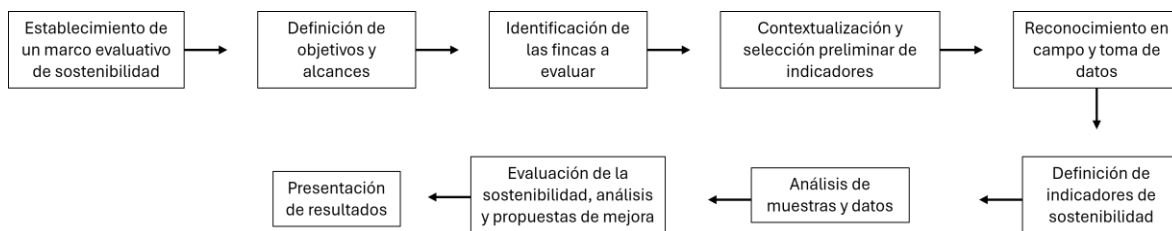
### **3. Método**

El estudio se hizo en San Vicente de Chucuri, municipio del departamento de Santander a 85 km de Bucaramanga, reconocido por su tradición agrícola y gran producción cacaotera de

calidad y cantidad. La presente investigación fue desarrollada en el marco del proyecto “Bioeconomía y Ecosistemas sostenibles para el producto Agroindustrial del Cacao en el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, Colombia” y en asociación con la cooperativa agrícola COAGROSAN.

El desarrollo de la investigación se plasma en la Figura 3, donde se divide el proyecto en los diferentes momentos que ocurrieron a lo largo de la planeación y ejecución del estudio.

**Figura 3.** *Flujo metodológico del proyecto*



### 3.1 Establecimiento de un marco evaluativo de sostenibilidad

Se realizó una revisión bibliográfica en varias bases de datos de acceso abierto para comprender los conceptos, alcances y marcos existentes para realizar una evaluación de sostenibilidad en el sector agrícola. Se identificaron 5 marcos normativos frecuentemente usados para los estudios de sostenibilidad agrícola a lo largo del mundo, se resumieron sus características principales en una matriz comparativa y se calificaron con base a criterios que se consideraron más apropiados de acuerdo con las condiciones de estudio y la disponibilidad técnica y temporal para su desarrollo.

### **3.2 Definición de objetivos y alcances**

De acuerdo con la guía “Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems” de FAO (2013b) se definieron los objetivos y alcances de la evaluación, teniendo en cuenta las limitaciones físicas y espaciales que presenta el territorio, el producto y el nivel de la cadena de valor que se pensaba evaluar, la esfera de influencia del producto, el tipo y extensión de los impactos que se pueden generar en la entidad y los procesos más relevantes para la actividad que deben o no considerarse dentro de la evaluación.

### **3.3 Identificación de las fincas a evaluar**

Para la identificación de los predios a evaluar se realizó un formulario de presentación e identificación de interesados, disponible en el Apéndice D, donde se preguntaron datos básicos sobre los agricultores y sus fincas tales como nombre, número telefónico, nombre de la finca, principal actividad, distancia aproximada del pueblo y si tenía interés en participar en el estudio. Esta herramienta fue compartida a COAGROSAN, quienes la difundieron entre los afiliados, de los cuales se obtuvieron 9 respuestas.

De las 9 personas de las que se recibieron respuesta, 3 indicaron no tener la disponibilidad para recibir visitas durante los días que se tenía planeado trasladarse al municipio a tomar los datos, 2 comentaron que su finca se ubicaba a más de una hora de recorrido desde el pueblo y otro mas no respondió ante las llamadas realizadas al número dado en el formulario, por lo que en principio se definió el número de predios a evaluar en 3.

Las otras dos fincas que fueron seleccionadas para el estudio fueron presentadas por los mismos agricultores de la zona, las cuales también pertenecen a la asociación con la que se desarrolla el proyecto y se encontraban interesadas en participar mas no recuerdan haber recibido

la encuesta de presentación. De esta forma se quedaron seleccionadas 5 fincas del municipio asociadas a COAGROSAN para el diagnóstico de sostenibilidad ambiental.

### **3.4 Contextualización y selección preliminar de indicadores**

Según FAO (2013b), se debe reconocer los aspectos más representativos de las fincas para concentrar la evaluación de esos procesos que realmente influyan en la actividad.

Para este punto se tuvieron en cuenta los artículos plasmados en el estado del arte para la comprensión de las condiciones y los indicadores más comunes usados en las evaluaciones de sostenibilidad aplicadas bajo el mismo contexto de cultivos de cacao, así como de los temas y subtemas presentados por la guía de sostenibilidad de la FAO para definir una primera línea de componentes y aspectos a evaluar en los predios, considerando que no se conocían los predios y que solo se podía efectuar una visita por finca, por lo que se debía de tener un plan de recopilación de información de antemano que permitiera extraer la mayor cantidad de datos en un solo momento, de esta forma, se construyó un instrumento de recopilación de información, disponible en el *Apéndice D*, basado en datos generales sobre el predio, manejo del cultivo y algunas prácticas relacionadas con los componentes suelo, agua, aire y biodiversidad.

### **3.5 Reconocimiento en campo y toma de datos**

Las visitas a las fincas de cacao fueron realizadas en dos etapas, iniciando el jueves 13 de marzo el recorrido por dos de los predios seleccionados y terminando la primera parte en una tercera finca el viernes 14 de marzo. La siguiente semana se continuo con la toma de datos en la cuarta y quinta finca entre los días 20 y 21 del mismo mes.

Cada visita consistió en una entrevista realizada a los agricultores con el instrumento realizado con anterioridad, un reconocimiento del estado del cultivo y un muestreo aleatorio del suelo del cultivo en 5 puntos con diferentes características físicas para completar una muestra compuesta por finca de un 1 kg aproximadamente, cada muestra fue tomada a una profundidad mínima de 20 centímetros de profundidad procurando extraer la misma cantidad en todos los puntos (Eurofins, 2021; Flannelly, 2024). También se realizó una toma de coordenadas de las fincas para su georeferenciación y un registro fotográfico de algunos de sus escenarios más característicos.

### **3.6 Definición de indicadores de sostenibilidad**

Una vez comprendidas el contexto de los agricultores y los detalles propios del cultivo de cacao en San Vicente de Chucuri a través de las visitas y las charlas con los cacaocultores, FAO (2013a) en la que se describen gran cantidad de elementos entorno a la sostenibilidad de cadenas de valor agrícolas.

Los criterios de evaluación y puntuación, así como los mismos indicadores fueron adaptados al estudio debido a que el marco de la FAO utilizado se presenta de forma general y para varios sectores de la cadena de producción agrícola, por lo que era necesario ajustarlo a un contexto más apropiado con los datos recopilados. Se estableció una matriz con los indicadores adaptados, su clasificación, criterio de evaluación y justificación.

### **3.7 Análisis de muestras y datos**

El análisis de las muestras de suelo consistió en la determinación del pH y conductividad eléctrica mediante una solución 1:1 de muestra y agua desionizada medida con una sonda

multiparámetro. La muestra compuesta de cada finca fue homogenizada antes de cada medición, las cuales se hicieron por triplicado y luego promediadas (NCERA, 2015).

Se realizó medición de nitrógeno, fósforo y potasio a través de un Kit colorimétrico especializado para NKP en suelos producido por LaMotte, se realizó conversión de unidades a los resultados por el kit para facilitar su interpretación.

Por otro lado, para la evaluación de uno de los indicadores, se realizó una clasificación multitemporal de la cobertura vegetal de los predios en los años 2014, 2016, 2018, 2020, 2022 y 2024 teniendo en cuenta las categorías propuestas por el Corine Land Cover, mediante el uso de imágenes multiespectrales Sentinel-2 para los años 2024 a 2018 y Landsat-8 para los años 2016 y 2014 debido a que las superficies de interés eran pequeñas y para mayor precisión era preferible una mayor resolución como la que provee Sentinel (10x10), pero su registro efectivo en la zona inicia hasta 2017, por lo que se tomaron datos de Landsat-8 (30x30) y se re muestrearon para unificar el tamaño de pixel de todas las coberturas. Esta clasificación fue realizada en el software ArcGIS 3.3 a través de la herramienta “Clasificación No Supervisada ISO Clúster” con imágenes compuestas de color real, infrarrojo y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) (Rullán-Silva et al., 2011). La validación de esta clasificación se hizo con el software de Google Earth Pro y la herramienta de ESRI WayBack disponible online. Las secciones en la cobertura incoherentes con la validación fueron corregidas manualmente con uso de polígonos y su fusión a la capa principal.

### **3.8 Evaluación de la sostenibilidad, análisis y propuestas de mejora.**

Una vez analizadas las muestras y los datos de campo se realizó la evaluación de sostenibilidad de cada una de las fincas comparando los resultados con los criterios formulados

para cada indicador, obteniendo un puntaje para cada uno. Según FAO (2013b) el puntaje por componente y general se obtiene de la sumatoria de los puntajes, al cual se le asigna el nombre de puntaje preliminar, sobre el máximo puntaje que puede ser alcanzado de cumplir satisfactoriamente con todos los criterios.

$$Puntaje\ de\ sostenibilidad = \left( \frac{Puntaje\ preliminar}{Puntaje\ Max\ Alcanzable} \right) \times 100$$

Aplicando la Fórmula 1 cada finca obtiene un puntaje de 0 a 100 independiente de los indicadores que se apliquen a su contexto. Cada puntaje está ligado con una categoría de sostenibilidad, con lo cual se asigna no solo una calificación cuantitativa sino cualitativa al manejo del cultivo de cacao.

**Figura 4.** *categorías de sostenibilidad*

	<b>Desempeño</b>	<b>Puntaje</b>
●	La mejor	80 - 100 %
●	Buena	60 - 80 %
●	Moderada	40 - 60 %
●	Limitada	20 - 40 %
●	Inaceptable	0 - 20 %

Adaptado de SAFA Guidelines (FAO, 2013b)

Se realizó una serie de recomendaciones y propuestas de mejora a los cultivadores teniendo en cuenta los puntajes negativos obtenidos, se agruparon las propuestas en una matriz donde se diferencia hacia quien van dirigidas.

### 3.9 Presentación de resultados

Los resultados fueron sintetizados en gráficas y diapositivas para presentarse a los agricultores de forma general e individual, destacando las prácticas que son positivas y deben

seguirse aplicando y las actividades que no contribuyen a la sostenibilidad del cultivo, por lo que deben de plantearse alternativas para asegurar su permanencia en el ecosistema por mucho más tiempo. Se realizó la divulgación científica de los resultados en uno de los eventos académicos más relevantes del país, Cumbre internacional de sostenibilidad e innovación ambiental.

## 4. Resultados

### 4.1 Establecimiento de un marco evaluativo de sostenibilidad

El estudio comenzó con la definición de un marco evaluativo para la sostenibilidad, para lo cual se hizo una comparativa de las características de cinco de las metodologías más utilizadas en la literatura, dicha comparación se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Marcos evaluativos de sostenibilidad

Marco Evaluativo	MESMIS	SAFA	FELSM	S. Sarandón	MMF
Referencia	Marco para la Evaluación de los Sistemas de Manejo de Recursos Naturales	Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems	Framework for Evaluating Sustainable Land Management	Sostenibilidad en agro sistemas por Santiago Sarandón	Multiscale Methodological Framework
Fundamento	Definido en 7 atributos: Productividad, Equidad, Estabilidad, Resiliencia, Confiabilidad, Adaptabilidad y Autogestión.	Se define sobre cuatro dimensiones clave: la gobernanza, la integridad ambiental, resiliencia económica y el bienestar social	Se define bajo cinco pilares: la productividad, seguridad, protección, viabilidad económica y la aceptabilidad social	Se propone como base las dimensiones ambientales, social-cultural y económica	Se evalúa desde 5 atributos: productividad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad y adaptabilidad
Construcción de objetivos	Bottom Up	Top down	Top down	Top down	Bottom Up
Indicadores predefinidos	Propone una lista, pero no predetermina	Propone una lista, pero no predetermina	Propone una lista, pero no predetermina	Propone una lista, pero no predetermina	Propone una lista, pero no predetermina
Sujeto objetivo de la evaluación	Todos los involucrados	Todos los involucrados	Formulación política	Campesinos	Todos los involucrados
Alcance de la evaluación (área)	Variable	Por finca	Local	Por finca	Región

<i>Marco Evaluativo</i>	<i>MESMIS</i>	<i>SAFA</i>	<i>FELSM</i>	<i>S. Sarandón</i>	<i>MMF</i>
Aplicación geográfica	Latinoamérica	Global	Global	Latinoamérica	Países en desarrollo
Representatividad del sistema	Completa	Parcial	Parcial	Amplia	Completa
Dificultad de uso	Difícil	Fácil	Difícil	Intermedio	Difícil
Velocidad de aplicación	Lento	Rápido	Intermedio	Variable	Lento
Per se/comparativo	Comparativo	Per se	Variable	Variable	Comparativo

Nota: Información adaptada de (Bonisoli et al., 2018; FAO, 2013b; López-Ridaura et al., 2005; Masera et al., 2000; Sarandón y Flores, 2014; Smyth et al., 1993)

Con estos datos se procedió a realizar otra matriz calificando las metodologías con base a criterios relacionados al contexto del estudio y a la disponibilidad técnica – temporal, con el objetivo de definir las características más apropiadas para el desarrollo del proyecto.

**Tabla 2.** *Selección del marco normativo*

<i>Marco Evaluativo</i>	<i>MESMIS</i>	<i>SAFA</i>	<i>FELSM</i>	<i>S. Sarandón</i>	<i>MMF</i>
Flexible	1	2	1	3	1
Dificultad intermedia	1	3	1	2	1
Alta representatividad	3	2	2	2	3
Uso de indicadores	3	3	3	3	3
Per se	1	3	3	3	1
Corto/medio periodo de evaluación	1	3	2	3	1
Capacidad de generar recomendaciones	3	3	3	2	3
Requerimiento de datos	1	3	1	2	1
Aplicable en San Vicente de Chucuri	3	3	3	3	3
Total	17	25	19	23	17

De esta forma se selecciona al Sustainability Assessment of Food and Agriculture System (SAFA) como marco evaluativo para determinar cuantitativamente la sostenibilidad de las fincas en San Vicente de Chucuri.

## 4.2 Definición de objetivos y alcances

Se toma la definición que aporta la misma (FAO, 2013b) como punto de inicio para identificar los alcances del estudio, con la diferencia que no se tendrán en cuenta las dimensiones económica y social de la sostenibilidad, por lo tanto, se considera que una finca es sostenible cuando:

*“Las prácticas agrícolas aplicadas causen el menor daño ecológico, protejan el suelo, el agua y la biodiversidad y sean solidas ambientalmente”*

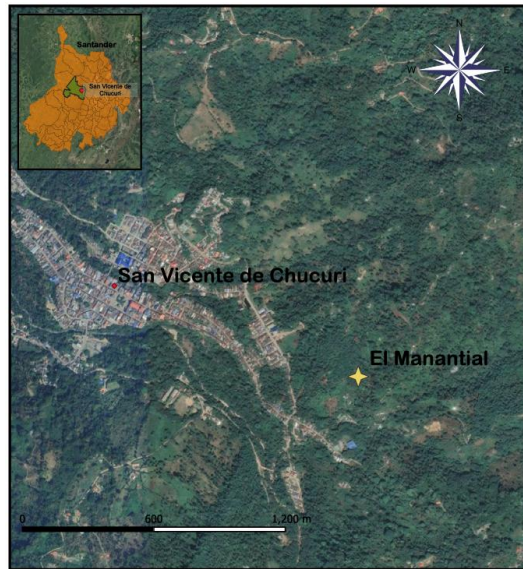
El estudio fue planteado para el diagnóstico de sostenibilidad únicamente de las actividades relacionadas al cultivo del cacao y el secado y fermentación del fruto, es decir, no se tuvieron en cuenta las practicas que tengan los agricultores en sus hogares, en la comercialización de la almendra u otras externas a lo ya mencionado.

## 4.3 Generalidades de las fincas

Con las fincas identificadas a través de la encuesta de participación y la información recolectada con los instrumentos de información y las preguntas guiadas en las entrevistas presenciales realizadas se concretó una descripción individual de los predios cacaoteros.

### 4.3.1 Finca El Manantial

La finca El Manantial, en la vereda El Centro, está a menos de un kilómetro de San Vicente de Chucurí, Santander, en las coordenadas 6.87489, -73.40046. Tiene una extensión de 3 hectáreas y su actividad principal es el cultivo de cacao, mientras que su actividad secundaria corresponde al cultivo de cítricos.

**Figura 5.** *Finca El Manantial*

En la finca se cultivan cuatro variedades de cacao, y dentro del sistema de sombra permanente se reportan especies como Abarco (*Cariniana pyriformis*), Guayabillo (*Psidium sartorianum*), Nauno (*Albizia guachapele*), Móncoro (*Cordia gerascanthus*) y Cedros (*Cedrela odorata*), árboles que en su mayoría existían de manera natural en el predio, a excepción el guayabillo que fue sembrado posteriormente por los propietarios. Los agricultores reconocen que en su cultivo habitan especies de fauna como el aro péndulo (*Cacicus oseryi*), la reinita azul (*Setophaga caerulescens*), toches (*Icterus chrysater*), azulejos (*Thraupis episcopus*), cardenales (*Cardinalis cardinalis*), mirlas (*Turdus merula*), ranas, serpientes, ñeques (*Dasyprocta punctata*), ardillas, perezosos (*Choloepus hoffmanni*) y cuerpo espines.

Esta finca posee dentro de su predio tres nacimientos de agua con un caudal significativo que aporta al volumen de la quebrada canta ranas, una de las corrientes de agua que pasan por el casco urbano del municipio. En la finca se realiza control cultural de plagas cada 8-15 días, se

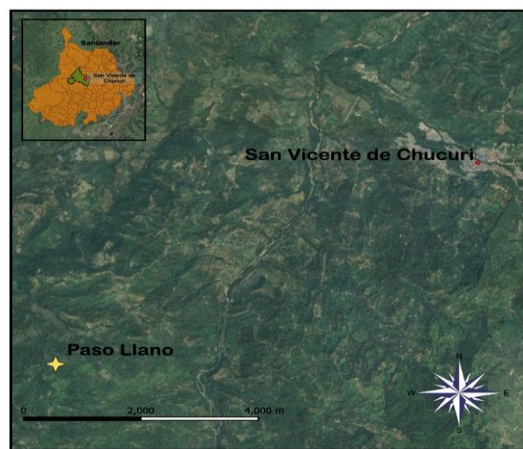
realiza poda mecanizada 3 veces al año para controlar las malezas y una poda manual una vez al año a los árboles para controlar su tamaño y forma.

El cultivo se fertiliza con la formula mineral 17-6-18-2 cada 2 años en 150 gramos por planta y anual se aplica 2400 kg de gallinaza al suelo, que se obtiene de un predio cercano con actividades avícolas. Por otro lado, la cosecha se hace cada 15 días, se obtiene entre 60 a 100 kg de grano crudo, alcanzando los mejores rendimientos en los meses de marzo a abril y noviembre a diciembre. El proceso de fermentación en la finca demora entre 5 a 7 días y se realiza en cajones de madera bajo techo, mientras el secado en elba dura 4 a 6 días, luego es empacado y vendido en el pueblo.

#### 4.3.2 Finca Paso Llano

La finca Paso Llano, en la vereda El Ceibal, está a 16 kilómetros de San Vicente de Chucurí, Santander, en las coordenadas 6.88948, -73.49407. Tiene una extensión de 6 hectáreas y su actividad principal es el cultivo de cacao, mientras que sus actividades secundarias son la piscicultura (con 1200 cachamas) y la ganadería (con 12 reses y 6 chivos).

**Figura 6.** *Finca Paso Llano*



En la finca se cultivan diez variedades de cacao, y dentro del sistema de sombra permanente se reportan especies como Cedro (*Cedrela odorata*), Nauno (*Albizia guachapele*), Mónico (*Cordia gerascanthus*), Anaco (*Erythrina fusca*), Hurumo (*Cecropia peltata*), y Matarratón (*Gliricidia sepium*), los cuales existían de manera natural en el predio y hoy hacen parte del sistema agroforestal junto con los árboles de sombra temporal como el mango, plátano, naranja, limón y aguacate.

El agricultor identifica la presencia de diversas especies de fauna en la finca, entre las que se mencionan: ñeques (*Dasyprocta punctata*), tinajos (*Cuniculus taczanowskii*), ranas, serpientes, faras (*Didelphis marsupialis*), ardillas y varias especies de aves de las que no reconoce su nombre.

Se encuentran dos drenajes naturales aprovechados para la actividad de piscicultura, uno de esta rodea el predio mientras el segundo lo atraviesa completamente. En la finca se realiza control cultural de plagas cada 20 días, se realiza poda mecanizada anual para controlar las malezas y una poda manual una vez al año a los árboles para controlar su tamaño y forma, de forma complementaria se realiza el control de las malezas con el pastoreo del ganado en el predio.

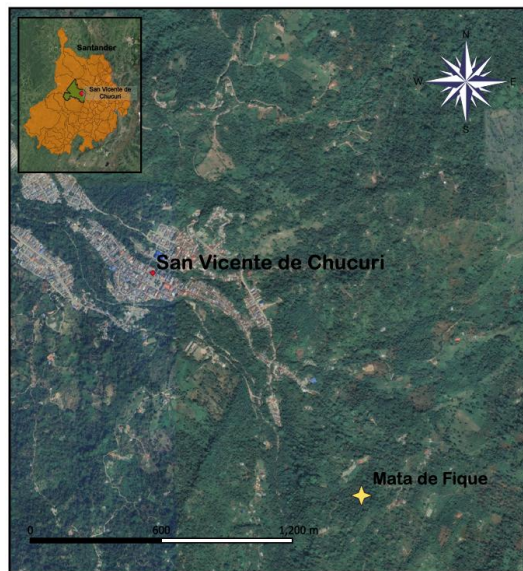
La fertilización de la finca se realiza con el compostaje que allí mismo se realiza, compuesto por heces de las reses, los chivos y aserrín. Para el sembrado de nuevos árboles utiliza fertilizante mineral DAT en la base del patronaje, pero este proceso no es regular. Por otro lado, la cosecha se hace cada 20 días aproximadamente, se obtiene entre 50 a 750 kg de grano crudo, alcanzando los mejores rendimientos en los meses de marzo a abril y noviembre a diciembre.

El proceso de fermentación en la finca demora entre 5 a 7 días y se realiza en cajones de madera bajo techo. Luego de que se fermenta el cacao, se seca en casa-elba durante 4 a 6 días para luego empacarse y vender en el pueblo.

### 4.3.3 Finca Mata de Fique

La finca Mata de Fique, en la vereda El Centro–Sector Germania, está a 1 kilómetro del municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, en las coordenadas 6.86799, –73.3983974. Tiene una extensión de 11 hectáreas y su actividad principal es el vivero de plantas de cacao, semillas y material vegetal, mientras que su actividad secundaria es el cultivo de cacao en sistema agroforestal.

**Figura 7.** Finca Mata de Fique



En la finca se cultivan siete variedades de cacao, y dentro del sistema de sombra permanente se reportan especies como Cedro (*Cedrela odorata*), Anaco (*Erythrina fusca*), Nauno (*Albizia guachapele*), Guayacán rosado (*Tabebuia rosea*), Guayacán amarillo (*Tabebuia chrysantha*), Eucalipto (*Eucalyptus*) y Samán (*Samanea saman*), árboles que han sido sembrados en su mayoría en el predio como parte de su manejo agroecológico y los proyectos que restauración del suelo que los propietarios han implementado.

Los agricultores identifican que en su cultivo habitan especies de fauna como: la serpiente cazadora (*Spilotes pullatus*), serpiente falsa coral (*Lampropeltis triangulum*), ranas, armadillos (*Dasybus novemcinctus*), faras (*Didelphis marsupialis*), zorros (*Cerdocyon thous*), ardillas, carpintero hablando (*Dryocopus lineatus*), guicha hormiguero (*Eucometis penicillata*), cabezon canelo (*Pachyramphus cinnamomeus*) y otras 40 especies de aves.

La finca posee un nacimiento de agua en uno de sus linderos, el cual genera una pequeña corriente de agua que rodea el predio, el mantenimiento de este cuerpo de agua se encuentra compartida con la finca próxima. En la finca se realiza control cultural de plagas cada 8-15 días, se realiza poda mecanizada 4 veces al año para controlar las malezas y una poda manual dos veces al año a los árboles para controlar su tamaño y forma.

Este cultivo es fertilizado 2 veces al año con aproximadamente 3000 bultos de gallinaza y caprinaza, la cual es adquirida comercialmente en el pueblo. Por otro lado, la cosecha se hace cada 15 días, se obtiene entre 80 a 500 kg de grano crudo, alcanzando los mejores rendimientos en los meses de marzo a abril y noviembre a diciembre.

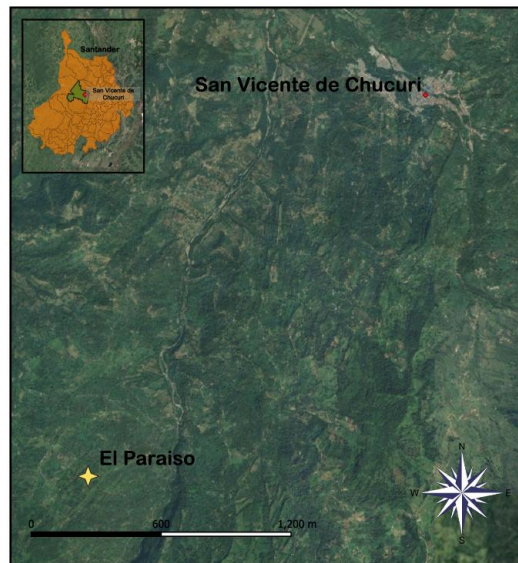
El proceso de fermentación en la finca demora entre 4 a 5 días y se realiza en cajones de madera bajo techo. Luego de que el cacao es fermentado este se seca en elba por unos 5 a 10 días para luego ser empacado y vendido en el pueblo.

La finca tiene la peculiaridad de alojar petroglifos Yarigués alrededor de todo su terreno, convirtiéndola también en una reserva histórica y cultural para la región.

#### 4.3.4 Finca El Paraíso

La finca El Paraíso, ubicada en Santa Rosa, está a 18 kilómetros del municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, en las coordenadas 6.817836, -73.464568. Su actividad principal es el cacao, mientras que sus actividades secundarias son el aguacate, banano y cítricos.

**Figura 7.** Finca El Paraíso



En la finca se cultivan ocho variedades de cacao, y dentro del sistema de sombra permanente se reportan especies como Abarco (*Cariniana pyriformis*), Higuerón (*Ficus citrifolia*), Anaco (*Erythrina fusca*), Guayacán rosado (*Tabebuia rosea*), Guayacán amarillo (*Tabebuia chrysantha*), Matarratón (*Gliricidia sepium*), entre otros árboles que existían de forma natural en el predio y que hoy forman el componente forestal del sistema agroforestal.

Los agricultores reconocen que en su cultivo habitan especies de fauna como: serpientes, mirlas (*Turdus merula*), guacharacas (*Ortalis ruficauda*), pilinchos (*Guira guira*), azulejos (*Thraupis episcopus*), tinajos (*Cuniculus taczanowskii*), cardenales (*Cardinalis cardinalis*),

tucansillos (*Pteroglossus torquatus*), aropendulas (*Cacicus oseryi*), ñeques (*Dasyprocta punctata*), ardillas, entre otros.

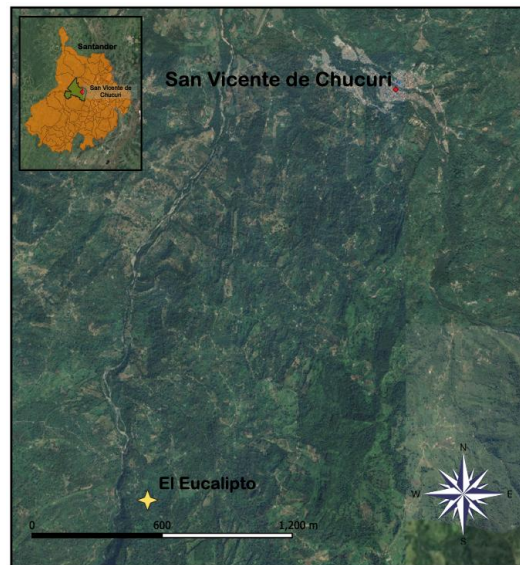
En la finca se realiza poda mecanizada 3 veces al año para controlar las malezas y una poda manual a los árboles una vez al año para controlar su tamaño y forma. El control cultural de plagas y cosecha se realiza cada 20 días aproximadamente, donde se obtienen entre 80 a 500 Kg de grano seco.

El cultivo es fertilizado 2 veces al año con 500 bultos de caprinaza adquirida comercialmente en el pueblo. El proceso de fermentación en la finca demora entre 6 a 7 días y se realiza en cajones de madera bajo techo. Luego se transporta el grano a una elba, donde se dejará secar al sol por unos 4 a 5 días para luego ser empacado y vendido en el pueblo.

Se resalta que en esta finca no se encuentra ningún tipo de cuerpo de agua cercano, por lo que ninguna de las actividades del manejo del cultivo se relaciona con la matriz agua desde el alcance medible.

#### ***4.3.5 Finca El Eucalipto***

La finca El Eucalipto, ubicada en la vereda Primavera (Baja), se encuentra a 11 kilómetros del municipio de San Vicente de Chucurí, Santander, en las coordenadas 6.8217891, -73.4486062. Tiene una extensión de 5 hectáreas y su actividad principal es el cultivo de cacao, mientras que su actividad secundaria incluye el aguacate y cítricos.

**Figura 8.** *Finca El Eucalipto*

En la finca se cultivan cinco variedades de cacao, y dentro del sistema de sombra permanente se reportan especies como Nauno (*Albizia guachapele*), Moncoro (*Cordia gerascanthus*), Cedro (*Cedrela odorata*), Anaco (*Erythrina fusca*), Jobo (*Spondias mombin*) y Matarratón (*Gliricidia sepium*), árboles que existían de forma natural en el predio y que hoy forman parte integral del sistema agroforestal. Los agricultores reconocen que en el cultivo habitan especies de fauna como armadillos (*Dasybus novemcinctus*), ardillas, serpientes cazadoras (*Spilotes pullatus*), serpientes toches (*Spilotes pullatus*), ranas, pájaros carpinteros (*Picidae*), colibríes, garrapateros (*Crotophaga ani*), mariposas, entre otros. La finca posee 3 drenajes naturales de los cuales dos atraviesan el predio y otro lo rodea demarcando uno de sus linderos.

En la finca se realiza poda mecanizada 3 veces al año para controlar las malezas y una poda manual a los árboles una vez al año para controlar su tamaño y forma. El control cultural de plagas y cosecha se realiza cada 25 días aproximadamente, donde se obtienen entre 150 a 300 Kg de grano seco.

En la finca no se aplica ningún tipo de fertilizante al suelo, el cultivo se mantiene con los nutrientes aportados por el mismo agro sistema.

El proceso de fertilización en la finca demora entre 7 a 8 días y se realiza en cajones de madera bajo techo. Luego de que el cacao sea fermentado este se transporta a una elba, donde se dejara secar al sol por unos 4 a 5 días para luego ser empacado y vendido en el pueblo.

Es de resaltar que ninguna de las fincas estudiadas hace uso directo del agua para el riego del cultivo, si no aprovechan las precipitaciones de la región para el sostenimiento y producción del cacao durante todo el año.

#### **4.4 Indicadores de sostenibilidad**

Para evaluar la sostenibilidad se consideraron varios indicadores recomendados por la SAFA para el sector agrícola, centrados solo en las actividades del cultivo del cacao y procesos afines realizados en las mismas fincas antes de comercializar con la almendra.

Debido a que los indicadores propuestos por la FAO se formulan para cualquier cultivo y contemplando múltiples partes de la cadena de valor de los productos, se realizó un diseño preliminar de indicadores teniendo únicamente el contexto e información recopilada de bases de datos y visitas académicas, los cuales fueron modificados luego de las vistas técnicas en las fincas evaluadas. Los indicadores que se evaluaron en las fincas son presentados desde la Tabla 3 hasta la Tabla 7. Cada indicador tiene un nombre con el cual identificarlo, una tipología que indica si el aspecto evaluado corresponde a una práctica realizada en el cultivo o al conocimiento ambiental que poseen los agricultores, una descripción que explica el indicador y una lista con los criterios con los que se evalúa. Debido a que los indicadores fueron adaptados de la guía de FAO (2013a) se presenta en el Apéndice B las tablas con la puntuación y justificación de cada uno.

**Tabla 3.** *Indicadores de sostenibilidad de la matriz aire*

Indicador	Tipo de indicador	Descripción	Criterio
Uso de plaguicidas	Practico	Evaluación de la sostenibilidad de la práctica de manejo de malezas y plagas en las fincas cacaoteras seleccionadas del municipio de San Vicente de Chucuri frente a la calidad del aire con base al uso de agroquímicos con Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) registrados en la Guía Nacional para el Control, Monitoreo y Seguimiento de Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles	<p>[0] Realiza control de malezas y/o plagas con sustancias reconocidas como volátiles registradas la Guía Nacional para el Control, Monitoreo y Seguimiento de Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles de forma regular.</p> <p>[1] Ocasionalmente realiza control de malezas y/o plagas con sustancias reconocidas como volátiles registradas la Guía Nacional para el Control, Monitoreo y Seguimiento de Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles.</p> <p>[2] Realiza control de malezas sin aplicación de agroquímicos volátiles que comprometan la calidad del aire.</p>
Quema de residuos	Practico	Evaluación de la presencia o ausencia de la práctica de quema de residuos en las fincas de cacao estudiadas en San Vicente de Chucuri y la regularidad de su aplicación a través de una pregunta orientadora en la entrevista	<p>[0] Quema residuos de forma regular, la quema es su primera opción en la gestión de los residuos</p> <p>[1] La quema de residuos es ocasional, no es la principal practica para la gestión de los residuos</p> <p>[2] No quema residuos, en ningún momento aplica esta práctica para gestionar sus residuos</p>

Indicador	Tipo de indicador	Descripción	Criterio
Conocimiento de los Gases de Efecto Invernadero	Conocimiento	Registro de la presencia o ausencia de conocimiento sobre los Gases de Efecto Invernadero (GEI), su generación y sus implicaciones ambientales en los propietarios de fincas cacaoteras en San Vicente de Chucurí, obtenido mediante dos preguntas orientadoras durante la entrevista inicial	[0] No tiene conocimiento de los GEI y su generación [1] Conoce el concepto de GEI, pero no asocia fuentes de generación en su finca [2] Conoce de los GEI y reconoce que ciertas actividades en su finca pueden estar produciéndolos.

Adaptado de SAFA Guidelines (FAO, 2013b).

**Tabla 4.** *Indicadores de sostenibilidad matriz agua*

Indicador	Tipo de indicador	Descripción	Criterio
Consumo de agua de riego	Practico	Evaluación del consumo sostenible de agua para riego en los cultivos de cacao estudiados en San Vicente de Chucurí, con base en el volumen semanal aplicado por hectárea en comparación con el umbral recomendado por la literatura (28.000 L/ha/semana).	[0] Se hace riego del cultivo con más de 17.5 litros de agua por planta o con más de 28.000 litros por hectárea semanal. [1] Se hace riego del cultivo con menos de 17.5 litros de agua por planta o con menos de 28.000 litros por hectárea semanal. [2] No se realiza riego al cultivo, el agua lluvia es suficiente para mantenerlo durante todo el año.
Conservación de rondas hídricas	Practico	Evaluación de la conservación de las rondas hídricas de nacimientos, ríos, lagos y otros cauces permanentes presentes en los predios de las fincas cacaoteras estudiadas en San Vicente de Chucuri a través del diagnóstico visual realizado en campo y lo indicado por el Decreto 2811 de 1974, el Decreto 1076 de 2015 y la resolución 858 de 2018 de la CAS sobre el dominio de las aguas y sus cauces y los acotamientos de las rondas hídricas.	[0] Se observa/indica que el cultivo de cacao no mantiene una distancia mínima de 30 metros a la corriente de agua más cercana y no hay acotamientos oficiales realizados al predio y el cuerpo de agua que validen una distancia menor. [1] Se observa/indica que el cultivo de cacao no mantiene una distancia mínima de 30 metros a la corriente de agua más cercana, pero argumenta que la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS) realizó un acotamiento inferior a la ronda hídrica y sobre ese se da el cultivo. [2] Se observa/indica que el cultivo de cacao posee una

Indicador	Tipo de indicador	Descripción	Criterio
Reconocimiento de impactos a las fuentes de agua	Conocimiento	Registro de la presencia o ausencia de conocimiento sobre las acciones o actividades que desde el cultivo de cacao pueden estar afectando los cuerpos de agua cercanos en los propietarios de fincas cacaoteras en San Vicente de Chucurí, obtenido mediante una pregunta orientadora durante la entrevista.	<p>distancia mínima de 30 metros a la corriente de agua más cercana.</p> <p>[0] La persona no reconoce que actividades dentro de su cultivo pueden llegar a afectar cuerpos de agua cercanos</p> <p>[1] La persona reconoce o menciona actividades que pueden afectar a los cuerpos de agua, pero ninguna está asociada con su cultivo</p> <p>[2] La persona reconoce que actividades pueden llegar a afectar los cuerpos de agua cercanos y argumenta como su cultivo impacta o no sobre las corrientes hídricas.</p>

Adaptado de SAFA Guidelines (FAO, 2013b).

**Tabla 5. Indicadores de sostenibilidad matriz suelo**

Indicador	Tipo de indicador	Descripción	Criterio
Planeación en la fertilización	Practico	Reconocimiento de la presencia o ausencia de un plan de fertilización para el cultivo de cacao en los predios estudiados en San Vicente de Chucuri y la fundamentación de este sobre un estudio de suelos que evidencie las necesidades nutricionales del cultivo.	<p>[0] No realiza fertilización en su cultivo en ningún momento del año</p> <p>[1] Realiza la fertilización del cultivo sin considerar ningún estudio de suelos como guía para reconocer las necesidades nutricionales del cultivo</p> <p>[2] Realiza la fertilización del cultivo de formar periódica con base a un estudio de suelos en el que identifica las principales necesidades nutricionales del cultivo</p>
Fertilización sintética	Practico	Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de cacao estudiados en San Vicente de Chucuri a partir del uso o no de fertilizantes minerales, su uso en conjunto con fertilizantes orgánicos y las implicaciones de la procedencia de estos	<p>[0] Solo utiliza fertilizantes minerales en su cultivo</p> <p>[1] Utiliza fertilizantes minerales y orgánicos en el cultivo</p> <p>[2] No utiliza fertilizantes minerales en su cultivo</p>
Fosforo en suelos	Practico	Evaluación de los niveles de fosforo en las fincas estudiadas de San Vicente de Chucuri con base a los resultados de las pruebas colorimétricas realizadas con el “NKP SOIL KIT de LaMotte” a las muestras recolectadas de cada predio y el rango óptimo para el desarrollo del cultivo de cacao (18.3 - 6.9 mg/Kg P).	<p>[0] Los niveles de fosforo encontrados en la muestra superan los 18.3 mg/Kg P o son inferiores a los 6.9 mg/Kg P</p> <p>[2] Los niveles de fosforo encontrados en la muestra están entre los 18.3 y 6.9 mg/Kg P</p>

Indicador	Tipo de indicador	Descripción	Criterio
Potasio en suelos	Practico	Evaluación de los niveles de potasio en las fincas estudiadas de San Vicente de Chucuri con base a los resultados de las pruebas colorimétricas realizadas con el “NKP SOIL KIT de LaMotte” a las muestras recolectadas de cada predio y el rango óptimo para el desarrollo del cultivo de cacao (77.1 - 166.1mg/Kg K).	[0] Los niveles de potasio encontrados en la muestra superan los 166.1mg/Kg K o son inferiores a los 77.1 mg/Kg K [2] Los niveles de fosforo encontrados en la muestra están entre los 77.1 - 166.1mg/Kg K
Nitrógeno en suelos	Practico	Evaluación de los niveles de nitrato (NO3) en las fincas estudiadas de San Vicente de Chucuri con base a los resultados de las pruebas colorimétricas realizadas con el “NKP SOIL KIT de LaMotte” a las muestras recolectadas de cada predio y el rango óptimo para el desarrollo del cultivo de cacao (105-60 mg/Kg NO3).	[0] Los niveles de nitratos NO3 encontrados en la muestra superan los 105 mg/Kg NO3 o son inferiores a los 60 mg/Kg NO3 [2] Los niveles de nitratos NO3 encontrados en la muestra están entre los 105-60 mg/Kg NO3
Conductividad del suelo	Practico	Evaluación de la conductividad eléctrica del suelo en los cultivos de cacao estudiados en San Vicente de Chucuri con base a las mediciones realizadas en laboratorio de las muestras recolectadas en campo y al límite reportado por la literatura de 1000 $\mu$ S/cm.	[0] La muestra registro una conductividad electica superior a 1000 $\mu$ S/cm. [2] La muestra registro una conductividad eléctrica inferior a los 1000 $\mu$ S/cm.
pH del suelo	Practico	Evaluación del pH del suelo en los cultivos de cacao estudiados en San Vicente de Chucuri con base a las mediciones realizadas en laboratorio de las muestras recolectadas en campo y el rango óptimo para el cultivo de cacao (7.5- 5.0).	[0] El pH de las muestras de suelo es inferior a 5.0 y superior a 7.5 [2] El pH de la muestra está en el rango de 7.5 y 5.0

Adaptado de SAFA Guidelines (FAO, 2013b).

**Tabla 6.** *Indicadores de sostenibilidad matriz biodiversidad*

Indicador	Tipo de indicador	Descripción	Criterio
Reconocimiento y conservación del sombrío temporal y permanente	Conocimiento	Reconocimiento de la presencia o ausencia del conocimiento de los cultivadores sobre las especies que hacen parte del sombrío temporal y permanente del cultivo de cacao en las fincas estudiadas en San Vicente de Chucuri y la ejecución de prácticas para el control sanitario y fertilización de dichas especies	[0] No reconoce las especies arbóreas del sombrío permanente y temporal que acompañan a su cultivo [1] Reconoce las especies arbóreas que acompañan a su cultivo, pero no les realiza ningún tipo de control sanitario, fertilización o alguna otra práctica para asegurar su permanencia en el cultivo. [2] Reconoce las especies arboleas que acompañan su cultivo y realiza control sanitario, fertilización y otras actividades que asegurar su permanencia en el cultivo.

Indicador	Tipo de indicador	Descripción	Criterio
Reconocimiento y conservación de la fauna silvestre	Conocimiento	Reconocimiento de la presencia o ausencia del conocimiento de los cultivadores sobre las especies de fauna que hacen parte cultivo de cacao en las fincas estudiadas en San Vicente de Chucuri y la ejecución de prácticas para la conservación de estas.	[0] No reconoce las especies de fauna que habitan en su cultivo [1] Reconoce las especies de fauna que habitan en su cultivo, pero no les realiza ninguna practica o acción que favorezca su conservación [2] Reconoce las especies de fauna que habitan en su cultivo y realiza practicas o acciones que favorecen su permanencia en el cultivo.
Manejo de malezas	Practico	Evaluar la sostenibilidad ambiental de las prácticas de control de malezas de las fincas cacaoteras seleccionadas del municipio de San Vicente de Chucuri frente a la conservación de la biodiversidad con base al tipo de método usado (poda manual, mecanizada o herbicida), la regularidad de su aplicación y en dado caso, el nivel de peligrosidad ecotoxicología del herbicida (Índice I y M de RIPEST).	[0] Usa herbicidas con índice I y/o M mayores o iguales a 0.9 según RIPEST [1] Usa herbicida con índice I y/o M de 0 y/o realiza poda más de 4 veces al año [2] Realiza poda manual y/o poda mecanizada 4 veces o menos al año
Capacidad de uso del suelo	Practico	Evaluación de la correspondencia en el uso del suelo dado por las fincas cacaoteras estudiadas en San Vicente de Chucuri y el uso potencial establecido por el Plan de Ordenamiento Territorial vigente en el municipio	[1] En la mayor parte del predio se hace un uso del suelo que no corresponde con el uso potencial indicado por el Plan de Ordenamiento Territorial vigente en el municipio. [2] Parte del predio posee un uso que no corresponden con el uso potencial del suelo asignado por el Plan de Ordenamiento Territorial vigente en el municipio. [3] En el predio se hace un uso del suelo de la misma forma que se indica en el uso potencial del suelo en el Plan de Ordenamiento Territorial vigente en el municipio.
Cambio de la cobertura del suelo	Practico	Evaluación del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo de las fincas cacaoteras estudiadas en San Vicente de Chucuri a partir de la clasificación de la cobertura del suelo de las áreas de interés durante los años 2014 y 2024 y la estimación de la tasa de cambio de la cobertura boscosa en estos lugares.	[0] Se registra una tasa negativa de cambio en la cobertura boscosa de la finca entre los años 2014 a 2024 [1] Se registra una tasa de cambio neutra entre los años 2014 y 2014, es decir con valores absolutos menores a 0.0% de cambio [2] La tasa de cambio de la cobertura boscosa medida entre los años 2014 y 2024

Indicador	Tipo de indicador	Descripción	Criterio
			es positiva, es decir, superior a 0.0% de cambio

Adaptado de SAFA Guidelines (FAO, 2013b).

**Tabla 7. Indicadores de sostenibilidad gestión de residuos**

Indicador	Tipo de indicador	Descripción	Criterio
Reconocimiento de residuos	Conocimiento	Registro de la presencia o ausencia de conocimiento sobre los residuos generados en el cultivo de cacao de fincas estudiadas en San Vicente de Chucuri y su clasificación de acuerdo con la resolución 2184 de 2019 que los categoriza en aprovechables, no aprovechables y orgánicos.	[0] No reconoce ningún material como residual del cultivo de cacao. [1] Reconoce los residuos que se generan de su cultivo, pero no sabe clasificarlos de acuerdo con resolución 2184 de 2019. [2] Reconoce los residuos que se generan de su cultivo y los clasifica de acuerdo con resolución 2184 de 2019.
Gestión de residuos aprovechables y no aprovechables	Practico	Evaluación de la gestión de los residuos aprovechables y no aprovechables en los cultivos de cacao estudiados en San Vicente de Chucuri con base a su separación y a las buenas (reciclaje, entrega a recolectores y/o reutilización) o las malas prácticas aplicadas (quema, entierro y/o disposición en terrenos baldíos) para en el cultivo.	[0] Gestiona los residuos mediante practicas consideradas negativas para la sostenibilidad [1] Realiza separación de residuos aprovechables y no aprovechables, pero no los gestiona con prácticas positivas para la sostenibilidad [2] Realiza separación de residuos aprovechables y no aprovechables y en su mayoría realiza buenas prácticas en la gestión de los residuos sólidos inorgánicos.
Gestión de residuos de fermentación	Practico	Evaluación de la presencia o ausencia de prácticas para el aprovechamiento del mucilago residual del proceso de fermentación del cacao en las fincas cacaoteras estudiadas en San Vicente de Chucuri	[0] Mayormente tiende a descartar el mucilago residual del proceso de fermentación del cacao sobre su terreno [1] Regularmente realiza aprovechamiento del mucilago residual del proceso de fermentación del cacao [2] Mayormente tiende a aprovechar el mucilago residual del proceso de fermentación del cacao

Adaptado de SAFA Guidelines (FAO, 2013b)

Se debe tener en cuenta que la finca El Paraíso al no tener fuentes de agua cercanas, no es posible evaluar el indicador de Conservación de rondas hídricas, de la misma forma que en la finca El Eucalipto con el indicador de Fertilización sintética donde no realizan fertilización, por ello el Puntaje Máximo Alcanzable para estos predios es dos puntos menos que los demás, es decir, mientras que para las fincas Mata de Fique, El Manantial y Paso llano el puntaje más alto al que pueden llegar con estos indicadores es 42, para las otras dos fincas la mejor calificación posible es de 40.

#### 4.5 Análisis de muestras y datos

Para la evaluación de algunos de los indicadores se realizó recolección de muestras de suelo, toma de coordenadas de las fincas y datos de tiempo y cantidad de insumos para el manejo de la poda, fertilización, secado y fermentación del cacao cultivado. Del procesado de estos datos se obtienen algunos resultados específicos.

##### 4.5.1 Mediciones del suelo

Durante las visitas en las fincas estudiadas se recolectaron muestras de suelos para realizar un pequeño análisis enfocado a la gestión del cultivo, de las que se obtuvieron los valores de la

**Tabla 8.** *Análisis del suelo.*

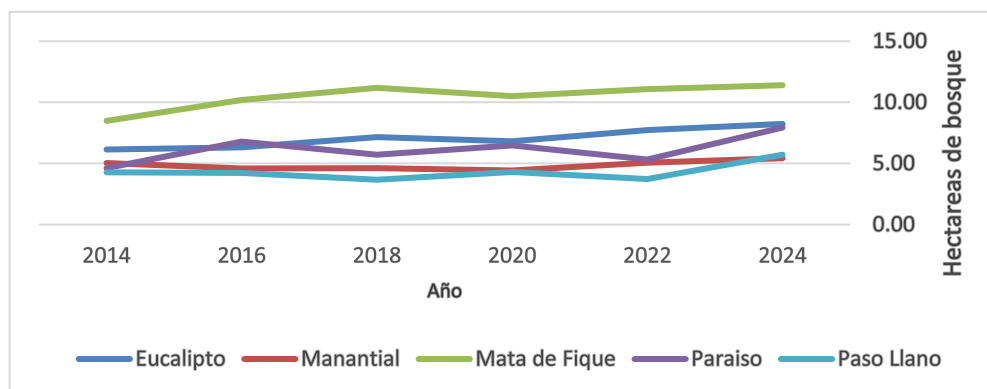
Finca	Nitrógeno [mg/Kg de suelo]	Fosforo [mg/Kg de suelo]	Potasio [mg/Kg de suelo]	pH	Conductividad [mS/cm]
El paraíso	90.56	11.32	90.56	5.840	73.900
Eucalipto	22.64	4.528	90.56	8.197	185.300
Mata de fique	90.56	36.224	90.56	6.427	65.567
Paso Llano	90.56	11.32	90.56	6.463	94.300
El Manantial	90.56	4.528	90.56	6.203	150.367

Tal y como se mencionó en la metodología, el análisis de NKP en suelos fue realizado con una prueba colorimétrica de confianza con el que, aunque no es posible dar un valor preciso, es suficiente para observar carencias o excesos de estos componentes en los suelos del cultivo y proponer lineamientos de mejora. Los resultados por triplicado de las muestras pH y conductividad se encuentran en el *Apéndice C*.

#### 4.5.2 Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo

Para conocer el impacto de la actividad agrícola sobre la cobertura vegetal de la zona se realizó una clasificación de cobertura del suelo del 2014 al 2024 evaluando cada dos años el estado de las fincas, esta clasificación contemplo el nivel 2 de la metodología CORINE Land Cover con la particularidad de integrar los sistemas agroforestales dentro de la categoría de Bosques, debido a dificultad técnica de diferenciarlos de los bosques naturales. La Figura 8 presenta el comportamiento de la cobertura boscosa de los predios en el periodo de tiempo mencionado. La clasificación por predio se presenta en el *Apéndice A*.

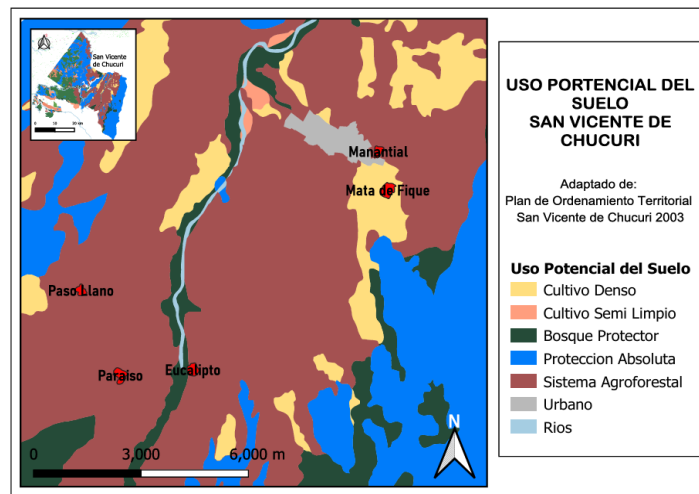
**Figura 8.** Cambio de la cobertura boscosa de las fincas



De forma similar se consultó el plan de ordenamiento vigente del municipio para evaluar el uso potencial del suelo y el uso del suelo dado por los agricultores en las fincas estudiadas,

reconociendo que las fincas El Manantial, El Eucalipto, Paso Llano y El Paraíso se encuentran sobre terrenos adecuados para sistemas agroforestales, mientras que la finca Mata de Figue se encuentra sobre terreno para cultivos densos, por lo que todos los cultivos están sobre suelos aptos según el plan de ordenamiento y no interfieren con ningún área de cuidado especial.

**Figura 9.** *Uso potencial del suelo*



Adaptado de Plan de Ordenamiento Territorial San Vicente de Chucuri (2003).

#### 4.6 Estado de sostenibilidad

Los puntajes de sostenibilidad de las fincas por componente se presentan en la Figura 10.

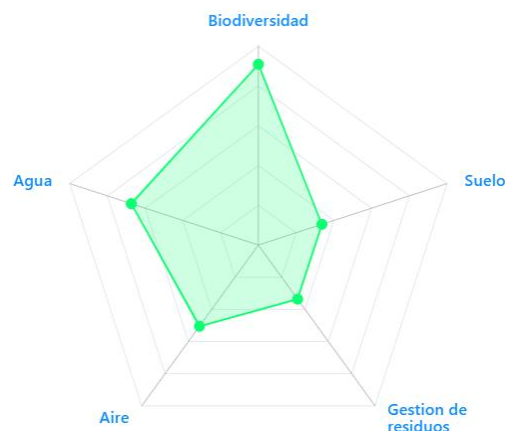
**Figura 10.** *Calificación de sostenibilidad*

Componente	Pasollano	El Paraíso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto
Aire	4	4	3	6	3
Agua	4	4	4	5	4
Suelo	12	13	10	11	4
Biodiversidad	9	10	8	10	9
Gestión de Residuos	3	4	3	3	2
Puntos	32	35	28	35	22
Puntaje Max Alcanzable	42	40	42	42	40
<b>Puntaje de sostenibilidad</b>	<b>76</b>	<b>88</b>	<b>67</b>	<b>83</b>	<b>55</b>
<b>Categoría</b>	<b>Buena</b>	<b>La mejor</b>	<b>Buena</b>	<b>La mejor</b>	<b>Moderado</b>

Con mayor detalle de la evaluación de sostenibilidad y los puntajes asignados por indicador para cada finca se ubica la tabla de evaluación en el *Apéndice B*.

También se presentan los resultados de las fincas por componente evaluado a través de la Figura 11 a la Figura 15, en donde se puede observar cuales son las áreas con mejores prácticas y cuales deben de replantearse la forma en que se hacen.

**Figura 11.** Resultados por componente *El Eucalipto*

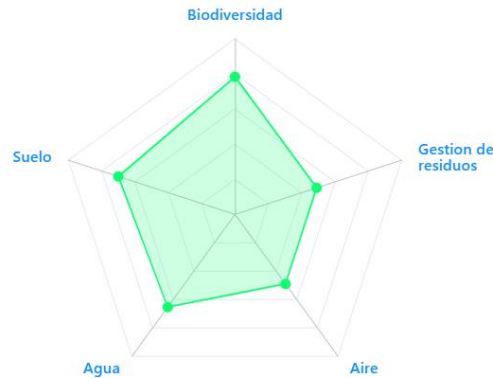


La finca El Eucalipto posee un sistema agroforestal con una buena diversidad de especies para el sombrío permanente y temporal, los cultivadores son conscientes de algunos de los árboles y especies de animales que habían o cruzan su cultivo de forma natural, como una extensión de los bosques aun existentes en la región, aunque no realizan actividades enfocadas a su conservación, pero tampoco usan prácticas que comprometan su permanencia en la zona, por ello su puntaje de sostenibilidad en el componente de biodiversidad no es completo pero si bastante alto.

Por otro lado, la evaluación de sostenibilidad de la matriz de aire y gestión de residuos presenta puntajes bastante bajos debido a prácticas como la quema de residuos que afecta

negativamente la calidad del aire en el predio y no es una actividad adecuada para la gestión de sus residuos del cultivo. Se comprende luego de una investigación con instituciones municipales que no existen sistemas de recolección rural en el municipio, pero aun así no es la mejor práctica frente al manejo de los materiales residuales. De igual forma la ausencia de fertilización en el cultivo es el aspecto que afecta negativamente la sostenibilidad en la matriz suelo de la finca, considerando estudios como (Quiñones-Cabezas et al., 2024) y (López Escudero et al., 2024) se evidencia que al no retornar nutrientes al suelo de los tomados por los cultivos se reducen en gran medida los rendimientos y las actividades biológicas que ocurren en el terreno, esto viéndose reflejado también en los resultados de NKP de las muestras de suelos tomadas donde el fósforo y el nitrógeno están por debajo de los niveles óptimos considerados en la literatura.

**Figura 12.** Resultados por componente El Manantial

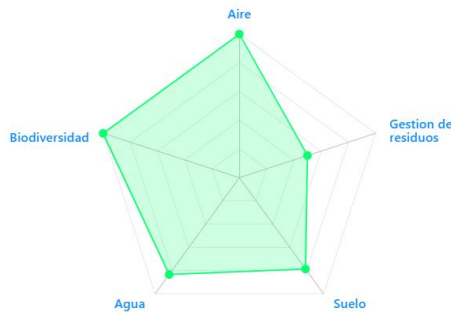


La finca El Manantial presenta resultados similares a los de la finca El Eucalipto, con un sistema agroforestal bastante diverso, pero con ausencia de prácticas que aseguren la permanencia de la fauna y flora diferente a los árboles del cultivo. Aquí se presenta nuevamente la práctica negativa de la quema de residuos del cultivo, que afecta la calidad del aire inmediata al predio y va en contra de las prácticas sostenibles para la gestión de los residuos. La ausencia de un servicio de recolección es nuevamente la justificación de esta actividad, pero aun así desde el testimonio

de las demás fincas hay opciones disponibles que son más amigables con la salud humana y medio ambiental.

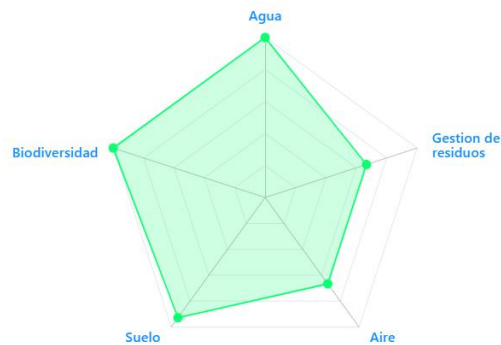
Por otro lado, el puntaje de la matriz suelo se ve afectado por el uso de fertilizantes minerales en el cultivo, que como se indica en la matriz de indicadores tiene implicaciones negativas en su adquisición. Además, el resultado de los niveles de NKP evidencia concentraciones bajas de fosforo en el suelo, elemento que justamente se encuentra en menor proporción tanto en el fertilizante mineral como en el orgánico que se aplica al cultivo.

**Figura 13.** Resultados por componente Mata de Fique

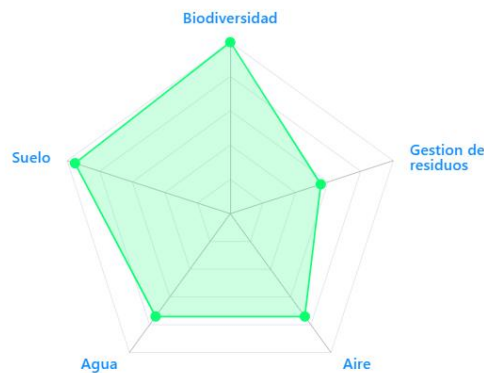


La finca Mata de Fique posee uno de los cultivos con mayor puntaje de sostenibilidad en el estudio, en la matriz de biodiversidad y aire alcanzó el mayor puntaje posible ya que cumplió satisfactoriamente con todos los indicadores de estos componentes. En la matriz suelo se observaron retos frente a la correcta fertilización, donde según los resultados de nutrientes, poseen deficiencias en fosforo, elemento que no está muy presente en los fertilizantes orgánicos usados.

Por parte del componente de gestión de residuos se observó que a pesar de que los agricultores procuran gestionar de la mejor manera los residuos, aun hacen falta algunos conocimientos y prácticas que pueden elevar la sostenibilidad del manejo de los residuos producidos por el cultivo.

**Figura 14.** Resultados por componente El Paraíso

De forma similar a la finca Mata de Fique, la finca El paraíso tuvo un puntaje de sostenibilidad bastante alto, recibiendo una calificación completa en las matrices de agua y biodiversidad por el manejo y conservación de las especies de fauna y flora que componente su sistema agroforestal y por el uso de prácticas que no comprometen el recurso hídrico de la región, es decir, por la ausencia de sustancias en el cultivo que por lixiviación o volatilización pueden llegar a algún cuerpo de agua luego de desplazarse determinadas distancias.

**Figura 15.** Resultados por componente Paso Llano

La finca Paso llano obtuvo un buen puntaje de sostenibilidad de acuerdo con los indicadores evaluados, la matriz de biodiversidad y suelo fueron de los mejores ítems. Sin embargo, para el primero se presenta el reto de implementar prácticas de conservación de la fauna y flora que hacen parte del sistema agroforestal, debido a que según comento el agricultor, había

épocas en las que algunos árboles del sombrío permanente como los Cedros eran usados para aprovechamiento forestal, promoviendo la tala de especies en peligro y protegidas por la ley.

De forma general se encuentran algunas prácticas negativas o aspectos por mejorar en los cultivos, los cuales son la conservación de la vegetación riparia y las rondas hídricas, todos los predios con corrientes de agua poseen partes del cultivo muy cerca de los cuerpos de agua, afectando esta franja con las actividades de poda, fertilización y adecuación de los árboles, por esto el puntaje de la matriz agua tuvo en casi todos un puntaje medio-bajo. También se identifica que la fertilización que se realiza en los cultivos se hace de forma empírica, en algunos casos con datos de estudios de suelos de hace varios años, generando que no se satisfaga realmente las necesidades nutricionales del cultivo tal y como se vio en los resultados de NKP en suelos, donde solo la finca Pasollano y El Paraíso tuvieron niveles aceptables para los tres elementos.

Se identifica que en los sistemas agroforestales de las fincas El Manantial, Eucalipto y Pasollano no se realiza un mantenimiento al sombrío permanente, es decir, aunque los árboles no frutales están prestando varios servicios ecosistémicos al cultivo, estos no reciben ningún tipo de fertilización, poda, control sanitario o hasta son talados algunos de estos para su aprovechamiento, poniendo en riesgo su permanencia en el cultivo y las especies de fauna que se asocian con estos.

Finalmente se encuentra que, aunque los agricultores que fueron entrevistados poseían bastantes conocimientos sobre cómo gestionar el cultivo del cacao sin afectar gravemente al ecosistemas circundante gracias a la educación impartida por instituciones como Agrosavia y Fedecacao, aún hay conceptos y practicas relevantes para la sostenibilidad que son desconocidos para muchos y permite que se realicen practica indebidas como un mal manejo de residuos o disposiciones vertimientos sin la intención de perjudicar a nadie.

Mas allá de los retos por mejorar en los cultivos es posible decir que dé en general el cultivo de cacao en las fincas estudiadas en San Vicente de Chucuri tiene una sostenibilidad “Buena” con más trabajo por realizar en algunos lugares que en otros, pero con una tendencia hacia la conservación donde se establecen los cultivos.

#### 4.7 Lineamientos de mejora

De forma complementaria a la evaluación se formularon algunas propuestas de mejora enfocadas a las principales debilidades identificadas en las fincas, buscando que a través de estas se beneficien los cultivadores y el ecosistema en el que trabajan.

**Tabla 7.** *Propuestas de mejora*

Propuesta	Descripción	Finca objetivo
Reconocimiento ambiental	Se reconoce que muchas flaquezas identificadas en la finca corresponden a un desconocimiento sobre los impactos ambientales que se pueden generar y las alternativas para cambiar o mejorar las practicas realizadas. Por esto se propone compartir con el/los cultivadores un material informativo sobre las temáticas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), importancia de la conservación de la rondas hídricas y la normativa que las protege, la implementación de fertilización inteligente basada en un estudio de suelos, la importancia de la conservación de los forestales que actúan como sombrío y las normativas que regulan el manejo de algunas especies y la correcta gestión de los residuos sólidos y líquidos generados en el cultivo. Se espera que, con el reconocimiento de estos aspectos medioambientales, el/los cultivadores comprendan como interactúa con el ecosistema y como se pueden implementar prácticas para que coexistan tanto a las comunidades humanas como al ambiente.	Mata de Fique El Manantial El Eucalipto Paso Llano El Paraíso
Conservación de las rondas hídricas	Las rondas hídricas son franjas ecosistémicas de gran importancia para la regulación del recurso hídrico, allí se concentra gran diversidad de organismos y se dan intercambios entre los medios acuáticos y terrestres importantes para las dinámicas del ambiente, esta zona también se establece como una medida de protección hacia las actividades del ser humano, ya que son un área inundable. Se propone a las fincas respetar el aislamiento indicado por la autoridad ambiental competente y lo establecido por la Ley 2811 de 1974 que delimita las rondas hídricas. Se plantea a las fincas iniciar o continuar el proceso de conservación de las franjas de vegetación riparia a los lados de los cuerpos de agua que pasan por la finca evitando la poda de los arvenses que allí crecen, no alterando las características físicas de la corriente hídrica, no vertiendo ningún tipo de solido o liquido con capacidad para contaminar el agua y de forma general permitir que en este espacio se generen procesos naturales sin la intervención del ser humano (García Pachón, 2023).	Mata de Fique El Manantial El Eucalipto Paso Llano

Propuesta	Descripción	Finca objetivo
Conservación del sombrío	<p>El cultivo de cacao se caracteriza por presentarse en gran cantidad de veces como un sistema agroforestal, un medio en el que los árboles de sombrío permanente y temporal protegen al cacao de una exposición directa al sol, aportan nutrientes y mejoran las condiciones del suelo, atraen polinizadores, entre muchos otros beneficios que hacen que sean imprescindibles para una buena cosecha, por este motivo se propone que el manejo y cuidado del cultivo se aplique tanto para los árboles de cacao como para las especies de sombrío, realizando fertilización y controles sanitarios de una forma similar al que se mantiene el cultivo (Compañía Nacional de Chocolates, 2021)</p> <p>De forma consecuente se recomienda evitar en lo posible el aprovechamiento forestal del sombrío permanente por las razones ya mencionadas y porque algunos de los árboles comúnmente encontrados en los predios están protegidos por la ley colombiana a través de la Resolución 0192 de 2014 debido al riesgo en el que se encuentran, por lo que su tala puede conllevar problemáticas de tipo legal (MADS, 2014)</p>	<p>El Manantial El Eucalipto Paso Llano</p>
Fertilización inteligente	<p>La fertilización es una de las actividades más importantes en la agricultura, reponer los nutrientes del suelo que la planta cultivada toma para producir el fruto esperado permite alcanzar altos rendimientos agrícolas y mantener nutrido el suelo, pero para que esta práctica se realice de la mejor forma posible se recomienda conocer que hay en el suelo, planear su suministro y en qué cantidad, por ello se propone e invita a los cultivadores a estudiar al menos suelos al año en su cultivo para monitorear cuáles son los elementos de mayor presencia. Instituciones como Agrosavia tienen servicios de análisis enfocados a la fertilización de determinados cultivos y poseen guías para establecer planes de fertilización con base a los resultados encontrados (Agrosavia, 2020).</p>	<p>Mata de Fique El Manantial El Eucalipto Paso Llano El Paraíso</p>
Adecuada gestión de residuos	<p>La gestión de los residuos sólidos producidos en el cultivo debe estar dirigida a evitar impactos ambientales negativos y aprovechar al máximo los materiales resultantes de las actividades agrícolas, por esto se recomienda a los agricultores evitar en lo mayor posible realizar malas prácticas de gestión de residuos como la quema, disposición en terrenos baldíos o el entierro de los mismo, debido a que estas actividades degradan la calidad del medio ambiente, comprometen la salud de las personas de la zona y exponen a los que la realizan de ser sancionados por la normativa nacional “Ley 1333 de 2009” que prohíbe estas acciones. Se invita a los agricultores a realizar reciclaje de los materiales residuales del cultivo, a reutilizar los contenedores, bolsas o sacos que contenían insumos, almacenar los residuos que no tengan uso y luego de completar determinada cantidad llevarlos a algún centro de recolección cercano.</p>	<p>El Manantial El Eucalipto</p>

### 5. Conclusiones

Se lograron seleccionar y adaptar los indicadores de la Sustainability Assessment of Food and Agriculture System (SAFA) para describir la sostenibilidad de las fincas cacaoteras del municipio de San Vicente de Chucuri teniendo en cuenta el contexto en el que se siembra el cacao en la región y otros estudios relacionados a la sostenibilidad de este producto agrícola.

Fue posible identificar la sostenibilidad individual de las fincas de cacao estudiadas, siendo la finca El Paraíso la que mejor desempeño tuvo con 88 puntos y una categoría “Buena” seguida por la finca Mata fique con 83 puntos y “Buena” sostenibilidad, Pasollano con 76 puntos y una categoría de “La Mejor”, igual que la finca El Manantial con 67 puntos y hasta el final la finca El Eucalipto con una sostenibilidad “Moderada” con 55 puntos.

Se identificaron varios obstáculos a la sostenibilidad en las fincas estudiadas, como la ausencia de conocimientos sobre el medio ambiente y el impacto de las actividades humanas en este, la falta de sistemas de recolección de residuos en zonas rurales, entre otros. Con base a estas dificultades se propusieron determinados lineamientos de mejora dirigidos específicamente a las fincas con estas falencias con el fin de promover la mejora de las prácticas del cultivo y el bienestar del ecosistema en el que trabajan.

Se concluye que las fincas cacaoteras estudiadas en el municipio de San Vicente de Chucuri poseen una “Buena” sostenibilidad de acuerdo con el marco evaluativo Sustainability Assessment of Food and Agricultural Systems elaborado por la FAO y adaptado para este estudio. Los cultivos vistos tienden al cuidado de los recursos agua, suelo y atmosfera, aprovechando los servicios que ofrece el ecosistema con la precaución de causar el menor daño posible.

### Referencias

- Afele, J. T., Agbenyega, O., Barnes, V. R., Amisah, S., Acheampong, E., Owusu, V., Anokye, J., Asante, R., Opoku, S., Laten, E., y Danquah, E. (2024). Understanding and addressing climate change impacts on cocoa farming in Ghana. *Environmental Challenges*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100823>
- Afrique Midi. (2024). Production de cacao: L'un des prochains booms aura lieu au Libéria. <https://www.rfi.fr/fr/podcasts/invit%C3%A9-afrique-midi/20240719-production-de-cacao-l-un-des-prochains-booms-aura-lieu-au-lib%C3%A9ria>
- Agronet. (2022). Reporte: Área, Producción, Rendimiento y Participación Municipal en el Departamento \_\_\_\_\_ por \_\_\_\_\_ Cultivo. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=4>
- Agrosavia. (2020). Portafolio de Laboratorios de Investigación y Servicios. [www.agrosavia.co](http://www.agrosavia.co)
- Aguilar-Botia, K.D., Hernández-Botia, F.A., y González-Santos, W. (2023). Manejo de residuos sólidos en entornos rurales. Estudio de caso: Mongua, Boyacá. *Pensamiento y Acción*, 34, 2–15. <https://doi.org/10.19053/01201190.n34.2023.15371>
- Alcaldía de San Vicente de Chucuri. (2018). Nuestro municipio <https://www.sanvicentede-chucuri-santander.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Astudillo Román, D. X., Maza - Maza, J. E., y Amaya-Márquez, P. S. (2024). Proyección y análisis multitemporal del cambio de cobertura y uso de suelo del BP-Tahuín mediante modelos markov-mola y perceptrón multi-capas. *green world journal*, 7(2), 164–164. <https://doi.org/10.53313/GWJ72164>
- Atencio-Perez, M., Reyes-lopez, A., y Guevara-Garcia, A. (2013). Evaluación de riesgo ambiental en un tiradero con quema de basura.

- Attipoe, S. G., Jianmin, C., Opoku-Kwanowaa, Y., y Ohene-Sefa, F. (2020). The Determinants of Technical Efficiency of Cocoa Production in Ghana: An Analysis of the Role of Rural and Community Banks. *Sustainable Production and Consumption*, 23, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.04.001>
- Baffour-Ata, F., Antwi-Agyei, P., Boakye, L., Tettey, L. S. N. A., Forson, M. N. E. F., Abiwu, A. E., Gyenin, E., y Larbi, R. N. M. (2023). Assessing the adaptive capacity of smallholder cocoa farmers to climate variability in the Adansi South District of the Ashanti Region, Ghana. *Heliyon*, 9(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13994>
- Barrezueta-Unda, S. (2020). Properties of several soils cultivated with cocoa in the province of El Oro, Ecuador. 1, 155–166. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210>
- Barrios Nieves, O. (1981). Suelos para cacao y fertilización.
- Behar, O., y Estupiñán, M. C. (2024). Cacao en Colombia: una alternativa para la sustitución de cultivos ilícitos e impulsar la economía. <https://www.radionacional.co/podcast/puntos-de-vida/cacao-en-colombia-una-alternativa-para-la-sustitucion-de-cultivos-ilicitos>
- Bonisoli, L., Galdeano-Gómez, E., y Piedra-Muñoz, L. (2018). Deconstructing criteria and assessment tools to build agri-sustainability indicators and support farmers' decision-making process. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 182, pp. 1080–1094). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.055>
- Bustillo, L., y Martínez, J. P. (s/f). ¿De dónde viene y a dónde va el desarrollo sustentable?
- Calizaya Neira, L. (2018). Minería de Fosfatos. <https://es.scribd.com/document/387609553/Mineria-de-Fosfatos>

- Carlos Bravo Martínez, F., Zorogastúa Cruz, P., y Pinedo Taco, R. (2020). Environmental sustainability index of yellow corn production units in agricultural systems in the Pativilca valley, Lima, Peru (Vol. 38).
- Carr, M. K. V., y Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): A review. In *Experimental Agriculture* (Vol. 47, Issue 4, pp. 653–676). <https://doi.org/10.1017/S0014479711000421>
- Club de Roma. (s/f). CLUB DE ROMA. Retrieved January 22, 2025, from [http://www.clubderoma.org/esp/tareas\\_responsabilidades.htm](http://www.clubderoma.org/esp/tareas_responsabilidades.htm).
- Colorado, J. C. (2024). Yara encabezó el listado de los importadores de fertilizantes durante el año pasado. <https://www.larepublica.co/empresas/yara-encabezo-el-listado-de-los-importadores-de-fertilizantes-durante-el-ano-pasado-3831866>
- Compañía Nacional de Chocolates. (2021). Modelo productivo para el cultivo de cacao. [www.chocolates.com.co](http://www.chocolates.com.co)
- Corpoica. (2020). Manejo integrado del cultivo de cacao.
- Correa, V., Fernanda, M., Yurany, M., y Dueñas, O. (2022). Production and dynamics of cocoa in santander Contributes to the Research Line: Productivity and Competitiveness.
- Cristina Larrouyet, M. (2015). Desarrollo sustentable: origen, evolución y su implementación para el cuidado del planeta. 46. <http://ridaa.unq.edu.ar>,
- Cubillos, G. (1990). El cacao origen, historia, importancia y problemas.
- Daymond, A., Giraldo, D., Hadley, P., y Bastide, P. (2022). Guía global para los sistemas de cultivo de cacao. [www.icco.org](http://www.icco.org).
- Del Carmen García García, M., García, M. R. G., Punzano, E. S., Rubia, M. T., Vallejo, M. T. S., Pérez, M. L. S., Gmada, S. S., Gómez, S. P., Janssen, D., Cortés, E. M., Fernández, M. M.

- F., García, F. D. C., Cano, R. J. B., Nieto, J. M. T., Martínez, I. C., y del Mar Téllez Navarro, M. (2022). Prácticas sobre la gestión de residuos orgánicos e inorgánicos procedentes de la agricultura: el proyecto Recicland. c3-bioeconomy: Circular and Sustainable Bioeconomy. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:256679898>
- Environmental Protection Agency. (s/f). El impacto de los compuestos orgánicos volátiles en la calidad del aire interior | US EPA. Retrieved May 16, 2025, from <https://espanol.epa.gov/cai/el-impacto-de-los-compuestos-organicos-volatiles-en-la-calidad-del-aire-interior>.
- Eurofins. (2021). Soil Sampling Guidelines.
- Flannelly, J. E. (2024). Soil Sampling Requirements - Agriculture and Food Development Authority. [https://teagasc.ie/publications/soil-sampling-requirements-php/?utm\\_source](https://teagasc.ie/publications/soil-sampling-requirements-php/?utm_source)
- Flores Mendoza, J., de Programas Proyectos Rikolto, A., Santos Hernández, N., y proyecto GESCON, consultor. (2020). Manejo y salud de suelo de cacao bajo sistemas agroforestales (SAF).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). Agricultura mundial en la perspectiva del año 2050.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2011). Ahorrar para crecer - Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola en pequeña escala.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013a). SAFA - Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems Indicators. [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013b). Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). Building a common vision for sustainable food and agriculture principles and approaches.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). The future of food and agriculture and challenges.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). Tool for agroecology performance evaluation process of development and guidelines for application. [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request).

Fundacion Natura. (2024). Cultura cacaotera: un legado con impacto socioeconómico en Santander - Fundación Natura Colombia. <https://natura.org.co/cultura-cacaotera-un-legado-con-impacto-socioeconomico-en-santander/>

García Pachón, M. del P. (2023). Derecho de Tierras.

García, C. M. (2018). Impacto del comercio y el transporte internacional sobre la calidad ambiental: un estudio en países de América Latina y el Caribe. <https://doi.org/10.7201/earn.2018.01.03>

Gobernación de Santander. (2024). Plan de Desarrollo Departamental Santander 2024-2027.

Gómez, N., y Guzmán, T. (2022). Área Académica: Gastronomía.

González, G. P. O., Casas, V. T., Castillo, E. O. D., y Castañeda, L. N. R. (2021). Evaluación de patrones temporales en la dinámica para el cambio de cobertura vegetal en zonas rurales tropicales durante el periodo 2013-2018. Caso de estudio Chaguaní-Colombia. Cuadernos de Desarrollo Rural. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:250544727>

Gracia, P. (2015). DESARROLLO SOSTENIBLE: ORIGEN, EVOLUCIÓN Y ENFOQUES. 3. <https://doi.org/10.16925/greylit.1074>

Idawati, I., Sasongko, N. A., Riset, B., Nasional, I., Santoso, A. D., y Sani, A. W. (2023). Life cycle assessment of cocoa farming sustainability by implementing compound fertilizer.

<https://doi.org/10.22034/gjesm.2024.02.17>

Instituto Colombiano Agropecuario. (1990). Seminario nacional de actualización en cacao con énfasis en rehabilitación de plantaciones.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2021). Clasificación de las tierras por su capacidad de uso.

International Cocoa Organization. (2021). La Organización Internacional Del Cacao da la bienvenida a Colombia como 52o país Miembro. <https://www.icco.org/la-organizacion-internacional-del-cacao-da-la-bienvenida-a-colombia-como-52o-pais-miembro/>

Javier, F., Ruiz, M., Gustavo, O., Sánchez, H., Miriam, J., y Reátegui, A. (2024). Midagri / Observatorio de Commodities-Cacao 2 Ministerio de desarrollo agrario y riego viceministerio de políticas y supervisión del desarrollo agrario.

Kaufmann, R. K., y Cleveland, C. J. (1995). Measuring sustainability: needed an interdisciplinary approach to an interdisciplinary concept. In *Ecological Economics* (Vol. 15).

Konefal, J., de Olde, E. M., Hatanaka, M., y Oosterveer, P. J. M. (2023). Signs of agricultural sustainability: A global assessment of sustainability governance initiatives and their indicators in crop farming. *Agricultural Systems*, 208.

<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103658>

Krumbiegel, K., y Tillie, P. (2024). Sustainable practices in cocoa production. The role of certification schemes and farmer cooperatives. *Ecological Economics*, 222, 108211.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108211>

López Escudero, R. de J., López Romero, G., Lango Reynoso, V., y Inurreta Aguirre, H. D. (2024).

Vista de Análisis de fertilización en el agroecosistema maíz en la cuenca de Papaloapan.

<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/3378/6271>

López, J. A. (2013). La fertilización nitrogenada, impactos sobre los rendimientos y el medio

ambiente. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:165529979>

López-Ridaura, S., Van Keulen, H., Van Ittersum, M. K., y Leffelaar, P. A. (2005). Multiscale

methodological framework to derive criteria and indicators for sustainability evaluation of

peasant natural resource management systems. *Environment, Development and*

*Sustainability*, 7(1), 51–69. <https://doi.org/10.1007/s10668-003-6976-x>

Luna, M., y Barcellos, L. (2024). Structured Equations to Assess the Socioeconomic and Business

Factors Influencing the Financial Sustainability of Traditional Amazonian Chakra in the

Ecuadorian Amazon. *Sustainability (Switzerland)*, 16(6).

<https://doi.org/10.3390/su16062480>

Maher. (2025). Conductividad Eléctrica del Suelo y su Influencia en la Agricultura.

<https://www.maherelectronica.com/conductividad-electrica-agricultura/>

Martín, J. A. H., y Osorio, Á. A. (2012). Efectos de la biodiversidad en el control biológico dentro

de los agroecosistemas. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:162101333>

Masera, O., Astier, M., y Ridaura, S. (2000). Marco para la Evaluación de los Sistemas de Manejo

de Recursos Naturales.

Medina-Arboleda, I. F., y Paramo, P. (2024). La educación ambiental y para el cambio climático

en Latinoamérica: una revisión de alcance.

<https://doi.org/10.14349/sumapsi.2024.v31.n1.8>

- Mercado, L., y Martin, W. (2020). Sostenibilidad del cultivo de cacao convencional en el centro poblado Las Lomas – Río Negro.
- Meul, M., Passel, S. Van, Nevens, F., Dessenin, J., Rogge, E., Mulier, A., y Hauwermeiren, A. Van. (2008). MOTIFS: A monitoring tool for integrated farm sustainability. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(2), 321–332. <https://doi.org/10.1051/agro:2008001>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). *Cadena de Cacao*. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Resolución-0192-de-2014.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Resolución 2184 de 2019, por la cual se modifica la resolución 668 de 2016 sobre uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-2184-de-2019.pdf>
- Ministerio de Ambiente. (2017). Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia. <https://felixpinto.com/acotamiento/#pfb>
- Naciones Unidas. (1999). La Asamblea de las Naciones Unidas dedicada al Milenio: contenido temático de la Cumbre del Milenio.
- Navarrete, J. M. (2017). El cacao en el mundo.
- NCERA. (2015). Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region.
- Nugroho, A. P., Wijaya, F. E., Ngadisih, N., Masithoh, R. E., y Sutiarto, L. (2024). Enabling Precision Agriculture through a Web-Based Fertilization Management System for Nawungan Selopamioro Fruit Orchards. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:273004174>

- O'Mara, F. P. (2012). The role of grasslands in food security and climate change. In *Annals of Botany* (Vol. 110, Issue 6, pp. 1263–1270). <https://doi.org/10.1093/aob/mcs209>
- Organic Research Centre. (s/f). OCIS Public Goods Tool - The Organic Research Centre. Retrieved February 7, 2025, from <https://www.organicresearchcentre.com/our-research/research-project-library/public-goods-tool/>
- Orou Sannou, R., Kirschke, S., y Günther, E. (2023). Integrating the social perspective into the sustainability assessment of agri-food systems: A review of indicators. In *Sustainable Production and Consumption* (Vol. 39, pp. 175–190). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.05.014>
- Orozco-Aguilar, L., y Sampson, A. L. (2016). Balance de agua y requerimientos de riego en cacao. <https://www.researchgate.net/publication/306079740>
- Osei-Gyabaah, A. P., Antwi, M., Addo, S., y Osei, P. (2023). Land suitability analysis for cocoa (*Theobroma cacao*) production in the Sunyani municipality, Bono region, Ghana. *Smart Agricultural Technology*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100262>
- Otero, L. E. (2004). Plan de Desarrollo Municipal San Vicente de Chucuri.
- Peñuelas, J., Coello, F., y Sardans, J. (2023). A better use of fertilizers is needed for global food security and environmental sustainability. *Agriculture y Food Security*, 12, 1–9. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:257669280>
- Pino Peralta, S. (2019). Libro cacao. <https://www.researchgate.net/publication/338014361>
- Pino, V., Alcívar, L. A., Cobos, F., Ramírez, G., y Julca, A. (2023). Vista de Evaluación de la sostenibilidad de fincas productoras de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el cantón Puebloviejo de la provincia de Los Ríos, Ecuador. <https://sociedadcientifica.org.py/ojs/index.php/rscopy/article/view/321/168>

- Piracoca, M. J. (2022). Caracterización del mucílago de cacao (*Theobroma Cacao* L., clon TSH 565) como fuente de pectina y azúcares para el aprovechamiento en la industria de alimentos.  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/84381/1024543556.2023.pdf?sequence=2>
- Priego, G. A., Galmiche, A., Castelán, M., Ruiz, O., y Ortiz, A. I. (2008). Sustainability assessment of two cocoa production systems: Case studies in rural production units in Comalcalco, Tabasco. [www.ujat.mx/publicaciones/uciencia](http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia)
- Procacaho. (2015). control de malezas en el cultivo de cacao.
- Public goods tool. (2023). Agaricology. <https://agricology.co.uk/resource/public-goods-tool/>.
- Puyravaud, J.-P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation.  
<http://www.fao.org/>
- Quiñones-Cabezas, J. A., Quiñones-Quñones, J. L., y Ballesteros-Possú, W. (2024). View of Effect of fertilization on cacao (*Theobroma cacao* L) seedlings in the southwest of Colombia. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/8777/10188>
- Quiroga, S., Suárez, C., Diego Solís, J., y Martínez-Juarez, P. (2020). Framing vulnerability and coffee farmers' behaviour in the context of climate change adaptation in Nicaragua. *World Development*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104733>
- Raneri, J. E., Oliveira, S., Demers, N. R., Asare, R., Nuamah, S., Dalaa, M. A., y Weise, S. (2021). A rapid tree diversity assessment method for cocoa agroforestry systems. *Ecological Indicators*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107993>
- Requejo, L. (2014). Comparación de tres métodos de control de malezas (Manual, Mecánico y Químico) en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tulumayo.

Ríos, R. (2023). Control de las malezas en parcelas de cacao de la provincia de San Martín.

<https://orcid.org/0000-0001-5342-8025>

Rodriguez, O. L. (2020). Plan de desarrollo municipal San Vicente de Chucuri.

Rondon, G., y Gomez, R. (1993). Manejo Productivo de Plantaciones de Cacao.

Rullán-Silva, C. D., Gama-Campillo, L. M., Galindo-Alcántara, A., y Olthoff, A. E. (2011).

Clasificación no supervisada de la cobertura de suelo de la región Sierra de Tabasco mediante imágenes landsat etm. *Universidad y Ciencia*, 27(1), 33–41.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttextypid=S0186-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0186-)

[29792011000100003ylnq=esynrm=isoytlnq=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0186-29792011000100003ylnq=esynrm=isoytlnq=es)

Salinas Chávez, E., y Salinas Chávez, E. (2013). Reflexiones acerca del papel del ordenamiento territorial en la planificación y gestión ambiental. *Perspectiva Geográfica*, 18(1), 141–156.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttextypid=S0123-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0123-)

[37692013000100141ylnq=enynrm=isoytlnq=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0123-37692013000100141ylnq=enynrm=isoytlnq=es)

Sarandón, S. J. (2002). *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. E.C.A. Ed. Científicas Americanas.

Sarandón, S. Javier., y Flores, C. Cecilia. (2014). *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. D - Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.

Sarandón, S., Zuluaga, M. S., Cieza, R., Gómez, C., Janjetic, L., y Negrete, E. (2006). Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en misiones, argentina, mediante el uso de indicadores.

Silva, R. A., y Torres, M. B. R. (2020). Sustainability and environmental education in family agriculture: The case of a cooperative in the Potiguar semi-arid. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 55, 300–313. <https://doi.org/10.5380/dma.v55i0.73169>

Smyth, A. J., Dumanski, J., Spendjian, G., Swift, M. J., y Thornton, P. K. (1993). FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management Table of contents World Soil Resources Report Food and Agriculture Organization of the United Nations 1993 A Discussion Paper.

Soetanto, A., Kofi, A., Amores, F., Anher, D., y Konan, D. (2022). Guía global para los sistemas de cultivo de cacao. [www.icco.org](http://www.icco.org).

Talukder, B., Hipel, K. W., y vanLoon, G. W. (2018). Using multi-criteria decision analysis for assessing sustainability of agricultural systems. *Sustainable Development*, 26(6), 781–799. <https://doi.org/10.1002/sd.1848>

Universidad de Buenos Aires. (2013). RIPEST.

Universidad de Guanajuato. (2018). Historia del Desarrollo Sostenible Introducción.

Van Cauwenbergh, N., Biala, K., Biielders, C., Brouckaert, V., Franchois, L., Garcia Ciudad, V., Hermey, M., Mathijs, E., Muys, B., Reijnders, J., Sauvenier, X., Valckx, J., Vanclooster, M., Van der Veken, B., Wauters, E., y Peeters, A. (2007). SAFE—A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 120(2–4), 229–242. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2006.09.006>

Vargas, A. F., López, J. A., y Alvarado, Á. E. (2021). Sostenibilidad Ambiental Y Manejo De Residuos En Sistemas De Producción De Cacao En El Suroccidente De Boyacá-Colombia. *Ciencia y Agricultura*, 18(3), 47–62. <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n3.2021.12896>

Vásquez, H., Pulgar, N. L., Quezada, G., y Palma, J. J. (2023). Vista de VALORIZACIÓN DEL MUCÍLAGO DE CACAO, Estrategias para mitigar el desperdicio y fomentar la

sostenibilidad.

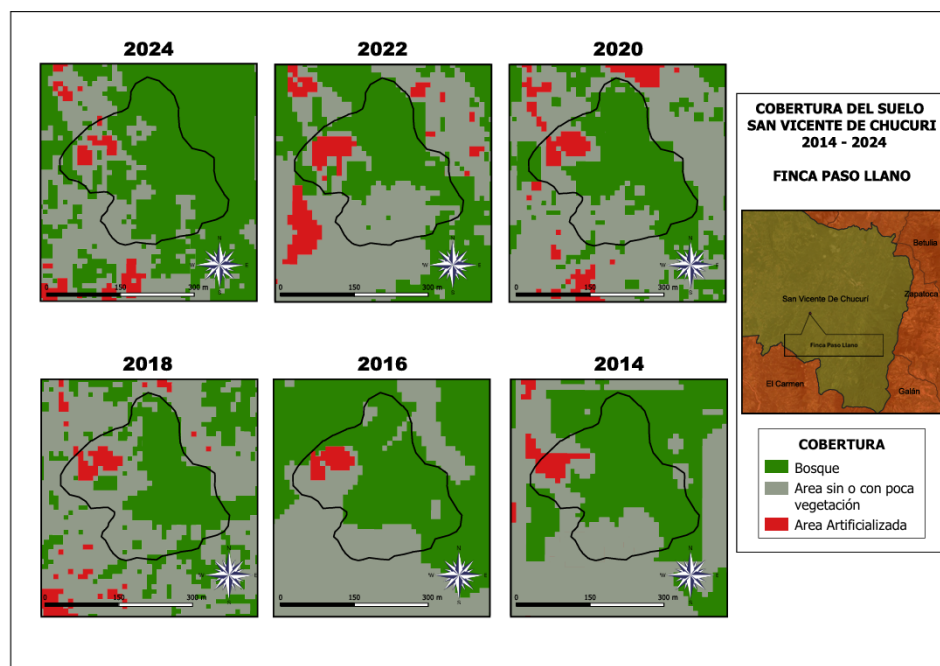
<https://www.revistainvestigo.com/EditorInvestigo/index.php/hm/article/view/58/r8a5p>

## Apéndices

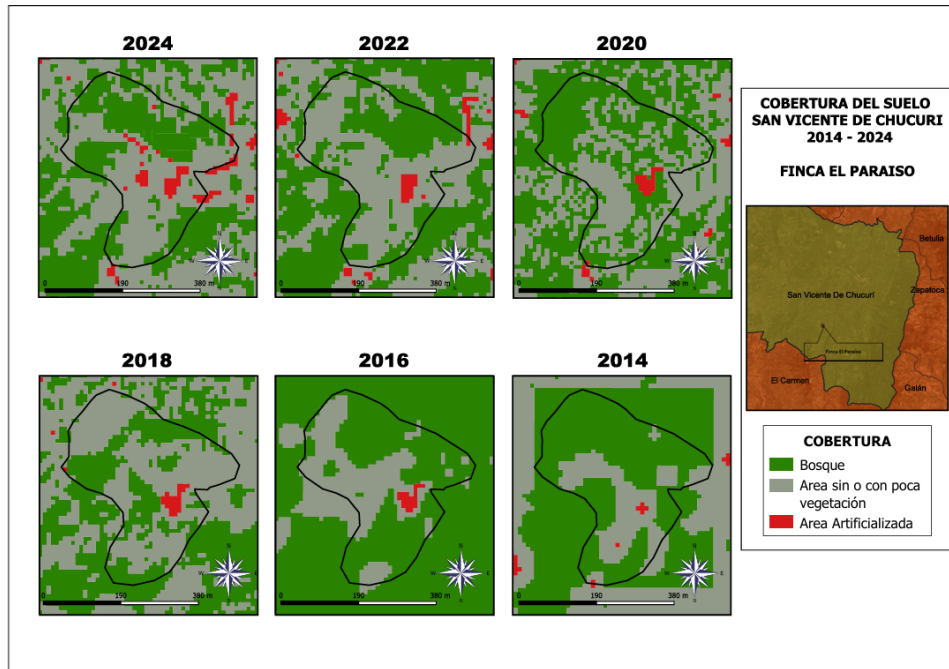
### Apéndice A. Clasificación de la cobertura de las fincas estudiadas

Se presenta la clasificación de la cobertura vegetal según CORINE Land Cover nivel 1, con la cual se evaluó uno de los indicadores diseñados para el estudio.

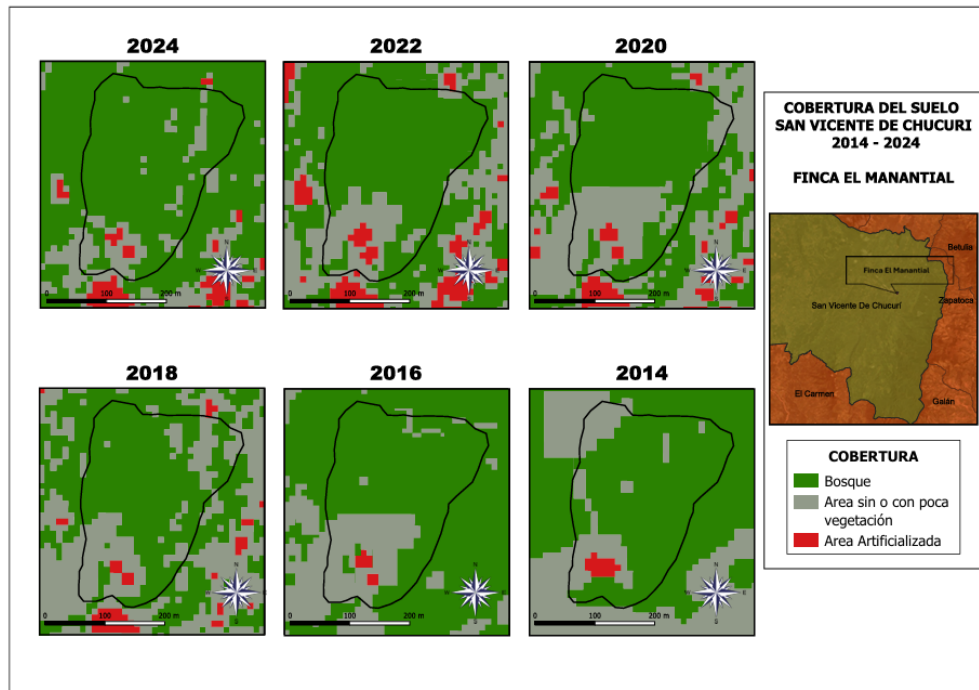
#### Clasificación de la cobertura de la Finca Paso Llano



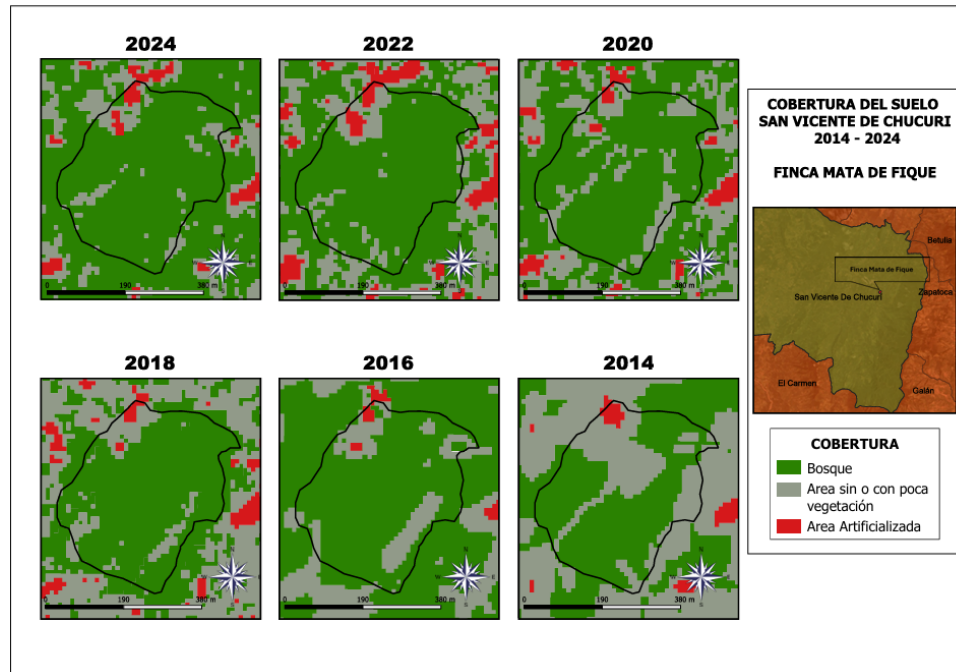
Clasificación de la cobertura de la Finca Paraíso



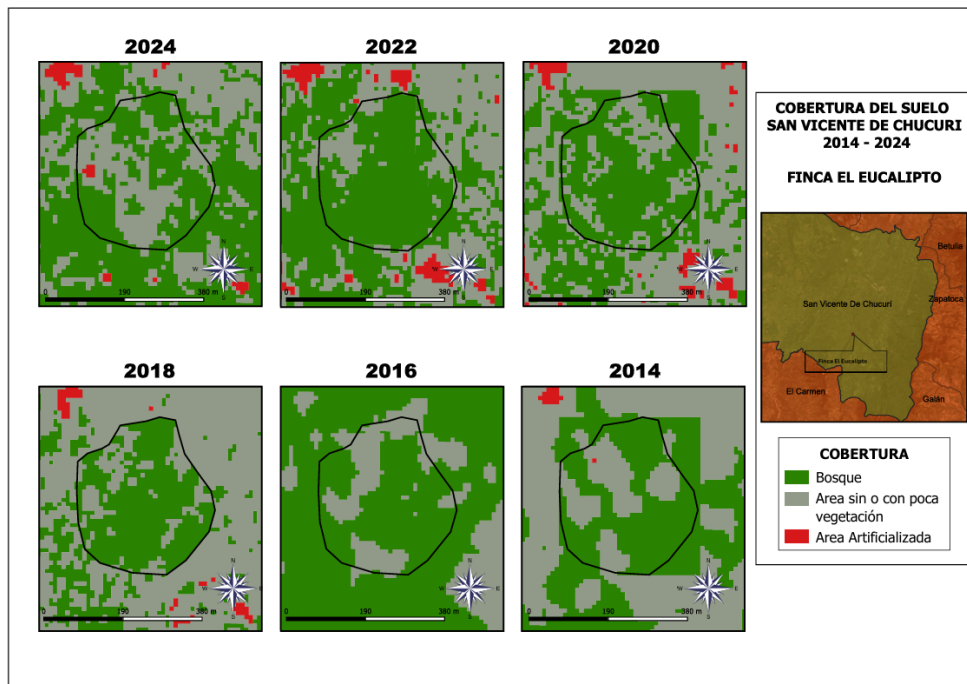
Clasificación de la cobertura de la Finca El Manantial



Clasificación de la cobertura de la Finca Mata de Fique



Clasificación de la cobertura de la Finca Mata de Fique



**Apéndice B. Calificación de indicadores por finca**

Se presenta la calificación que recibió cada indicador en las 5 fincas evaluadas, llevando al puntaje que se presenta en la Figura 10. *Calificación de sostenibilidad* y por la tanto la clasificación de sostenibilidad que les corresponde.

Calificación de los indicadores de la matriz aire							
Indicador	Criterios	Pasollano	El Paraíso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto	Justificación
Uso de plaguicidas	<p>[0] Realiza control de malezas y/o plagas con sustancias reconocidas como volátiles registradas la Guía Nacional para el Control, Monitoreo y Seguimiento de Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles de forma regular.</p> <p>[1] Ocasionalmente realiza control de malezas y/o plagas con sustancias reconocidas como volátiles registradas la Guía Nacional para el Control, Monitoreo y Seguimiento de Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles.</p> <p>[2] Realiza control de malezas sin aplicación de agroquímicos volátiles que comprometan la calidad del aire.</p>	2	2	2	2	2	<p>Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) son gases emitidos por diferentes sólidos y líquidos elaborados con sustancias químicas que poseen una alta presión de vapor y/o un bajo punto de ebullición, por lo que se volatilizan con facilidad y se esparcen por el aire con bastante rapidez. Estos compuestos son nocivos para la salud humana, generando afectaciones al sistema nervioso, irritación dérmica y ocular, náuseas, dolor de cabeza, entre otro. Los COV también son precursores del ozono troposférico, un contaminante atmosférico crítico y altamente toxico (EPA, s/f).</p> <p>Muchos plaguicidas se elaboran con base en COV, generando que el manejo de plagas en los cultivos impacte mucho en la salud de los campesinos y la calidad del aire de la zona inmediata (Ministerio de Ambiente, 2021). Además, para este indicador se tiene en cuenta que según literatura no es común utilizar este tipo de agroquímicos en el cacao, los controles regulares de enfermedades y malezas se pueden mantener en buen estado los sistemas agroforestales en los que se cultiva (PROCACAO, 2015; Rondón &amp; Gomez, 1993).</p>

Indicador	Criterios	Pasollano	El Paraíso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto	Justificación
Quema de residuos	<p>[0] Quema residuos de forma regular, la quema es su primera opción en la gestión de los residuos</p> <p>[1] La quema de residuos es ocasional, no es la principal practica para la gestión de los residuos</p> <p>[2] No quema residuos, en ningún momento aplica esta práctica para gestionar sus residuos</p>	2	2	1	2	1	<p>Según (Aguilar-Botia et al., 2023) la quema de residuos es una práctica que socialmente está mal vista y se reconoce como una de alto impacto ambiental en Colombia, sin embargo, esta también es de las más comunes en los entornos rurales del país, situaciones como la falta de programas de recolección, infraestructura para la disposición y las distancias y zonas de difícil acceso en las que se encuentran muchos campesinos dificulta una gestión convencional de los residuos.</p> <p>Aun así, el manejo de los residuos sólidos no puede recaer en la quema de estos, ya que las emisiones resultantes son nocivas para la salud humana y comprometen la calidad del aire de las áreas circundantes a la actividad (Atencio-Perez et al., 2013). Además, se reconocen varias alternativas para gestionar los residuos de forma más sostenible como el reciclaje, el reúso o incluso la venta de materiales aprovechables.</p>
Conocimiento de los Gases de Efecto Invernadero	<p>[0] No tiene conocimiento de los GEI y su generación</p> <p>[1] Conoce el concepto de GEI, pero no asocia fuentes de generación en su finca</p> <p>[2] Conoce de los GEI y reconoce que ciertas actividades en su finca pueden estar produciéndolos.</p>	0	0	0	2	0	<p>El cambio climático es una de las problemáticas ambientales que mayor discusión han generado en los últimos años, provocando bastante preocupación en el sector agrícola que está completamente influenciado por el comportamiento de las variables climáticas del país o región (Silva &amp; Torres, 2020). La educación y conciencia ambiental es un aspecto básico que debe tenerse en cuenta para realizar una actividad sostenible, debido a que este proceso formativo tiene como fin lograr que las personas sean capaces de comprender aspectos ambientales como el clima, la influencia que tiene el ser humano sobre este, y por lo tanto, las acciones que se pueden hacer para mitigar las futura afectaciones que tendrán las comunidades humanas y los ecosistemas</p>

Indicador	Criterios	Pasollano	El Paraíso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto	Justificación
							sobre los que se asientan (Medina-Arboleda & Paramo, 2024).

Calificación de los indicadores de la matriz agua

Indicador	Criterios	Pasollano	El Paraíso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto	Justificación
Consumo de agua de riego	<p>[0] Se hace riego del cultivo con más de 17.5 litros de agua por planta o con más de 28.000 litros por hectárea semanal.</p> <p>[1] Se hace riego del cultivo con menos de 17.5 litros de agua por planta o con menos de 28.000 litros por hectárea semanal.</p> <p>[2] No se realiza riego al cultivo, el agua lluvia es suficiente para mantenerlo durante todo el año.</p>	2	2	2	2	2	<p>Para asegurar la sostenibilidad un cultivo como el cacao es necesario encontrar el equilibrio entre los requerimientos mínimos para que se dé una buena producción y un uso de recursos que no afecte gravemente el ecosistema de la zona. Por ello este indicador evalúa como límite máximo de uso de agua el valor recomendado por (Carr &amp; Lockwood, 2011; Orozco-Aguilar &amp; Sampson, 2016), quienes indican que un buen rendimiento en cultivos de cacao con sombrero se puede alcanzar regando las plantas con 17.5 litros de agua cada 5 días dependiendo de la época de lluvias o estiaje. También se consideró lo planteado por (Daymond et al., 2022) quienes mencionan que en el mundo son muy pocos los productos que practican riego al cacao a excepción de grandes empresas con grandes extensiones de cultivo. En este documento se reporta que Colombia es parte de los países con mayor rendimiento de cacao por hectárea mundial, por lo que se consideró un mayor puntaje de sostenibilidad ante la falta de riego, pues evita el consumo de agua sin afectar la productividad del cultivo.</p>

Indicador	Criterios	Pasollano	El Paraíso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto	Justificación
Conservación de rondas hídricas	<p>[0] Se observa/indica que el cultivo de cacao no mantiene una distancia mínima de 30 metros a la corriente de agua más cercana y no hay acotamientos oficiales realizados al predio y el cuerpo de agua que validen una distancia menor.</p> <p>[1] Se observa/indica que el cultivo de cacao no mantiene una distancia mínima de 30 metros a la corriente de agua más cercana, pero argumenta que la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS) realizó un acotamiento inferior a la ronda hídrica y sobre ese se da el cultivo.</p> <p>[2] Se observa/indica que el cultivo de cacao posee una distancia mínima de 30 metros a la corriente de agua más cercana.</p>	0	N/A	0	1	0	<p>Las rondas hídricas son aquellas zonas de intercambio entre el medio físico y el acuático, áreas donde ocurre una gran dinámica ecosistémica entre sedimentos, nutrientes, agua, materia orgánica y organismos. La también llamada zona riparia es uno de los hábitats biofísicos más biodiversos, dinámicos y complejos de la capa terrestre en el planeta. Esta área normalmente mantiene ciclos ligados a la subida y bajada del caudal de los cuerpos de agua continuos, permitiendo la renovación natural de los organismos establecidos. La interrupción de estos ciclos por la intervención humana de canalización, construcción, eliminación de la vegetación, remoción de riberas u ocupación para implementación de actividades antrópicas no solo lleva a que el medio pierda su dinámica, sino también a que el ser humano y sus obras corran el riesgo de afectarse en temporadas de aumento de caudal y subida del nivel del agua (Ministerio de Ambiente, 2017).</p> <p>El decreto 2811 de 1974 declara que los cuerpos hídricos y los 30 metros circundantes a estos son propiedad del estado, demarcando el espacio que no debería abarcar ningún proyecto, obra o actividad.</p>
Reconocimiento de impactos a las fuentes de agua	<p>[0] La persona no reconoce que actividades dentro de su cultivo pueden llegar a afectar cuerpos de agua cercanos</p> <p>[1] La persona reconoce o menciona actividades que pueden afectar a los cuerpos de agua, pero ninguna está asociada con su cultivo</p> <p>[2] La persona reconoce que actividades pueden llegar a afectar los cuerpos de agua cercanos y argumenta como su cultivo impacta o no sobre las corrientes hídricas.</p>	2	2	2	2	2	<p>El conocimiento sobre los impactos del ser humano sobre el medio ambiente es uno de los aspectos más importantes de la sostenibilidad, debido a que a partir del reconocimiento de las causas de las afectaciones a los recursos naturales, es posible tomar acción para prevenirlas, remediarlas o mitigar sus efectos. La conciencia ambiental en la agricultura es una oportunidad para los campesinos de cultivar sus productos sin comprometer la calidad y el rendimiento de los productos futuros (Silva &amp; Torres, 2020).</p>

Calificación de los indicadores de la matriz suelo

Indicador	Criterios	Pasollano	El Paraiso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto	Justificación
Planeación en la fertilización	<p>[0] No realiza fertilización en su cultivo en ningún momento del año</p> <p>[1] Realiza la fertilización del cultivo sin considerar ningún estudio de suelos como guía para reconocer las necesidades nutricionales del cultivo</p> <p>[2] Realiza la fertilización del cultivo de formar periódica con base a un estudio de suelos en el que identifica las principales necesidades nutricionales del cultivo</p>	1	1	1	1	0	<p>El uso de fertilizantes en las últimas décadas ha sido uno de los factores por lo que se ha incrementado la producción agrícola para mantener el ritmo del crecimiento humano. Pero un uso indebido de estos puede traer problemáticas para el ambiente, la economía del campesino y el rendimiento del mismo cultivo (Peñuelas et al., 2023). Cada cultivo tiene unos requerimientos de nutrientes específicos para tener un buen rendimiento y desarrollarse correctamente como cualquier ser vivo, al mismo tiempo cuando las plantas tiene suficiente de un nutriente dejan de tomarlo y este queda libre en el ambiente, por ello si no se reconoce que elementos hay en los suelos agrícolas se corre el riesgo de aplicar un fertilizante que no aporte el nutriente que verdaderamente hace falta para el cultivo y/o se exceda con otro que podría causar problemáticas ambientales en los cuerpos de agua cercanos o en la atmósfera (López, 2013; Nugroho et al., 2024).</p>
Fertilización sintética	<p>[0] Solo utiliza fertilizantes minerales en su cultivo</p> <p>[1] Utiliza fertilizantes minerales y orgánicos en el cultivo</p> <p>[2] No utiliza fertilizantes minerales en su cultivo</p>	1	2	1	2	N/A	<p>El uso de fertilizantes minerales trae ciertas consecuencias para el ambiente desde su obtención en procesos mineros, como con la roca fosfórica, silvita, carnalita o gas natural con altos contenidos de amonios. Impactando el lugar del que se toma como cualquier actividad minera realizada en el mundo (Calizaya Neira, 2018).</p> <p>Por otro lado, se conoce que en Colombia se importan más del 80% de los fertilizantes o insumos para estos de países como Canadá, Rusia, Alemania, estados Unidos, entre otros (Colorado, 2024), indicando que adicional a los impactos relacionados a la minería de los elementos, también se generan otros por el transporte de estos, sin mencionar las implicaciones económicas de la dependencia de estos productos importantes para el desarrollo del agro nacional (García, 2018).</p> <p>Por estas razones la aplicación de fertilizantes minerales y su dependencia es un factor que</p>

Indicador	Criterios	Pasollano	El Paraiso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto	Justificación
							compromete la sostenibilidad del cultivo tanto medio ambiental como económica.
Fosforo en suelos	[0] Los niveles de fosforo encontrados en la muestra superan los 18.3 mg/Kg P o son inferiores a los 6.9 mg/Kg P [2] Los niveles de fosforo encontrados en la muestra están entre los 18.3 y 6.9 mg/Kg P	2	2	0	0	0	Las plantas necesitan de aproximadamente 17 elementos esenciales para su desarrollo y crecimiento, la ausencia o presencia de esta marca la forma en que los seres vegetales se desenvuelven en el ecosistema. El cacao requiere de estos nutrientes presentes en el suelo para generar frutos en cantidad y calidad, por ello fertilizar para proveer continuamente al suelo y evitar que los cultivos los agoten es muy importante para su sostenimiento y el de las demás especies vegetales de la zona (Compañía Nacional de Chocolates, 2021). Sin embargo, un exceso en la aplicación de estos nutrientes puede generar que sean arrastrados o lixiviados y terminen en cuerpo de agua causando problemáticas como la eutrofización, intoxicación de fauna nativa, entre otros (López, 2013; Nugroho et al., 2024).
Potasio en suelos	[0] Los niveles de potasio encontrados en la muestra superan los 166.1mg/Kg K o son inferiores a los 77.1 mg/Kg K [2] Los niveles de fosforo encontrados en la muestra están entre los 77.1 - 166.1mg/Kg K	2	2	2	2	2	La medición de este indicador fue realizada con valores aportados por tres documentos diferentes de la literatura en los que se estableció un promedio para ajustar la diferencia entre ellos y así definir en rango medio, uno alto y uno bajo de fosforo en suelos.
Nitrógeno en suelos	[0] Los niveles de nitratos NO <sub>3</sub> encontrados en la muestra superan los 105 mg/Kg NO <sub>3</sub> o son inferiores a los 60 mg/Kg NO <sub>3</sub> [2] Los niveles de nitratos NO <sub>3</sub> encontrados en la muestra están entre los 105-60 mg/Kg NO <sub>3</sub>	2	2	2	2	0	La medición de este indicador fue realizada con valores aportados por tres documentos diferentes de la literatura en los que se estableció un promedio para ajustar la diferencia entre ellos y así definir en rango medio, uno alto y uno bajo de fosforo en suelos.
Conductividad del suelo	[0] La muestra registro una conductividad electica superior a 1000 μS/cm. [2] La muestra registro una conductividad eléctrica inferior a los 1000 μS/cm.	2	2	2	2	2	La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de transmisión de la corriente eléctrica a través de un medio, en este caso el suelo. Esta medida se suele asociar con la salinidad de los suelos debido a que la presencia de sales en este medio facilita el flujo eléctrico. Valores altos de conductividad eléctrica tiene efectos negativos en el desarrollo vegetal, ya que la disponibilidad de los nutrientes del suelo se reduce y obliga a las plantas a esforzarse más en adsorber dichos elementos, incrementando la cantidad de energía que necesaria para nutrirse y

Indicador	Criterios	Pasollano	El Paraiso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto	Justificación
							reduciendo en gran medida la producción de sus frutos (Maher, 2025).
							Según (Barrezueta-Unda, 2020; Flores Mendoza et al., 2020) la conductividad eléctrica en los cultivos de cacao no debería superar los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por sus implicaciones al rendimiento y salud del cultivo.
pH en suelos	[0] El pH de las muestras de suelo es inferior a 5.0 y superior a 7.5 [2] El pH de la muestra está en el rango de 7.5 y 5.0	2	2	2	2	0	El pH es un aspecto en la agricultura que determina no solo la acidez o alcalinidad del sustrato, sino también la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Los cultivos tienen diferentes medidas favorables de pH, teniendo algunos un mejor desarrollo en suelos ácidos que alcalinos o viceversa, haciendo que se deba conocer esta característica en las plantas sembradas para asegurar su crecimiento, pero también protegiendo al ecosistema de no alterar gravemente sus características químicas del suelo.  Según (Barrios Nieves, 1981; Instituto Colombiano Agropecuario, 1990) el pH de los suelos para cultivo de cacao debe estar en un rango de 7.5 a 5.0, por encima de esto es muy alcalino para el cultivo y por debajo muy ácido.

Calificación de los indicadores de la matriz biodiversidad

Indicador	Criterios	Pasollano	El Paraiso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto	Justificación
Reconocimiento y conservación del sombrío temporal y permanente	[0] No reconoce las especies arbóreas del sombrío permanente y temporal que acompañan a su cultivo [1] Reconoce las especies arbóreas que acompañan a su cultivo, pero no les realiza ningún tipo de control sanitario, fertilización o alguna otra	1	2	1	2	1	El árbol de cacao requiere protección de la radiación solar durante sus primeros 2 años, a partir del tercer año ya no es tan indispensable el sombrío y luego del sexto a octavo año el cacao puede vivir sin presencia de árboles de sombrío, pero aun así estos permiten que la planta no sufra daños en su corteza y pueda alargar su vida útil (Flores Mendoza et al., 2020).

Indicador	Criterios	Pasollano	El Paraiso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto	Justificación
Reconocimiento y conservación de la fauna silvestre	<p>práctica para asegurar su permanencia en el cultivo.</p> <p>[2] Reconoce las especies arboleas que acompañan su cultivo y realiza control sanitario, fertilización y otras actividades que aseguran su permanencia en el cultivo.</p> <p>[0] No reconoce las especies de fauna que habitan en su cultivo</p> <p>[1] Reconoce las especies de fauna que habitan en su cultivo, pero no les realiza ninguna practica o acción que favorezca su conservación</p> <p>[2] Reconoce las especies de fauna que habitan en su cultivo y realiza practicas o acciones que favorecen su permanencia en el cultivo.</p>	2	2	1	2	2	<p>Por otro lado, un sistema agroforestal de cacao permite conservar los bosques nativos y las especies de fauna de la región, generando múltiples beneficios ecológicos para el cultivo, los cultivadores y las mismas especies de fauna y flora que habitan allí. Esta práctica hace que el cacao sea más sostenible que muchos otros cultivos, pero, si no se conservan las especies forestales del sistema, no se producirían las ventajas comentadas (Tropical Forest Alliance, 2021).</p> <p>La biodiversidad de especies de insectos y animales se ha ido perdiendo en sistemas de cultivo alrededor del mundo, monopolizando la tierra para una única especie vegetal cultivada y eliminando completamente las oportunidades de que se den interacciones importantes para los ecosistemas, favoreciendo a las especies que, si consumen dichos cultivos y requiriendo el uso de productos químicos para erradicarlos, afectando la salud medioambiental y la de los propios campesinos. La conservación de la biodiversidad en el sector agrícola, especialmente desde los sistemas agroforestales, permite que se dé dentro del ecosistema interacciones básicas como la depredación, que asegura el control biológico de las posibles plagas, o la polinización generada por la dinámica de los insectos y mamíferos. La preservación de las especies de fauna en los cultivos trae más beneficios para la producción vegetal que su desplazamiento o eliminación (Martín &amp; Osorio, 2012).</p>
Manejo de malezas	<p>[0] Usa herbicidas con índice I y/o M mayores o iguales a 0.9 según RIPEST</p> <p>[1] Usa herbicida con índice I y/o M de 0 y/o realiza poda más de 4 veces al año</p> <p>[2] Realiza poda manual y/o poda mecanizada 4 veces o menos al año</p>	2	2	2	2	2	<p>El control de malezas se aborda desde la poda manual con machete, la mecanizada con macaneadora o el uso de herbicidas químicos para inhibir el crecimiento de arvenses y otras malezas (Requejo, 2014; Ríos, 2023). El control manual es una práctica que implica un gran esfuerzo físico para el campesino, pero permite una poda selectiva, precisa y poco invasiva como la mecánica (Requejo, 2014).</p>

Indicador	Criterios	Pasollano	El Paraiso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto	Justificación
Cambio en el uso del suelo	<p>[0] En la mayor parte del predio se hace un uso del suelo que no corresponde con el indicado por el POT</p> <p>[1] En parte del predio se realizan actividades que no corresponden con el uso del suelo asignado por el POT</p> <p>[2] En el predio se hace un uso del suelo de la misma forma que lo indica el POT</p>	2	2	2	2	2	<p>La poda mecanizada permite barrer con los arvenses rápida y eficientemente, por eso es una práctica bastante común, pero su velocidad para quitar la vegetación, las vibraciones y el ruido desplaza temporalmente especies de insectos y animales del cultivo. La regularidad recomendada de esta práctica es de unas 3 a 4 veces por año, ya que el sombrío y la hojarasca característica de los sistemas agroforestales de cacao adulto con normalidad inhibe naturalmente el crecimiento de las malezas (Corpoica, 2020).</p> <p>El uso de herbicidas es uno de los métodos más económicos frente a las malezas (Ríos, 2023), pero determinados compuestos y concentraciones pueden ser muy nocivos para el ecosistema, por ello desde la Universidad de Buenos Aires se construyó el modelo de Riesgo de Pesticidas (RIPEST) que permite calcular un índice de ecotoxicidad de compuestos presentes comúnmente en plaguicidas sobre mamíferos e insectos, teniendo valores de 0 para sustancias y cantidades no peligrosas y 0.9 o 1 para aplicaciones tóxicas (Universidad de Buenos Aires, 2013).</p> <p>El ordenamiento territorial es el fundamento de la planificación y la gestión ambiental de un territorio, es un hecho sociocultural y político relacionado al desarrollo económico de cada sociedad. La planificación territorial también es un fundamento para la sostenibilidad territorial, buscando integrar el bienestar de las comunidades y el medio ambiente, la correcta distribución espacial de las actividades y las industrias y manteniendo una administración y gestión firme del territorio (Salinas Chávez &amp; Salinas Chávez, 2013).</p>

Indicador	Criterios	Pasollano	El Paraiso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto	Justificación
Cambio de la cobertura del suelo	[0] Se registra una tasa negativa de cambio en la cobertura boscosa de la finca entre los años 2014 a 2024	2	2	2	2	2	El vigente Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de San Vicente de Chucuri presenta la capacidad que tiene los suelos del municipio para la ejecución de actividades principalmente agrícolas dentro de su jurisdicción, esta clasificación se hace teniendo en cuenta los efectos combinados del clima y las características permanentes de los suelos, así como los riesgos de deterioro, limitaciones en su uso, capacidad productiva y requerimientos de manejo (IGAC, 2021). Por esto se evalúa el uso del suelo que se registró en las vistas a los cultivos de cacao y el establecido por el POT.
	[1] Se registra una tasa de cambio neutra entre los años 2014 y 2014, es decir con valores absolutos menores a 0.0% de cambio [2] La tasa de cambio de la cobertura boscosa medida entre los años 2014 y 2024 es positiva, es decir, superior a 0.0% de cambio	2	2	2	2	2	La expansión humana, el crecimiento del sector agrícola y otras actividades humanas son amenaza para los bosques nativos. Incluso fenómenos naturales como deslizamientos de tierra, tormentas intensas o inundaciones causan alteración en las coberturas vegetales del mundo (González et al., 2021). Solo en Santander es reconocido que entre 2021 - 2022 se perdieron más de 2 mil hectáreas de bosque por la sobre utilización del suelo y las malas prácticas agropecuarias, generando conflictos entre las comunidades y los ecosistemas del departamento (Gobernación de Santander, 2024).  La evaluación de este indicador consiste en el cálculo de la tasa de cambio propuesta por (Puyravaud, 2003), específicamente de la cobertura boscosa de las fincas cacaoteras donde un valor negativo indica que el periodo de evaluación este tipo de vegetación disminuyo, un valor de 0.0 refleja una conservación casi exacta del área de bosque y valores superiores a aquel indican el crecimiento del área de bosque (Astudillo Román et al., 2024).

Calificación de los indicadores de gestión de residuos

Indicador	Criterios	Pasollano	El Paraiso	El Manantial	Mata de Figue	El Eucalipto	Justificación
Reconocimiento de residuos	<p>[0] No reconoce ningún material como residual del cultivo de cacao.</p> <p>[1] Reconoce los residuos que se generan de su cultivo, pero no sabe clasificarlos de acuerdo con resolución 2184 de 2019.</p> <p>[2] Reconoce los residuos que se generan de su cultivo y los clasifica de acuerdo con resolución 2184 de 2019.</p>	1	2	2	1	1	<p>El conocimiento sobre los impactos del ser humano sobre el medio ambiente es uno de los aspectos más importantes de la sostenibilidad, debido a que a partir del reconocimiento de las causas de las afectaciones a los recursos naturales, es posible tomar acción para prevenirlas, remediarlas o mitigar sus efectos (Silva &amp; Torres, 2020). Para lograr una agricultura más sostenible es necesario que los cultivadores conozcan de las alternativas que existen para el manejo de residuos como modelos de economía circular, aprovechamiento o valorización de materiales, con el fin hacer un poco más amigable la actividad para con el medio ambiente (Del Carmen-García et al., 2022).</p> <p>La resolución 2184 de 2019 indica que los residuos sólidos en el país deben clasificarse y depositarse en bolsas con colores característicos para facilitar su recolección y aprovechamiento o disposición. Estos colores son: bolsa blanca con residuos aprovechables, bolsa negra con residuos no aprovechables y bolsa verde con residuos orgánicos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).</p>
Gestión de residuos aprovechables y no aprovechables	<p>[0] Gestiona los residuos mediante practicas consideradas negativas para la sostenibilidad</p> <p>[1] No realiza separación de residuos aprovechables y no aprovechables, pero no los gestiona con prácticas positivas para la sostenibilidad</p> <p>[2] Realiza separación de residuos aprovechables y no aprovechables y en su mayoría realiza buenas prácticas en la gestión de los residuos sólidos inorgánicos.</p>	1	1	0	1	0	<p>Los residuos sólidos son materiales que resultan del consumo o uso de un bien, en este caso de las actividades relacionadas al manejo del cultivo de cacao. Los residuos sólidos inorgánicos son especialmente problemáticos ya que su mala disposición trae problemáticas para la salud humana y el bienestar del medio ambiente tales como: contaminación de fuentes hídricas, aparición de enfermedades, degradación de la calidad del aire y obstrucción de procesos biológicos en el suelo.</p> <p>Según los manejos más comunes de los residuos en un entorno rural son la quema de residuos, el aprovechamiento</p>

						en el caso de los residuos orgánicos, la comercialización de estos, su disposición en terrenos baldíos, entrega a recicladores y finalmente la reutilización de estos materiales en orden de mayor uso, por ello fueron seleccionadas para representar los tipos de gestión que pueden ocurrir en el ambiente rural estudiado (Aguilar-Botia et al., 2023).	
Gestión de residuos de fermentación	[0] No conoce ninguna alternativa de aprovechamiento para el mucilago residual del cacao y por lo tanto este le descarta en su finca. [1] Conoce alguna alternativa de las alternativas de aprovechamiento del mucilago residual del cacao, pero no las aplica regularmente. [2] Conoce alguna alternativa de las alternativas de aprovechamiento del mucilago residual del cacao y mayormente tiende a aprovechar el mucilago residual del proceso de fermentación del cacao	1	1	1	1	1	El proceso de fermentación del cacao pretende degradar mediante microbiología el recubrimiento frutal de la almendra del caco, llamado mucilago, que se desprenda del grano para poder se secar y procesarlo. De esta forma, el mucilago de cacao fermentado resulta como un subproducto que en muchos de los cultivos no se aprovecha, trata o gestiona, si no por el contrario se deja fluir hacia el mismo terreno, perdiendo la oportunidad de generar productos de alto valor (Vásquez et al., 2023) y permitiendo que se generen problemáticas en el componente suelo como la acidificación o el incremento de vectores nocivos para la salud de los cultivadores y/o del propio cultivo (Piracoca, 2022).

**Apéndice C.** Resultados de las mediciones de pH y conductividad en suelos

<b>Finca</b>	<b>No de medición</b>	<b>Peso [g]</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad [mS/cm]</b>
El paraíso	1	20.011	5.56	73.4
	2	20.022	6.01	70.9
	3	20.576	5.95	77.4
	<b>Promedio</b>	20.203	5.840	73.900
Eucalipto	1	20.343	8.67	326
	2	20.267	7.89	117.9
	3	20.393	8.03	112
	<b>Promedio</b>	20.334	8.197	185.300
Mata de fique	1	20.192	6.74	59.6
	2	20.149	6.65	56.9
	3	20.099	5.89	80.2
	<b>Promedio</b>	20.147	6.427	65.567
Paso Llano	1	20.375	6.39	89.1
	2	20.072	6.34	93.5
	3	20.206	6.66	100.3
	<b>Promedio</b>	20.218	6.463	94.300
El Manantial	1	20.375	6.72	310
	2	20.85	6.06	84.1
	3	20.324	5.83	57
	<b>Promedio</b>	20.516	6.203	150.367