

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN



" LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE PREVIO A LA CONVERSIÓN DE PASTURA CONVENCIONAL A SISTEMA SILVOPASTORIL, EN LA LIMA, CAMPAMENTO, OLANCHO. "

POR:

EVA NOHELIA QUIÑONEZ VÁSQUEZ

TESIS

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS C.A

MARZO, 2026

"LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE PREVIO A LA CONVERSIÓN DE PASTURA CONVENCIONAL A SISTEMA SILVOPASTORIL, EN LA LIMA, CAMPAMENTO, OLANCHO."

POR:

EVA NOHELIA QUIÑONEZ VÁSQUEZ

M.Sc JORGE DAVID ZUNIGA

Director de Tesis

INFORME FINAL DE TESIS DE GRADO, PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO REQUISITO PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE INGENIERO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

CATACAMAS, OLANCHO

MARZO 2026

ACTA DE SUSTENTACIÓN

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios, por brindarme la vida, la sabiduría y la fortaleza necesaria para culminar esta etapa tan importante en mi formación profesional.

A mis padres, José Tomas Quiñonez y María Sulema Vasquez, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su amor incondicional, su paciencia y sus sacrificios silenciosos que hicieron posible que hoy llegue hasta aquí. Gracias por creer en mí incluso en los momentos en que yo dudaba, por sostenerme en las caídas y enseñarme a levantarme con más fuerza. Este logro no es solo mío, es también de ustedes, porque en cada paso que doy, va reflejado todo lo que me han dado.

A mi familia, por estar siempre presentes, brindándome ánimo y acompañamiento en los momentos difíciles.

Y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiar cada uno de mis pasos y permitirme culminar este proceso con éxito.

A la **Universidad Nacional de Agricultura (UNAG)**, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y adquirir los conocimientos necesarios en mi carrera.

A mi asesor principal de tesis, **M. S.c Jorge David Zuniga**, por no soltarme de la mano en ningún momento, por su paciencia, apoyo constante y por acompañarme a lo largo de este proceso, guiándome hasta la culminación de este trabajo.

De igual manera, a mis asesores secundarios, **M. S.c Rober Danilo Rubi, M. S.c Carlos Roberto Irias**, por sus valiosas recomendaciones, consejos y aportes, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y por cada sacrificio realizado para que hoy pudiera alcanzar esta meta. Gracias por creer en mí, por guiarme con sus valores y por ser mi mayor inspiración en cada paso de mi vida.

A mis queridos amigos **Anderson Flores y Tatiana Velásquez**, por su amistad leal, por estar siempre a mi lado y acompañarme en cada etapa de este camino. Gracias por llenarme de buenos momentos, por su apoyo incondicional y por hacer mi vida más amena y especial.

A mis amigas **queridas Tania Galeano, Jemmsy Lara, Yuliana Castillo, Angeles Carias**, por animarme, apoyarme y brindarme su amistad sincera.

Finalmente, agradezco a todas las personas que contribuyeron directa o indirectamente en la realización de este trabajo.

Contenido	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	4
II. OBJETIVOS	5
III. REVISIÓN DE LITERATURA	6
3.3. Sistemas agroforestales.....	9
3.3.1. Concepto y características generales de los sistemas agroforestales.	9
3.3.2. Clasificación de los sistemas agroforestales según su estructura y función.	10
3.3.3. Servicios ecosistémicos proporcionados por los sistemas agroforestales.	12
3.3.3.1. Regulación.	12
3.3.3.2. Provisión.	12
3.3.3.3. Culturales.	13
3.4. Los Sistemas Silvopastoriles.....	14
3.4.1. Definición y características principales de los sistemas silvopastoriles.	14
3.4.2 Beneficios ambientales, sociales y económicos de los sistemas silvopastoriles.	15
3.4.2.2. Mejora de la biodiversidad.....	15
3.4.2.3. Aumento de la rentabilidad de las explotaciones agropecuarias.	16
3.4.3. Importancia de las Especies Maderables de Alto Valor Comercial en los Sistemas Silvopastoriles.	16
3.5.2. Métodos comunes para el monitoreo de sistemas agroforestales y silvopastoriles.	18
3.5.2.1. Evaluación de la calidad del suelo y la biodiversidad.	18
3.5.2.3. Indicadores de productividad y salud ecosistémica.....	19
3.6. Caracterización inicial del suelo en la transición a sistemas silvopastoriles	19
3.6.2. Estudios previos sobre la gestión del suelo en sistemas agroforestales y silvopastoriles.	20
3.6.3. Herramientas y métodos para la evaluación inicial del suelo en sistemas silvopastoriles.	21
3.7. Productividad inicial de pastos en sistemas silvopastoriles.....	22
3.7.2. Comparación de la productividad entre sistemas monoculturales y silvopastoriles.....	24
3.8. Desarrollo inicial de especies maderables en sistemas silvopastoriles.	25
3.8.1. Factores que afectan el crecimiento inicial de especies maderables en sistemas silvopastoriles.....	25
3.8.2. Estudios de éxito en la introducción y establecimiento de especies maderables en sistemas silvopastoriles.....	26
3.8.3. Factores que afectan el establecimiento de plántulas en sistemas agroforestales.	27

3.9. Educación ambiental y adopción de prácticas sostenibles en sistemas silvopastoriles.....	27
3.9.2.1. Capacitación técnica.	28
3.9.2.2. Incentivos económicos y políticas públicas.	29
3.9.3. Importancia de la sensibilización en la sostenibilidad agroforestal.	29
IV. MATERIALES Y MÉTODO	30
4.1 Ubicación del área de Estudio.....	30
4.2 Materiales y equipo.	32
a. Procedimiento Metodológico	36
Para el logro de los objetivos propuestos en la presente investigación se planteó la realización de una serie de fases con sus respectivas actividades.	36
Fase 1: Evaluación inicial de las condiciones del suelo.....	36
Fase 2: Monitoreo inicial de la productividad de los pastos	40
Fase 3: Evaluación inicial de plántulas maderables.....	44
Fase 4: Implementación de un proceso de socialización y concientización ambiental	47
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
5.1 Establecimiento de la parcela silvopastoril.....	52
Fase 1: Evaluación inicial de las condiciones del suelo.....	53
Fase 2: Monitoreo inicial de la productividad de los pastos	56
Fase 3: Evaluación inicial de plántulas maderables.....	60
Fase 4: Implementación de un proceso de socialización y concientización ambiental	64
VI. CONCLUSIONES.....	73
VII. RECOMENDACIONES.....	iv
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	v
ANEXOS.....	ix

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1 Ubicación de la parcela.....	31
Ilustración 2 Mapa de pendiente y ubicación de la parcela en la microcuenca.....	32
Ilustración 3 Establecimiento de la parcela silvopastoril.....	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Toma de datos en campo.....	41
Tabla 2 Análisis Macronutrientes.....	56
Tabla 3 Formulario para la recopilación de datos de la PMP establecida.....	x
Tabla 4 Matriz para las condiciones del suelo.....	x
Tabla 5: Matriz para la productividad del pasto.....	xi

LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Análisis de pH de suelo.....	53
Gráfica 2 Análisis de Materia Orgánica	54
Gráfica 3 Compactación del suelo	55
Gráfica 4 Análisis altura del pasto	57
Gráfica 5 Análisis de cobertura de pasto.....	58
Gráfica 6 Análisis Materia fresca del pasto	59
Gráfica 7 Análisis materia seca del pasto	60
Gráfica 8 Diámetro plantas cedro y caoba	61
Gráfica 9 Altura de caoba y cedro.....	62
Gráfica 10 Diámetro promedio del sistema silvopastoril.....	63
Gráfica 11 Altura promedio del sistema silvopastoril.....	64
Gráfica 12 Experiencia de los productores en actividades agrícolas de La Lima	65
Gráfica 13 Percepción del impacto de los árboles en la recarga de agua y la productividad agrícola	66
Gráfica 14 Limitantes para la implementación de prácticas de reforestación	67
Gráfica 15 Importancia del agua según los productores locales.....	68
Gráfica 16 Interés de los productores en aplicar prácticas de reforestación	68
Gráfica 17 Tiempo disponible para la implementación y mantenimiento de árboles.....	69
Gráfica 18 Interés en participar en sesiones de formación sobre reforestación	70
Gráfica 19 Percepción sobre la importancia de un programa de educación ambiental	71

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Lugar de estudio	xv
Anexo 2 Materiales utilizados	xv
Anexo 3 Practica de compactación del suelo	xvi

Quiñonez Vasquez EQ 2026. Levantamiento de línea base previo a la conversión de pastura convencional a sistema silvopastoril, en La Lima, Campamento, Olancho. Informe final de investigación Ingeniería en Gestión Integral de los Recursos Naturales, Catacamas, Olancho, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura. 96.p

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo realizar un levantamiento de línea base previo a la conversión de una pastura convencional a un sistema silvopastoril en la comunidad de La Lima, Campamento, Olancho. La investigación se enfocó en caracterizar las condiciones biofísicas y productivas iniciales del sistema, con el fin de generar información de referencia que permita evaluar los cambios futuros derivados de la implementación de dicho sistema, así como su impacto en la sostenibilidad ambiental y productiva. Para ello, se llevó a cabo una evaluación integral del suelo, considerando parámetros como pH, contenido de materia orgánica, disponibilidad de nutrientes y compactación, los cuales son fundamentales para determinar la fertilidad, estructura y funcionalidad del suelo. Estos indicadores permiten identificar limitantes y potencialidades del terreno previo a la implementación del sistema silvopastoril. Asimismo, se monitoreó la productividad del pasto mediante mediciones de altura, cobertura, biomasa, materia fresca y materia seca, lo que permitió analizar el comportamiento del forraje y su capacidad de producción bajo condiciones iniciales. De igual forma, se evaluó el crecimiento de plántulas de especies maderables de alto valor comercial como cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*), considerando variables dasométricas como altura y diámetro, con el propósito de establecer una referencia para el seguimiento de su desarrollo y adaptación en el sistema. Adicionalmente, se desarrolló un proceso de socialización con productores locales, mediante talleres y encuestas, orientado a fomentar la adopción de prácticas sostenibles y fortalecer el conocimiento sobre los beneficios ambientales, sociales y económicos de los sistemas silvopastoriles. Este componente permitió integrar el conocimiento técnico con la percepción local, facilitando la aceptación de nuevas prácticas productivas. Los resultados evidenciaron condiciones iniciales del suelo con variaciones en fertilidad, estructura y contenido de materia orgánica, así como una productividad forrajera estable, aunque susceptible a factores de manejo como el tránsito y la intervención humana. En conclusión, esta línea base constituye una herramienta clave para el monitoreo de indicadores productivos y ambientales, permitiendo evaluar la evolución del sistema en el tiempo y contribuyendo al diseño de estrategias para una ganadería más sostenible, resiliente y compatible con la conservación de los recursos naturales.

Palabras clave: Sistema silvopastoril, Calidad del suelo, Productividad de pastos, Densidad aparente, Sostenibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

La transformación de pasturas tradicionales en sistemas silvopastoriles con especies maderables de alto valor comercial representó una estrategia innovadora para promover la sostenibilidad ambiental y la productividad económica en paisajes ganaderos. Estos sistemas integrados combinaron árboles, arbustos y pastizales, proporcionando múltiples beneficios tanto para la biodiversidad como para los productores agropecuarios, al mejorar la captura de carbono, la conservación del suelo, la regulación del ciclo hídrico y la calidad del forraje (Mahecha et al., 2020).

Sin embargo, a pesar del creciente interés en su implementación, existía una necesidad crítica de establecer líneas base para el monitoreo de los servicios ecosistémicos asociados a estos sistemas. La falta de datos estandarizados dificultaba la evaluación del impacto real de la conversión de pasturas en términos de servicios ecosistémicos como la captura de carbono, la biodiversidad y la calidad del agua (Calle *et al.*, 2022). Según reportes recientes, los sistemas silvopastoriles no solo contribuyeron a la mitigación del cambio climático, sino que también ofrecieron oportunidades económicas mediante la comercialización de maderas de alto valor (Álvarez et al., 2023).

Este estudio propuso el establecimiento de una línea base que permitiera medir y monitorear de manera sistemática los servicios ecosistémicos generados durante la conversión de pasturas tradicionales a sistemas silvopastoriles. Al centrar el enfoque en especies maderables de alto valor comercial, se buscó vincular los beneficios ecológicos con incentivos económicos que promovieran la adopción de estas prácticas. La implementación de esta línea base permitió identificar indicadores clave de sostenibilidad, documentar buenas prácticas y proporcionar insumos para políticas públicas orientadas a la transición hacia sistemas productivos más sostenibles (FAO, 2018; Zamora et al., 2024).

Este trabajo se fundamentó en la revisión de estudios recientes y en la recopilación de datos en campo para diseñar un modelo de monitoreo adaptado a las necesidades y características de las

regiones involucradas. Así, se esperó contribuir al desarrollo de sistemas agroforestales resilientes que integraran la productividad agrícola y la conservación ambiental.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

Realizar levantamiento de línea base, para caracterizar las condiciones biofísicas y productivas de las pasturas convencionales, La Lima, Campamento, Olancho, previo a su conversión al sistema silvopastoril, con especies maderables de alto valor comercial.

2.2 Objetivos específicos:

Caracterizar condiciones iniciales del suelo: pH, materia orgánica, nutrientes y compactación.

Determinar la productividad inicial de los pastos antes de la producción inicial, biomasa y materia seca.

Documentar las características iniciales de las plántulas de especies maderables, para obtener una línea base para el monitoreo de su desarrollo y rendimiento.

Socializar con productores locales el sistema silvopastoril como alternativa para una ganadería sostenible.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Problemática ambiental

La ganadería extensiva contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), que son liberados a través del proceso digestivo de los rumiantes y de la gestión inadecuada de estiércol (Steinfeld et al., 2006). Además, este modelo de producción requiere grandes extensiones de tierra, lo que suele incentivar la deforestación y el cambio de uso de suelo, especialmente en regiones tropicales y subtropicales, agravando aún más el problema climático (IPCC, 2019).

A la par del cambio climático, la degradación de los suelos se ha intensificado como consecuencia del sobrepastoreo, la compactación del terreno, la pérdida de cobertura vegetal y la erosión hídrica y eólica (Lal, 2015). Estas prácticas disminuyen la fertilidad del suelo, reducen su capacidad de retención de agua y afectan directamente la productividad agropecuaria y la seguridad alimentaria (UNCCD, 2022).

3.1.1 Cambio climático

Honduras está en la región tropical donde se prevén los mayores cambios en el clima, parte de los cuales ya se han percibido en la última mitad del siglo pasado. Considerando el escenario de emisiones A1B1, se estima que para el año 2030 el promedio anual de temperatura del país habrá aumentado 1.4 °C. Según los resultados de los modelos, la temperatura aumentará más en el oeste del país (1.6 °C) y menos en el este (1.2 °C). Este aumento de temperatura, acompañado de la intensificación de los periodos secos y de calor y la reducción de las lluvias, provocará un déficit de agua y consecuentemente, un cambio en las zonas aptas para los diferentes cultivos. (Bouroncle, 2025).

3.1.2 Ganadería extensiva

La ganadería extensiva es un sistema de producción animal que se basa en el uso de grandes extensiones de tierra, donde el ganado se alimenta principalmente de pastos naturales. Este modelo es común en regiones rurales con baja densidad poblacional y escasa infraestructura, y suele estar vinculado a tradiciones culturales y formas de vida campesinas (FAO, 2009).

La ganadería extensiva también plantea serios desafíos ambientales. Uno de los principales problemas es el sobrepastoreo, que ocurre cuando la carga animal excede la capacidad de regeneración de los pastizales, lo que conduce a la degradación del suelo, pérdida de cobertura vegetal y erosión.

3.1.3 Degradación del suelo

La degradación del suelo es uno de los principales impactos negativos de la ganadería extensiva, especialmente cuando se practica sin una planificación adecuada del uso del territorio. El sobrepastoreo, la compactación del terreno y la pérdida de cobertura vegetal reducen la fertilidad y la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes (Lal, 2015).

Este deterioro no solo afecta la productividad agropecuaria, sino que también contribuye al cambio climático, ya que los suelos degradados liberan más carbono del que almacenan. En países como Honduras, donde la agricultura y la ganadería son actividades clave para la subsistencia rural, es urgente priorizar acciones de adaptación basada en ecosistemas (Bouroncle.2025).

3.1.4 Degradación de ecosistemas

La degradación de ecosistemas ocurre cuando las actividades humanas alteran la estructura y funcionamiento natural de los ambientes, reduciendo su capacidad para proveer servicios ecosistémicos esenciales como la regulación del clima, la protección del suelo y la provisión de agua. En América Latina, la expansión de la ganadería extensiva ha sido una de las principales causas de deforestación y pérdida de biodiversidad, especialmente en zonas de bosque seco y húmedo tropical (Steinfeld et al., 2006).

En el caso de Honduras, la transformación de ecosistemas naturales en potreros ha provocado no solo degradación del suelo, sino también una disminución de la resiliencia ecológica frente al cambio climático (Bouroncle et , 2025). Estos procesos se retroalimentan: los ecosistemas degradados son menos capaces de capturar carbono, lo que agrava el calentamiento global (IPCC, 2019).

3.2 Alternativas sostenibles a la problemática.

Para enfrentar la degradación ambiental causada por la ganadería extensiva y el cambio climático, es fundamental promover sistemas de producción más sostenibles y resilientes. Dos de las alternativas más efectivas son los sistemas agroforestales y los sistemas silvopastoriles, que integran árboles, cultivos y animales en un mismo espacio productivo, permitiendo restaurar la salud del suelo y conservar la biodiversidad (IICA, 2020).

Los sistemas silvopastoriles han demostrado mejorar la calidad del suelo al reducir la erosión, aumentar la infiltración de agua y aportar materia orgánica a través de la hojarasca. Además, los árboles brindan sombra y alimento al ganado, mejorando su bienestar y productividad, al mismo tiempo que actúan como sumideros de carbono y ayudan a mitigar el cambio climático (FAO, 2013)

Por su parte, los sistemas agroforestales permiten diversificar la producción y fortalecer la seguridad alimentaria de las familias rurales. En regiones como Honduras, estas prácticas son clave para restaurar ecosistemas degradados y construir paisajes más resilientes frente a fenómenos climáticos extremos (Bouroncle et al., 2025).

3.3. Sistemas agroforestales.

3.3.1. Concepto y características generales de los sistemas agroforestales.

Los Sistemas Agroforestales (SAF) son estrategias de manejo sostenible que integran árboles, cultivos y, en ocasiones, animales en una sola unidad productiva. Este enfoque busca optimizar el uso de los recursos naturales al crear interacciones positivas entre los componentes del sistema, mejorando la productividad y la sostenibilidad a largo plazo. Según Mena-Jiménez et al. (2023),

en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, los SAF manejan más de 500 especies vegetales, lo que refleja su importancia para la biodiversidad y el bienestar comunitario (Mena-Jiménez et al., 2023).

Una de las principales características de los SAF es su capacidad para integrar múltiples estratos vegetales, creando microclimas que benefician tanto a los cultivos como a los animales. Este diseño diversificado protege el suelo contra la erosión y mejora su fertilidad mediante la acumulación de materia orgánica. En regiones tropicales, como la Amazonía peruana, los SAF han demostrado ser esenciales para mitigar los efectos del cambio climático y aumentar la resiliencia agrícola (Boinot et al., 2022).

Los SAF también destacan por su capacidad para diversificar la producción, combinando productos agrícolas, forestales y ganaderos. Este enfoque reduce la dependencia económica de los agricultores hacia un solo producto y mejora la seguridad alimentaria en comunidades rurales. En México, los SAF han incrementado los ingresos familiares en un 30 %, gracias a la venta de madera, frutas y forrajes (Pereira & Junior et al., 2023).

Además, los SAF ofrecen beneficios significativos para la conservación del agua. La integración de árboles perennes reduce la pérdida de agua por evaporación, mejora la infiltración y protege las cuencas hidrográficas. Estos beneficios han sido documentados en sistemas agroforestales tradicionales de África Occidental, donde la inclusión de árboles *Vitellaria paradoxa* mejoró la disponibilidad de agua para las comunidades locales (Koffi et al., 2015).

Finalmente, los SAF son una herramienta clave para la restauración de suelos degradados. En Brasil, estos sistemas han sido implementados en regiones semiáridas para revertir los efectos de la deforestación y la erosión. La combinación de cultivos y árboles maderables no solo aumenta la productividad del suelo, sino que también contribuye al almacenamiento de carbono, ayudando a mitigar los efectos del cambio climático (Silva, 2018).

3.3.2. Clasificación de los sistemas agroforestales según su estructura y función.

Los sistemas agroforestales se clasifican según su estructura y función en tres categorías principales: agrosilvicultura, silvopastoreo y agrosilvopastoreo. La agrosilvicultura combina árboles y cultivos en la misma unidad de manejo, generando beneficios como la mejora del suelo y la reducción de la erosión. Estos sistemas son ideales para regiones donde la fertilidad del suelo es limitada, ya que los árboles contribuyen a la fijación de nitrógeno y a la retención de nutrientes (Prado et al., 2019).

Por otro lado, el silvopastoreo integra árboles y ganado, ofreciendo múltiples beneficios para la ganadería sostenible. Este sistema proporciona sombra y forraje para los animales, mejorando su bienestar y productividad. En Colombia, estudios han demostrado que los sistemas silvopastoriles aumentan la producción de carne y leche hasta en un 25 %, gracias al microclima favorable creado por los árboles (Silva, 2018).

El agrosilvopastoreo combina cultivos, árboles y ganadería en un sistema integrado que maximiza la productividad y sostenibilidad. Estos sistemas son particularmente efectivos en regiones áridas, donde la combinación de componentes asegura la disponibilidad de alimentos, madera y forraje durante todo el año. En Brasil, estos sistemas han sido implementados con éxito para recuperar tierras degradadas y aumentar la rentabilidad de las fincas familiares (Pereira & Junior et al., 2023).

Existen también clasificaciones más específicas, como los sistemas de producción intensiva y los sistemas de conservación. Los primeros están diseñados para maximizar los rendimientos agrícolas, mientras que los segundos se enfocan en restaurar ecosistemas degradados. Cada tipo refleja las necesidades particulares de los productores y los contextos ambientales en los que se implementan (Boinot et al., 2022).

Por último, los SAF se pueden clasificar según el uso de especies nativas o introducidas. Los sistemas que incorporan especies nativas tienden a ser más sostenibles, ya que están adaptados a las condiciones locales y fomentan la conservación de la biodiversidad. Un ejemplo destacado es el uso de árboles *Vitellaria paradoxa* en África, que no solo proporcionan ingresos económicos, sino que también tienen un alto valor cultural y ecológico (Koffi et al., 2015).

3.3.3. Servicios ecosistémicos proporcionados por los sistemas agroforestales.

3.3.3.1. Regulación.

Los sistemas agroforestales también desempeñan un papel esencial en la regulación de las temperaturas locales y la reducción de los efectos de las islas de calor en áreas rurales. Esto se logra mediante la creación de microclimas favorables gracias a la cobertura arbórea. En regiones tropicales como la Amazonía, los SAF han ayudado a reducir hasta 2°C la temperatura promedio, lo que beneficia tanto a los cultivos como a las comunidades locales (Boinot et al., 2022).

Además, los SAF mejoran significativamente la calidad del agua al actuar como filtros naturales que reducen la contaminación por agroquímicos y sedimentos. Un estudio en la región de Chiapas, México, reveló que estos sistemas disminuyen en un 40 % la cantidad de nitratos y fósforos que llegan a los cuerpos de agua, protegiendo así los ecosistemas acuáticos cercanos (Mena- et al., 2023).

Finalmente, los SAF ofrecen una solución viable para la gestión de residuos orgánicos, como estiércol y restos de cultivos, que pueden reincorporarse al sistema como abonos naturales. Esto no solo reduce la dependencia de insumos externos, sino que también contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de prácticas agrícolas convencionales (Prado et al., 2019).

3.3.3.2. Provisión.

Los SAF son una fuente importante de productos agrícolas y forestales, lo que los convierte en una estrategia clave para diversificar los ingresos de las familias rurales. Según un estudio en Rondônia, Brasil, la integración de especies maderables con cultivos comerciales incrementó la rentabilidad de las fincas en un 35 %, gracias a la venta de madera y productos agrícolas complementarios (Silva, 2018).

En términos de alimentos, los SAF aseguran una producción continua durante todo el año, especialmente en áreas rurales con acceso limitado a mercados. En África, los sistemas que

combinan cultivos básicos con árboles frutales como mango y aguacate han mejorado significativamente la seguridad alimentaria de las comunidades locales, proporcionando frutas de alto valor nutritivo incluso en períodos de sequía (Koffi et al., 2015).

Además de alimentos, los SAF proporcionan productos no maderables como resinas, miel y aceites esenciales, los cuales tienen un alto valor comercial. En Brasil, estos productos representan una fuente importante de ingresos adicionales para las familias, fomentando el desarrollo de industrias locales sostenibles y la creación de cadenas de valor en economías rurales (Wolff, 2014).

La producción de madera también es un componente clave de los SAF. En México, las fincas que integran especies maderables de alto valor como teca y caoba han generado ingresos significativos, al tiempo que contribuyen a la restauración forestal y a la captura de carbono. Este modelo ha sido particularmente exitoso en programas de reforestación liderados por comunidades indígenas (Pereira & Junior et al., 2023).

Por último, los SAF ayudan a estabilizar los precios de los alimentos y otros productos agrícolas al diversificar la oferta. Esto protege a las comunidades rurales de las fluctuaciones del mercado y garantiza un flujo constante de ingresos, especialmente en regiones propensas a crisis económicas o climáticas (Prado et al., 2019).

3.3.3.3. Culturales.

Los SAF tienen un valor cultural significativo, ya que preservan conocimientos tradicionales y fomentan la cohesión social en las comunidades rurales. En regiones como los Andes, estos sistemas han sido utilizados como herramientas educativas para transmitir prácticas de manejo sostenible a las nuevas generaciones, fortaleciendo así el tejido social y promoviendo la sostenibilidad a largo plazo (Wolff, 2014).

En términos de recreación, los SAF han sido implementados en proyectos de ecoturismo, destacando su capacidad para atraer visitantes interesados en la biodiversidad y las prácticas

agrícolas sostenibles. Estos sistemas ofrecen paisajes únicos que combinan cultivos, árboles y vida silvestre, promoviendo el turismo rural como una fuente adicional de ingresos para las comunidades locales (Mena et al., 2023).

Además, los SAF sirven como espacios de interacción social y cultural, ya que muchas de las actividades asociadas a estos sistemas, como la recolección de frutos o la siembra colectiva, están profundamente arraigadas en las tradiciones locales. Esto fortalece el sentido de identidad comunitaria y promueve el intercambio de conocimientos entre generaciones (Prado et al., 2019).

Finalmente, los SAF son una herramienta poderosa para promover la equidad de género en las comunidades rurales. En muchos proyectos, las mujeres desempeñan un papel central en la gestión de estos sistemas, lo que les permite acceder a recursos y oportunidades económicas que fortalecen su posición dentro de la comunidad (Silva, 2018).

3.4. Los Sistemas Silvopastoriles.

3.4.1. Definición y características principales de los sistemas silvopastoriles.

Los sistemas silvopastoriles son prácticas agropecuarias que integran árboles, arbustos, pastos y ganado en una misma unidad de manejo. Estos sistemas combinan producción agrícola con conservación ambiental, creando interacciones positivas entre los componentes del sistema. Según Ortega-Gutiérrez et al. (2023), esta integración optimiza el uso de recursos naturales, como la luz solar y el agua, al tiempo que mejora la calidad del suelo y fomenta la biodiversidad (Ortega & Gutiérrez et al., 2023).

Una de las características clave de los sistemas silvopastoriles es su capacidad para generar sombra y protección para el ganado. En climas tropicales, estos sistemas reducen el estrés térmico de los animales, mejorando su bienestar y aumentando su productividad. Estudios en África Occidental destacan la adopción de especies como *Acacia auriculiformis*, que no solo brindan sombra, sino que también generan productos forestales valiosos como madera y forraje (Tonouéwa et al., 2020).

Estos sistemas también ofrecen una solución eficaz para la diversificación de ingresos en las explotaciones agrícolas. Al combinar productos ganaderos, como leche y carne, con productos forestales, los agricultores pueden reducir su dependencia económica de un solo rubro. En México, el uso de especies del género *Quercus* en sistemas silvopastoriles ha generado ingresos adicionales mediante la producción de madera y carbón vegetal (Ortega & Gutiérrez et al., 2023).

Finalmente, los sistemas silvopastoriles se adaptan a diversas condiciones agroclimáticas, lo que los hace ideales para ser implementados en diferentes regiones del mundo. Esta flexibilidad permite a los agricultores enfrentar mejor los desafíos asociados con el cambio climático y las fluctuaciones de los mercados agrícolas (Tonouéwa et al., 2020).

3.4.2 Beneficios ambientales, sociales y económicos de los sistemas silvopastoriles.

3.4.2.1. Conservación de suelos.

Los sistemas silvopastoriles son altamente efectivos para conservar y mejorar la calidad del suelo. La inclusión de árboles en estos sistemas reduce la erosión al estabilizar el suelo con sus raíces y disminuir el impacto de la lluvia sobre la superficie. En la región de Caatinga, se encontró que el uso de árboles nativos en sistemas silvopastoriles redujo en un 40 % la pérdida de suelo en áreas con alta vulnerabilidad a la erosión (Gomes & Júnior et al., 2016).

Además, estos sistemas incrementan la fertilidad del suelo al incorporar materia orgánica proveniente de hojas y residuos de pastos. En África Occidental, las hojas de especies como *Acacia auriculiformis* se utilizan como abono natural, mejorando la capacidad del suelo para retener nutrientes y agua (Tonouéwa et al., 2020).

3.4.2.2. Mejora de la biodiversidad.

La biodiversidad es un aspecto fundamental de los sistemas silvopastoriles. Estos sistemas crean hábitats favorables para diversas especies de flora y fauna al combinar diferentes tipos de cobertura vegetal. En México, la inclusión de especies del género *Quercus* en sistemas silvopastoriles ha incrementado significativamente la diversidad de insectos y aves en las zonas agrícolas (Ortega & Gutiérrez et al., 2023).

Los sistemas silvopastoriles también contribuyen a la conservación de especies amenazadas. En Brasil, la implementación de estos sistemas ha ayudado a preservar árboles nativos que se encuentran en peligro de extinción, promoviendo al mismo tiempo la regeneración natural de los ecosistemas (Gomes & Júnior et al., 2016).

3.4.2.3. Aumento de la rentabilidad de las explotaciones agropecuarias.

La diversificación de ingresos es uno de los principales beneficios económicos de los sistemas silvopastoriles. Estos sistemas permiten a los agricultores obtener ingresos tanto de la producción ganadera como de la venta de productos forestales, como madera y carbón vegetal. En África Occidental, la madera de *Acacia auriculiformis* es altamente valorada por su fácil procesamiento y atractivo estético, lo que la convierte en una opción rentable para los agricultores locales (Tonouéwa et al., 2020).

En regiones semiáridas, los sistemas silvopastoriles han aumentado la productividad ganadera al proporcionar sombra y forraje de alta calidad para los animales. Esto se traduce en mayores rendimientos de carne y leche, lo que mejora significativamente los ingresos familiares (Gomes & Júnior et al., 2016).

3.4.3. Importancia de las Especies Maderables de Alto Valor Comercial en los Sistemas Silvopastoriles.

Las especies maderables de alto valor comercial desempeñan un papel crucial en los sistemas silvopastoriles, ya que contribuyen tanto a la sostenibilidad ambiental como a la rentabilidad

económica. En México, las especies del género *Quercus* se utilizan ampliamente para la producción de madera, carbón vegetal y leña, proporcionando ingresos adicionales a los agricultores y fomentando la conservación de los recursos forestales (Ortega & Gutiérrez et al., 2023).

Finalmente, en Brasil, la implementación de especies nativas en cercas y sistemas silvopastoriles ha demostrado ser una estrategia eficaz para promover la conservación de la biodiversidad, al tiempo que genera productos forestales de alto valor comercial (Gomes & Júnior et al., 2016).

3.5. Línea base para el monitoreo de sistemas agroforestales y silvopastoriles.

3.5.1. Concepto y objetivos de establecer líneas base en sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Las líneas base son un conjunto de datos iniciales que describen el estado actual de un sistema agroforestal o silvopastoril antes de implementar acciones de manejo o mejora. Estas líneas permiten medir cambios y evaluar el impacto de las intervenciones a lo largo del tiempo. Según Sangalli et al. (2021), establecer líneas base es crucial para comprender los procesos ecológicos subyacentes y diseñar estrategias de manejo adaptativo que promuevan la sostenibilidad en el uso del suelo (Sangalli et al., 2021).

Los objetivos principales de las líneas base incluyen la identificación de indicadores clave, como productividad, calidad del suelo y biodiversidad, que permitan realizar comparaciones en diferentes períodos de tiempo. Además, proporcionan datos esenciales para modelar escenarios futuros y analizar la viabilidad económica y ambiental de los sistemas. Pashchenko y Mariushko (2023) enfatizan la importancia de estos datos para prever el rendimiento agrícola y los impactos ambientales en tierras agroforestales (Pashchenko & Mariushko, 2023).

Otro objetivo relevante es integrar el conocimiento local y las percepciones de los agricultores en el diseño y monitoreo de estas líneas. Según Oliveira (2016), el enfoque participativo permite adaptar los indicadores a las necesidades específicas de las comunidades, facilitando la adopción

de prácticas sostenibles y fortaleciendo la gobernanza local en el manejo de recursos naturales (Oliveira, 2016).

Además, las líneas base permiten establecer un marco para el monitoreo continuo, lo que facilita la detección temprana de problemas y la implementación de medidas correctivas. Rueda y Mauricio (2017) destacan que estas herramientas son fundamentales para evaluar la eficacia de las intervenciones agroecológicas y garantizar la sostenibilidad a largo plazo (Rueda & Mauricio, 2017).

Finalmente, las líneas base sirven como referencia para establecer políticas públicas y programas de incentivo, promoviendo la transición hacia sistemas agroforestales y silvopastoriles más sostenibles. Esto es particularmente relevante en contextos de cambio climático y pérdida de biodiversidad, donde la toma de decisiones basada en datos es crucial (Leyva Trinidad & Pérez Vázquez, 2019).

3.5.2. Métodos comunes para el monitoreo de sistemas agroforestales y silvopastoriles.

3.5.2.1. Evaluación de la calidad del suelo y la biodiversidad.

El monitoreo de la calidad del suelo en sistemas agroforestales y silvopastoriles es fundamental para garantizar su sostenibilidad a largo plazo. Leyva Trinidad y Pérez Vázquez (2019) sugieren que los análisis incluyen pruebas de compactación, niveles de materia orgánica y disponibilidad de macronutrientes, indicadores clave de la salud del suelo (Leyva Trinidad & Pérez Vázquez, 2019).

La biodiversidad también es un componente esencial en el monitoreo, ya que refleja la resiliencia de estos sistemas frente a perturbaciones externas. En un estudio realizado por Gomes Júnior et al. (2016), se demostró que la inclusión de especies nativas en cercas vivas aumentó significativamente la diversidad de fauna en áreas agrícolas, mejorando los servicios ecosistémicos asociados (Gomes & Júnior et al., 2016).

Además, las herramientas participativas, como encuestas y talleres con agricultores, son útiles para evaluar la percepción de los beneficios de la biodiversidad y la salud del suelo. Este enfoque mejora la implementación de medidas de manejo basadas en las necesidades locales (Rueda & Mauricio, 2017).

3.5.2.3. Indicadores de productividad y salud ecosistémica.

Los indicadores de productividad incluyen parámetros como la biomasa de cultivos, el rendimiento de pastos y la producción de madera. Según Rabothata et al. (2016), estos indicadores son esenciales para determinar la sostenibilidad económica y ecológica de los sistemas agroforestales y silvopastoriles (Rabothata et al., 2016).

La salud ecosistémica, por su parte, se evalúa a través de métricas como la diversidad de especies, la capacidad de retención de agua y los ciclos de nutrientes. Estos indicadores permiten monitorear el estado de los ecosistemas y su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos críticos (Mathurkar, 2018).

Finalmente, la integración de tecnologías inteligentes, como sensores en campo, mejora la recolección y análisis de datos, facilitando la toma de decisiones basada en evidencia. Este enfoque, según Pashchenko y Mariushko (2023), es clave para abordar desafíos agroecológicos y optimizar el manejo de estos sistemas (Pashchenko & Mariushko, 2023).

3.6. Caracterización inicial del suelo en la transición a sistemas silvopastoriles

3.6.1. Factores clave del suelo en la transición de pasturas a sistemas silvopastoriles.

La transición de sistemas de pasturas a sistemas silvopastoriles implica cambios significativos en las propiedades del suelo, que determinan el éxito de la implementación. Entre los factores clave destaca la fertilidad, ya que su mantenimiento es esencial para garantizar la productividad del

sistema. En estudios realizados por Silva et al. (2020), se encontró que la incorporación de árboles perennes mejora la disponibilidad de nutrientes como nitrógeno y fósforo, aumentando la capacidad productiva del suelo (Silva et al., 2020).

La compactación del suelo es otro desafío crítico en esta transición. Según Marinho y Nunes (2019), la integración de arbustos y árboles reduce la compactación al mejorar la estructura del suelo y aumentar la porosidad, lo que permite una mayor infiltración de agua y circulación de aire (Marinho & Nunes, 2019).

Por otro lado, las estrategias de manejo del suelo desempeñan un papel crucial para optimizar las condiciones físicas y químicas del suelo. Estas incluyen la incorporación de materia orgánica, el uso de coberturas vegetales y la rotación de cultivos con árboles. Lopes y Gonçalves (2017) destacaron que estas prácticas reducen la degradación del suelo y mejoran su capacidad de almacenamiento de agua (Lopes & Gonçalves, 2017).

Otro aspecto importante es la capacidad del suelo para resistir la erosión durante la transición. La presencia de especies arbóreas reduce significativamente la pérdida de suelo por escorrentía, un beneficio esencial en áreas de pendiente. Según Thomas et al. (2022), esta función es particularmente relevante en climas tropicales húmedos, donde la erosión es un problema recurrente (Thomas et al., 2022).

Finalmente, el pH del suelo también debe ser monitoreado, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes. En sistemas silvopastoriles, la integración de árboles puede neutralizar suelos ácidos y mejorar la actividad biológica. Esto fue evidenciado por Hernández y Castillo (2021), quienes observaron aumentos significativos en la actividad microbiana en suelos tratados con especies arbóreas de leguminosas (Hernández & Castillo, 2021).

3.6.2. Estudios previos sobre la gestión del suelo en sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Numerosos estudios han evaluado la gestión del suelo en sistemas agroforestales y silvopastoriles, destacando la influencia positiva de estos sistemas en la calidad del suelo. Según Pereira et al.

(2018), la combinación de árboles y pastos aumenta la concentración de carbono orgánico en el suelo, mejorando su estructura y fertilidad (Pereira et al., 2018).

Otro estudio de Guerrero y Martínez (2019) demostró que los sistemas silvopastoriles promueven la actividad biológica del suelo, aumentando la población de lombrices y microorganismos benéficos. Esto es crucial para mantener la salud del suelo y promover ciclos de nutrientes más eficientes (Guerrero & Martínez, 2019).

Además, se ha documentado que estos sistemas contribuyen a la retención de humedad, especialmente en climas semiáridos. Medina y Gómez (2020) observaron que los suelos en sistemas silvopastoriles retienen hasta un 30 % más de agua en comparación con sistemas convencionales de pastoreo (Medina & Gómez, 2020).

La inclusión de especies nativas en sistemas silvopastoriles también mejora la calidad del suelo. Según un estudio realizado por Ortega y Salazar (2021), especies como *Gliricidia sepium* tienen un impacto significativo en la fijación de nitrógeno y la acumulación de materia orgánica, lo que mejora la fertilidad del suelo a largo plazo (Ortega & Salazar, 2021).

Finalmente, el manejo de residuos orgánicos, como estiércol y restos de cultivos, es fundamental en estos sistemas. Un estudio de Vargas et al. (2019) resaltó que el compostaje de estos residuos aumenta la disponibilidad de nutrientes y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (Vargas et al., 2019).

3.6.3. Herramientas y métodos para la evaluación inicial del suelo en sistemas silvopastoriles.

La evaluación inicial del suelo en sistemas silvopastoriles requiere herramientas precisas y métodos validados científicamente. Entre las técnicas más utilizadas se encuentra el análisis químico del suelo, que mide parámetros como pH, materia orgánica y disponibilidad de nutrientes. Según Jaramillo et al. (2020), estos análisis son esenciales para establecer un diagnóstico base y planificar estrategias de manejo sostenible (Jaramillo et al., 2020).

Otra herramienta importante es el uso de sensores remotos y drones, que permiten evaluar la compactación y la erosión del suelo en grandes áreas. García y Méndez (2021) enfatizan que estas

tecnologías son cada vez más accesibles y ofrecen datos de alta precisión para monitorear el estado del suelo (García & Méndez, 2021).

Las pruebas de infiltración de agua también son comunes para evaluar la capacidad del suelo de absorber y retener agua. Según Hernández et al. (2022), estas pruebas son críticas para diseñar sistemas que optimicen el uso del agua en regiones áridas y semiáridas (Hernández et al., 2022).

El uso de bioindicadores, como lombrices y microorganismos del suelo, es una técnica complementaria que evalúa la salud biológica del suelo. En un estudio reciente, Pérez y Morales (2021) destacaron la correlación positiva entre la abundancia de lombrices y la mejora de la estructura del suelo en sistemas agroforestales (Pérez & Morales, 2021).

Por último, las técnicas participativas que involucran a los agricultores en la recolección de datos iniciales son cada vez más comunes. Esto permite integrar el conocimiento local con la ciencia moderna, promoviendo prácticas de manejo más inclusivas y adaptadas a las condiciones locales (Ramírez & Soto, 2020).

3.7. Productividad inicial de pastos en sistemas silvopastoriles.

3.7.1. Evaluación de biomasa y calidad nutricional en pastos en sistemas de pastoreo convencional.

En los sistemas de pastoreo convencional, la evaluación de la biomasa y calidad nutricional de los pastos es fundamental para garantizar la productividad del ganado. La biomasa se refiere a la cantidad total de material vegetal disponible para el consumo animal y es un indicador clave del rendimiento del sistema. Según Villarreal-Castro et al. (2020), la biomasa en sistemas convencionales puede variar considerablemente según la estacionalidad, con mayores rendimientos durante la temporada de lluvias. Sin embargo, durante la estación seca, la calidad nutricional disminuye drásticamente, afectando los niveles de proteína cruda y fibra digestible, lo que obliga a complementar la dieta animal con concentrados (Villarreal & Castro et al., 2020).

Los sistemas de manejo intensivo en pastoreo convencional utilizan fertilización química para aumentar la biomasa, pero esto genera dependencia de insumos externos y puede impactar negativamente la salud del suelo. Un estudio de Smailov (2020) mostró que la fertilización excesiva incrementa la acidez del suelo, lo que afecta a la microbiota benéfica y limita la capacidad del sistema para sostener la productividad a largo plazo. Por esta razón, es fundamental implementar técnicas de manejo sostenible que optimicen la producción sin deteriorar los recursos naturales (Smailov , 2020).

El manejo de la calidad nutricional en pastos convencionales depende en gran medida de la elección de las especies forrajeras. Según Karki (2020), especies como *Panicum maximum* presentan mayores niveles de proteína y digestibilidad en comparación con gramíneas tradicionales, pero requieren un manejo técnico especializado. Sin embargo, la ausencia de cobertura arbórea limita la capacidad del sistema para mantener la calidad nutricional durante períodos de estrés hídrico, lo que subraya la importancia de explorar alternativas más sostenibles (Karki, 2020).

El manejo estacional del pastoreo también juega un papel importante en la productividad del forraje. Según Bettencourt et al. (2020), la implementación de rotaciones en los pastizales permite recuperar la biomasa y mejora la regeneración de las plantas. Este método, combinado con prácticas de descanso programado, ha demostrado ser efectivo para reducir la sobreexplotación de las praderas y mantener una calidad adecuada en el forraje durante todo el año (Bettencourt et al., 2020).

Por último, las estrategias de suplementación en sistemas de pastoreo convencional son esenciales para mantener los niveles de productividad animal. Villarreal-Castro et al. (2020) destacaron que el uso de suplementos basados en leguminosas como *Arachis pintoi* mejora la digestibilidad del forraje y reduce la dependencia de insumos externos. Esto es particularmente relevante en condiciones de estrés climático, donde los pastos tradicionales no logran cubrir las necesidades nutricionales del ganado (Villarreal & Castro et al., 2020).

3.7.2. Comparación de la productividad entre sistemas monoculturales y silvopastoriles.

La productividad de los sistemas monoculturales es alta en condiciones controladas, pero carecen de la estabilidad y sostenibilidad que ofrecen los sistemas silvopastoriles. Según Martins et al. (2020), los sistemas silvopastoriles integran árboles y pastos en un mismo espacio, creando microclimas que mejoran la calidad del forraje y aumentan la biomasa. Estos sistemas presentan una mayor capacidad para resistir eventos climáticos extremos, como sequías, en comparación con los monoculturales (Martins et al., 2020).

La inclusión de árboles en los sistemas silvopastoriles tiene un efecto positivo en la productividad del suelo. Un estudio realizado por Baldassini y Paruelo (2020) demostró que los árboles contribuyen a la fijación de nitrógeno y mejoran la estructura del suelo, lo que resulta en un incremento significativo de la biomasa de pastos en comparación con monocultivos. Además, esta integración aumenta la biodiversidad y reduce los riesgos asociados al monocultivo, como la pérdida de especies y la degradación del suelo (Baldassini 2020).

Otro aspecto clave es el valor nutricional del pasto producido en estos sistemas. Según Villarreal-Castro et al. (2020), la presencia de árboles en sistemas silvopastoriles mejora la calidad nutritiva del pasto al proporcionar sombra y reducir el estrés hídrico, lo que se traduce en mayores niveles de proteína cruda y digestibilidad en comparación con sistemas monoculturales. Esto es especialmente importante en regiones áridas, donde los recursos hídricos son limitados (Villarreal-Castro et al., 2020).

En términos económicos, los sistemas silvopastoriles son más rentables a largo plazo debido a su capacidad para diversificar las fuentes de ingreso. Bettencourt et al. (2020) destacaron que estos sistemas combinan la producción de carne y leche con la obtención de madera y productos forestales, lo que reduce la dependencia de un solo recurso y mejora la sostenibilidad económica de las explotaciones agrícolas (Bettencourt et al., 2020).

Finalmente, los sistemas silvopastoriles promueven prácticas agrícolas sostenibles al integrar la conservación del suelo con la producción. Según Martins et al. (2020), la implementación de estos

sistemas permite una gestión más eficiente de los recursos naturales, reduciendo significativamente la huella ambiental y mejorando la calidad de vida de los agricultores que los adoptan (Martins et al., 2020).

3.8. Desarrollo inicial de especies maderables en sistemas silvopastoriles.

3.8.1. Factores que afectan el crecimiento inicial de especies maderables en sistemas silvopastoriles.

El crecimiento inicial de las especies maderables en sistemas silvopastoriles está influenciado por diversas variables clave, como la altura, el diámetro basal y la salud de las plántulas. Según Araya-Salas et al. (2022), el establecimiento exitoso de especies como *Cordia alliodora* y *Hieronyma alchorneoides* depende de un balance adecuado entre la disponibilidad de luz solar y la competencia por nutrientes en el suelo. Además, las plántulas con un diámetro basal mayor tienden a mostrar mayor resistencia al estrés hídrico en las primeras etapas de desarrollo (Araya-Salas et al., 2022).

Las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad del suelo, también desempeñan un papel crucial en el desarrollo inicial. Según Martínez y Castro (2019), las plántulas de especies tropicales responden favorablemente a niveles moderados de sombra, que reducen la evaporación del agua del suelo y mejoran las condiciones microclimáticas. Este tipo de manejo es particularmente relevante en zonas tropicales con altas tasas de evapotranspiración (Martínez & Castro, 2019).

El manejo del sitio, incluyendo prácticas como el control de malezas y la fertilización, es otro factor determinante. Un estudio de Gómez y Ramírez (2020) destacó que las áreas con desmalezado constante favorecen el crecimiento inicial, ya que minimizan la competencia por nutrientes. Además, el uso de fertilizantes orgánicos mejora la disponibilidad de nitrógeno y otros micronutrientes esenciales para el desarrollo de las plántulas (Gómez & Ramírez, 2020).

Por último, la interacción con especies asociadas, como cultivos y pastos, puede potenciar o limitar el crecimiento inicial de los árboles. Según Hernández et al. (2021), la inclusión de gramíneas como *Brachiaria decumbens* en sistemas silvopastoriles mejora la estabilidad del suelo, pero requiere manejo adecuado para evitar la competencia excesiva con las plántulas (Hernández et al., 2021).

3.8.2. Estudios de éxito en la introducción y establecimiento de especies maderables en sistemas silvopastoriles.

Los sistemas silvopastoriles en América Latina han registrado importantes avances en la introducción de especies maderables de alto valor. En un estudio realizado en Costa Rica, Araya-Salas et al. (2022) evaluaron la interacción de *Cordia alliodora* y *Dipteryx panamensis* con cultivos de *Musa textilis*. Los resultados mostraron un crecimiento inicial superior en plántulas ubicadas bajo sombra moderada, lo que indica el papel positivo del diseño agroforestal en el desarrollo de especies maderables (Araya-Salas et al., 2022).

En Brasil, Souza et al. (2020) documentaron el éxito del establecimiento de especies como *Eucalyptus urograndis* y *Tectona grandis* en sistemas integrados con pastos de alta densidad. El uso de coberturas vegetales redujo la competencia de malezas, permitiendo un crecimiento promedio de 2,5 metros en el primer año. Este enfoque destaca la importancia de adaptar las prácticas de manejo a las características específicas de cada región (Souza et al., 2020).

Otro ejemplo destacado es el caso de México, donde Martínez et al. (2018) implementaron sistemas silvopastoriles con *Swietenia macrophylla* en suelos previamente degradados. Los resultados indicaron que la aplicación de biofertilizantes mejoró significativamente el establecimiento de las plántulas, aumentando su tasa de supervivencia en un 40 % en comparación con sistemas convencionales (Martínez et al., 2018).

En zonas semiáridas de Colombia, Cárdenas y López (2019) reportaron que las especies nativas como *Acacia mangium* tienen un alto potencial para la reforestación en sistemas silvopastoriles. Estas especies mostraron una adaptación sobresaliente a condiciones de sequía, con tasas de

crecimiento que superaron las de especies introducidas en un 30 % durante los primeros dos años (Cárdenas & López, 2019).

3.8.3. Factores que afectan el establecimiento de plántulas en sistemas agroforestales.

El establecimiento de plántulas en sistemas agroforestales depende de múltiples factores, como la calidad del material genético, la preparación del terreno y las condiciones de siembra. Según González y Herrera (2020), el uso de plántulas producidas en viveros con condiciones controladas aumenta la tasa de supervivencia en un 25 %. Además, la preparación adecuada del terreno, incluyendo la nivelación y el uso de protectores contra herbívoros, es esencial para evitar daños iniciales (González, 2020).

Las interacciones ecológicas, como la competencia por luz y agua, también son determinantes. Un estudio realizado por Fernández et al. (2021) mostró que las plántulas de especies maderables crecen más rápido cuando se manejan densidades de siembra adecuadas, que reducen la competencia intraespecífica y maximizan el uso de recursos disponibles (Fernández et al., 2021).

La fertilización y el riego complementario son otras estrategias clave para el establecimiento exitoso. Según Hernández et al. (2021), los sistemas con riego localizado y fertilización orgánica mostraron tasas de crecimiento un 35 % superiores en comparación con métodos tradicionales. Esto es especialmente relevante en regiones áridas o con lluvias erráticas (Hernández et al., 2021).

Finalmente, la restauración del suelo mediante prácticas como el uso de abonos verdes y compost mejora las condiciones para la siembra. En un estudio de Ramírez y Salgado (2019), la aplicación de materia orgánica en áreas degradadas incrementó la supervivencia de plántulas de caoba y teca en un 50 %, demostrando su eficacia como estrategia de manejo (Ramírez & Salgado, 2019).

3.9. Educación ambiental y adopción de prácticas sostenibles en sistemas silvopastoriles.

3.9.1. Experiencias y programas de educación ambiental para productores.

La educación ambiental juega un papel crucial en la transición hacia sistemas silvopastoriles sostenibles, al proporcionar a los productores el conocimiento necesario para manejar estos sistemas de manera eficiente. En Colombia, el programa "Ganadería Colombiana Sostenible" ha capacitado a más de 2,000 ganaderos en prácticas silvopastoriles, integrando módulos sobre manejo de suelos, biodiversidad y captura de carbono. Según Rueda et al. (2019), este enfoque ha resultado en un aumento del 25 % en la adopción de tecnologías sostenibles en las fincas participantes (Rueda et al., 2019).

En Brasil, las iniciativas lideradas por el proyecto Embrapa fomentan la educación agroecológica, destacando la importancia de las especies nativas en sistemas silvopastoriles. Un estudio realizado por Gomes et al. (2020) indicó que los talleres de campo y las demostraciones prácticas son estrategias efectivas para transmitir conocimientos técnicos a pequeños productores, quienes adoptaron medidas como la rotación de cultivos y la integración de árboles maderables con pastos (Gomes et al., 2020).

Los programas de educación ambiental también han incorporado el uso de tecnologías digitales para mejorar la accesibilidad y alcance de la capacitación. Según Hernández et al. (2021), el uso de aplicaciones móviles y plataformas en línea ha permitido a productores en áreas remotas acceder a contenido educativo y participar en foros de discusión sobre buenas prácticas en sistemas silvopastoriles (Hernández et al., 2021).

Por último, la educación ambiental dirigida a jóvenes en comunidades rurales ha fomentado la participación intergeneracional en la implementación de sistemas silvopastoriles. Según Villanueva y Pérez (2020), el involucramiento temprano de jóvenes agricultores garantiza la continuidad de las prácticas sostenibles, promoviendo la conservación del medio ambiente a largo plazo (Villanueva & Pérez, 2020).

3.9.2. Estrategias efectivas para la adopción de sistemas silvopastoriles en la práctica.

3.9.2.1. Capacitación técnica.

La capacitación técnica es fundamental para garantizar la adopción exitosa de sistemas silvopastoriles. Según un estudio de Martínez et al. (2021), los talleres participativos que combinan teoría y práctica son más efectivos que las conferencias tradicionales, ya que permiten a los productores experimentar directamente con las tecnologías propuestas. Este enfoque incrementa la confianza de los agricultores en la implementación de nuevas prácticas (Martínez et al., 2021).

El acceso a asistencia técnica personalizada también mejora significativamente las tasas de adopción. Gómez y Ramírez (2020) señalaron que los productores que recibieron asesoramiento individualizado sobre manejo de pasturas y plantación de árboles en sistemas silvopastoriles reportaron un aumento del 30 % en la productividad de sus fincas en comparación con aquellos que no recibieron soporte técnico (Gómez & Ramírez, 2020).

3.9.2.2. Incentivos económicos y políticas públicas.

Los incentivos económicos y las políticas públicas son herramientas clave para promover la adopción de sistemas silvopastoriles. En Costa Rica, el programa de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) ha incentivado a los agricultores a integrar árboles en sus pastizales, proporcionando compensaciones financieras basadas en la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad. Según Porras et al. (2020), este esquema ha resultado en un aumento significativo en la cobertura arbórea en tierras ganaderas (Porras et al., 2020).

En Brasil, las políticas de crédito rural también han facilitado la transición hacia sistemas silvopastoriles. Un estudio de Oliveira y Santos (2019) reveló que los agricultores que accedieron a préstamos subsidiados para implementar sistemas sostenibles lograron un retorno de inversión del 25 % en menos de cinco años, destacando la importancia de financiamiento accesible para la adopción de estas prácticas (Oliveira & Santos, 2019).

3.9.3. Importancia de la sensibilización en la sostenibilidad agroforestal.

3.9.3.1. Impacto de la educación ambiental en la toma de decisiones de los productores.

La sensibilización a través de la educación ambiental influye directamente en las decisiones de los productores. Según Rueda et al. (2019), los agricultores que participaron en programas educativos tendieron a priorizar prácticas sostenibles como la rotación de cultivos y la conservación del suelo. Este cambio en las decisiones de manejo refleja una mayor comprensión de los beneficios económicos y ecológicos de los sistemas silvopastoriles (Rueda et al., 2019).

Villanueva y Pérez (2020) destacaron que las campañas de sensibilización que incluyen historias de éxito de agricultores locales aumentan la confianza de los productores en la viabilidad de los sistemas silvopastoriles. Este enfoque narrativo también fomenta la cooperación entre productores, creando redes de apoyo para compartir experiencias y recursos (Villanueva & Pérez, 2020).

IV. MATERIALES Y MÉTODO

4.1 Ubicación del área de Estudio

La investigación se desarrollo en la aldea La Lima en el municipio de Campamento en el departamento de Olancho.



Ilustración 1 Ubicación de la parcela

La comunidad de La Lima, ubicada en el municipio de Campamento, Olancho, se encuentra entre los 600 y 800 msnm, en una zona de topografía ondulada con presencia de colinas y cobertura boscosa. Su clima es tropical subhúmedo, con una temperatura media anual de 22–26 °C y una precipitación promedio de 1,200 a 1,800 mm anuales, concentradas principalmente entre mayo y noviembre (Cáceres et al., 2019; SAG, 2020).

La parcela de estudio se ubica dentro de una microcuenca local perteneciente a la cuenca del río Guayape, en el municipio de Campamento, Olancho.

La microcuenca del Río Guayape en Olancho, Honduras, es una zona crítica y rica en recursos naturales, fundamental para el abastecimiento de agua y el ecosistema regional. Enfrenta desafíos significativos como la extracción ilegal de oro y la deforestación por la expansión agrícola, siendo protegida mediante planes de manejo forestal del Instituto de Conservación Forestal (Hidricos, 2017)

Durante la estación seca (diciembre a abril), la temperatura puede superar los 32 °C en abril y descender a 15 °C en las noches de diciembre y enero. Los suelos son de origen volcánico y sedimentario, con textura franco-arenosa a franco-arcillosa, aptos para cultivos de subsistencia y sistemas agroforestales, aunque vulnerables a la erosión (FAO, 2015).

La vegetación dominante incluye bosques de pino (*Pinus oocarpa*) y encino, típicos de las zonas montañosas del centro-orientado de Honduras, lo cual influye positivamente en el microclima local y la conservación de la biodiversidad (ICF, 2021).

4.2 Mapa de pendiente y ubicación de la parcela en la microcuenca

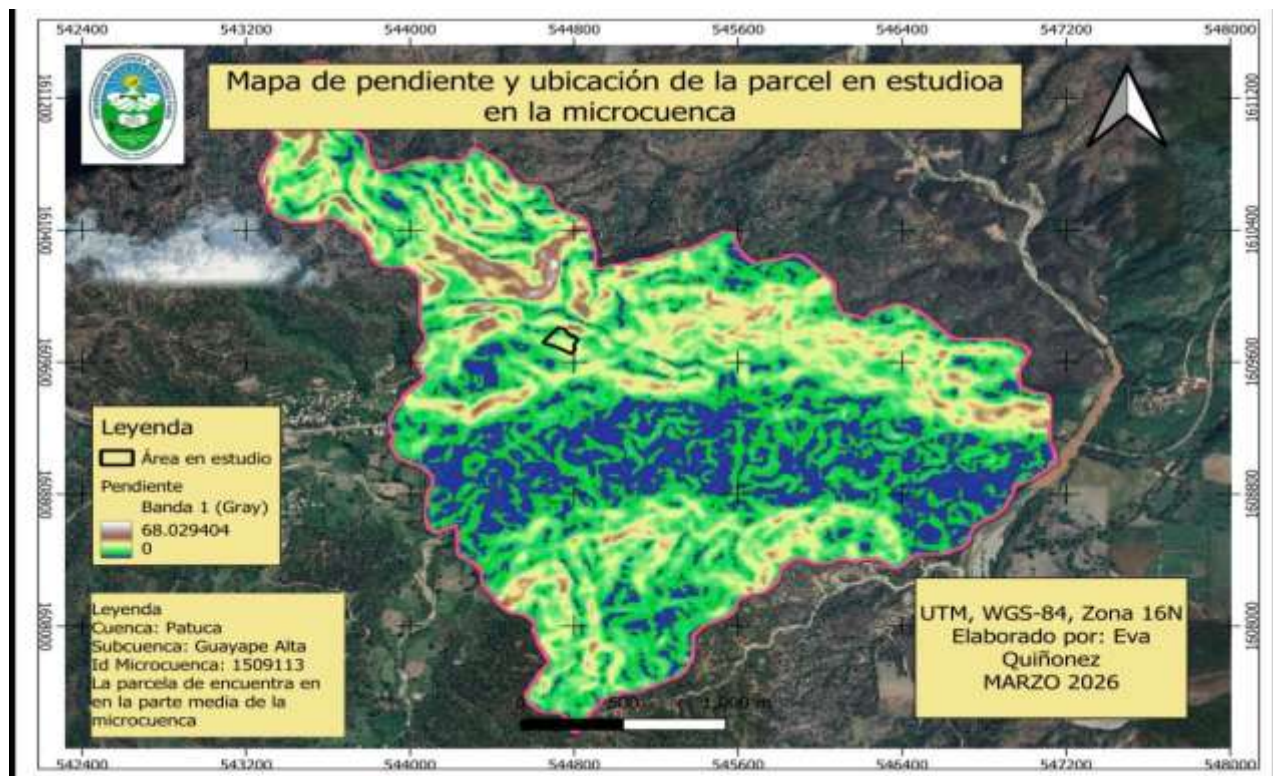


Ilustración 2 Mapa de pendiente y ubicación de la parcela en la microcuenca

El mapa permite integrar información topográfica y espacial para identificar la relación entre la pendiente del terreno y la ubicación de la parcela, evidenciando que esta se encuentra en una posición intermedia dentro de la microcuenca, con condiciones de pendiente que deben ser consideradas para el manejo sostenible del suelo, especialmente en sistemas silvopastoriles.

Delimitación del área

La microcuenca se encuentra claramente delimitada mediante un polígono con borde resaltado, permitiendo identificar su extensión territorial. Dentro de esta, se ubica la parcela de estudio, representada con un polígono de color negro, localizada en la parte media de la microcuenca, lo cual es relevante para el análisis hidrológico y de procesos de escorrentía.

Representación de la pendiente

La pendiente del terreno se muestra mediante una escala de colores (mapa temático tipo raster), cuyos valores oscilan entre 0% y aproximadamente 68%, según la leyenda:

Colores azul oscuro a verde: representan áreas con pendientes bajas (zonas planas a ligeramente inclinadas)

Colores amarillo a café: indican pendientes moderadas a fuertes (zonas más inclinadas o escarpadas)

Esta gradación permite identificar visualmente las variaciones topográficas dentro de la microcuenca.

4.3 Materiales y equipo

Se utilizaron diversos métodos y materiales para evaluar las condiciones iniciales del suelo, incluyendo el uso de medidores de pH, junto con observaciones visuales de la textura y la presencia de maleza. Para el seguimiento de la productividad de los pastos, se midieron las alturas con cintas métricas, se recogieron muestras utilizando tijeras, y se pesaron con balanzas. En el caso de las plántulas de especies maderables, se registro la altura y el diámetro utilizando cintas métricas o un pie de rey, mientras que el estado de salud se examino mediante observaciones visuales y se mantuvo un conteo detallado de las plántulas revisadas. Por otro lado, la socialización de educación ambiental incluyo talleres y charlas que utilizaron material didáctico, como presentaciones, y se implementaron encuestas para evaluar el nivel de conocimiento de los participantes. Toda la información recopilada se documento en cuadernos de campo y a través de encuestas, lo cual nos permitió un monitoreo completo de las características del suelo, el rendimiento de los pastos, el desarrollo de las plántulas y la concienciación de los productores locales.

Para la realización de el trabajo de investigación tenemos 3 actores clave, las plántulas de Cedro (*Cedrela Odorata*), Caoba (*Swietenia macrophylla*) y el pasto; en la parcela encontramos la variedad de pasto (*Panicum maximum cv. Mombasa*), conocido como Mombaza

Cedro (*Cedrela Odorata*)

Cedrela odorata L., conocido como cedro o cedro hembra en español, es la especie del género *Cedrela* de mayor importancia comercial y de mayor extensión. La aromática madera, conocida

como “spanish-cedar” en las esferas comerciales en inglés, posee una alta demanda en los trópicos americanos debido a que es naturalmente resistente a las termitas y a la pudrición. El cedro tiene una gran extensión, pero no es nunca muy común a través de los bosques tropicales americanos; su número se ve constantemente reducido debido a la explotación sin una regeneración exitosa. Es necesario el conocer sus estrictos requisitos en cuanto a las características del sitio e investigar el daño causado por los insectos con el objeto de establecer plantaciones productivas. (Francis, 2000)

El cedro es una especie generalista en cuanto al clima, encontrándose sobre una vasta distribución geográfica de fajas latitudinales cálidas, desde el bosque subtropical seco (en la parte transicional húmeda)

El cedro se desarrolla de mejor manera en los climas estacionalmente secos, como lo refleja su hábito caducifolio y la formación de anillos de crecimiento (presumiblemente anuales). Alcanza su mayor prominencia bajo una precipitación anual de 1200 a 2400 mm, con una estación seca de 2 a 5 meses de duración

La madera del cedro tiene todavía una alta demanda en cualquier parte en donde se encuentra disponible en los trópicos americanos. La madera es atractiva, moderadamente liviana (con un peso específico de 0.4) y su uso primario es para artículos caseros usados para almacenar ropa. El duramen del cedro contiene una resina aromática y repelente a los insectos que es la fuente de sus nombres populares: cedro, cedro hembra y “spanish cedar” (su aroma es similar al de los verdaderos cedros, del género *Cedrus*). La madera, fácil de trabajar, es tanto resistente a la pudrición en contacto con el suelo como altamente resistente a las termitas, haciéndola adecuada para la construcción en el exterior.

Caoba (*Swietenia macrophylla*)

Swietenia macrophylla King, conocido comúnmente como caoba o caoba hondureña en español y como Honduras o bigleaf mahogany en inglés, es un árbol de gran tamaño, a menudo alcanzando más de 30 m de altura y 1.5 m de diámetro en el tronco. Las hojas de color verde oscuro son pinadas compuestas y el fuste se ve cubierto de una corteza áspera y de color gris pardo, con un grosor de 1 a 1.5 cm. El duramen, de un color pardo rojizo claro, que se añeja a un color pardo

dorado, tiene una textura uniforme y una figura atractiva. Es una de las maderas más fáciles de trabajar y toma un acabado excelente y se le considera por muchos como la mejor madera para la ebanistería a nivel mundial. Existen tres especies reconocidas en el género *Swietenia*: *S. macrophylla*, *S. mahagoni* y *S. humilis*. (Bauer, 2017)

Debido a su valor comercial bien establecido y a su habilidad para adaptarse a una variedad de condiciones de sitio, la caoba hondureña ha sido plantada de manera extensa a nivel mundial, tanto dentro como fuera de su distribución natural. Se le ha plantado en “plantaciones cerradas” o en plantaciones a campo abierto, en áreas deforestadas y en tierras agrícolas abandonadas y en plantaciones de enriquecimiento o en hileras bajo un dosel forestal degradado.

La caoba hondureña crece mejor y alcanza su tamaño mayor bajo las condiciones climáticas encontradas en la zona de vida tropical seca. La zona de vida está limitada por una temperatura anual promedio de 24 °C o más, una precipitación anual promedio de 1000 a 2000 mm y una relación de evapotranspiración potencial de entre 1.00 y 2.00.

La caoba hondureña se ha adaptado a una gran variedad de condiciones de suelo. Dentro de su área de distribución natural, crece en suelos aluviales de origen mixto, en suelos volcánicos y en suelos derivados de piedra caliza, granito, andesita y otras rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas. (Bauer, 2017)

Pasto (*Panicum maximum* Mombaza)

El pasto Mombaza es de porte alto (1,6 –1,7 m de altura), crecimiento erecto en forma de macolla. Las hojas son erectas con vainas glabras; la inflorescencia de tipo panícula muestra un aspecto lila verdoso debido al color de las espiguilla; los tallos son levemente rojizos (morados) y glabros (Jank, 1995).

El pasto Mombaza, como la mayoría de los cultivares de *P. maximum* necesita suelos que mantengan niveles de fertilidad de medios a altos. En este aspecto, su comportamiento es similar

al cv. Tanzania, sin embargo, ha demostrado ser más eficiente en la utilización del fósforo del suelo, (Paiva y Macedo citados por Jank, 1995). En cuanto a las exigencias hídricas, requiere precipitaciones anuales superiores a los 1300 mm. Se adapta a un rango altitudinal de 0 a 1100 msnm y temperaturas entre 20-35 °C.

La planta es de porte alto, con un hábito de crecimiento erecto en forma de macolla. Las hojas son erectas y no presentan cerosidad, las láminas poseen poca pilosidad y las vainas son glabras. Los tallos son ligeramente rojizos sin pilosidad. El pasto Mombaza se utiliza principalmente en pastoreo, sin embargo en periodos de alta producción puede emplearse para corte, henificación y ensilaje. Se asocia fácilmente con leguminosas forrajeras del tipo: Calopogonium, Kudzú, entre otras. Es consumido por ganado de carne y leche y también por equinos. (BARBOSA, s.f.)

a. Procedimiento Metodológico

Para el logro de los objetivos propuestos en la presente investigación se planteó la realización de una serie de fases con sus respectivas actividades.

Fase 1: Evaluación inicial de las condiciones del suelo

Se realizó un diagnóstico detallado de las condiciones físicas y químicas del suelo antes de la implementación del sistema silvopastoril. Esta información sirve como línea base para futuras comparaciones.

Actividades y parámetros evaluados:

- **pH del suelo:**

Se realizó una evaluación del grado de acidez o alcalinidad del suelo en puntos representativos dentro de la parcela, a una profundidad de 0 a 20 cm.

Procedimiento:

- Delimitación del área de muestreo: Se define el área de estudio asegurando que sea homogénea en cuanto a uso, tipo de suelo y manejo.
- Toma de submuestras: Se recolectan submuestras de suelo de forma aleatoria en el área, a una profundidad de 0–20 cm, utilizando barreno, pala o azadón.
- Formación de la muestra compuesta: Las submuestras se colocan en un recipiente limpio, se mezclan uniformemente y se eliminan residuos como piedras, raíces y materia orgánica gruesa.
- Reducción de la muestra (cuarteo): Se homogeniza la mezcla y se reduce mediante el método de cuarteo hasta obtener aproximadamente 500 g a 1 kg de muestra representativa.
- Secado de la muestra: La muestra se seca al aire a temperatura ambiente, evitando exposición directa al sol, hasta eliminar la humedad.
- Almacenamiento y rotulación: Se coloca la muestra en una bolsa limpia (plástica o de papel), debidamente rotulada con información como: código, ubicación, profundidad, fecha y nombre del responsable.
- Transporte al laboratorio: La muestra se transporta en condiciones adecuadas para evitar contaminación o alteraciones.
- Análisis de pH en laboratorio
- En el laboratorio, el pH se determina comúnmente mediante un potenciómetro (pHmetro), mezclando suelo con agua destilada (relación 1:1 o 1:2.5) y midiendo el valor del pH.
- **Contenido de materia orgánica:**
- Delimitación del área de muestreo: Se define un área homogénea en cuanto a uso, vegetación y manejo del suelo.
- Toma de submuestras: Se recolectan entre 10 y 20 submuestras de suelo de forma aleatoria, a una profundidad de 0–20 cm, utilizando herramientas limpias.
- Formación de la muestra compuesta: Las submuestras se mezclan en un recipiente limpio, eliminando piedras, raíces y residuos gruesos.
- Homogeneización y cuarteo: Se mezcla uniformemente el suelo y se reduce la cantidad mediante el método de cuarteo hasta obtener una muestra representativa (500 g a 1 kg).

- Secado de la muestra: Se seca al aire a temperatura ambiente, evitando la exposición directa al sol para no alterar la composición orgánica.
 - Almacenamiento y rotulación: La muestra se coloca en una bolsa limpia y se etiqueta con datos como ubicación, profundidad, fecha y código de muestra.
 - Transporte al laboratorio: Se traslada en condiciones adecuadas para evitar contaminación.
 - Análisis de materia orgánica en laboratorio: La determinación se realiza comúnmente mediante el método de Walkley-Black (oxidación húmeda), que estima el contenido de materia orgánica a partir del carbono orgánico presente en la muestra.
- **Compactación del suelo (densidad aparente):**
 - Delimitación del área de muestreo: Se delimitó un área homogénea en cuanto a uso, cobertura y condiciones del suelo.
 - Selección de puntos de muestreo: Se establecieron tres puntos de muestreo representativos dentro del área delimitada.
 - Preparación del sitio: Se limpió la superficie del suelo, retirando residuos como hojarasca o piedras, para evitar interferencias en la toma de muestra.
 - Toma de la muestra: Se utilizaron dos cilindros metálicos de 5 cm, colocándolos uno sobre otro. Estos se introdujeron en el suelo mediante golpes suaves y uniformes, procurando no alterar la estructura natural del suelo y obteniendo una muestra íntegra y representativa.
 - Extracción de la muestra: Los cilindros se retiraron cuidadosamente del suelo y se eliminó el exceso de material en los bordes, asegurando un volumen definido.
 - Almacenamiento: La muestra contenida en el cilindro se colocó en una bolsa hermética tipo Ziploc, previamente rotulada con los datos correspondientes.
 - Transporte al laboratorio: Las muestras fueron transportadas en condiciones adecuadas para evitar pérdida de humedad o alteraciones.
 - Pesado en húmedo: En el laboratorio, las muestras se pesaron inicialmente en su estado húmedo.
 - Secado de la muestra: Las muestras se colocaron en estufa a 105 °C durante 24 horas o hasta alcanzar peso constante.

- Pesado en seco: Posteriormente, se registró el peso seco de cada muestra.
- Cálculo de la densidad aparente: La densidad aparente se determinó a partir del peso seco del suelo y el volumen conocido del cilindro.
- Evaluación de la compactación: Los valores de densidad aparente obtenidos se utilizaron como indicador del grado de compactación del suelo.

El procesamiento de los datos se realizará con software estadístico como Excel.

- **Macronutrientes**

Determinación de macronutrientes (Ca, Mg, K y P) mediante el método de acetato de amonio pH 7

Se realizó la evaluación de los macronutrientes intercambiables del suelo (calcio, magnesio, potasio y fósforo) en puntos representativos dentro de la parcela, a una profundidad de 0 a 20 cm, con el fin de determinar la fertilidad del suelo.

- Delimitación del área de muestreo: Se define el área de estudio asegurando que sea homogénea en cuanto a uso, tipo de suelo y manejo.
- Toma de submuestras: Se recolectan submuestras de suelo de forma aleatoria en el área, a una profundidad de 0–20 cm, utilizando barreno, pala o azadón.
- Formación de la muestra compuesta: Las submuestras se colocan en un recipiente limpio, se mezclan uniformemente y se eliminan residuos como piedras, raíces y materia orgánica gruesa.
- Reducción de la muestra (cuarteo): Se homogeniza la mezcla y se reduce mediante el método de cuarteo hasta obtener aproximadamente 500 g a 1 kg de muestra representativa.
- Secado de la muestra: La muestra se seca al aire a temperatura ambiente, evitando exposición directa al sol, hasta eliminar la humedad.
- Almacenamiento y rotulación: Se coloca la muestra en una bolsa limpia (plástica o de papel), debidamente rotulada con información como: código, ubicación, profundidad, fecha y nombre del responsable.

- Transporte al laboratorio: La muestra se transporta en condiciones adecuadas para evitar contaminación o alteraciones.

Análisis de macronutrientes en laboratorio

En el laboratorio, los cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) se extraen utilizando una solución de acetato de amonio (NH_4OAc) ajustada a pH 7, la cual desplaza los cationes adsorbidos en el complejo de intercambio del suelo.

Posteriormente:

El calcio (Ca) y el magnesio (Mg) se determinan mediante titulación o espectrofotometría de absorción atómica.

El potasio (K) se cuantifica generalmente mediante fotometría de llama o espectrofotometría.

Los resultados se expresan en $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ o mg/kg , según el procedimiento del laboratorio.

Fase 2: Monitoreo inicial de la productividad de los pastos

Objetivo:

Cuantificar la productividad actual de los pastos en potreros seleccionados antes de la integración de especies arbóreas, para comparar el rendimiento antes y después de la conversión al sistema silvopastoril.

Parámetros evaluados:

Altura promedio del pasto:

Se medirán 10 puntos por parcela, registrando la altura desde la base del suelo hasta la hoja más alta. Esto proporciona información básica sobre el crecimiento forrajero actual.

Procedimiento:

- Delimitación del área de estudio: Se define la parcela asegurando que sea representativa y homogénea en cuanto a manejo, tipo de suelo y cobertura vegetal.
- Selección de puntos de muestreo: Se establecen varios puntos de muestreo distribuidos dentro de la parcela (de forma aleatoria o en zigzag), con el fin de obtener datos representativos del área.

Se recomienda trabajar con un mínimo de 5 a 10 puntos. En este caso fue de 6 puntos al azar.

- Frecuencia de medición: Las mediciones se realizan una vez al mes, lo que nos permitirá ver el avance o crecimiento del pasto, y hacer una comparación del crecimiento en los 4 meses.
- Medición de la altura del pasto:

En cada punto de muestreo: Se selecciona el pasto de forma representativa (en este caso se tomó la hoja más alta).

Se utiliza una regla, cinta métrica o estadal.

Se mide desde la base del suelo hasta la punta más alta de la hoja (sin estirar la planta).

Se registra la altura en centímetros (cm).

En cada punto se puede tomar más de una medición y luego promediar para mayor precisión.

- Registro de datos:

Fecha	
Número de puntos de muestreo	
Altura medida (cm)	

Los valores obtenidos en cada punto se anotan en una tabla de campo, indicando:

Tabla 1 Toma de datos en campo.

- Cálculo del promedio por muestreo:

Se suman todas las alturas registradas en los diferentes puntos y se dividen entre el número total de mediciones:

Altura promedio = (suma de alturas) / número de puntos

- Cálculo del promedio mensual:

Una vez obtenidos los promedios de cada fecha de muestreo, se calcula el promedio mensual:

Altura promedio mensual = (suma de promedios de cada muestreo) / número de muestreos realizados en el mes

- Análisis de resultados:

Los datos promedios mensuales permiten evaluar el crecimiento del pasto a lo largo del tiempo, identificar variaciones entre meses y relacionarlas con factores como precipitación, manejo o fertilización.

Biomasa aérea (kg/ha):

Determinación de biomasa aérea (kg/ha)

Se estimó la cantidad de forraje disponible por unidad de área mediante la medición de la biomasa aérea del pasto en puntos representativos dentro de la parcela.

Procedimiento:

- Delimitación del área de estudio:

Se define la parcela asegurando que sea homogénea en cuanto a manejo, tipo de suelo y cobertura vegetal.

- Selección de puntos de muestreo:

Se establecen varios puntos de muestreo dentro de la parcela, distribuidos de forma aleatoria o en zigzag, con el fin de obtener datos representativos.

Se recomienda trabajar con al menos 3 a 5 puntos, dependiendo del tamaño del área.

- Colocación de cuadrantes:

En cada punto de muestreo se coloca un cuadrante de dimensiones conocidas, comúnmente de 50 cm × 50 cm (0.25 m²).

El cuadrante se ubica directamente sobre el pasto sin alterar la cobertura.

- Corte del pasto:

El pasto contenido dentro del cuadrante se corta manualmente utilizando tijeras o machete, a una altura uniforme (generalmente a nivel del suelo o a una altura previamente definida según el manejo).

Se recolecta todo el material vegetal dentro del cuadrante.

- Pesado del material fresco:

El pasto recolectado se coloca en una bolsa o recipiente y se pesa inmediatamente para obtener el peso fresco, registrando el valor en gramos (g).

- Secado del material:

Las muestras se trasladan al laboratorio y se colocan en un horno de secado a una temperatura controlada (generalmente entre 60–70 °C) durante 48 a 72 horas, o hasta alcanzar un peso constante.

- Pesado del material seco:

Una vez secas, las muestras se pesan nuevamente para obtener el peso seco, el cual representa la biomasa real sin contenido de agua.

- Cálculo de biomasa por unidad de área:

El peso seco obtenido en el cuadrante se convierte a kg/m² o directamente a kg/ha, considerando el área del cuadrante.

Para un cuadrante de 0.25 m²:

$$\text{Biomasa (kg/ha)} = (\text{peso seco en kg} / 0.25 \text{ m}^2) \times 10,000$$

- Promedio de biomasa:

Se promedian los valores obtenidos en todos los puntos de muestreo:

$$\text{Biomasa promedio} = (\text{suma de biomasa de todos los puntos}) / \text{número de muestras}$$

- Análisis de resultados:

Los valores obtenidos permiten estimar la disponibilidad de forraje en la parcela, evaluar la productividad del pasto y apoyar la toma de decisiones en el manejo del sistema (carga animal, fertilización, rotación, entre otros).

- Cobertura del pasto:

Se estima visualmente el porcentaje de suelo cubierto por vegetación forrajera mediante el método de cuadrantes. Se promedian los valores obtenidos en diferentes puntos.

- Materia seca del pasto:

Se recolecta una muestra compuesta del pasto, se seca a 60-70 °C hasta alcanzar peso constante y se calcula el contenido de materia seca en porcentaje.

- Días de recuperación:

Se monitorea el tiempo que tarda el pasto en alcanzar condiciones óptimas para su aprovechamiento (altura y biomasa).

Procedimiento:

Se marcan parcelas testigo.

Se realiza un corte uniforme y se monitorea el crecimiento.

Se registra el número de días hasta alcanzar el punto de corte recomendado para cada especie.

Análisis de datos:

Se utilizarán gráficos de barras para representar la altura promedio.

Los datos de biomasa serán analizados con estadística descriptiva y expresados en kg/ha.

Se aplicarán diagramas de dispersión y análisis de varianza (ANOVA) para detectar diferencias significativas en cobertura.

La materia seca se comparará entre parcelas mediante pruebas de comparación de medias.

El análisis se realizará en programas como SPSS y Excel.

Fase 3: Evaluación inicial de plántulas maderables

- Preparación previa al trasplante:

Antes de llevar las plántulas al campo, se realizó un proceso de acondicionamiento en vivero con el objetivo de fortalecer su desarrollo radicular y minimizar el estrés al momento del trasplante.

- Mediciones en vivero

Para evaluar el estado inicial de las plántulas, se realizaron mediciones morfológicas y sanitarias siguiendo un procedimiento estandarizado.

- Altura de la plántula

La altura se midió utilizando una regla graduada o cinta métrica. La medición se realizó desde la base del tallo (nivel del suelo en la bolsa) hasta el ápice o punto más alto de la planta.

Cada medición se realizó de forma vertical, evitando inclinaciones que alteraran el dato real.

- Diámetro basal

El diámetro del tallo se midió en la base de la plántula, justo a nivel del suelo. Para ello, se utilizó un calibrador (vernier), asegurando que la medición fuera precisa. Se evitó ejercer presión excesiva sobre el tallo para no deformarlo ni alterar el valor real.

- Estado de salud

Se realizó una inspección visual detallada de cada plántula, evaluando:

Coloración de hojas (verde intenso o presencia de clorosis)

Presencia de manchas, necrosis o deformaciones

Daños por insectos (perforaciones, mordeduras)

Síntomas de enfermedades o deficiencias nutricionales

Con base en estas observaciones, las plántulas fueron clasificadas en categorías como: saludable, regular o deficiente.

- Número total de plántulas

Se realizó un conteo manual de todas las plántulas que representaban condiciones viables para su establecimiento en campo.

Este dato permitió estimar posteriormente la tasa de supervivencia y el porcentaje de pérdida.

- Establecimiento en campo

El establecimiento del sistema silvopastoril se llevó a cabo siguiendo un diseño previamente definido.

Preparación del terreno

El área fue acondicionada mediante:

Desbroce: Eliminación de maleza y vegetación no deseada.

- Diseño de plantación

Las plántulas fueron sembradas con un espaciamiento de:

3 metros entre plantas

8 metros entre hileras

Este arreglo permitió una adecuada entrada de luz solar, circulación de aire y compatibilidad con el crecimiento del pasto.

- **Trasplante**

Se abrieron hoyos con dimensiones adecuadas al tamaño de la bolsa. La plántula se colocó verticalmente, asegurando que el cuello de la raíz quedara a nivel del suelo. Luego, se relleno el hoyo con tierra suelta y se compactó ligeramente para eliminar bolsas de aire.

Finalmente, se realizó un riego inmediato para favorecer el establecimiento.

- **Producción de abono orgánico (Bocashi)**

El bocashi se elaboró como una alternativa sostenible para mejorar la fertilidad del suelo.

- **Materiales utilizados**

Estiércol (preferiblemente de ganado)

Residuos vegetales (maleza, hojarasca)

Tierra

Levadura

Agua

- **Procedimiento**

Se mezclaron todos los materiales de forma homogénea sobre una superficie limpia.

Se agregó agua hasta alcanzar una humedad adecuada (similar a una esponja húmeda).

La mezcla se colocó en forma de pila.

Se inició el proceso de fermentación aeróbica durante aproximadamente 15 días.

- **Manejo del proceso**

Se realizaron volteos diarios o cada dos días para oxigenar la mezcla.

Se monitoreó la temperatura, asegurando que no superara los **60 °C**, para evitar la muerte de microorganismos benéficos.

Al finalizar, se obtuvo un abono de color oscuro, con olor a tierra húmeda, listo para su aplicación en campo.

- **Análisis de datos**

Los datos recolectados fueron organizados y analizados para interpretar el comportamiento de las plántulas.

- **Altura de plántulas**

Se elaboraron gráficos de barras para comparar las alturas iniciales entre especies o tratamientos.

- **Relación altura-diámetro**

Se aplicó un análisis de regresión para determinar si existe relación entre el crecimiento en altura y el grosor del tallo.

- **Estado de salud**

Se organizaron los datos en tablas de contingencia, permitiendo observar la distribución de plántulas según su condición.

Fase 4: Implementación de un proceso de socialización y concientización ambiental

Objetivo del proceso

El proceso de sensibilización tuvo como propósito principal concientizar a los productores locales sobre la importancia de implementar sistemas silvopastoriles, destacando sus beneficios ambientales, productivos y económicos. Asimismo, se buscó fomentar la adopción de prácticas sostenibles en sus fincas y promover su participación activa en procesos agroforestales.

- **Estrategias implementadas**

Para lograr el objetivo planteado, se diseñaron e implementaron diversas estrategias de educación y participación comunitaria, descritas a continuación:

2.1 Charlas y talleres educativos

Se organizaron sesiones educativas dirigidas a productores locales, en espacios accesibles dentro de la comunidad.

- Planificación de las actividades

Previamente, se definieron los temas a abordar, entre ellos:

Importancia de los sistemas silvopastoriles

Beneficios ecológicos (conservación del suelo, biodiversidad, captura de carbono)

Beneficios productivos (mejor calidad de pasto, sombra para el ganado, diversificación de ingresos)

Se estableció un cronograma de actividades, considerando horarios adecuados para facilitar la asistencia de los productores.

- Desarrollo de las sesiones

Las charlas se impartieron utilizando un lenguaje claro, sencillo y adaptado al contexto local, evitando tecnicismos complejos.

Se aplicó un enfoque participativo e interactivo, que incluyó:

Preguntas abiertas para incentivar la participación

Intercambio de experiencias entre productores.

Discusión de problemáticas locales.

Además, se realizaron demostraciones prácticas, como:

Identificación de especies forestales adecuadas

Técnicas básicas de plantación

Manejo de árboles dentro de potreros

Esto permitió que los participantes no solo comprendieran la teoría, sino que también visualizaran su aplicación en campo.

2.2 Material educativo

Como apoyo a las actividades de capacitación, se elaboraron y distribuyeron materiales educativos adaptados a las características de la población.

- Tipos de materiales utilizados

Folletos informativos con ilustraciones

Guías prácticas paso a paso

Videos educativos de corta duración

- Características del material

El contenido fue diseñado utilizando:

Lenguaje sencillo y comprensible

Ejemplos prácticos del contexto local

Imágenes explicativas para facilitar el aprendizaje

El objetivo de estos materiales fue reforzar los conocimientos adquiridos durante las charlas y permitir que los productores pudieran consultarlos posteriormente.

2.3 Seguimiento de la participación

Para evaluar la cobertura y efectividad de las actividades, se implementó un sistema de registro y seguimiento de los participantes.

- Registro de asistentes

Durante cada actividad, se realizó un registro manual de los asistentes, recopilando información como:

Nombre completo

Edad

Comunidad o ubicación

Estos datos permitieron caracterizar a la población participante.

- Aplicación de encuestas

Se aplicaron encuestas en dos momentos:

- Antes de la capacitación (diagnóstico inicial):

Para conocer el nivel de conocimiento previo sobre sistemas silvopastoriles.

- Después de la capacitación (evaluación final):

Para medir el aprendizaje adquirido y cambios en la percepción de los productores.

Las encuestas incluyeron preguntas cerradas y abiertas relacionadas con:

Conceptos básicos

Beneficios del sistema

Interés en implementar prácticas agroforestales

- Identificación de productores interesados

Se identificaron aquellos participantes que manifestaron interés en recibir acompañamiento técnico posterior, con el fin de dar continuidad al proceso de adopción de prácticas sostenibles.

3. Análisis de datos

La información recopilada durante las actividades fue organizada, procesada y analizada para evaluar el impacto del programa de sensibilización.

- Procesamiento de información

Los datos de asistencia y encuestas fueron tabulados en hojas de cálculo utilizando programas como Excel.

- Evaluación del alcance

Se analizaron los registros de asistencia para determinar:

Número total de participantes

Distribución por edad y ubicación

Nivel de participación comunitaria

- Medición del aprendizaje

Se compararon los resultados de las encuestas antes y después de las capacitaciones, con el fin de identificar:

Incremento en el nivel de conocimiento

Cambios en la percepción sobre los sistemas silvopastoriles

- Análisis estadístico

Se aplicaron análisis estadísticos básicos, como:

Porcentajes

Promedios

Comparaciones de resultados

Esto permitió determinar la efectividad del proceso educativo y el grado de impacto generado en los productores.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Establecimiento de la parcela silvopastoril

La parcela silvopastoril se estableció en un terreno de aproximadamente 1.5 hectáreas, Se plantaron 465 plántulas con un espaciamiento de 3 metros entre plantas y 8 metros entre hileras, lo que hace mas accesible el monitoreo. El diseño busca lograr que los arboles se integren de manera eficiente con el pasto.



Ilustración 3 Establecimiento de la parcela silvopastorill

La imagen (ilustración 3) muestra el croquis de la parcela del Sistema silvopastoril ubicada en el municipio de Campamento, Olancho, delimitada mediante un polígono resaltado en color amarillo. En el interior de la parcela se representan los individuos de caoba y cedro, distribuidos de manera uniforme de acuerdo con el diseño establecido para el Sistema. Los puntos anaranjados corresponden a los árboles de caoba, mientras que los puntos rojos representan los individuos de cedro, permitiendo diferenciar claramente ambas especies dentro del área intervenida.

Fase 1: Evaluación inicial de las condiciones del suelo

5.2.1 Análisis de pH del suelo

La gráfica correspondiente al análisis de pH del suelo en la parcela La Lima muestra un valor de 6.59, lo cual ubica al suelo dentro de la categoría de ligeramente ácido, cercano a la neutralidad (rango 6.0–7.0).

Desde el punto de vista edafológico, este valor indica una condición óptima para el desarrollo de la mayoría de especies vegetales, ya que en este intervalo se maximiza la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), además de favorecer la actividad microbológica del suelo.

El carácter ligeramente ácido del suelo puede atribuirse a diversos factores, entre ellos:

Descomposición de materia orgánica, que libera ácidos orgánicos al suelo

Lixiviación de bases (Ca, Mg, K) debido a la precipitación, común en zonas tropicales

Actividad biológica, que contribuye a la acidificación moderada del medio

Sin embargo, el valor registrado (6.59) no representa una limitante para la producción, sino más bien una condición favorable, ya que evita problemas asociados tanto a suelos fuertemente ácidos (toxicidad por aluminio o baja disponibilidad de fósforo) como a suelos alcalinos (bloqueo de micronutrientes como hierro y zinc).



Gráfica 1 Análisis de pH de suelo.

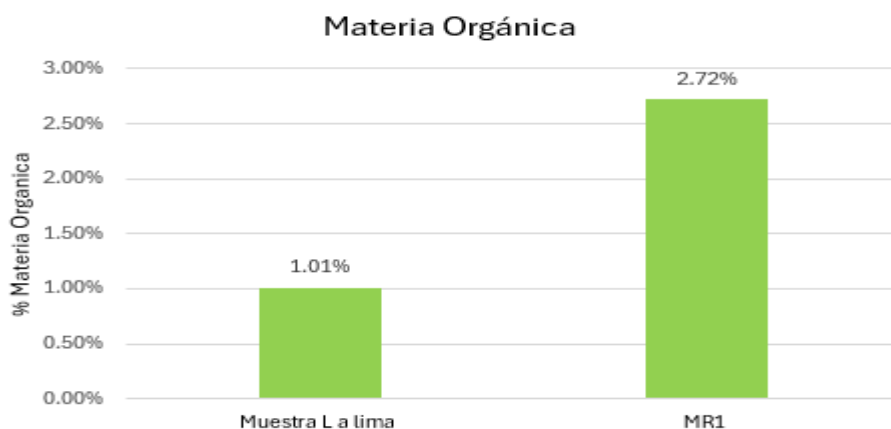
5.2.2 Análisis de Materia Orgánica

La gráfica presenta el contenido de materia orgánica en las muestras de suelo “La Lima” y “MR1”, evidenciando una diferencia entre ambas. La muestra correspondiente a La Lima registra un valor de 1.01%, mientras que MR1 alcanza un 2.72%, lo que indica una mayor acumulación de residuos orgánicos en esta última.

De acuerdo con los rangos establecidos por la FAO, el valor de 1.01% se clasifica como bajo (<3%), lo cual refleja condiciones limitadas en cuanto a la fertilidad del suelo. Un contenido reducido de materia orgánica implica menor capacidad de retención de agua y nutrientes, así como una disminución en la actividad biológica del suelo, aspectos fundamentales para el adecuado desarrollo de cultivos y pasturas.

Asimismo, estos niveles bajos se asocian con una estructura del suelo menos estable, menor capacidad de intercambio catiónico y mayor vulnerabilidad a procesos de degradación como la erosión. En contraste, aunque la muestra MR1 presenta un valor más elevado, este aún se encuentra dentro del rango bajo, aunque cercano al nivel medio, lo que sugiere condiciones relativamente más favorables en comparación con La Lima.

En términos generales, el resultado obtenido para la muestra de La Lima indica una condición no favorable del suelo, siendo necesario implementar prácticas de manejo orientadas a incrementar el contenido de materia orgánica, como la incorporación de residuos vegetales, abonos orgánicos o sistemas de manejo sostenible, con el fin de mejorar la calidad y productividad del suelo a mediano y largo plazo.



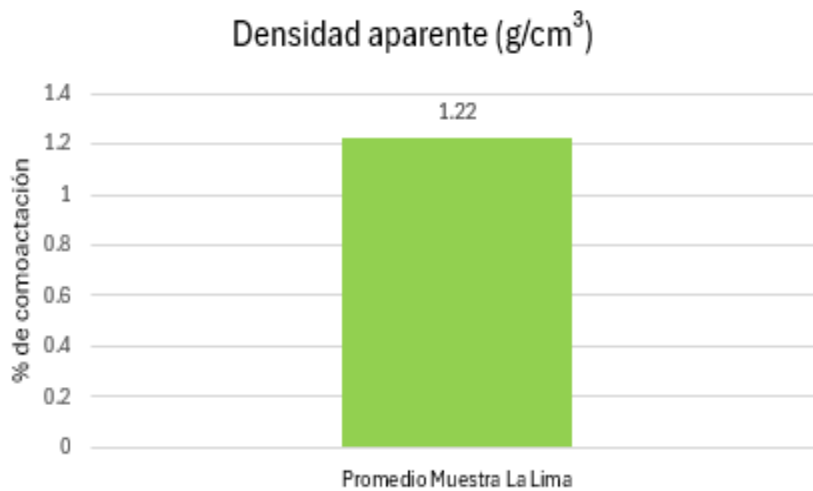
Gráfica 2 Análisis de Materia Orgánica

5.2.3 Análisis de compactación del suelo

La gráfica de densidad aparente del suelo refleja una variación entre los puntos de muestreo, evidenciando diferencias en el grado de compactación dentro de la parcela. El valor promedio obtenido (1.22 g/cm^3) indica una condición de compactación moderada, la cual se considera adecuada para la mayoría de cultivos.

Desde el punto de vista edafológico, este rango permite una buena relación entre porosidad, aireación e infiltración de agua, favoreciendo el desarrollo radicular y la actividad biológica del suelo. No obstante, los valores más altos dentro del conjunto de datos sugieren la presencia de zonas con mayor compactación, donde podrían generarse limitaciones en la penetración de raíces y el movimiento del agua.

En términos generales, el valor registrado es adecuado (bueno), ya que no alcanza niveles críticos de compactación. Sin embargo, se recomienda mantener prácticas de manejo que eviten el incremento de la densidad aparente, como la incorporación de materia orgánica y la reducción del tránsito excesivo, con el fin de conservar la estructura del suelo y su capacidad productiva.



Gráfica 3 Compactación del suelo

5.2.4 Análisis de Macronutrientes

Los resultados de macronutrientes fueron interpretados con base en rangos obtenidos mediante el método de acetato de amonio (NH₄OAc), el cual permite determinar la disponibilidad de cationes intercambiables como calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), asociados al complejo de intercambio catiónico del suelo.

Los valores obtenidos indican que el calcio (Ca) y el potasio (K) se encuentran en niveles adecuados, lo que favorece procesos como la estructura del suelo y la regulación hídrica de las plantas. El magnesio (Mg) presenta un nivel alto, lo que puede generar cierto desbalance en la absorción de otros cationes debido a competencia en los sitios de intercambio.

Por otro lado, el fósforo (P) muestra un nivel bajo, lo cual representa una limitante para el desarrollo radicular y los procesos energéticos de las plantas. Aunque este nutriente no se determina mediante acetato de amonio, su interpretación es clave dentro del análisis de fertilidad.

En general, el suelo presenta condiciones nutricionales aceptables, con buena disponibilidad de cationes, pero con la necesidad de mejorar el contenido de fósforo y mantener un equilibrio entre nutrientes para optimizar la productividad.

Análisis Químico y Nutricional		
Macronutrientes	E285	Rangos
K	393.75 mg/kg	Alto
Mg	558 mg/kg	Alto
Ca	1,163.50 mg/kg	Medio
P	1.945 mg/kg	Bajo

Tabla 2 Análisis Macronutrientes

Fase 2: Monitoreo inicial de la productividad de los pastos

5.3.1 Análisis altura del pasto.

El análisis de la altura del pasto muestra una tendencia de crecimiento continuo a lo largo de los cuatro meses evaluados. En el primer mes el pasto, registró una altura promedio de 23.5 cm, lo que representa el punto de partida del monitoreo. Para el segundo mes se observó un incremento leve hasta los 26 cm, indicando una respuesta moderada del pasto a las condiciones ambientales y de manejo, en el tercer mes el crecimiento se volvió más notable, alcanzando los 32 cm como lo que sugiere una mejora en las condiciones de disponibilidad de nutrientes, finalmente en el cuarto mes se presentó el mayor aumento llegando a los 50 cm lo que evidencia un desarrollo vigoroso y un alto nivel de acumulación de biomasa. La gráfica refleja un patrón ascendente sostenido, demostrando que el pasto respondió de manera favorable durante todo el período evaluado



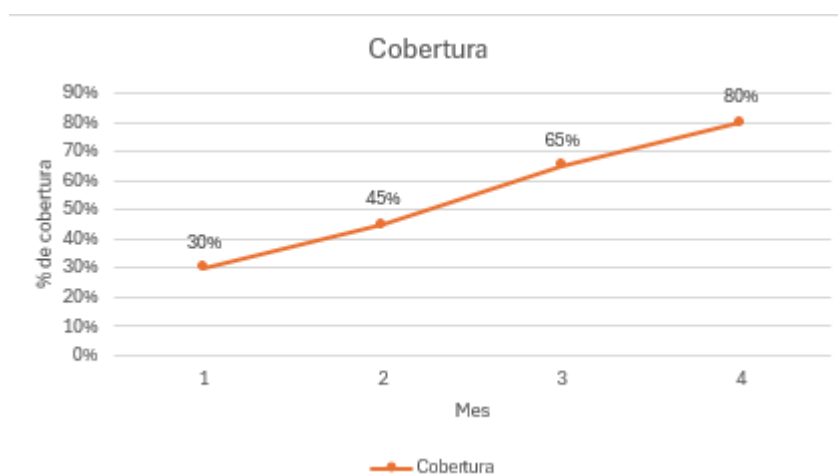
Gráfica 4 Análisis altura del pasto

5.3.2 Análisis de cobertura de pasto

La gráfica muestra un incremento progresivo del porcentaje de cobertura durante los cuatro meses evaluados, pasando de 30% en el mes 1 a 80% en el mes 4. Este comportamiento refleja una tendencia ascendente constante, sin disminuciones intermedias.

El mayor aumento se observa entre el mes 2 y el mes 3, lo que indica una etapa de crecimiento más acelerado. En términos generales, los resultados evidencian un establecimiento y desarrollo favorable de la cobertura vegetal, contribuyendo a una mayor protección del suelo y mejor estabilidad del sistema evaluado.

En conclusión, la evolución positiva de la cobertura demuestra que las condiciones y el manejo implementado fueron adecuados durante el periodo de estudio.



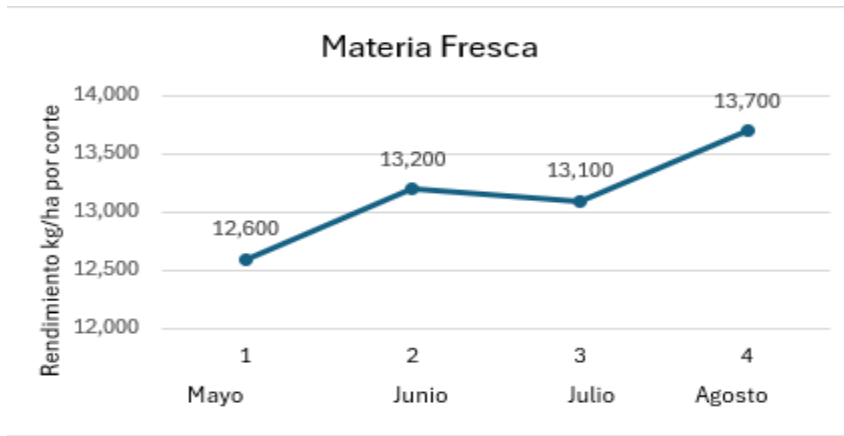
Gráfica 5 Análisis de cobertura de pasto

5.3.3 Materia Fresca

La gráfica de materia fresca muestra la variación del rendimiento de forraje expresado en kg/ha por corte durante el periodo evaluado (mayo a agosto). Los valores registrados fueron 12,600 kg/ha en mayo, 13,200 kg/ha en junio, 13,100 kg/ha en julio y 13,700 kg/ha en agosto, evidenciando una tendencia general al incremento con ligeras fluctuaciones intermedias.

Durante el mes de julio se observa una ligera disminución en el rendimiento de materia fresca, la cual puede atribuirse a las actividades de establecimiento del sistema, específicamente a la plantación de especies forestales. Estas labores implicaron el ingreso constante de personal al área, generando tránsito y pisoteo sobre la cobertura vegetal, lo que pudo provocar daños mecánicos al pasto y, en consecuencia, una reducción temporal en la producción de biomasa.

En términos generales, los valores obtenidos reflejan una producción estable y relativamente alta de materia fresca, lo cual es favorable para sistemas silvopastoriles, ya que garantiza disponibilidad de forraje para el ganado. Además, la variabilidad observada es mínima, lo que sugiere un sistema con cierta estabilidad productiva.



Gráfica 6 Análisis Materia fresca del pasto

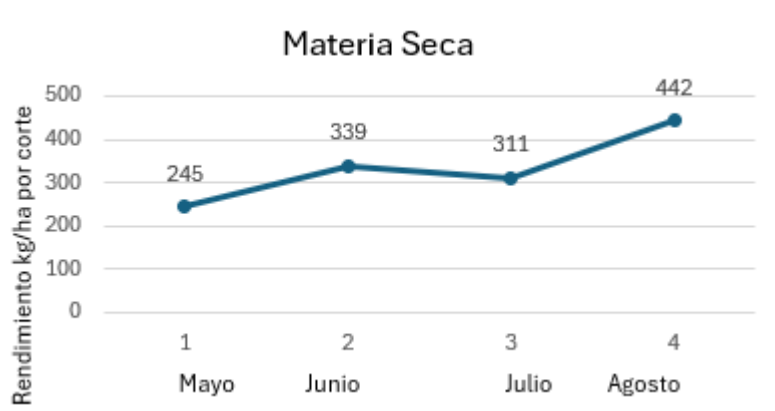
5.3.4 Materia Seca

La gráfica de materia seca del pasto muestra una variación en la producción a lo largo de los meses evaluados, evidenciando cambios en la acumulación de biomasa. En general, se observa una tendencia de incremento en la materia seca; sin embargo, en el tercer mes se presenta una disminución en el peso registrado.

Esta reducción puede atribuirse a la pérdida de cobertura vegetal, ya que durante ese periodo se registró tránsito de personas dentro de la parcela, lo que provocó el pisoteo del pasto. Este tipo de disturbio afecta directamente la estructura y densidad del forraje, reduciendo la biomasa disponible y limitando temporalmente su crecimiento.

Posteriormente, se evidencia una recuperación en los valores de materia seca, lo que indica la capacidad de regeneración del pasto bajo condiciones más favorables, permitiendo nuevamente la acumulación de biomasa.

En términos generales, el comportamiento observado refleja que, aunque el sistema presenta una buena capacidad de producción, factores externos como el manejo y la intervención humana pueden influir significativamente en la disponibilidad de materia seca, por lo que es importante controlar el acceso y minimizar disturbios para mantener una producción estable.



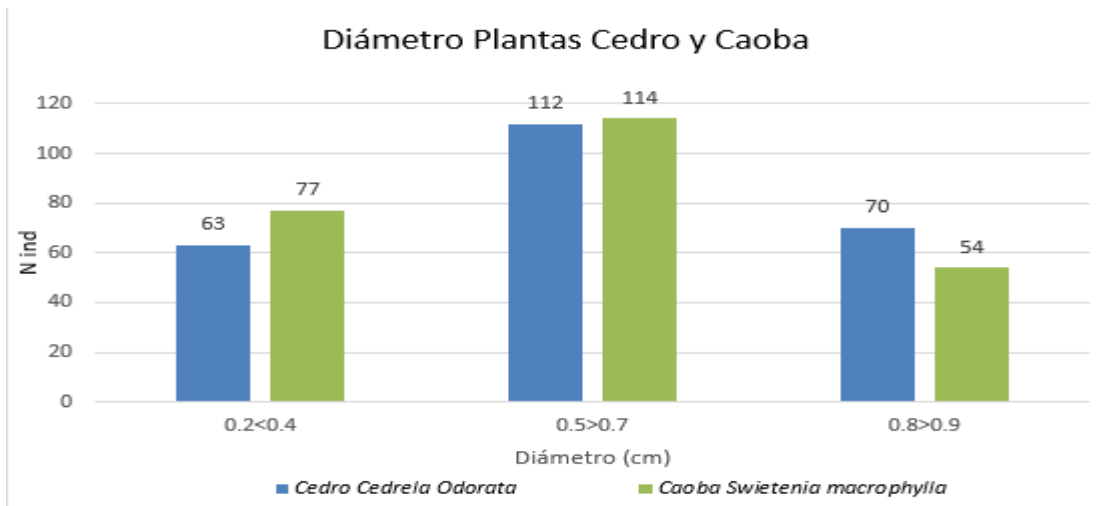
Gráfica 7 Análisis materia seca del pasto

Fase 3: Evaluación inicial de plántulas maderables

5.4.1 Diámetro

En el análisis de la distribución diamétrica se observa que ambas especies presentan su mayor concentración en la clase intermedia, reflejando un adecuado establecimiento poblacional. Cedrela odorata muestra más individuos en los diámetros menores y una disminución notable en las clases

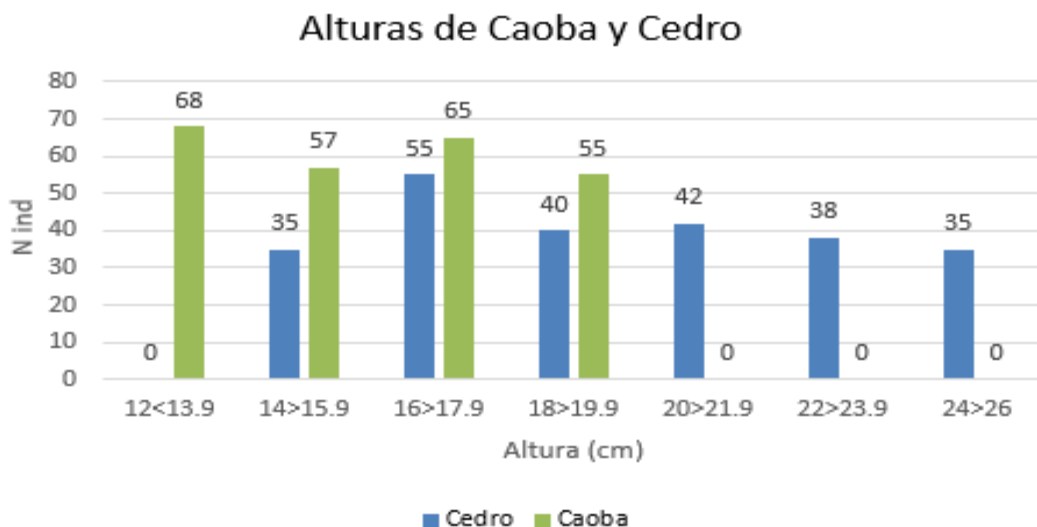
superiores, lo que sugiere un crecimiento más limitado o mayor sensibilidad en etapas avanzadas. En contraste, *Swietenia humilis* exhibe una distribución más equilibrada, con presencia relativamente estable en las clases intermedias y menor variación entre categorías. Este patrón indica un mejor desempeño en el desarrollo juvenil y una dinámica de crecimiento más uniforme en comparación con el cedro.



Gráfica 8 Diámetro plantas cedro y caoba

5.4.2 Altura

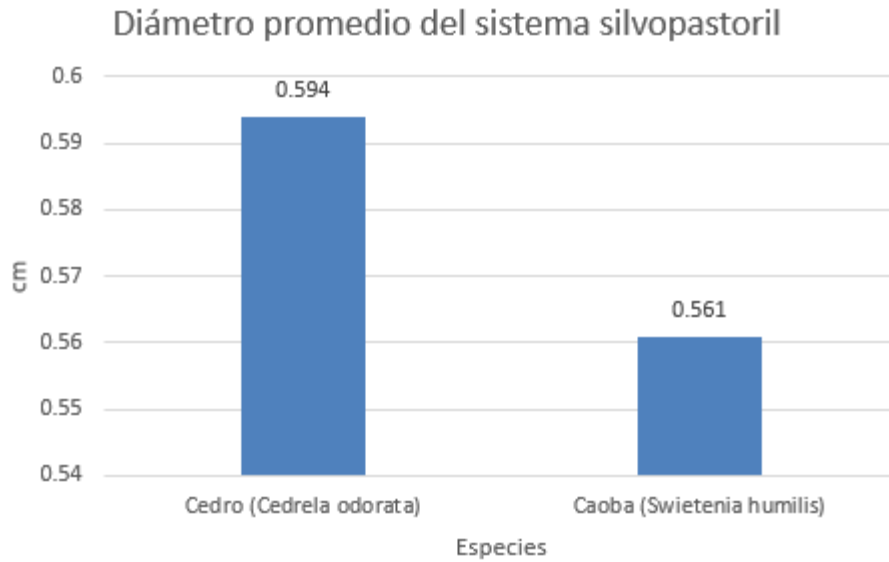
En este análisis (gráfica 14), se observa la distribución de individuos de *Cedrela odorata* y *Swietenia humilis* en diferentes clases de altura, lo que permite identificar diferencias en sus patrones de crecimiento. *Swietenia humilis* presenta la mayor densidad en la clase inicial (12–16.9 cm), indicando un establecimiento abundante en etapas tempranas, pero su presencia disminuye de forma marcada en las clases superiores, lo que sugiere limitaciones en el avance hacia estados más desarrollados. Por otro lado, *Cedrela odorata* muestra una distribución más equilibrada, con densidades relativamente constantes en las clases intermedias y una presencia notable en la clase superior (21–22.9 cm), lo que evidencia un crecimiento más uniforme y un mejor desempeño en etapas avanzadas. Estos patrones reflejan contrastes en la dinámica poblacional de ambas especies y en su capacidad de progresar hacia mayores alturas.



Gráfica 9 Altura de caoba y cedro

5.4.3 Promedios de diámetro

Los promedios de diámetro evidencian un ligero mejor desempeño de *Cedrela odorata* (0.594 cm) frente a *Swietenia humilis* (0.561 cm). Este patrón refleja que el cedro logra avanzar con mayor facilidad hacia diámetros superiores, mientras que la caoba mantiene más individuos en clases menores, indicando un crecimiento relativamente más lento. En conjunto, estos resultados sugieren diferencias en la respuesta y dinámica de desarrollo de ambas especies dentro del sistema silvopastoril.

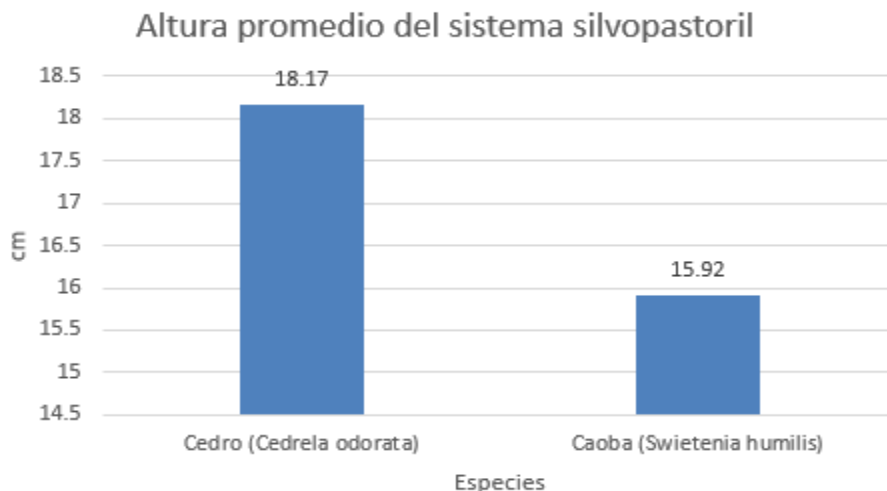


Gráfica 10 Diámetro promedio del sistema silvopastoril

5.4.4 Promedios de altura

Los resultados muestran que *Cedrela odorata* alcanza una mayor altura promedio (18.17 cm) en comparación con *Swietenia humilis* (15.92 cm), indicando un mejor desempeño en crecimiento vertical dentro del sistema silvopastoril. Este patrón refleja que el cedro logra avanzar con mayor facilidad hacia clases de altura superiores, mientras que la caoba concentra la mayoría de sus individuos en rangos menores, evidenciando un desarrollo inicial más lento. Estas diferencias

sugieren variaciones en la respuesta y adaptación de cada especie bajo las condiciones del sitio.



Gráfica 11 Altura promedio del sistema silvopastoril

5.4.5 Elaboración de Bocashi

Producir abono orgánico tipo bocashi resultó en un material fermentado con propiedades físicas y microbiológicas ideales, para meterlo al suelo. Juntar varios insumos, fomentó el crecimiento de microbios buenos, clave para el cambio y disponibilidad de nutrientes. El bocashi presentó textura homogénea, olor agradable, eso indicaba que la estabilización salió bien.

Puesto abajo en el hueco, mezclado con tierra, formó un lugar súper nutritivo y vivo, dando fertilidad inicial al suelo, promoviendo una actividad microbiana balanceada, mejorando la humedad, y bajando el estrés al trasplantar.

Así, el bocashi no sólo nutre con materia orgánica, si no que también mejora la calidad biológica del suelo, un gran aporte para un manejo más sostenible del cultivo.

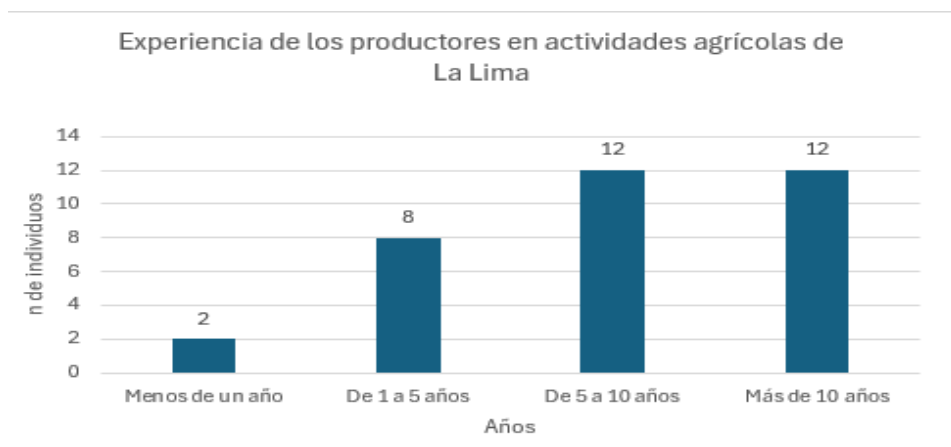
Fase 4: Implementación de un proceso de socialización y concientización ambiental

La cuarta fase del estudio se centró en organizar una jornada de educación ambiental; con la idea de impulsar prácticas agrícolas más eficientes dentro de los sistemas agroforestales. Esta actividad destacó lo importante que son los árboles en las fincas de la zona, resaltando su papel crucial protegiendo el entorno natural y el agua. En esencia, el objetivo clave era impulsar modelos de producción más sostenibles y ampliar la conciencia ambiental entre los agricultores, uniendo el saber local con métodos cuidadosos para el uso de los recursos.

5.5.1 Jornada de socialización para mejoras en practicas del sistema agroforestal.

5.5.1.1 Experiencia de los productores en actividades agrícolas de La Lima

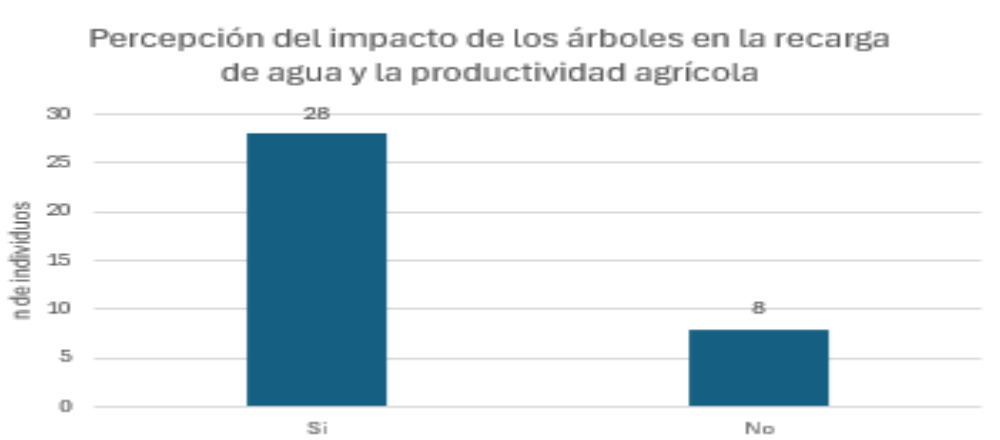
En el gráfico , está claro que los agricultores más experimentados de La lima, aquellos con 5-10 años y más de 10 años bajo sus cinturones, componen la masa con 12 cada uno. lo que significa que tienen un montón de conocimientos prácticos que realmente podrían ayudar a establecer métodos de agricultura sostenible. Además, hay 8 productores que han estado en ello durante 1 a 5 años, pero sólo 2 tienen menos de un año bajo su cinturón Tener productores más cerca de casa significa que realmente podemos intensificar nuestro juego en formación y apoyo tecnológico, especialmente cuando se trata de mantener nuestro suelo sano a la agricultura sostenible. Diversidad en los niveles de experiencia significa que tenemos que adaptar la formación para adaptarse a diferentes personas, aprender de la sabiduría de productores experimentados y acoger nuevas perspectivas de los recién llegados a la escena productiva



Gráfica 12 Experiencia de los productores en actividades agrícolas de La Lima

5.5.1.2 Percepción del impacto de los árboles en la recarga de agua y la productividad agrícola

En la gráfica se observa que la mayoría de los productores reconoce cómo la siembra de árboles contribuye a la recarga hídrica y a la productividad agrícola. Este alto nivel de conocimiento previo facilita la introducción de prácticas sostenibles, ya que existe una base de comprensión ambiental en la comunidad. La presencia de un grupo menor que desconoce estos beneficios sugiere la necesidad de fortalecer procesos de capacitación inicial, adaptando las intervenciones según el nivel de conciencia de cada productor.

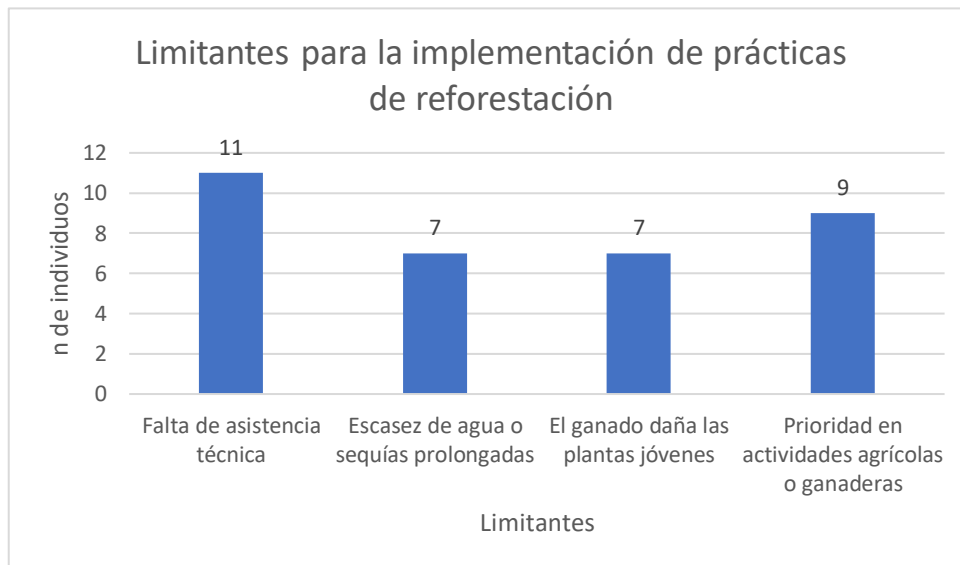


Gráfica 13 Percepción del impacto de los árboles en la recarga de agua y la productividad agrícola

5.5.1.3 Limitantes para la implementación de prácticas de reforestación

La gráfica muestra que la falta de asistencia técnica es la limitante más mencionada para implementar prácticas de reforestación, con 11 productores que indican necesitar mayor acompañamiento especializado. Así mismo, 9 encuestados señalan que priorizan actividades agrícolas o ganaderas, lo que reduce el tiempo y los recursos destinados a la siembra y cuidado de árboles. La escasez de agua y el daño causado por el ganado, mencionados por 7 productores cada uno, reflejan restricciones ambientales y de manejo que afectan la supervivencia de las plantas

jóvenes. En conjunto, estos resultados evidencian que la reforestación enfrenta tanto desafíos técnicos como operativos, los cuales deben ser abordados para asegurar su sostenibilidad.



Gráfica 14 Limitantes para la implementación de prácticas de reforestación

5.5.1.4 Importancia del agua según los productores locales

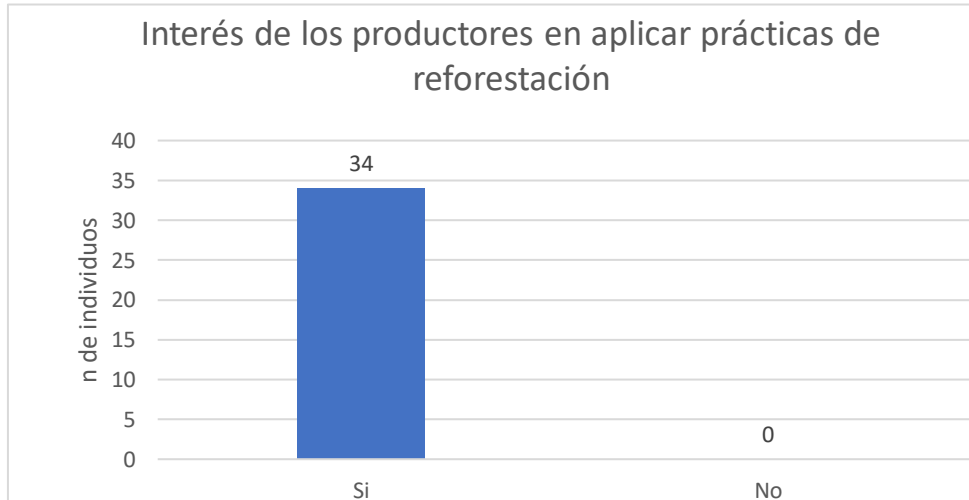
La gráfica evidencia que la gran mayoría de los productores considera el agua como un recurso esencial para el desarrollo de sus actividades productivas, ya que 33 de los 34 encuestados afirmaron que es “muy importante y debe priorizarse”. Este resultado refleja una alta conciencia sobre la dependencia directa entre disponibilidad hídrica y productividad agrícola. Solo un productor señaló que, aunque el agua es importante, no suele priorizarse, y ninguno indicó que carece de relevancia. Esta percepción generalizada facilita la implementación de estrategias de manejo del agua y prácticas de conservación, ya que existe una comprensión compartida sobre su impacto en la sostenibilidad de los sistemas productivos.



Gráfica 15 Importancia del agua según los productores locales

5.5.1.5 Interés de los productores en aplicar prácticas de reforestación

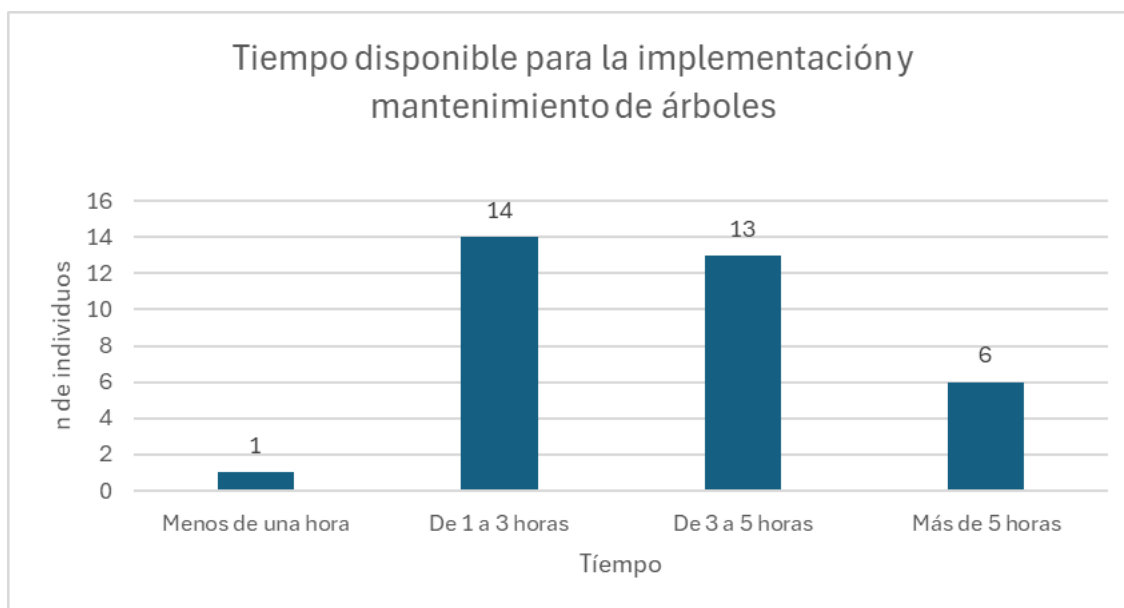
La gráfica muestra que el interés por aplicar prácticas de reforestación es unánime entre los productores, ya que los 34 encuestados manifestaron estar dispuestos a incorporarlas en sus sistemas productivos. Este resultado refleja una alta apertura comunitaria hacia acciones de conservación y manejo sostenible, lo cual facilita la implementación de programas de reforestación y aumenta las probabilidades de éxito a largo plazo. La ausencia de respuestas negativas indica que existe un entorno favorable para promover estrategias de arborización y restauración en la zona.



Gráfica 16 Interés de los productores en aplicar prácticas de reforestación

5.5.1.6 Tiempo disponible para la implementación y mantenimiento de árboles

La gráfica muestra que la mayoría de los productores dispone de entre 1 a 3 horas mensuales para dedicar a la siembra y mantenimiento de árboles (14 individuos), seguida por quienes pueden invertir de 3 a 5 horas (13 individuos). Estos resultados indican una buena disposición temporal para participar en actividades de reforestación. Además, 6 productores señalaron tener más de 5 horas disponibles, lo cual representa un grupo con mayor capacidad de apoyo. Solo un encuestado expresó tener menos de una hora al mes, evidenciando que las limitaciones de tiempo no son un obstáculo significativo para la mayoría. En conjunto, la disponibilidad reportada sugiere condiciones favorables para dar continuidad a prácticas de reforestación en la zona.

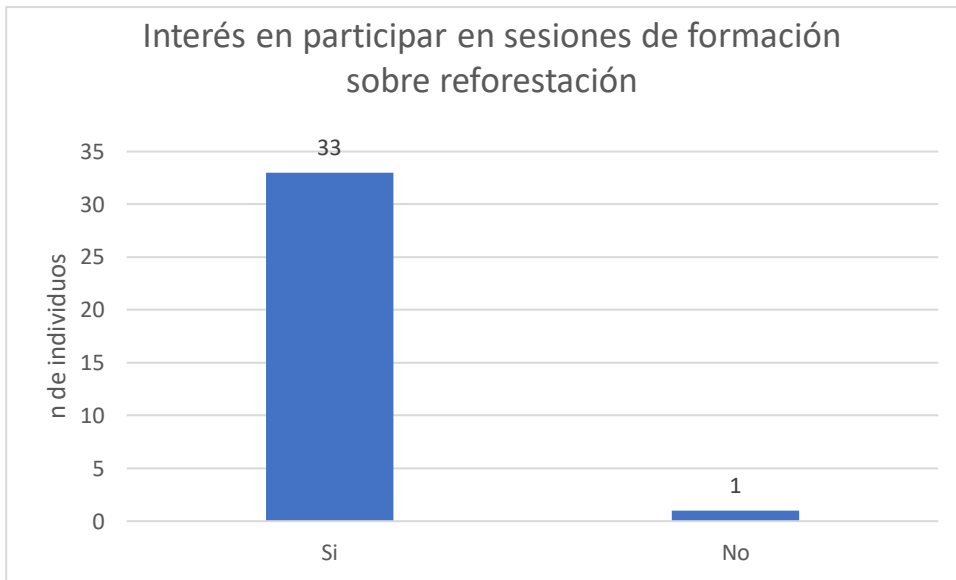


Gráfica 17 Tiempo disponible para la implementación y mantenimiento de árboles

5.5.1.7 Interés en participar en sesiones de formación sobre reforestación

La gráfica evidencia un alto interés por parte de los productores en participar en sesiones de formación sobre reforestación, ya que 33 de los 34 encuestados manifestaron disposición para asistir. Este resultado muestra una actitud positiva hacia el aprendizaje y la adopción de prácticas sostenibles. Solo un productor indicó no estar interesado, lo que refleja una mínima resistencia dentro de la comunidad. En general, la elevada apertura hacia la capacitación representa una

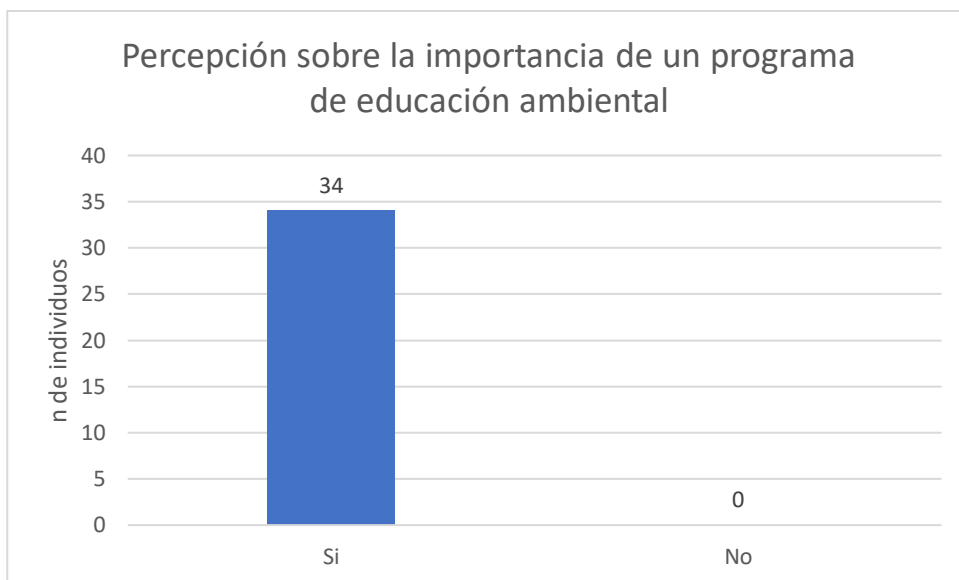
oportunidad favorable para fortalecer conocimientos técnicos y promover la implementación efectiva de prácticas de reforestación en la zona.



Gráfica 18 Interés en participar en sesiones de formación sobre reforestación

5.5.1.8 Percepción sobre la importancia de un programa de educación ambiental

La gráfica muestra que todos los productores encuestados consideran importante contar con un programa de educación ambiental orientado a la siembra de árboles en áreas de conservación de agua. El 100% de respuestas afirmativas evidencia una fuerte aceptación comunitaria y un reconocimiento generalizado del valor que este tipo de programas puede aportar tanto a la producción como al entorno natural. Esta unanimidad representa una oportunidad favorable para implementar iniciativas educativas, ya que existe una base sólida de interés y respaldo por parte de los productores locales.



Gráfica 19 Percepción sobre la importancia de un programa de educación ambiental

5.5.1.9 Propuestas de los productores para fortalecer el programa educativo

Las respuestas de los productores reflejan un fuerte interés en que el programa de educación ambiental incorpore más actividades prácticas y de campo, evidenciando que el aprendizaje vivencial es la metodología más valorada por la comunidad. También destacan la necesidad de materiales visuales y recursos didácticos sencillos que faciliten la comprensión, así como la inclusión de tecnologías digitales. De igual forma, los participantes sugieren ampliar los contenidos hacia temas relevantes para la zona, como biodiversidad local, cambio climático, manejo de residuos y uso responsable del agua. Varias respuestas mencionan la importancia de adaptar el programa al contexto ambiental de La Lima y fortalecer la capacitación continua mediante acompañamiento técnico. Finalmente, algunos productores resaltan la importancia de integrar a niños, jóvenes y proyectos comunitarios, señalando que la educación ambiental debe promover la participación y el fortalecimiento de hábitos sostenibles en toda la comunidad.

5.5.1.10 Preferencias de especies arbóreas para la siembra en las propiedades

Las respuestas de los productores reflejan un fuerte interés en que el programa de educación ambiental incorpore más actividades prácticas y de campo, evidenciando que el aprendizaje

vivencial es la metodología más valorada por la comunidad. También destacan la necesidad de materiales visuales y recursos didácticos sencillos que faciliten la comprensión, así como la inclusión de tecnologías digitales. De igual forma, los participantes sugieren ampliar los contenidos hacia temas relevantes para la zona, como biodiversidad local, cambio climático, manejo de residuos y uso responsable del agua. Varias respuestas mencionan la importancia de adaptar el programa al contexto ambiental de La Lima y fortalecer la capacitación continua mediante acompañamiento técnico. Finalmente, algunos productores resaltan la importancia de integrar a niños, jóvenes y proyectos comunitarios, señalando que la educación ambiental debe promover la participación y el fortalecimiento de hábitos sostenibles en toda la comunidad.

5.5.1.11 Estrategias propuestas para el seguimiento y evaluación de la reforestación

Las respuestas de los productores muestran un fuerte interés en dar seguimiento a la reforestación mediante monitoreos periódicos, registrando el crecimiento, la supervivencia y el estado de los árboles a través de mediciones básicas y fotografías comparativas. Muchos proponen establecer parcelas permanentes y formar grupos comunitarios o comités locales encargados del seguimiento, reforzados con capacitación técnica. También se mencionan indicadores ecológicos como presencia de fauna y mejoras del suelo, e incluso el uso de herramientas como drones o aplicaciones móviles. En general, las propuestas destacan la importancia de un monitoreo continuo, participativo y adaptado al contexto local para asegurar los beneficios ambientales y comunitarios a largo plazo.

VI. CONCLUSIONES

El levantamiento de la línea base caracterizó integralmente las condiciones biofísicas y productivas de la pastura convencional en La Lima, Campamento, Olancho, estableciendo un punto de referencia técnico antes de la conversión al sistema silvopastoril. Esta información es fundamental para monitorear y evaluar futuros cambios en el sistema productivo.

Las evaluaciones realizadas permitieron establecer un diagnóstico integral del sistema previo a su conversión, evidenciando variaciones en las condiciones iniciales del suelo pH, materia orgánica y compactación que reflejan la influencia del manejo anterior y orientan acciones para mejorar su fertilidad y estructura. Asimismo, la medición de la productividad del pasto, mediante indicadores como altura, biomasa, cobertura y materia seca, generó valores de referencia fundamentales para evaluar el impacto futuro de la integración arbórea en la calidad y disponibilidad del forraje. De igual forma, el análisis inicial de las plántulas de cedro y caoba permitió definir parámetros de crecimiento y estado fitosanitario para su monitoreo, mientras que el proceso de socialización evidenció una disposición positiva de los productores hacia prácticas sostenibles, resaltando la educación ambiental como elemento clave en la transición hacia un sistema silvopastoril más resiliente y sostenible.

En conjunto, el estudio confirma que el establecimiento de una línea base es un paso estratégico para la planificación, implementación y evaluación de sistemas silvopastoriles, ya que permite medir objetivamente los avances en productividad, salud del suelo y sostenibilidad ambiental, fortaleciendo la toma de decisiones basada en evidencia científica.

VII. RECOMENDACIONES

Reforzar la gestión del sistema silvopastoril, implementando prácticas que promuevan el establecimiento de la cobertura vegetal, dado que los resultados mostraron una evolución favorable de la cobertura, lo que ayuda a proteger el suelo, disminuir la erosión y aumentar la estabilidad del sistema productivo.

Llevar a cabo evaluaciones en diversas temporadas del año, teniendo en cuenta que las variaciones detectadas en la producción de biomasa pueden estar afectadas por aspectos climáticos como la lluvia y la humedad del suelo.

Fomentar la utilización de especies forestales que se adapten a las condiciones del entorno, dado que el rendimiento observado en las plántulas analizadas indica que ciertas especies muestran una mayor estabilidad en su crecimiento inicial, lo que puede ayudar a aumentar la sostenibilidad del sistema.

Con el fin de lograr resultados más representativos acerca de la interacción entre especies forestales, suelo y pastos en sistemas silvopastoriles, se debe extender futuras investigaciones, incluyendo un periodo de evaluación más largo y un mayor número de parcelas experimentales.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Araya-Salas, M., Jiménez, G., & Vargas, R. (2022). Crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas silvopastoriles con *Musa textilis*. *Tropical Forestry and Management*, 35(6), 6234-6243. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v35i6.6234>.
- Baldassini, P., & Paruelo, J. (2020). Resiliencia climática en sistemas silvopastoriles comparados con monocultivos. *Ecological Applications*, 30(1), 961. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1002/eap.961>.
- Bettencourt, E. M. V., Tilman, D., & Costa, A. M. (2020). Desafíos de sostenibilidad en sistemas de pastoreo tradicionales: Un análisis comparativo. *Pastoral and Grassland Science*, 26, 243-262. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.pagsci.2020.05.003>.
- Boinot, S., Barkaoui, K., Mézière, D., Lauri, P., Sarthou, J., & Alignier, A. (2022). Investigación en sistemas agroforestales y conservación de la biodiversidad: ¿Qué conclusiones y mejoras son necesarias? *BMC Ecology and Evolution*, 22, 16-28. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1186/s12862-022-01977-z>.
- Hernández, G. R., & Morales, T. C. (2022). Pruebas de infiltración para evaluar la disponibilidad de agua en sistemas silvopastoriles. *Agricultural Water Management*, 260, 107246. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107246>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2019. *Climate Change and Land: Summary for Policymakers*. Ginebra, CH: IPCC.
- Lopes, S. M., & Gonçalves, J. C. (2017). Estrategias de manejo del suelo en sistemas silvopastoriles para la conservación del agua. *Biogeochemistry*, 137(1), 1-13. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1007/s10533-017-0307-3>.
- López, J., & Medina, C. (2018). Educación comunitaria para la adopción de agroforestería en el México rural. *Journal of Environmental Management*, 215, 112638. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.095>.

- Marinho, J. A., & Nunes, C. R. (2019). El papel de los sistemas silvopastoriles en la reducción de la compactación del suelo en regiones semiáridas. *Catena*, 182, 104602. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2019.104602>.
- Mathurkar, A. R. (2018). Enfoques satelitales para el monitoreo de carbono en sistemas silvopastoriles. *Remote Sensing in Agriculture*, 9(3), 78-90. Disponible en: [DOI no disponible].
- Ortega-Gutiérrez, J. O., Alvarado-Segura, A. A., Machuca-Velazco, R., & Borja-de-la-Rosa, A. (2023). Caracterización anatómica y propiedades físicas de la madera de monte bajo de dos especies de *Quercus* del volcán Popocatepetl. *Madera y Bosques*, 29(1), e2911580. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.21829/myb.2023.2911580>.
- Pashchenko, O., & Mariushko, M. (2023). Desarrollo de métodos de línea base para el monitoreo de la productividad agroforestal en contextos de adaptación climática. *Sustainability in Agricultural Systems*, 2, 15-29. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.26906/sunz.2023.2.005>.
- Pereira, S., Carvalho, P., & Lima, M. (2018). Acumulación de carbono y mejora del suelo en sistemas silvopastoriles: Un meta-análisis. *Ecological Engineering*, 117, 69-85. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.03.011>.
- Pérez, J. M., & Morales, T. A. (2021). Población de lombrices como bioindicadores en sistemas agroforestales. *Soil Biology and Biochemistry*, 158, 108597. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108597>.
- Peyraud, J. L., & Le Gall, A. (2014). Medición de la calidad nutricional del forraje en pastos mixtos: Una guía práctica. *Multisward Conference Proceedings*, 7, 45-60. Disponible en: [DOI no disponible].
- Porras, I., Barton, D., & Miranda, M. (2020). Pago por servicios ecosistémicos como impulsor de la adopción silvopastoril en Costa Rica. *Ecological Economics*, 176, 106612. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106612>.

- Prado, M. C., Pereira, D. P., Almeida, R. V., & Faria, D. (2019). Sistemas agrosilvipastoriles con variedades criollas. *Revista Agroecológica Brasileira*, 7(2), 12-24. Nota: DOI no disponible.
- Rabothata, L. J., Ndlovu, L. R., & Moyo, S. (2016). Indicadores de salud del ecosistema en sistemas agroforestales en el sur de África. *African Journal of Sustainable Agriculture*, 5(3), 101-113. Disponible en: [DOI no disponible].
- Ramírez, A., & Soto, R. (2020). Enfoques participativos para la evaluación inicial del suelo en agroforestería. *Environmental Development*, 34, 100618. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100618>.
- Ramírez, L., & Salgado, E. (2019). Enmiendas orgánicas mejoran el establecimiento de plántulas de caoba y teca en suelos degradados. *Soil Biology and Biochemistry*, 135, 283-291. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.05.004>.
- Rueda, C., & Mauricio, J. P. (2017). Evaluación participativa de líneas base en sistemas silvopastoriles del altiplano colombiano. *Colombian Agricultural Journal*, 56(4), 45-57. Disponible en: [DOI no disponible].
- Sangalli, A., Mendes, R. J., & Pereira, D. C. (2021). Uso de líneas base en el monitoreo de sistemas agroforestales para evaluar sostenibilidad. *Raíces Agroecológicas*, 41, 38-49. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.37370/raizes.2021.v41.738>.
- Silva, F. C., Lima, R., & Costa, A. (2020). Efectos de especies arbóreas en propiedades del suelo en sistemas silvopastoriles: Perspectivas de regiones tropicales. *Forest Ecology and Management*, 473, 118-130. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118130>.
- Silva, L. (2018). Sistemas agroforestales y la agricultura familiar en Rondônia. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 9(3), 45-58. Nota: DOI no disponible.
- Villanueva, A., & Pérez, T. (2020). Participación juvenil en programas de educación silvopastoril sostenible. *Agricultural Water Management*, 242, 106992. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106992>.

- Villarreal-Castro, L., Ramos, J. D., & Ortiz, M. F. (2020). Mejora de la productividad de pastos con suplementación de *Arachis pintoi* en regiones semiáridas. *Tropical Grasslands*, 8(3), 125-134. Disponible en: [https://dx.doi.org/10.17138/tgft\(8\)125-134](https://dx.doi.org/10.17138/tgft(8)125-134).
- Wolff, L. F. (2014). Sistemas agroforestales apícolas: Instrumento para la sustentabilidad de la agricultura familiar. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 9(1), 29-41. Nota: DOI no disponible.
- UNCCD (Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación). 2022. *Global Land Outlook 2nd edition*. Bonn, DE: UNCCD.
- Bouroncle, C; Imbach, P; Läderach, P; Rodríguez, B; Medellín, C; Fung, E; Ruth Martínez-Rodríguez, M; Donatti, CI. 2025. La agricultura de Honduras y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación? (en línea, sitio web). Consultado 21 may 2025. .
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2009. *Guía para el manejo sostenible de pasturas naturales*. Roma, IT: FAO.
- Lal, R. 2015. *Restoring soil quality to mitigate soil degradation*. *Sustainability* 7(5): 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2020. *Guía técnica para la implementación de sistemas silvopastoriles como estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático*. San José, CR: IICA.

ANEXOS

Matriz de comparación del desarrollo de especies arbóreas antes y después de la implementación del sistema silvopastoril

Universidad Nacional de Agricultura							
Parcela de muestreo permanente en la aldea La Lima, Campamento, Olancho							
Sistema de Producción: _____							
Coordenadas:		X: _____			Y: _____		
Pendiente: _____							
Nombre: _____							
Árbol No	Fecha de evaluación	Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Diámetro (cm)	Estado general	Plagas observadas
1							
2							
3							
4							
5							

Tabla 3 Formulario para la recopilación de datos de la PMP establecida.

Matriz de compactación de condiciones iniciales del suelo antes y después de la implementación del sistema silvopastoril.

Mediciones	Primera Evaluación		Segunda Evaluación	
pH				
Materia orgánica				
Retención del agua				
Compactación del suelo				

Tabla 4 Matriz para las condiciones del suelo

**Matriz de comparación de productividad del pasto antes y después de la
implementación del sistema silvopastoril**

Actividad	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Promedio
Fecha				
Altura				
Biomasa				
Días de recuperación				
Materia seca				

Tabla 5: Matriz para la productividad del pasto

FORMULARIO DEL PROGRAMA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL A LOS PRODUCTORES

1. Información general

Comunidad: _____ Municipio: _____

Departamento: _____

Nombre completo del productor: _____

2. Experiencia y conocimientos previo

1. ¿Desde hace cuánto tiempo se dedica usted a actividades agrícolas o productivas en la zona de La Lima?

a) Menos de un año

b) De 1 a 5 años

c) De 5 a 10 años

d) Más de 10 años

2. ¿Tiene conocimientos anteriores sobre cómo la siembra de árboles puede beneficiar áreas de recarga de agua y la producción agrícola?

a) Sí

b) No

3. Opiniones sobre el agua y la reforestación

3. ¿Qué dificultades considera usted que impiden aplicar prácticas de reforestación en su terreno o finca?

a) Falta de asistencia técnica.

b) Escasez de agua o sequías prolongadas.

c) El ganado daña las plantas jóvenes.

d) Prioridad en actividades agrícolas o ganaderas.

4. ¿Qué tan importante considera el agua para el desarrollo de su producción?

- a) No tiene un papel relevante
- b) Es importante, pero no se prioriza
- c) Es muy importante y debe priorizarse

4. Participación en el programa

5. ¿Le interesaría aplicar prácticas de reforestación en su sistema de producción?

- a) Sí
- b) No

6. ¿Cuánto tiempo al mes estaría dispuesto a invertir en estas prácticas de siembra y mantenimiento de árboles?

- a) Menos de una hora
- b) De 1 a 3 horas
- c) De 3 a 5 horas
- d) Más de 5 horas

7. ¿Estaría interesado/a en asistir a sesiones de formación sobre reforestación en áreas productivas y de captación de agua?

- a) Sí
- b) No

8. En su opinión, ¿cree que es beneficioso contar con un programa de educación ambiental para productores de La Lima que promueva la siembra de árboles en zonas clave para la conservación del agua?

- a) Sí

b) No

5. Aportes y perspectivas a futuro

9. ¿Tiene usted alguna propuesta o comentario para mejorar el contenido o enfoque del programa de educación ambiental?

10. ¿Qué tipos de árboles le gustaría sembrar en su propiedad y por qué razón ha elegido esas especies?

11. ¿Qué estrategia propone para continuar observando y evaluando los resultados de la reforestación luego de finalizar el proyecto, considerando el crecimiento de los árboles, su efecto en el entorno y el bienestar comunitario a largo plazo?

IX. ANEXOS

Anexo 1 Lugar de estudio



Anexo 2 Materiales utilizados



Anexo 3 Practica de compactación del suelo



