

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS VILLAVICENCIO
DOCUMENTO DE TRABAJO - PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
CONVOCATORIA INTERNA PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
– FODEIN 2023

MODALIDAD: Proyectos Interinstitucionales en el marco de la articulación
entre Universidad – Empresa – Estado – Sociedad Civil

**Valoración agroecológica para el establecimiento de un modelo
agroforestal de la especie Theobroma Cacao con el fin de mejorar las
características físicas, químicas y biológicas del suelo del campus Loma
Linda de la Universidad Santo Tomás, seccional Villavicencio**

INVESTIGADOR PRINCIPAL.

Christian José Rojas Reina

Ingeniero Químico, M.Sc. Ingeniería Sanitaria, Ph.D. Ingeniería Ambiental

CE: 658.867, CvLAC:

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000089317

CO-INVESTIGADORA.

Gisela Patricia Sarmiento Suárez

Ingeniería Ambiental, Especialista en Gerencia de Proyectos

CC: 1.127.587.277, CvLAC:

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000111890

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL - GRUPO DE INVESTIGACIÓN
GESTIÓN AMBIENTAL USTA VILLAVICENCIO (GAUV); GrupLAC:

<https://scienti.colciencias.gov.co/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=00000000016177>

FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN DE CIENCIAS AGROPECUARIAS - GRUPO DE
INVESTIGACIÓN COMPETITIVIDAD Y DESARROLLO REGIONAL (GIFAEA); GrupLAC:

<https://scienti.minciencias.gov.co/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=00000000018849>

RESUMEN

Este proyecto se enfoca en la protección ambiental, siguiendo los lineamientos de la “misión de sabios” (Minciencias 2019), especialmente en temas como la conservación de la biodiversidad, el cuidado de los ecosistemas y el desarrollo de una economía sostenible.

La investigación propone estudiar las condiciones necesarias para implementar un sistema agroforestal con cacao (*Theobroma cacao*) en una zona específica (el piedemonte llanero en el campus Loma Linda de la Universidad Santo Tomás en Villavicencio). Para ello, se utilizará una metodología experimental y exploratoria.

El objetivo principal es analizar el suelo (sus características físico-químicas y su contenido de materia orgánica) para identificar cuál es la mejor condición para cultivar cacao, tomando como indicadores el crecimiento vegetal y el efecto sobre el mismo de la cobertura vegetal y del uso de abono orgánico, en la búsqueda de un sistema de cultivo agrosostenible.

PALABRAS CLAVE: Agricultura sostenible, cacao, modelo agroforestal.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad, la agricultura enfrenta importantes desafíos ambientales derivados de prácticas productivas intensivas que han generado degradación del suelo, pérdida de biodiversidad, deforestación y aumento de procesos erosivos. El uso inadecuado del suelo, la dependencia de insumos químicos y la expansión de la frontera agrícola han afectado negativamente la sostenibilidad de los agroecosistemas, comprometiendo su capacidad productiva a largo plazo.

En este contexto, surge la necesidad de implementar modelos productivos más sostenibles que integren la conservación de los recursos naturales con la producción agrícola. Los sistemas agroforestales se presentan como una alternativa viable, ya que permiten la recuperación de la fertilidad del suelo, el aumento de la materia orgánica, la regulación hídrica y la protección de la biodiversidad, contribuyendo así a mitigar los efectos del cambio climático y la degradación ambiental.

La presente investigación cobra relevancia al proponer una valoración agroecológica para el establecimiento de un modelo agroforestal con la especie *Theobroma cacao*, adaptado a las condiciones del piedemonte llanero en el campus Loma Linda de la Universidad Santo Tomás, seccional Villavicencio. Este enfoque permitirá identificar las condiciones óptimas del suelo y promover prácticas que mejoren sus características físicas, químicas y biológicas.

Asimismo, el desarrollo de este proyecto no solo aportará al conocimiento científico y técnico, sino que también fomentará la apropiación social del conocimiento, fortaleciendo la relación entre la academia y la comunidad. De esta manera, se contribuirá a la implementación de estrategias sostenibles que puedan ser replicadas en contextos similares, promoviendo una agricultura más resiliente, productiva y ambientalmente responsable.

OBJETIVO GENERAL

Realizar una valoración agroecológica para establecer un modelo agroforestal con la especie *Theobroma cacao*, con el fin de mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo en el campus Loma Linda de la Universidad Santo Tomás, Seccional Villavicencio

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el crecimiento vegetal en función de la cobertura vegetal
- Evaluar el impacto del uso de abonos orgánicos y artificiales para la creación de un modelo agrosostenible.
- Analizar la variabilidad característica del microclima urbano y su relación con la temperatura en las zonas de estudio a partir de indicadores ambientales.
- Evaluar la viabilidad económica del sistema agroforestal mediante el análisis de costos, beneficios e indicadores financieros asociados a los diferentes tratamientos experimentales

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica en la creciente necesidad de transformar los sistemas productivos agrícolas hacia modelos sostenibles que permitan mitigar los impactos negativos generados por la agricultura convencional sobre el medio ambiente. En particular, problemáticas como la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad, la deforestación y el uso intensivo de insumos químicos han comprometido la estabilidad de los agroecosistemas y su capacidad de sostener la producción a largo plazo. En este contexto, los sistemas agroforestales emergen como una alternativa estratégica para promover la sostenibilidad ambiental, al integrar componentes arbóreos y agrícolas que favorecen la recuperación de la fertilidad del suelo, el aumento de la materia orgánica y la regulación de variables microclimáticas (Comoli *et al.*, 2025).

Estos sistemas no solo contribuyen a la conservación de los recursos naturales, sino que también generan servicios ecosistémicos clave como la captura de carbono, la regulación hídrica y la protección contra la erosión, aspectos fundamentales frente al cambio climático (Martínez *et al.*, 2024; Atangana *et al.*, 2025). El establecimiento de un modelo agroforestal con cacao (*Theobroma cacao*) en el piedemonte llanero adquiere especial relevancia, dado que esta especie se adapta naturalmente a condiciones de sombra y diversidad biológica, lo que permite replicar estructuras similares a ecosistemas forestales (Suárez *et al.*, 2025; González-Socorro *et al.*, 2026). De esta manera, el cultivo de cacao bajo esquemas agroecológicos se convierte en una herramienta para la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible del suelo, especialmente en regiones que enfrentan procesos de transformación acelerada del paisaje.

Adicionalmente, esta investigación aporta al cumplimiento de compromisos globales en materia de sostenibilidad, como los establecidos en el Acuerdo de París y las políticas nacionales orientadas al desarrollo sostenible, al promover prácticas agrícolas resilientes que reduzcan la presión sobre los ecosistemas y contribuyan a la adaptación y mitigación del cambio climático.

Finalmente, el proyecto tiene un valor significativo desde el punto de vista científico y social, ya que permitirá generar conocimiento aplicado sobre el manejo sostenible del suelo, fortalecer la relación entre la academia y la sociedad, y ofrecer un modelo replicable en otras regiones con condiciones similares. Esto contribuye a la construcción de sistemas productivos más equilibrados, que integren la productividad agrícola con la conservación ambiental, en línea con los principios de la agroecología y el desarrollo sostenible.

MARCO TEÓRICO

1. Agricultura Agrosostenible

La agricultura sostenible surge como respuesta a los impactos negativos generados por los sistemas productivos convencionales, los cuales han provocado degradación del suelo, pérdida de biodiversidad y alteraciones en los ciclos naturales. Este enfoque busca satisfacer las necesidades alimentarias actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, integrando dimensiones ambientales, económicas y sociales (Somarriba, 1992; Nair, 1992).

En este contexto, la agroecología se consolida como un enfoque científico y práctico que aplica principios ecológicos al diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles. Según Altieri (1999), la agroecología promueve la diversificación de cultivos, el reciclaje de nutrientes, el uso eficiente de los recursos naturales y la reducción de insumos externos, favoreciendo sistemas resilientes frente al cambio climático.

2. Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales (SAF) se definen como arreglos de uso del suelo en los que se combinan especies arbóreas con cultivos agrícolas y/o actividades pecuarias en un mismo espacio y tiempo. Estos sistemas permiten mejorar la productividad del suelo, aumentar la biodiversidad y generar servicios ecosistémicos como la captura de carbono, la regulación hídrica y la protección contra la erosión (Altieri, 2017).

Diversos estudios han demostrado que los SAF contribuyen significativamente a la recuperación de suelos degradados mediante el incremento de la materia orgánica, la mejora de la estructura del suelo y el fortalecimiento de la actividad biológica. Además, favorecen la estabilidad microclimática al reducir la temperatura del suelo y aumentar la humedad relativa, condiciones clave para el desarrollo de especies como el cacao.

3. Importancia del cacao en sistemas agroforestales

El cacao (*Theobroma cacao*) es una especie tropical que se adapta favorablemente a sistemas agroforestales debido a su requerimiento de sombra en etapas iniciales de crecimiento y su sensibilidad a condiciones climáticas extremas. Tradicionalmente, el cacao ha sido cultivado bajo sistemas diversificados que imitan la estructura de los bosques naturales, lo que favorece su desarrollo y productividad.

Desde el punto de vista ecológico, el cultivo de cacao en sistemas agroforestales contribuye a la conservación de la biodiversidad, al servir como hábitat para diversas especies de flora y fauna. Asimismo, tiene un importante valor económico y social en regiones como el piedemonte llanero, donde representa una alternativa productiva sostenible frente a actividades que generan mayor impacto ambiental.

4. Suelo como componente fundamental del agroecosistema

El suelo es un recurso natural esencial para la producción agrícola y el mantenimiento de los ecosistemas. Sus propiedades físicas (textura, estructura, porosidad), químicas (pH, nutrientes, capacidad de intercambio catiónico) y

biológicas (microorganismos, materia orgánica) determinan su fertilidad y capacidad productiva (Young, 2017).

La degradación del suelo, asociada a prácticas agrícolas intensivas, reduce su capacidad de retención de agua, disminuye la disponibilidad de nutrientes y afecta la actividad biológica. En este sentido, el uso de abonos orgánicos y prácticas de cobertura vegetal son estrategias clave para restaurar la calidad del suelo, incrementar su contenido de materia orgánica y mejorar su estructura (Lal, 2004).

5. Cobertura vegetal y manejo de abonos

La cobertura vegetal desempeña un papel fundamental en la protección del suelo frente a la erosión, la regulación de la temperatura y la conservación de la humedad. Además, contribuye al reciclaje de nutrientes y al incremento de la materia orgánica, favoreciendo condiciones óptimas para el crecimiento de los cultivos (Beer *et al.*, 1998).

Por otro lado, los abonos orgánicos, como el compost y el estiércol, aportan nutrientes de liberación lenta y mejoran la actividad microbiana del suelo, mientras que los fertilizantes químicos ofrecen una disponibilidad inmediata de nutrientes, aunque su uso excesivo puede generar efectos negativos sobre el ambiente. La combinación adecuada de ambos tipos de fertilización puede contribuir al desarrollo de sistemas productivos más sostenibles.

6. Microclima y su influencia en sistemas productivos

El microclima se refiere a las condiciones climáticas específicas de un área reducida, las cuales pueden diferir significativamente de las condiciones generales de la región. Factores como la cobertura vegetal, la topografía y el uso del suelo influyen en variables como la temperatura, la humedad y la radiación solar (FAO, 2015).

En sistemas agroforestales, la presencia de árboles contribuye a la regulación del microclima, reduciendo las temperaturas extremas y favoreciendo condiciones más estables para el crecimiento de los cultivos (FAO, 2017). En el caso del cacao, estas condiciones son especialmente importantes, ya que la especie requiere ambientes con alta humedad relativa y temperaturas moderadas.

7. Contexto del piedemonte llanero

El piedemonte llanero colombiano es una región de transición entre la cordillera Oriental y los Llanos Orientales, caracterizada por su alta biodiversidad, suelos de fertilidad variable y condiciones climáticas favorables para la agricultura tropical. Sin embargo, esta zona también enfrenta procesos de deforestación y degradación del suelo debido a la expansión agrícola y ganadera.

La implementación de sistemas agroforestales con cacao en esta región representa una alternativa viable para promover el uso sostenible del suelo, mejorar la productividad agrícola y conservar los recursos naturales, en concordancia con los lineamientos de desarrollo sostenible planteados a nivel nacional.

8. Evaluación económico-financiera del sistema agroforestal

Con el fin de complementar la evaluación agronómica del cultivo de *Theobroma cacao*, se desarrollará un análisis económico-financiero orientado a determinar la eficiencia en el uso de los insumos de fertilización y su relación con el crecimiento

vegetal observado en los diferentes tratamientos experimentales.

Este análisis se fundamentará en la comparación de tres escenarios de manejo: (i) tratamiento control sin fertilización, (ii) fertilización orgánica y (iii) fertilización química, considerando adicionalmente la influencia de la cobertura vegetal (presencia o ausencia de sombra) como factor determinante en la eficiencia del sistema productivo.

Estimación de costos de fertilización: Se realizará la cuantificación del costo total de fertilización para cada tratamiento, tomando como base los esquemas de aplicación definidos en el diseño experimental. Se calculará el consumo acumulado de insumos por planta durante el periodo de evaluación, considerando dosis, frecuencias de aplicación y variaciones progresivas en las cantidades suministradas.

Posteriormente, se estimará el costo unitario por planta y por tratamiento a partir de precios de mercado de los insumos utilizados. En el caso de la fertilización química, se incluirá el uso de fosfato diamónico (DAP) en la fase inicial y fertilizante compuesto NPK 18-18-18 (Triple 18) durante el crecimiento vegetativo. Para el tratamiento orgánico, se considerará el uso de bioabonos bajo un esquema de aplicación periódica.

Análisis de eficiencia económica: Con base en los costos estimados y en los datos de crecimiento vegetal (expresados en número de hojas, diámetro del tallo y desarrollo general), se calcularán indicadores de eficiencia económica, tales como:

Costo por unidad de crecimiento vegetal

Relación costo-efectividad de los tratamientos

Productividad del insumo (respuesta agronómica por unidad monetaria invertida)

Este enfoque permitirá identificar qué tratamiento genera mayores beneficios agronómicos por unidad de inversión, optimizando el uso de los recursos financieros.

Costo de oportunidad: Se incorporará el análisis del costo de oportunidad en el tratamiento control, considerando que la ausencia de fertilización puede generar menores tasas de crecimiento y retrasos en el desarrollo del cultivo, lo cual representa una pérdida potencial de productividad futura.

Interacción con la cobertura vegetal: El análisis económico integrará el efecto de la cobertura vegetal (sombra) sobre la eficiencia de los tratamientos, evaluando cómo las condiciones microclimáticas influyen en la productividad marginal de los insumos.

Enfoque y alcance del análisis: El análisis se desarrollará bajo un enfoque de costo-efectividad, adecuado para la fase inicial del cultivo, donde no se incorporan aún variables de ingreso o comercialización. Su alcance se limita al corto plazo (fase de establecimiento del cultivo), reconociendo la necesidad de estudios posteriores que evalúen la rentabilidad a largo plazo, incluyendo producción, calidad del grano y servicios ecosistémicos.

METODOLOGÍA

1. Enfoque de la investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo de tipo experimental y exploratorio, orientado a evaluar las condiciones agroecológicas óptimas para el establecimiento de un sistema agroforestal con cacao (*Theobroma cacao*) en el campus Loma Linda de la Universidad Santo Tomás, seccional Villavicencio.

El estudio busca analizar la relación entre variables edáficas, prácticas de manejo (cobertura vegetal y fertilización) y variables ambientales (microclima), con el crecimiento del cultivo, mediante la medición de indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo, así como variables agronómicas del cacao.

2. Área de estudio

La investigación se llevará a cabo en el campus Loma Linda, ubicado en el piedemonte llanero del municipio de Villavicencio (Meta, Colombia), una zona caracterizada por clima tropical húmedo, con temperaturas promedio entre 24 y 28 °C y precipitaciones anuales superiores a los 2.500 mm.

Los suelos de esta región presentan variabilidad en su fertilidad, generalmente con niveles medios a bajos de materia orgánica, lo que hace pertinente evaluar estrategias de mejoramiento mediante sistemas agroforestales.

3. Variables de estudio

Variables independientes:

- Tipo de cobertura vegetal (con cobertura / sin cobertura)
- Tipo de fertilización (orgánica, química, control sin fertilización)

Variables dependientes:

- Crecimiento vegetal del cacao (floración, diámetro del tallo, número de hojas)
- Propiedades del suelo:
 - Físicas: textura, densidad aparente, humedad
 - Químicas: pH, materia orgánica, N, P, K
 - Biológicas: actividad microbiana (respiración del suelo)

Variables ambientales:

- Temperatura del aire y del suelo
- Humedad relativa
- Radiación solar

4. Recolección de datos

Se realizarán muestreos de suelo antes del establecimiento del experimento (línea base) y durante el desarrollo del cultivo en intervalos periódicos (cada 6 meses). Los análisis de laboratorio incluirán:

- Determinación de materia orgánica (método Walkley-Black)
- pH (potenciómetro)
- Nutrientes (N, P, K)
- Densidad aparente (método del cilindro)
- Actividad biológica (respiración del suelo)
- El crecimiento del cacao se evaluará mediante mediciones directas en campo,

registrando, diámetro del tallo, número de hojas y los primeros brotes.

- Las variables microclimáticas se medirán mediante sensores o estaciones meteorológicas en el Campus Loma Linda.

5. Tipo de diseño

Se empleará un diseño experimental factorial completamente al azar (DCA), con dos factores principales:

Factor A: Cobertura vegetal (2 niveles)

- A1: Con cobertura vegetal
- A2: Sin cobertura vegetal

Factor B: Tipo de fertilización (3 niveles)

- B1: Control (sin fertilización)
- B2: Orgánica
- B3: Química

6. Unidades experimentales y replicación

- Cada tratamiento contará con **mínimo 3 repeticiones**, para un total de 24 unidades experimentales.
- Cada unidad experimental corresponderá a una parcela con un número definido de plantas de cacao (por ejemplo, 9 a 16 plantas por parcela, dependiendo del espacio disponible).
- La asignación de los tratamientos se realizará de manera aleatoria.

7. Establecimiento del sistema agroforestal

- El cacao será sembrado bajo un arreglo agroforestal que incluirá especies arbóreas de sombra (por ejemplo, especies nativas o leguminosas fijadoras de nitrógeno), distribuidas estratégicamente para generar condiciones microclimáticas favorables.
- La cobertura vegetal podrá consistir en:
- Coberturas vivas (leguminosas rastreras o arboles)

8. Análisis de datos

Los datos obtenidos serán analizados mediante:

- Análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre tratamientos.
- Pruebas de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$).
- Análisis de correlación entre variables del suelo, microclima y crecimiento vegetal.
- Análisis descriptivo para interpretar tendencias en las variables ambientales.
Se utilizarán programas estadísticos como R, SPSS o InfoStat.

9. Evaluación económica del sistema agroforestal

Con el fin de analizar la viabilidad económica del sistema agroforestal propuesto, se realizará una evaluación económica basada en la estimación de costos y beneficios asociados a cada tratamiento experimental.

Costos considerados:

- Costos de establecimiento: preparación del terreno, adquisición de plántulas de cacao y especies arbóreas, insumos iniciales.

- Costos de operación: fertilización (orgánica y química), mantenimiento, mano de obra, monitoreo.

Beneficios considerados:

- Crecimiento y potencial productivo del cacao.
- Ahorros derivados del uso de abonos orgánicos frente a insumos químicos.
- Servicios ecosistémicos asociados (mejoramiento del suelo, regulación microclimática), considerados como beneficios indirectos.

Indicadores económicos:

- Relación Beneficio/Costo (B/C)
- Valor Presente Neto (VPN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR), en caso de proyectar escenarios productivos

Fases del estudio

Fase 1: Caracterización inicial del suelo y establecimiento del experimento

Fase 2: Implementación de tratamientos (cobertura y fertilización)

Fase 3: Monitoreo de variables (suelo, planta, microclima)

Fase 4: Análisis de datos e interpretación de resultados

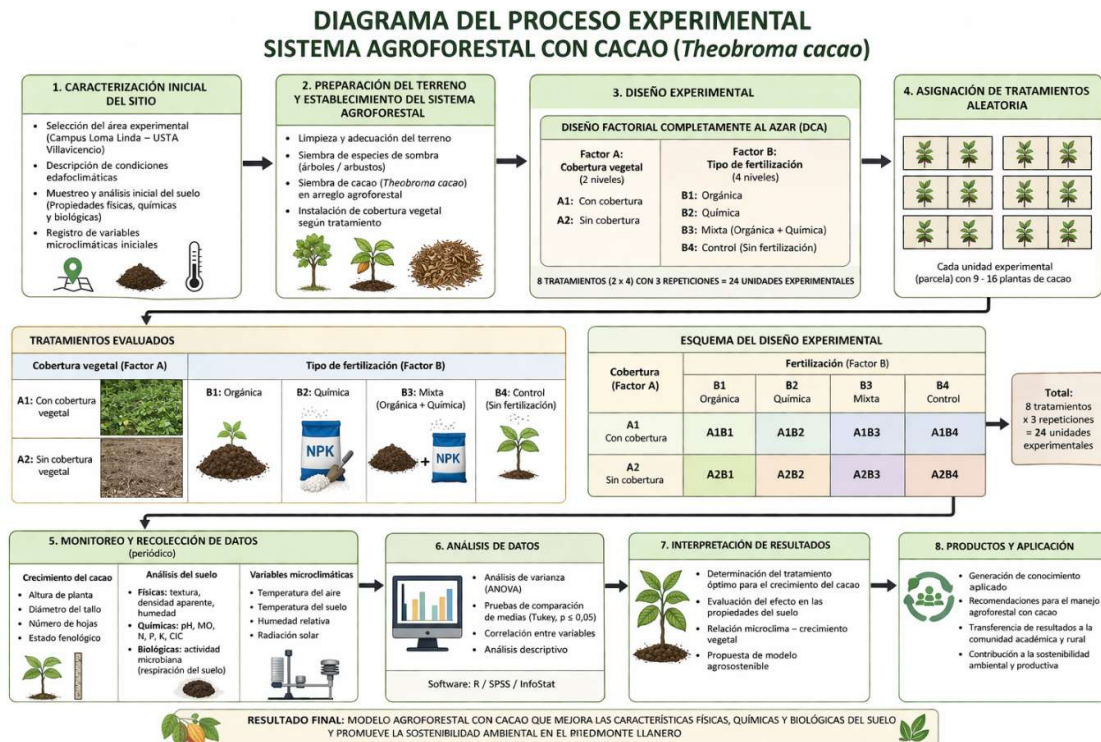


Figura 1. Diagrama esquemático de la metodología experimental.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El diagrama de Gantt presenta la planificación temporal del proyecto a lo largo de 12 meses, organizada en cuatro fases principales. La fase 1 se desarrolla entre los meses 1 y 3, enfocándose en la caracterización inicial del suelo y el establecimiento del experimento. Posteriormente, las fases 2 y 3 se ejecutan de manera simultánea entre los meses 4 y 12, abarcando la implementación de tratamientos y el monitoreo de variables. Finalmente, la fase 4 se concentra en los meses 10 al 12, donde se realiza el análisis de datos y la interpretación de resultados, permitiendo consolidar los hallazgos del estudio.

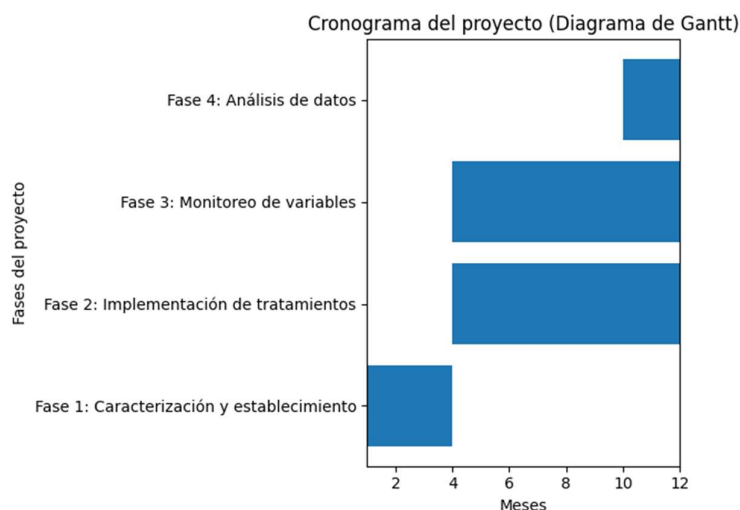


Figura 2. Diagrama de Gantt con las fases del proyecto para una duración total de 12 meses.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

Tabla 2. Descripción de productos a obtener del proyecto

CATEGORÍA COLCIENCIAS	PRODUCTO ESPERADO	DESCRIPCIÓN
Productos de nuevo conocimiento	Artículos de investigación	1 artículo de investigación
Productos resultado de actividades de Apropiación Social del Conocimiento	Circulación de conocimiento especializado	Participación en evento nacional o internacional.
	Divulgación Pública de la Ciencia	Documento de trabajo Informe Final de Investigación

Bibliografía

- Allen, S.L.; Robayo, L.A.; Martin, C.D. & Ganem, J.L. (2024). Productivity, soil health, and tree diversity in dynamic cacao agroforestry systems in Ecuador. *Land*, 13(7), 959. <https://doi.org/10.3390/land13070959>
- Altieri, M. A. (1999). *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan-Comunidad.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2017). Agroecology: A brief account of its origins and currents of thought in Latin America. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(3-4), 231–237. <https://doi.org/10.1080/21683565.2016.1249960>
- Atangana, A. R., Kouassi-Koffi, G., Kpangui, K.B., Tondoh, E.J., Wolf, V.L.F., Kouamé, C. & Khasa, D. (2025). Tree diversity and soil fertility interactions drive carbon storage in degraded cocoa landscapes. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1731574. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1731574>
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D. & Somarriba, E. (1998). Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, 38, 139–164.
- Comolli, L. R., Schegg, E., Infuleski, C., Fassola, H., von Wallis, A., Bulfe, N.M., Barth, S.R., Gonzalez, P.A., Gauchat, M.E., Munareto, N., Gross, V., Cruz, P. & Wyss, F. (2025). A sustainable integrated agroforestry system. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1635422. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1635422>
- FAO. (2015). *Agroforestry systems and practices*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- González-Socorro, P., Armengot, L., Saj, S. & Pérez-Neira, D. (2026). Successional agroforestry systems enhance environmental sustainability in cacao production: Evidence from a long-term trial. *Journal of Cleaner Production*, 549, 147860. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2026.147860>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2019). *Misión internacional de sabios 2019: Colombia hacia una sociedad del conocimiento*. Gobierno de Colombia.
- Nair, P. K. R. (1993). *An introduction to agroforestry*. Springer.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2), 1–22.
- Somarriba, E. (1992). *Revisiting the past: An essay on agroforestry definition*. *Agroforestry Systems*, 19(3), 233–240.

Suárez, J. C., Cruz-Cerón, D. Y. & Andrade, H. J. (2025). Impact of cacao-based agroforestry systems on carbon storage in above-ground biomass and necromass in the Colombian Amazon. *Agroforestry Systems*, 100(15). <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01381-8>

Young, A. (1997). *Agroforestry for soil management*. CAB International.