

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN AGRICULTURA ECOLÓGICA**

**Evaluación de sistemas agrosilvícolas como alternativa
agroecológica y de diversificación productiva en la Zona
Indígena de Curré, Costa Rica**

Osvaldo David Quesada Cabezas

Heredia, 2026

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Posgrado en Agricultura Ecológica de la Escuela de Ciencias Agrarias, para optar por el grado de *Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica.

**Evaluación de sistemas agrosilvícolas como alternativa
agroecológica y de diversificación productiva en la Zona
Indígena de Curré, Costa Rica**

Osvaldo David Quesada Cabezas

Tesis presentada para optar al grado de *Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica. Cumple con los requisitos establecidos por el Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

[Dr. Randall Gutiérrez Vargas /Dra. Damaris Castro García /Dr. Gerardo Jiménez Porras/ Dr. José Vega Baudrit /Dr. Greivin Rodríguez Calderón/ Dra. Rocío Castillo Cedeño]
Representante del Consejo Central de Posgrado

Ph.D. Gerardo Cerdas Vega
Coordinador Maestría en Agricultura Ecológica

Ph.D. Fernando Ramírez Muñoz
Tutor (a) de tesis

M. Sc. Rafael Murillo Cruz
Miembro del Comité Asesor

M. Sc. Alonso Calvo Araya
Miembro del Comité Asesor

Lic. Osvaldo David Quesada Cabezas
Sustentante

Descriptores

Agrosilvicultura, comunidad indígena, crecimiento, asociaciones, suelo.

Resumen

La agricultura costarricense enfrenta retos como el cambio climático, la degradación del suelo, la seguridad alimentaria y la dependencia de monocultivos y agroquímicos. Los pequeños productores, en especial de comunidades indígenas, no se encuentran exentos de estas problemáticas. En Rey Curré, los recursos, oportunidades de empleo, alimentos y materia prima para comercialización son limitados, lo que agrava las condiciones de los agricultores y sus familias. Ante ello, los sistemas agroforestales (SAF) resultan una alternativa sostenible al combinar cultivos agrícolas con especies forestales, promoviendo diversificación, conservación de suelos y resiliencia climática. Por lo tanto, en la presente investigación se evaluaron sistemas agrosilvícolas como alternativa agroecológica y de diversificación productiva en la zona indígena de Curré, Costa Rica.

La investigación se desarrolló en Rey Curré, distrito de Boruca, cantón de Buenos Aires, Puntarenas, ubicado entre los 100 y 200 msnm. Se trabajó en tres parcelas (Fernando, Geiner y Noel) seleccionadas entre 25 agricultores previamente diagnosticados, considerando criterios de accesibilidad, compromiso con la investigación y experiencia en sistemas productivos. El diagnóstico incluyó preguntas relacionadas con prácticas agrícolas, uso de agroquímicos, tipos de cultivos, fertilizantes, experiencias en agrosilvicultura, variables de salud humana y ambiente, entre otras.

Se implementaron sistemas agrosilvícolas con teca clonal (*Tectona grandis* L. f), asociada con plátano, yuca y chile habanero, utilizando un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos: T1 (teca sola), T2 (teca + plátano), T3 (teca + plátano + chile) y T4 (teca + plátano + chile + yuca). El material vegetal se obtuvo de Rey Curré y se manejaron las parcelas siguiendo principios agroecológicos. Las variables evaluadas en teca incluyeron sobrevivencia, altura, diámetro a la altura del pecho (DAP) y volumen, analizándose mediante ANDEVA y pruebas no paramétricas en R. Para los cultivos agrícolas se midieron rendimientos en kg ha⁻¹ y se calculó la Relación Equivalente de Tierra (LER), lo que permitió evaluar la eficiencia de los sistemas asociados frente a monocultivos.

El diagnóstico permitió evidenciar un predominio de modelos convencionales basados en monocultivos, principalmente de plátano, maíz, chile y yuca, con uso intensivo de agroquímicos, entre los que destacan paraquat, glifosato, captan, mancozeb y cipermetrina, catalogados como Plaguicidas Altamente Peligrosos. La sección ambiental y de salud reveló que un 40% de los agricultores no utiliza equipo de protección personal al aplicar plaguicidas y que la mayoría no ha recibido capacitación sobre el manejo de estos insumos. A pesar de ello, el 96% mostró disposición para adoptar prácticas sostenibles. En el componente agroforestal, 17 de las 25 fincas presentan sistemas con árboles, destacando especies como *Leucaena leucocephala*, *Gmelina arborea* y *T. grandis*.

Durante los primeros seis y nueve meses de evaluación de la teca, todos los árboles fueron similares en cuanto a altura y área basal y no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0,05$). Al año, sí se observaron diferencias significativas en altura ($p = 0,00868$), destacando el tratamiento T2 (teca + plátano) con 3,5 m de crecimiento promedio, seguido de la teca en monocultivo (3,4 m). El DAP y el volumen no mostraron diferencias significativas. Los valores de LER reflejaron que los sistemas agroforestales superan a los monocultivos. En la finca de Fernando, T2 alcanzó un LER total de 1,24 y T4 de 1,38, mientras que en la finca de Geiner los valores fueron mayores (T2 = 1,18; T4 = 2,17). Por el contrario, la finca de Noel mostró resultados bajos ($\leq 0,05$) debido a limitaciones del suelo y daños severos por animales. En promedio, el tratamiento T4 obtuvo el valor más alto de LER (1,75), seguido de T2 (1,16).

El manejo agronómico de las parcelas se caracterizó por baja aplicación de agroquímicos (solamente dos aplicaciones de herbicidas en todo el ciclo), los sistemas aportaron beneficios ecosistémicos, incluyendo mejor conservación de humedad y mayor sanidad de los cultivos. Todos los hallazgos en esta investigación se divulgaron mediante una charla con los agricultores de la comunidad y la entrega de brochures informativos. Este estudio, pionero en asociar teca clonal con cultivos

tradicionales de la zona, evidenció los beneficios para la diversificación, sostenibilidad y conservación de recursos, de los sistemas agrosilvícolas.

Abstract

Costa Rican agriculture faces challenges such as climate change, soil degradation, food security, and dependence on monocultures and agrochemicals. Small-scale producers, especially those from indigenous communities, are not exempt from these problems. In Rey Curré, resources, employment opportunities, food, and raw materials for commercialization are limited, which exacerbates the conditions of farmers and their families. In response, agroforestry systems (AFS) offer a sustainable alternative by combining agricultural crops with forest species, promoting diversification, soil conservation, and climate resilience. This research therefore evaluated agroforestry systems as an agroecological and productive diversification alternative in the indigenous zone of Curré, Costa Rica.

The research was conducted in Rey Curré, Boruca district, Buenos Aires canton, Puntarenas, located between 100 and 200 msl. Work was carried out on three parcels (Fernando, Geiner, and Noel) selected from among 25 previously diagnosed farmers, considering criteria of accessibility, commitment to research, and experience in production systems. The assessment included questions related to agricultural practices, use of agrochemicals, types of crops, fertilizers, experiences in agroforestry, human health and environmental variables, among others.

Agroforestry systems were implemented with clonal teak (*T. grandis*), associated with banana, cassava, and habanero pepper, using a randomized complete block design with four treatments: T1 (teak alone), T2 (teak + banana), T3 (teak + banana + habanero pepper), and T4 (teak + banana + habanero pepper + cassava). The plant material was obtained from Rey Curré, and the parcels were managed according to agroecological principles. The variables evaluated in clonal teak trees included survival, height, diameter at breast height (DBH), and volume, analyzed using ANOVA and nonparametric tests in R. For agricultural crops, yields were measured in kg ha⁻¹ and the Land Equivalent Ratio (LER) was

calculated, which allowed for the evaluation of the efficiency of associated systems compared to monocultures.

The diagnosis revealed a predominance of conventional models based on monocultures, mainly bananas, corn, habanero peppers, and cassava, with intensive use of agrochemicals, including paraquat, glyphosate, captan, mancozeb, and cypermethrin, classified as Highly Hazardous Pesticides. The environmental and health section revealed that 40% of farmers do not use personal protective equipment when applying pesticides and that most have not received training on their use. Despite this, 96% showed a willingness to adopt sustainable practices. In the agroforestry component, 17 of the 25 farms have tree systems, with species such as *L. leucocephala*, *G. arborea*, and *T. grandis* standing out.

During the first six and nine months of clonal teak trees evaluation, no significant differences were detected between treatments in height or basal area. After one-year, significant differences in height were observed ($p = 0.00868$), with treatment T2 (teak + banana) standing out with an average growth of 3.5 m, followed by teak monoculture (3.4 m). DBH and volume showed no significant differences. LER values reflected that agroforestry systems outperform monocultures. On Fernando's farm, T2 reached a total LER of 1.24 and T4 of 1.38, while on Geiner's farm the values were higher (T2 = 1.18; T4 = 2.17). In contrast, Noel's farm showed low results (≤ 0.05) due to soil limitations and severe damage by animals. On average, treatment T4 obtained the highest LER value (1.75), followed by T2 (1.16).

The agronomic management of the parcels was characterized by low application of agrochemicals (only two applications of herbicides throughout the evaluation period), the systems provided ecosystem benefits, including better moisture conservation and improved crop health. All the findings of this research were disseminated through a presentation/talk with farmers in the community and the distribution of informative brochures. This study, a pioneer in associating clonal teak trees with traditional crops in the area, demonstrated the benefits for diversification, sustainability, and resource conservation of agroforestry systems.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por brindarme salud, fortaleza, compañía y mucho amor en cada etapa de mi vida. A la Universidad Nacional, la Escuela de Ciencias Agrarias y la Maestría en Agricultura Ecológica por formarme como agrónomo desde el respeto hacia la naturaleza. Agradezco al SEPUNA por el apoyo económico brindado para la ejecución de mi Trabajo Final de Graduación y al proyecto MESIAGRO del INISEFOR por el acompañamiento en cada etapa de la investigación.

Un profundo agradecimiento a mi mentor, amigo y padre académico, el Dr. Fernando Ramírez, por su constante disposición para ayudarme, su tiempo, confianza y enseñanzas, y por sus sabios consejos en los momentos de incertidumbre que han marcado decisiones importantes en mi vida. A mi profesor y asesor M.Sc. Alonso Calvo por sus enseñanzas y acompañamiento desde mis inicios como alumno de pregrado y ahora como estudiante de posgrado. A mi mentor en el área forestal M.Sc. Rafael Murillo, por enseñarme con la teoría y la práctica todo aquello que engloba la agroforestería y el trabajo conjunto con comunidades indígenas, también por haberme apoyado en cada una de las fases de esta investigación.

Un agradecimiento a la Dra. Martha Orozco por motivarme a cursar una maestría tan importante y necesaria para la agricultura costarricense, por su acompañamiento en cada etapa como estudiante de posgrado y su siempre solidaria disposición para ayudar. A los productores de la comunidad indígena de Rey Curré por la confianza y enseñanzas brindadas.

A mi familia, por apoyarme con amor y consejos en cada etapa de mi vida. A Ma. Paula, por su apoyo incondicional, fortaleza y motivación para nunca rendirme. A mis amigos (as) que estuvieron presentes en diferentes actividades de la investigación: Mónica Cortés, David Carvajal, Diego Méndez, Juan Arrieta, Felipe Novo y cada persona que de alguna u otra manera me apoyaron directa e indirectamente, mis más grandes y sinceros agradecimientos.

Dedicatoria

A mis padres Gerardo Quesada Rojas y Ania Cabezas Artavia, que me educaron siempre desde la honradez, honestidad, prudencia y bondad para obrar en el bien y disfrutar más del dar que del recibir. A mis hermanos y hermanas: Maritzabell Q.C., Andrea Q.C., Karen Q.C., Daniel Q.C., Gabriel Q.C., Karla Q.C. y Diana Q.C., quienes, sin importar las circunstancias, están siempre para apoyarme. A mi novia Ma. Paula, que aún en sus dificultades, acoge mis situaciones y las hace también suyas para ayudarme.

A cada joven con deseo de educación superior al cual circunstancias económicas o de otro ámbito de la vida parecen limitarlo, para que no se den por vencidos. Confíen en sus capacidades, avancen así sea con temor, recupérense de las caídas diarias de la vida, pero nunca se rindan.

índice

Capítulo I: Introducción	1
Problema	3
Justificación	5
Capítulo II: Marco Teórico.....	8
Sistemas agroforestales y sus componentes	8
Componente leñoso	8
Componente no leñoso	9
Sistemas agrosilvícolas	9
Linderos	10
Cercas mixtas.....	10
Cortinas rompevientos	10
Huertas frutales.....	10
Cultivo en callejones.....	10
Importancia de la integración agrícola-forestal	11
Sustentabilidad en sistemas productivos.....	12
Principios agroecológicos en un sistema productivo	12
Beneficios y limitaciones de los sistemas agrosilvícolas	13
Socioeconómico	13
Ecológico.....	14
Caracterización de sistemas agrosilvícolas como arreglo agroforestal.....	15
Criterio estructural	15
Criterio socioeconómico.....	15
Criterio funcional.....	15
Criterio ecológico	16
Ejemplo de sistemas agrosilvícolas	16
Teca clonal (<i>T. grandis</i>).....	16
Actividad agrícola de Rey Curré	17
Capítulo III: Metodología	19
Ubicación del estudio	19
Diagnóstico de prácticas de manejo	19
Selección de fincas	20
Muestreo de suelo y balance nutricional.....	20

Establecimiento del ensayo y diseño experimental	21
Manejo de la plantación	24
Evaluación de los tratamientos y procesamiento de datos	25
Análisis estadístico	26
Determinación de la relación equivalente de tierra	27
Divulgación de resultados	28
Capítulo IV: Resultados y discusión	28
Contexto de la comunidad de Rey Curré.....	28
Manejo agronómico	29
Experiencias en agrosilvicultura o sistemas agroforestales	33
Componente de salud	35
Componente de ambiente	36
Características químicas de los suelos	38
Evaluaciones en el crecimiento de la teca	42
Relación equivalente de tierra (LER) en asociaciones.....	48
Servicios ecosistémicos reportados	50
Charla a agricultores de Rey Curré y entrega de brochure informativo	53
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones	54
Conclusiones.....	54
Recomendaciones	57
Bibliografía	59
Anexos.....	77

Lista de tablas

Tabla 1. Cultivos producidos en Rey Curré durante los últimos 3 años (periodo 2022 - 2024).....	30
Tabla 2. Uso en kg ha ⁻¹ /año de i.a de plaguicidas en Rey Curré.	31
Tabla 3. Resultados del análisis químico del T1, T2, T3 y T4 de la finca del productor Noel Lázaro.	39
Tabla 4. Resultados del análisis químico del T1, T2, T3 y T4 de la finca del productor Geiner.	39
Tabla 5. Resultados del análisis químico del T1, T2, T3 y T4 de la finca del productor Fernando.....	40
Tabla 6. Valores mínimos y máximos en la altura y área basal de la circunferencia de la teca a los seis meses después del trasplante.	42
Tabla 7. Valores mínimos y máximos en la altura y área basal de la circunferencia de la teca a los nueve meses después del trasplante.	44
Tabla 8. Valores promedio, mínimos y máximos en la altura, DAP y volumen de la teca al año después del trasplante.	45
Tabla 9. Rendimiento de cultivos en asocio, LER individual y general de las parcelas evaluadas.....	49

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación del territorio indígena de Rey Curré.....	19
Figura 2. Disposición de cultivos dentro del sistema silvoagrícola: A) T1, B) T2, C) T3 y D) T4.	23
Figura 3. Distribución geográfica de las personas agricultoras visitadas para la aplicación de la matriz diagnóstica.	29
Figura 4. Percepción de los agricultores basada en la experiencia con la especie <i>T. grandis</i>	33
Figura 5. Equipos de protección personal utilizados por las personas entrevistadas.	36
Figura 6. Destino de los recipientes u otros residuos de plaguicidas utilizados en Rey Curré.	37
Figura 7. Medios de información utilizados por los agricultores de Rey Curré para capacitarse sobre prácticas agrícolas responsables.	38
Figura 8. Altura (A) y área basal de la circunferencia (B) de la teca a los seis meses después del trasplante.	43
Figura 9. Altura (A) y área basal de la circunferencia (B) de la teca a los nueve meses después del trasplante.	44
Figura 10. Altura (A), DAP (B) y volum en (C) de la teca a los doce meses después del trasplante.	47
Figura 11. Charla a agricultores de Rey Curré (A) y entrega de brochure para difusión en colegio (B).	53

Anexos

Anexo 1. Plan de fertilización para los tratamientos de la parcela de Noel	77
Anexo 2. Plan de fertilización para los tratamientos de la parcela de Geiner.....	78
Anexo 3. Plan de fertilización para los tratamientos de la parcela de Fernando	79
Anexo 4. Frutos de las plantas de plátano de los sistemas agrosilvícolas.	80
Anexo 5. Teca en asocio con plátano (T2) sin afectaciones por factores bióticos o abióticos	80
Anexo 6. Árbol de teca quebrado por afectación del viento	80
Anexo 7. Brochure informativo sección frontal.....	81
Anexo 8. Brochure informativo sección posterior	81

Lista de abreviaturas

FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INTA	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria
UNA	Universidad Nacional (Costa Rica)
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
INISEFOR	Instituto de Investigación y Servicios Forestales
ONF	Oficina Nacional Forestal
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
SFE	Servicio Fitosanitario del Estado
SAF	Sistema Agroforestal
LER	Relación equivalente de tierra
PAPs	Plaguicidas Altamente Peligros
DAP	Diámetro a la altura del pecho
Dds	Días después de la siembra
pH	Potencial de hidrógeno (acidez del suelo)
CICE	Capacidad de intercambio catiónico efectiva
ANDEVA	Análisis de varianza
kg ha ⁻¹	Kilogramos por hectárea
m ² ha ⁻¹	Metro cuadrado / hectárea
m ³ ha ⁻¹	Metro cúbico / hectárea
i.a.	Ingrediente activo
USD	Dólares estadounidenses

Capítulo I: Introducción

La agricultura en América Latina enfrenta diferentes circunstancias económicas, culturales, políticas y sociales que impulsan a la búsqueda de sistemas de producción más competitivos y de menor impacto sobre los recursos naturales y el ambiente (Bula, 2020). Para lograr lo anterior, se ha propuesto la implementación de sistemas que integran conocimientos y habilidades para el manejo de recursos y servicios agroecosistémicos con diferentes propósitos ecológicos, técnicos, económicos y sociales, que promueve su diversificación (Bucheli et al, 2020), los llamados sistemas agroforestales (SAF). La diversificación de cultivos no solo responde a la necesidad de recuperar suelos degradados, estimular la sostenibilidad y fortalecer la seguridad alimentaria de la población, sino que también incrementa la biodiversidad funcional y mejora la resiliencia del agroecosistema frente a perturbaciones climáticas, biológicas y económicas, favoreciendo sistemas más estables y adaptativos en el largo plazo (López y Rocha, 2007).

Los SAF se caracterizan por presentar una serie de asociaciones donde se localizan especies del componente vegetal leñoso y herbáceas (sistema agrosilvícola) o vegetal leñoso, no leñoso y animal (agrosilvopastoril) (Martínez, 2020). Los sistemas agrosilvícolas, como práctica agroforestal, consisten en la siembra de cultivos durante el establecimiento de plantaciones forestales, frutales o de cultivos perennes (Oficina Nacional Forestal [ONF], 2018). La agrosilvicultura surge de la combinación de cultivos y árboles para solventar la pobreza en familias rurales, evitar la erosión del suelo, la contaminación del agua, la disminución de la biodiversidad, entre otros (Sánchez, 2019). Este sistema facilita el desarrollo de actividades productivas en condiciones de vulnerabilidad, alterando mínimamente la estabilidad ecológica y promoviendo la sostenibilidad, lo que se traduce en mejora del nivel de vida de la población rural (Montagnini et al., 2015).

La presencia de múltiples especies favorece un reciclaje de nutrientes más eficiente debido a raíces con distintas profundidades y capacidades de absorción; aumenta la estabilidad del ecosistema al reducir

la dependencia de un único componente biológico; fortalece la resiliencia ante disturbios como plagas, sequías o variaciones climáticas; y optimiza el uso de recursos como la luz y el agua gracias a la complementación funcional entre especies (Altieri et al., 2024).

En Costa Rica, una de las primeras experiencias reportadas con sistemas agrosilvícolas fue realizado por Van Kanten (1994) en la localidad de Oliva, Talamanca. En dicho sitio se evaluó la productividad del arazá (*Eugenia stipitata*) en tres sistemas agrosilvícolas: a) con laurel (*Cordia alliodora*), b) con acacia (*Acacia mangium*) y c) con plátano (*Musa* sp.). Los mejores rendimientos se obtuvieron de la asociación con laurel y con plátanos (19 ton/ha de madera y 25,7 ton/ha de plátano respectivamente). Además, el beneficio neto del sistema agrosilvícola con laurel mantuvo una relación de costo/beneficio positivo (1,7), aún con un aumento del 20 % de los costos de mano de obra y disminución del 20 % de los precios de venta del arazá y el laurel. Lo anterior, es un ejemplo de las interacciones positivas que se pueden generar a nivel productivo en los sistemas agrosilvícolas al emplear los recursos del medio de forma muy diversa (Sánchez et al., 2019).

En la zona indígena de Curré, ubicada en el distrito Boruca, cantón de Buenos Aires, Puntarenas, durante años las personas indígenas han sido productores de subsistencia, sin embargo, año tras año continúa disminuyendo la productividad de sus suelos debido a la erosión ocasionada por emplear prácticas de producción convencional, esto ha llevado a un mayor uso de insumos químicos para sostener la producción (Amador, 2012). La agricultura de subsistencia no ha generado la autosuficiencia y dificulta participar competitivamente en el comercio. Además, en la actualidad la agricultura en la zona es de subsistencia, y una actividad con considerables riesgos económicos debido a sus elevadas inversiones, que por lo general se pierden, reduciendo la actividad agrícola comercial a la producción de plátano y otros productos para el autoconsumo e intercambio dentro de la comunidad (Asociación de Desarrollo Integral de Curré, 2025). La presente investigación permitió corroborar que este escenario de alto uso de insumos químicos y problemas asociados se mantiene en el presente.

Para afrontar esta crítica situación, se propone la implementación de SAFs en la zona indígena de Curré, como una oportunidad viable para los agricultores, principalmente con la agrosilvicultura, la cual es considerada como una importante alternativa para los pequeños productores. Estos sistemas pueden revertir los problemas de erosión, productividad y competitividad debido a sus beneficios en la mejora de la fertilidad y estructura del suelo (por raíces, cobertura vegetal y reciclaje de nutrientes), diversidad de productos para el comercio e intercambio (maderable y agrícola), resiliencia al cambio climático (microclima regulado por árboles para proteger a los cultivos) y una forma de producir alineada con las tradiciones de la comunidad que históricamente se basan en el respeto de la naturaleza, creando un sistema sostenible en el tiempo (Panduro, 2023).

Se implementaron y evaluaron sistemas de asociación de cultivos agrícolas con diferentes arreglos de teca (*T. grandis*), como una alternativa agroecológica para diversificar la producción dentro de la comunidad. Este enfoque también buscó aprovechar la madera de teca para la construcción de ranchos y contribuir a la conservación de los recursos naturales. La información obtenida durante este proceso de investigación tuvo como objetivo proporcionar a los agricultores estrategias y métodos de producción sostenibles para el mediano y largo plazo.

Problema

Uno de los principales problemas que enfrentan las comunidades campesinas e indígenas es el predominio del monocultivo, una práctica que ha sido adoptada tras la colonización agrícola. Este enfoque convencional, centrado en la producción de pocos cultivos, genera una necesidad de alimentos externos (Hidalgo, 2022). Además, los monocultivos suelen requerir altas cantidades de insumos químicos para mantener su productividad, lo que complica la situación económica de las comunidades a largo plazo (Acosta, 2022). Uno de los efectos más graves de esta situación es la pérdida de diversidad en los sistemas productivos, que conlleva a múltiples consecuencias: disminución de la fertilidad y la capacidad del suelo para recuperarse, mayor vulnerabilidad a plagas, enfermedades y cambios climáticos, riesgos económicos

por la dependencia de un único cultivo, incremento en los costos de producción, entre otros (Delgado, 2024).

El monocultivo acrecienta la inseguridad alimentaria, ya que la dependencia de unos pocos cultivos limita la capacidad de las comunidades para mantener una dieta diversa y equilibrada. Además, cuando los monocultivos son afectados por plagas, enfermedades, sequías o fluctuaciones del mercado y las comunidades carecen de los recursos necesarios para asegurar su subsistencia, se empeora la situación de pobreza y desnutrición (Araya et al., 2024).

En la comunidad indígena de Curré, la carencia de recursos, oportunidades laborales, alimentos y materias primas para comercializar o construir, agrava la condición económica de las familias, más aún cuando el enfoque productivo se basa principalmente en el manejo convencional (González y Estrada, 2024). Las personas agricultoras, al ser generalmente productores de subsistencia, no poseen una agricultura competitiva, lo cual pone en riesgo su economía y la sustentabilidad de sus sistemas (Amador, 2012). En esta comunidad existen experiencias con sistemas agrosilvícolas, pero no con especies de alto potencial económico (Ramírez, F. comunicación personal, 04 de agosto de 2023). De aquí, nace la necesidad de evaluar asociaciones de cultivos que les permitan mejorar sus condiciones socioeconómicas. Por otro lado, estos sistemas asociados contribuyen en recuperar y aprovechar suelos que actualmente no se encuentran productivos de forma agrícola (Panduro, 2023).

En el 2018, la comunidad indígena de Rey Curré recuperó más de 250 hectáreas altamente erosionadas de fincas que fueron usurpadas en los años 50s de manera violenta por personas no indígenas, mediante procesos de compra-venta o por medio de engaños (Pomadera, 2018), y que durante muchos años fueron destinadas a la explotación ganadera en pendientes pronunciadas, sin prácticas de conservación de suelos ni medidas para evitar la erosión o mejorar su fertilidad (Rojas, 2018). Como resultado, hoy presentan una degradación importante, bajo contenido de materia orgánica y limitada

capacidad productiva, por lo que requieren estrategias de manejo que favorezcan su restauración ecológica y su uso sostenible (Rojas, 2018).

Debido a la dificultad que enfrentan muchas familias para cubrir sus necesidades alimenticias y la complejidad de producir en tierras abandonadas, erosionadas, desertificadas o no aprovechadas productivamente, se vuelve indispensable fomentar la agrosilvicultura dentro de los territorios indígenas, lo que posibilita a los productores incrementar sus ingresos al diversificar la producción agrícola y complementando con la producción de madera (Alvarado, 2023).

Justificación

En Costa Rica, se han implementado sistemas agrosilvícolas en comunidades indígenas con resultados importantes. Por ejemplo, en la zona indígena de Talamanca, se evaluó el impacto de SAFs que combinan cultivos de cacao y banano con laurel (*C. alliodora*). Los resultados mostraron que estos sistemas favorecen la atracción y establecimiento de animales (algunos de consumo común para los indígenas), así como la producción de frutos, madera y leña, contribuyendo a una producción sostenible (Freire, 2000).

No obstante, en el país aún falta información sobre sistemas agrosilvícolas que combinen otras especies forestales como la teca (*T. grandis*) con cultivos tradicionales como plátano, chile y yuca en distintas configuraciones. El cultivo de teca es relevante en Costa Rica; es una especie altamente valorada en el mundo por su potencial productivo. Para 2011 representó el mayor volumen autorizado de corta en Costa Rica gracias a su rendimiento y calidad (De Camino y Morales, 2013).

El Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR) de la Universidad Nacional ha realizado investigaciones sobre la teca. Como resultado, se ha desarrollado una línea de teca clonal, la cual presenta características importantes: mayor resistencia a plagas y enfermedades, producción y desarrollo más uniforme y homogéneo, desarrollo más rápido que reduce el tiempo necesario para el corte, entre otras. La teca clonal puede asociarse con diversos cultivos en arreglos agrosilvícolas; sin embargo, hasta el momento, estas asociaciones no se han evaluado.

Los sistemas agrosilvícolas de teca clonal con cultivos tradicionales tienen gran potencial en zonas como la comunidad indígena de Rey Curré (Castro, H. comunicación personal, 08 de agosto de 2024) ya que, aunque existe experiencia con este tipo de sistemas, aún no se han establecido y valorado especies de alto potencial económico con cultivos alimentarios clave. Se propone que los sistemas agrosilvícolas con teca pueden contribuir a lograr la sostenibilidad en sus diferentes ámbitos (ambiental, económica, social), satisfaciendo las necesidades económicas y productivas de la región, especialmente al integrar cultivos que proporcionan carbohidratos esenciales y contribuyen a la seguridad alimentaria (Navarro, 2022), no obstante, esto debe ser confirmado.

Además, este tipo de sistema productivo busca una integración armónica entre los sistemas de producción y los ecosistemas naturales en consonancia con la Agroecología. La diversidad y complementariedad y manejo de los cultivos en los sistemas agrosilvícolas favorecen la resiliencia, y adaptación a eventos de clima extremos, la autosuficiencia, así como la salud y la nutrición. Todo esto se realiza respetando los conocimientos locales (Nicholls et al., 2015).

A diferencia de las experiencias agrosilvícolas previas en Costa Rica, esta investigación busca proporcionar información detallada de la productividad de la teca clonal en combinación con cultivos en diversos arreglos dentro de la comunidad indígena de Rey Curré. Se espera que la investigación brinde resultados sobre la combinación de teca clonal y cultivos que ofrece el mayor rendimiento para promover su adopción en la comunidad.

Objetivos

Objetivo general

- Evaluar sistemas agrosilvícolas que incorporen teca (*Tectona grandis*) clonal en asociación con cultivos (plátano, yuca y chile) para promoverlos como alternativa agroecológica y medio para la diversificación productiva en territorios campesinos de la comunidad de Curré.

Objetivos específicos

- Analizar el contexto de las fincas en la comunidad de Curré identificando las condiciones y características que permitan la implementación de sistemas agrosilvícolas por medio de un diagnóstico.
- Medir el crecimiento vegetativo y productividad de teca (*Tectona grandis*) y tres cultivos, en asociación en sistemas agrosilvícolas durante un año (2024-2025).
- Promover la agrosilvicultura en la comunidad de Curré mediante actividades diversas como charlas y afiches que proporcionen información accesible y útil sobre los beneficios y aplicaciones de los sistemas en la zona.

Capítulo II: Marco Teórico

Sistemas agroforestales y sus componentes

Los sistemas agroforestales (SAF) involucran la combinación de árboles y cultivos alimenticios, árboles y animales o los tres constituyentes. Ante ello, los componentes agroforestales (plantas leñosas, perennes, cultivos agrícolas y animales) dan origen a los sistemas agrosilvícolas (árboles y cultivos), silvopastoriles (árboles, cultivos y ganado) y agrosilvopastoriles (árboles y pasturas) (Palomeque, 2009).

A nivel mundial se ha demostrado que los SAF presentan un equilibrio entre el suelo, agua, bosques, vida silvestre, microclima y humanos, revelando que aún en suelos de baja fertilidad los árboles pueden prosperar, además de observar una mejora de la calidad de suelos en el tiempo (Navarro, 2022). Por ejemplo, en México, con el propósito de aminorar los impactos negativos del cambio climático en los sistemas productivos, se analizó el café bajo sombra dentro de un SAF, donde se evidenció que este sistema es una medida de adaptación de los productores a las condiciones adversas de la zona (Rosales et al., 2020).

Por otra parte, las alternativas de prácticas agroforestales se distinguen por su composición biológica y los bienes y servicios a nivel social (seguridad alimentaria familiar y local, intercambio de conocimientos locales, conservación de suelos, fuentes de agua y biodiversidad), económico (minimizar los costos de producción, requiere de poca capital de inversión) y ambiental (uso racional de los componentes de manera sostenible, reciclaje de nutrientes, control biológico) que aportan a corto o largo plazo. Dentro de sus componentes se encuentran el vegetal leñoso y el vegetal no leñoso (Navarro, 2022).

Componente leñoso

Está constituido por árboles y arbustos que proporcionan materia orgánica para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, incrementar la productividad agrícola y biodiversidad, así como alimentos para animales y personas. Además, la presencia de árboles y arbustos juega un papel clave en la mitigación de efectos impredecibles ocasionados por las variaciones climáticas (Alteri y Nicholls, 2000).

En especies arbóreas, el dosel forestal desempeña un papel clave en la regulación del ciclo hidrológico dentro de un sistema agroforestal: intercepta la lluvia disminuyendo el impacto de las gotas en la erosión del suelo y parte del agua interceptada se evapora de nuevo a la atmósfera o drena al suelo por troncos y ramas; también participa en la infiltración al modificar la distribución y la intensidad de la lluvia que llega al suelo, favoreciendo condiciones más estables para que el agua penetre en el perfil (De Mello et al., 2024).

Por otro lado, la combinación de especies arbóreas con cultivos herbáceos facilita la simbiosis entre árboles y plantas. Por ejemplo, en áreas con fuertes vientos disminuyen la pérdida de humedad y erosión de suelos y en potreros brindan sombra y alimento al ganado (cuando se trata de árboles forrajeros y pasturas) y existe una complementariedad radicular al presentar especies diferentes en fisiología y morfología, diversas en necesidades nutricionales y profundidad radical para la absorción de agua y minerales (Navarro, 2022).

Componente no leñoso

Los Sistemas agroforestales están compuestos por cultivos agrícolas, pasturas y hierbas. Los cultivos cumplen la función de sustentar la economía y brindar seguridad alimentaria al agricultor, las pasturas aportan forraje o alimento al ganado y protegen al suelo de la erosión, y las hierbas se emplean como medicinales, repelentes, especias, entre otras (Merino et al., 2011).

Los constituyentes no leñosos se manejan rotativamente para reducir los problemas de plagas y enfermedades, incrementar la materia orgánica, la actividad biológica del suelo y disminuir la utilización de insumos químicos sintéticos (Alteri y Nicholls, 2000).

Sistemas agrosilvícolas

Los sistemas agrosilvícolas se constituyen de árboles o arbustos plantados en diseños de contornos o hileras, asociados con cultivos agrícolas en la misma área de producción y su función consiste en controlar la erosión, proteger el suelo en laderas y a los cultivos de las afectaciones adversas del clima,

adquisición de bienes y servicios a corto y largo plazo, entre otras. Algunos arreglos que pueden involucrar sistemas agrosilvícolas, según Quinde (2017) incluyen los siguientes:

Linderos

Compuestos por especies forestales en filas, siguiendo los bordes de los predios y caminos, pueden estar asociados con cultivos. Los linderos no rodean completamente los predios de forma que favorecen un espacio para el desarrollo de los cultivos.

Cercas mixtas

Son hileras de árboles y arbustos que limitan el ingreso de animales y personas. Los troncos de los árboles permiten fijar hilos de alambre o combinarlos con especies espinosas que alejen a los animales.

Cortinas rompevientos

Consisten en plantaciones lineales que incluyen muros de vegetación, se utilizan con fines productivos y de protección ambiental. Los árboles se plantan perpendicularmente a la dirección del viento para proteger los cultivos, disminuir la erosión y velocidad del viento, mejorar el microclima, la productividad, entre otras.

Huertas frutales

Compuesto por especies forestales frutales arbóreas y arbustivas enfocadas a la producción local.

Cultivo en callejones

Son fajas de árboles intercalados con cultivos agrícolas con el propósito de incrementar la productividad por medio de la incorporación de nutrientes y la estabilidad de los suelos. Los árboles son podados con el propósito de evitar la sombra en los cultivos asociados, los residuos de los árboles se utilizan como abonos verdes o forraje.

Importancia de la integración agrícola-forestal

La producción agrícola se refiere al conjunto de técnicas, mano de obra y organización de la comunidad para producir productos agrícolas, siendo categorizados como complejos, dinámicos e influenciados por el medio rural (Vargas, 2017).

Por otro lado, la producción forestal brinda una utilidad económica y social de los recursos forestales para la economía local, aportando diversos productos maderables y no maderables, y enfocando siempre la sostenibilidad (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2010).

Los sistemas agrosilvícolas se caracterizan por: a) producir árboles para obtener madera, b) generar suministros de alimentos agrícolas y c) asegurar la protección del entorno natural para que continúe proporcionando recursos y servicios medioambientales sin comprometer a las futuras generaciones. Dichas cualidades se contemplan en la silvoagricultura de Costa Rica (Muñoz, 2022).

Es muy complejo evitar la conversión de ecosistemas naturales hacia una explotación agrícola sin integración o diversificación debido a los intereses meramente económicos de las personas o naciones. Sin embargo, la producción conjunta de cultivos agrícolas y especies forestales brindan una herramienta para conservar la biodiversidad (Altieri, 2000). Un sistema agrícola y forestal integrado crea bienes y servicios ambientales, permite llevar a cabo acciones de conservación, impulsar nuevas formas de comercio, la restauración ecológica y mejorar los medios de vida humana e integridad (Calle et al., 2012).

Además, la FAO (2023) expresa que la simbiosis agrícola-forestal favorece a los pequeños productores económica, sociocultural y ambientalmente, ya que, genera productos y servicios en localidades pequeñas, con poco hectareaje de suelos para uso agrícola, incrementa la producción, reduce la dependencia a insumos sintéticos y reduce los costos de producción. En estos sistemas, la competencia vertical (captura de luz) y horizontal (agua y nutrientes) se ven minimizados bajo diseños con distanciamientos entre especies adecuados, podas estratégicas y manejo nutricional eficiente.

Sustentabilidad en sistemas productivos

El desarrollo sustentable busca generar el desarrollo social conservando los recursos naturales y los ecosistemas para asegurar un bienestar y calidad de vida ideal para las generaciones próximas. Por otro lado, la agricultura sustentable es aquella que mantiene en el tiempo un flujo de bienes y servicios que cubran las necesidades culturales y socioeconómicas de la población (Navarro, 2022).

Además, las condiciones ecológicas, económicas y socioculturales que contempla la sustentabilidad, requieren ser analizadas para detectar deficiencias dentro del sistema que comprometen dicha sustentabilidad, lo cual se refleja con el valor ideal y el valor real obtenido de la actividad (Sarandón y Flores, 2009).

Por lo tanto, el manejo sustentable de los sistemas productivos debe asegurar la optimización de la producción, mejora de la situación social y económica de la población que depende de la actividad y permite su uso productivo de manera permanente (Plan Nacional de Desarrollo, 2009).

En Costa Rica, Fallas et al., (2009) desarrollaron una metodología para el análisis de sostenibilidad en fincas ecológicas y tradicionales, y concluyeron que las zonas con integración de componentes ecológicos, económicos y sociales son mayormente sostenibles a nivel productivo y ambiental.

Principios agroecológicos en un sistema productivo

La Agroecología es una disciplina que brinda los principios ecológicos sobre cómo diseñar y manejar los agroecosistemas, conservando los recursos naturales que son sensibles culturalmente y viables socioeconómicamente. Esta ciencia, que a la vez es un movimiento social, resalta las interrelaciones entre sus componentes y la dinámica de los procesos ecológicos. Asimismo, es el estudio holístico de los agroecosistemas, centrado en la forma, dinámica, función y procesos en los cuales está envuelta (Altieri, 2002).

Algunos principios agroecológicos para el manejo sustentable de los agroecosistemas son: a) diversificación vegetal y animal; b) reciclaje de nutrientes y materia orgánica; c) proveer condiciones

óptimas de suelo y agua para los cultivos y organismos; d) minimizar pérdidas de suelo, agua, por insectos y patógenos; y e) estimulación de sinergias entre planta-planta, planta-animal, animal-animal (Soto y Nicholls, 2000).

La aplicación de los principios agroecológicos tiene como objetivos: mejorar la producción de alimentos básicos para aumentar el consumo nutricional familiar, conservar germoplasmas de cultivos nativos, rescatar tecnologías campesinas, promover el uso eficiente de recursos locales, aumentar la diversidad de animales y cultivos, disminuir el uso de insumos externos, garantizar que los sistemas tengan efectos benéficos a nivel familiar y comunal, entre otros (Soto y Nicholls, 2000).

La Agroecología brinda los principios ecológicos para diseñar y construir sistemas de producción agrícolas sustentables y de conservación de recursos. Primeramente, la Agroecología se basa en los conocimientos tradicionales de manejo de recursos y tecnologías para optimizar la producción, en segundo lugar, brinda una forma práctica de producir sustentablemente, restaurando tierras agrícolas degradadas y, por último, puede revertir los sesgos “anticampesinos” que estimulan la compra de insumos externos (Altieri, 2002). Los conceptos ecológicos se utilizan para facilitar procesos naturales e interacciones biológicas sinérgicas para subsidiar la fertilidad de suelos, protección de cultivos y rendimientos (Navarro et al., 2012).

Beneficios y limitaciones de los sistemas agrosilvícolas

Ávila (2017) recapitula una serie de beneficios y limitaciones a nivel social, económico y ecológico de los sistemas agrosilvícolas, estos se definen a continuación:

Socioeconómico

Beneficios.

Permite asegurar una producción diversificada y sustentable al aprovechar las interacciones positivas entre sus componentes, brinda mayor seguridad alimentaria familiar y local, da acceso a oportunidades de empleo, estimula el intercambio de conocimientos locales, culturales y sociales, permite

la conservación de suelos, fuentes de agua y biodiversidad, genera productos y servicios ambientales y un ecosistema equilibrado para la sustentabilidad de los agricultores, mantiene una producción prolongada y sostenible para los pequeños y medianos productores, requiere de poco capital de inversión y genera ingresos económicos mayores debido a la diversificación productiva, generando bienestar familiar (Alteri y Nicholls, 2000).

Limitaciones.

Las limitaciones en la tenencia de tierra complican las inversiones a largo plazo en la agroforestería, debido a que invertir en especies arbóreas demora la obtención de utilidades para beneficios económicos (madera). La baja productividad de suelos degradados, aumento demográfico y crisis económicas, ejercen una presión en la vida social, ambiental y económica de las familias campesinas y debido a la falta de conciencia de plantar y recuperar el bosque y suelo por iniciativa de los agricultores, causa la migración a zonas urbanas en búsqueda de oportunidades (Yaguache y Carrión, 2000).

Además, los servicios ambientales generados no son valorados en el mercado, la falta de apoyo técnico en el diseño e implementación agroforestal obliga a los productores a asumir costos superiores de producción iniciales que generan ingresos al mediano o largo plazo (mientras que con cultivos agrícolas convencionales se generan ingresos a corto plazo), en ocasiones, los agricultores no visualizan los servicios (por ejemplo los ecosistémicos) proporcionados por los árboles, hasta que estos les generen ingresos económicos (Bautista et al., 2011).

Ecológico

Beneficios.

Uso racional de los componentes de manera sostenible, provee servicios como el reciclaje de nutrientes, control biológico de plagas y enfermedades, conservación de agua y suelo, disminuye emisiones de gases de efecto invernadero al asimilar y reutilizar los residuos vegetales por las especies forestales en asocio (Alteri y Nicholls, 2000).

Limitaciones.

Los gradientes de temperatura y humedad influyen en el rendimiento y ciclo de los cultivos, la incorporación de árboles puede ejercer efectos negativos como acumulación de sustancias alelopáticas para los cultivos, exceso de sombra y competencia por nutrientes y agua, entre otras (Ávila, 2017).

Caracterización de sistemas agrosilvícolas como arreglo agroforestal

Los sistemas agroforestales se agrupan de acuerdo con diversos criterios, entre estos: estructural, socioeconómico, funcional y ecológico (Ospina, 2006). Dichos criterios categorizan a los sistemas agroforestales y se especifican a continuación:

Criterio estructural

Dentro de la agroforestería coexisten las especies forestales, animales y de cultivos, interactuando entre sí, por lo que existe una interrelación e interdependencia entre los componentes que la conforman (forestal y agrícola para el caso de la agrosilvicultura), estableciendo un equilibrio para la conservación del suelo y brindar seguridad alimentaria ante el cambio climático (Hinojosa, 2010).

Criterio socioeconómico

Los SAF requieren de un costo de inversión inicial que no se retribuye al corto plazo, pero la diversidad de productos permite tener acceso a mayores fuentes de comercialización y pueden ser de autoconsumo, a su vez, reducen la dependencia a productos químicos fitosanitarios gracias a las interacciones diversas de los componentes dentro del sistema. Generalmente los sistemas agrosilvícolas se emplean en áreas minifundistas, para aprovechar de forma óptima el espacio disponible para producir (Gaona, 2009).

Criterio funcional

Los SAF aportan refugio y alimento para animales, mejoramiento del microclima, protección del suelo, diversidad paisajística y productos como: madera, frutos, abonos verdes, leña, entre otros. Los

árboles protegen a los cultivos de fluctuaciones climáticas; humedad, temperatura, viento y exposición directa al sol (Yaguache y Carrión, 2000).

Criterio ecológico

Los SAF poseen mayor pertinencia ecológica y eficiencia de uso de recursos, aplicarlos de forma constante permite la conservación de la biodiversidad, seguridad para las poblaciones rurales, adaptación al cambio climático, calidad del suelo, microclimas favorables, alternativas para el control de plagas y enfermedades, estimular el mercado local e intercambio de material con miembros de la comunidad, entre otras (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2014).

Ejemplo de sistemas agrosilvícolas

Algunos autores resaltan a través de sus investigaciones los beneficios obtenidos por medio de una producción a través de SAF en comparación con los sistemas agrícolas convencionales. Por ejemplo, Martínez (2020) realizó un estudio sobre la implementación de un sistema agrosilvícola en Michoacán, México, en el cual asoció especies de *Pinus michoacana*, *P. moctezumae* y *P. pseudostrobus* con cultivos como papa (*Solanum tuberosum*), arveja (*Vicia sativa*), haba (*V. faba*) y guisantes (*Pisum sativum*). Dicho sistema fue superior al testigo (que incluyó solamente especies forestales) en variables como: altura de las especies forestales, diámetro del tallo, sobrevivencia a factores bióticos y abióticos, mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, entre otras.

Teca clonal (*T. grandis*)

La teca es una de las especies maderables más importantes, con aproximadamente 6,8 millones de hectáreas plantadas alrededor del mundo (Madeiros et al., 2018). Es una especie arbórea caducifolia perteneciente a la familia Verbenaceae, originaria del sudeste asiático. Su madera es muy apreciada por sus propiedades tecnológicas y su atractivo estético, siendo considerada de alta calidad. Se destaca por su dureza, durabilidad y resistencia a las termitas, lo que la hace ideal para diversas aplicaciones, como la construcción de puentes, muebles, cabañas, fabricación de barriles y carpintería en general (Abdelnour y

Muñoz, 2005). Además, en Costa Rica es la especie más importante en los programas de reforestación comercial (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2015).

Esta especie es importante por su madera de alta calidad (alta durabilidad, resistencia a la humedad, plagas y hongos), resistencia a condiciones ambientales adversas (tolera periodos secos extensos) y un valor económico significativo (su madera es altamente demandada a nivel nacional e internacional) (Pelissari et al., 2014).

Específicamente la teca clonal muestra características y ventajas que la vuelven más valiosa, principalmente por el material genético seleccionado que garantiza un mayor desempeño productivo. Algunas particularidades son: un desarrollo más uniforme y acelerado (menor variabilidad por ser clones) que permite alcanzar la madurez del cultivo en menor tiempo, un crecimiento erecto caracterizado por una menor producción de ramas, mayor capacidad de resistir plagas y enfermedades que reduce la necesidad de insumos químicos, entre otras (Barrantes et al., 2021; Monteuiis y Maitre, 2006).

Además, la producción e incorporación de la teca clonal en un sistema agrosilvícola conlleva a ciertas ventajas, algunas de ellas son: a) resiliencia del sistema productivo al adaptarse fácilmente con cultivos y brindar un microclima favorable, b) mejorar la estructura y sostén del suelo por medio de sus raíces y biomasa aportada como especie caducifolia, c) ingresos diversificados (comercio de productos agrícolas a corto plazo y madera de calidad a mediano y largo plazo) y d) rentabilidad al sistema (Rivera, 2015). Al ser una especie muy versátil, se acopla muy bien bajo sistemas de producción agrosilvícolas.

Actividad agrícola de Rey Curré

Rey Curré es una reserva indígena de Costa Rica en la cual actividades agrícolas como la producción de maíz, ayote, yuca, frijol, aguacate y plátano constituyen el principal sustento económico (Lizano y Monge, 2015). Estos cultivos integran una fuente importante de carbohidratos y estimulan el intercambio y comercio en la comunidad. Algunas características de los cultivos más importantes, como lo son el

plátano y la yuca se describen a continuación (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [INTA], 2024; Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], sf):

Plátano: cultivo perenne capaz de producir racimos continuamente durante varios años (a través de retoños), requiere temperaturas entre 25°C y 30°C, precipitación de 1500 y 2500 mm anuales y suelos con pH de 5,5 a 6,5. Es una fuente importante de carbohidratos, cuya producción varía entre 20 a 40 toneladas por hectárea por año.

Yuca: es un cultivo perenne que requiere de temperaturas entre 25°C y 29°C, precipitación de 1000 a 2000 mm anuales y suelos con pH entre 5,2 y 6,5. Es muy resistente a la sequía y capaz de desarrollarse en suelos de baja fertilidad, cuyo rendimiento se encuentra entre 15 a 20 toneladas por hectárea por año.

uso de agroquímicos, tipos de cultivos, fertilizantes, modos de aplicación, uso de insumos agrícolas, entre otros. También se recuperó información sobre experiencias en agrosilvicultura, salud humana y ambiente.

Previo al diagnóstico, se validó el instrumento en tres fincas experimentales. Este documento partió de un instrumento base facilitado por el Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), al cual se le realizaron una serie de ajustes para abarcar aspectos forestales, ambientales y de salud humana. Tras la validación, se aplicó el diagnóstico en una muestra de 25 agricultores. De estas, se seleccionaron tres para llevar a cabo los experimentos, cumpliendo criterios específicos como topografía adecuada (sin pendientes pronunciadas); accesibilidad para la siembra, mantenimiento y cosecha de las especies; compromiso del propietario, experiencia y habilidades para mantener el sistema productivo, entre otros factores. Las respuestas se analizaron gráfica y numéricamente en Excel.

Selección de fincas

Durante las entrevistas realizadas en Rey Curré, se determinaron diferentes limitaciones de las fincas para establecer los ensayos con teca y cultivos [difícil acceso, cercanía al río o necesidad de cruzar el río para llegar a la finca, conflicto con fauna (animales que consumen los cultivos), pendientes pronunciadas en el terreno disponible para la siembra, propietarios con carencia de tiempo para dar seguimiento a los experimentos, entre otras]. Por lo que se trabajó con los agricultores Geiner Castro, Fernando Leiva y Noel Lázaro. Estos productores al momento de ser entrevistados demostraron responsabilidad ambiental, importancia en la salud humana al momento de trabajar en el campo y experiencia en prácticas de manejo agronómico de los cultivos, así como con sistemas agroforestales.

Muestreo de suelo y balance nutricional

Previo al establecimiento de las parcelas experimentales, se tomaron muestras de suelo en cada una de las tres fincas para realizar un análisis químico en el laboratorio de suelos del Instituto de Investigaciones y Servicios Forestales [INISEFOR]. Las muestras se recolectaron mediante un recorrido en zigzag, tomando cinco submuestras a 15 cm de profundidad, las cuales se homogeneizaron y cuartearon

hasta obtener 1 kg de suelo. Estas muestras se almacenaron en bolsas plásticas rotuladas y se enviaron al laboratorio en un máximo de 48 horas.

Los cálculos de aporte mineral del suelo se realizaron considerando una profundidad de 15 cm de suelo (volumen = 1500 m^3 y masa/ha = 1,5 M kg). Para el balance general en hectárea (aporte del suelo - absorción del cultivo), se incluyó en la ecuación el porcentaje de eficiencia de fertilización de acuerdo con la estructura del suelo. Se emplearon diferentes fuentes minerales disponibles en la zona, conforme al diagnóstico realizado.

Cada balance se realizó teniendo en cuenta la absorción de nutrientes por los cultivos según el libro de requerimientos nutricionales de Floria Bertsch (2009) y otras fuentes bibliográficas. La información detallada de los cálculos se envió a los agricultores antes de la siembra de los cultivos.

Para el equilibrio nutricional, se utilizó la necesidad del cultivo predominante o de importancia en cada tratamiento:

- El T1 se basó en la absorción de teca a un año de plantación
- El T2 se basó en la absorción del plátano
- El T3 en la absorción del chile
- El T4 en la absorción de yuca

Dado que el nitrógeno se encuentra mayormente en la materia orgánica del suelo y no está disponible de forma inmediata para las plantas, los cálculos se realizaron considerando un aporte de cero de este elemento.

Establecimiento del ensayo y diseño experimental

En las tres fincas seleccionadas se establecieron experimentos de sistemas agrosilvícolas con teca clonal y cultivos asociados previamente acordados con los agricultores (plátano, yuca y chile habanero). El material semilla se obtuvo de la comunidad, excepto el chile habanero, que se adquirió de un distribuidor

en Coronado, San José. La teca clonal se obtuvo del INISEFOR de la Universidad Nacional, Costa Rica, destacando por su alto rendimiento y fácil comercialización.

Antes del establecimiento de los experimentos, se prepararon los terrenos removiendo obstrucciones de luz (árboles, arbustos, entre otros). La teca se trasplantó con 6 a 8 semanas de edad, realizando hoyos de 10 cm de ancho por 15 cm de profundidad. Los cultivos se sembraron a diferentes distancias según el diseño experimental, que consistió en bloques completos al azar con tres repeticiones (Figura 2). Cada finca representó un bloque con cuatro tratamientos:

Tratamiento 1 (T1) - teca sin asocio

Tratamiento 2 (T2) - teca + plátano

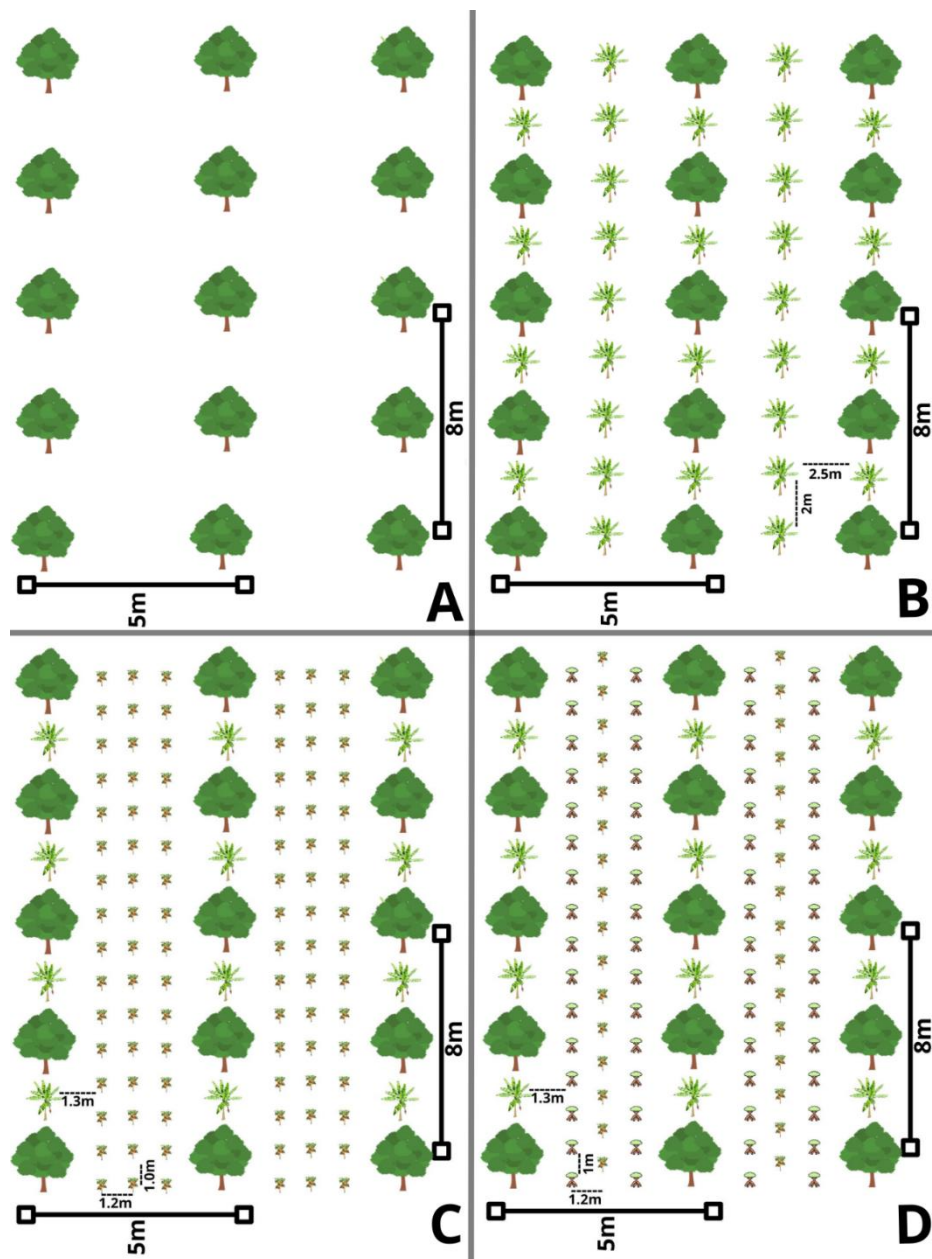
Tratamiento 3 (T3) - teca + plátano + chile

Tratamiento 4 (T4) - teca + plátano + chile + yuca

Tanto los cultivos, socios, espaciamientos, área y cantidades se definieron con base en lo practicado por las personas agricultoras en la zona. El área de terreno para cada parcela fue de 160 m², en cada una se sembró un total de 15 árboles a una distancia de 4 × 5m, configuración correspondiente al T1 (Figura 2A). En el T2, el plátano se sembró en una hilera entre árboles, a una distancia de 2 × 2,5m e intercalados entre las líneas de los árboles (a 2m de distancia de cada árbol) (Figura 2B).

Para T3, la teca y el plátano intercalado se sembraron a distancias iguales a las del T2, mientras que el cultivo de chile se sembró en 3 hileras entre las líneas de árboles, a una distancia de 1,2m entre hileras y 1,0m entre plantas (Figura 2C). Finalmente, en el T4 los cultivos y la teca mantuvieron la disposición de los anteriores tratamientos, y en este caso, la yuca se sembró en hileras intercaladas con el chile, a una distancia de 1,2m entre hileras y 1m entre plantas (Figura 2D). Todos los cultivos fueron establecidos simultáneamente con el trasplante de las especies forestales.

Figura 2. Disposición de cultivos dentro del sistema silvoagrícola: A) T1, B) T2, C) T3 y D) T4.



Nota. La figura muestra los arreglos y distanciamientos en metros (m) de los cultivos en cada uno de los tratamientos silvoagrícola. Elaborado por O. Quesada, 2025.

Manejo de la plantación

Los tratamientos se establecieron según la disposición mostrada en la figura 2. Sin embargo, el cultivo de chile no prosperó en ninguna de las fincas: la siembra inicial y dos resiembras posteriores (a intervalos de un mes) resultaron fallidas. En las parcelas que involucraban el cultivo de chile, el crecimiento avanzado del plátano a los cuatro meses, junto con la alta competencia de la vegetación favorecida por la época lluviosa, impidió el establecimiento del cultivo. Por lo tanto, se evaluaron únicamente los cultivos establecidos con las distancias previstas para el tratamiento 3 y 4.

Los manejos dados fueron:

- A) Fertilización: se realizaron dos aplicaciones de fertilizante químico (en el trasplante y desarrollo), según el análisis químico del suelo.
- B) Poda y uso de biomasa: se podaron únicamente los cultivos agrícolas:

Plátano: se realizó una poda de formación a los seis y nueve meses, con el objetivo de desarrollar una estructura uniforme y erecta en la planta. En este proceso, se eliminaron los brotes laterales y las hojas secas o dañadas. Tras la cosecha, se conservó únicamente el brote más compacto, robusto y desarrollado en dirección opuesta a la del racimo (hijo espada).

Yuca: se eliminaron las ramas y hojas no productivas (necróticas o cloróticas) y tejidos enfermos de las plantas. Este tipo de poda aplicó también para el cultivo de plátano.

Los residuos de poda se incorporaron al suelo del sistema agrosilvícola según el tratamiento.

- C) Plantas acompañantes: se cortaron y extrajeron aquellas que crecían alrededor de los cultivos durante los primeros meses de desarrollo de las especies. Esto para estimular el correcto desarrollo de las plantas durante su periodo crítico de competencia. Una vez transcurrido el tiempo, se dejaron crecer únicamente las especies de plantas acompañantes que brindaran beneficios al sistema (nectaríferas, atrayentes de organismos benéficos, de fácil manejo, fijadoras de nitrógeno, entre otras).

D) Plagas y enfermedades: como preventivo y cultural, se realizaron inspecciones diarias para determinar el momento oportuno de realizar las podas fitosanitarias y se permitió el desarrollo de arvenses en conjunto a los cultivos para la atracción de organismos benéficos que redujeran la proliferación de plagas específicas.

E) Cosecha: la cosecha de los cultivos se realizó en diferentes momentos:

Yuca: se cosechó una única vez durante el periodo de evaluación a los 10 meses después de la siembra.

Plátano: Se cosechó en dos ocasiones entre los 10 y 12 meses después de la siembra.

Evaluación de los tratamientos y procesamiento de datos

Se realizaron evaluaciones de los sistemas a los 6, 9 y 12 meses. Para la teca, se evaluaron las siguientes variables:

- Sobrevivencia: se determinó realizando conteos de los árboles vivos de cada tratamiento y repetición (Martínez y Castelán, 2008).
- Altura: se midió con una cinta, esto se realizó en todos los árboles.
- Diámetro a la altura del pecho (DAP): se midió a 1,3 metros sobre el suelo, envolviendo una cinta alrededor del tallo de cada árbol. Se midió a circunferencia al cuello de la planta en aquellos árboles que no alcanzaron la altura mínima en la primera y segunda evaluación.
- Volumen: para su estimación, se calculó el área basal diamétrica a un año de establecida la plantación, la ecuación consistió en la siguiente fórmula:

$$AB = \frac{\pi}{4} (D^2)$$

Donde:

AB: área basal en cm²

D: diámetro de la base en cm

El volumen se calculó con la siguiente fórmula:

$$Vol = AB * H * f$$

Donde:

AB: área basal en cm²

H: altura en cm

f: coeficiente mórfico (cuyo valor corresponde a 0,55), propuesto por Aguilar et al., (2017).

Análisis estadístico

Con las variables anteriores se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) de acuerdo con los tratamientos. Para esto se utilizó el programa estadístico R. En aquellos casos en los que no se cumplía con el supuesto de normalidad (Shapiro-Wilk, $p < 0,05$), se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

- Rendimiento:

El rendimiento de la yuca se evaluó mediante la selección y cosecha aleatoria del 25 % del total de plantas en el tratamiento específico donde se incorporó el cultivo. Las raíces cosechadas se pesaron utilizando una balanza. Para la estimación del rendimiento total, se sumaron los pesos obtenidos de las plantas evaluadas y se dividió el valor por el área cosechada. El resultado obtenido se expresó en kilogramos por hectárea.

Para esto se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Peso total de suma de raíces cosechadas (kg)} / \text{área cultivada (m}^2\text{)} \times 10,000$$

Para el cultivo de plátano, de igual forma, se seleccionó una muestra que representara el 25 % del total de plantas por tratamiento, se pesó cada racimo de plátanos cosechados, se sumaron los pesos y se dividió el valor por el área cosechada. El resultado se pasó a rendimiento en kilogramos / hectárea.

Determinación de la relación equivalente de tierra

Con los rendimientos obtenidos se calculó la relación equivalente de tierra (LER, por sus siglas en inglés), la cual indica la eficiencia de los cultivos en asociación en comparación con los monocultivos. Se define como la superficie relativa de tierra requerida para que los monocultivos produzcan los mismos rendimientos que los cultivos asociados. El LER emplea la siguiente fórmula (Mead y Willey, 1980):

$$LER = (LERp + LERc)$$

$$LERp = \frac{Y_{pi}}{Y_p}$$

$$LERc = \frac{Y_{ci}}{Y_c}$$

Donde:

Y_p e Y_c : rendimientos de los cultivos como monocultivos

Y_{pi} e Y_{ci} : rendimientos de los cultivos como cultivos asociados

Cuando el resultado fue superior a uno, significó que el cultivo en asocio favoreció el crecimiento y rendimiento de las especies asociadas, mientras que, cuando fue menor a uno, el cultivo en asociación afectó negativamente el crecimiento y rendimiento de las especies en comparación con su producción en monocultivo (Neamatollahi et al., 2013).

Para estimar los rendimientos en monocultivo requeridos en el cálculo de LER, se utilizaron valores promedio reportados por el Censo Agropecuario Nacional de Costa Rica (INEC), 2023, los cuales reflejan el comportamiento productivo de los cultivos bajo condiciones locales de manejo convencional. Estos datos representan rendimientos reales de sistemas en monocultivo, por lo que resultan adecuados como referencia comparativa frente al sistema de cultivo asociado evaluado. Esta metodología es común cuando no se dispone de parcelas experimentales de monocultivo bajo las mismas condiciones del estudio (Neamatollahi et al., 2013).

Divulgación de resultados

En el establecimiento de los tratamientos se contó con la participación de los agricultores, familiares y trabajadores. Las labores de mantenimiento de cada parcela se realizaron con ayuda de miembros del equipo de trabajo de la UNA y los productores. Después de cada jornada (en la mayoría de los casos) se abrieron espacios de diálogo para conversar sobre los sistemas productivos y los principios de una producción agroecológica.

Los resultados de la investigación se divulgaron en la comunidad indígena por medio de:

- A) Charla: una charla en la que se mostraron los principales hallazgos y resultados de los sistemas de producción en diferentes localidades de la comunidad de Curré. Esto se realizó en el salón comunal de Curré, centro de reunión de los miembros indígenas.
- B) Afiche informativo: se elaboró un brochure que proporcionó información sobre los beneficios y aplicaciones de los sistemas en la zona, en estos se detalló cada resultado de la investigación y fueron distribuidos tanto a los agricultores de la zona como en centros educativos para estimular la lectura estudiantil.

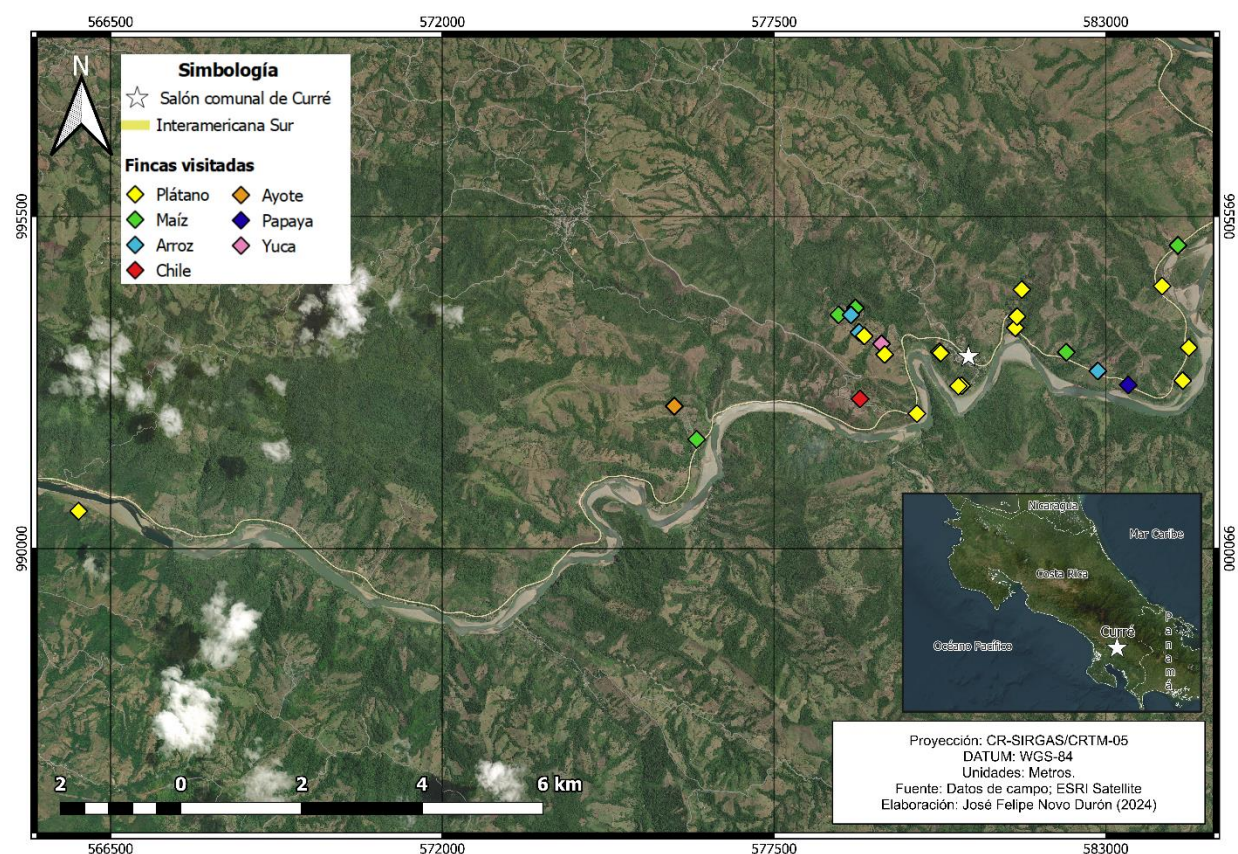
Capítulo IV: Resultados y discusión

Contexto de la comunidad de Rey Curré

Para identificar las condiciones y características de las fincas presentes en Rey Curré, se entrevistó y recopiló información de 25 agricultores: Maritza Leiva, Rafael Rojas, Rafael González, Geiner Castro, Senen Caballero, Ricardo Araya, Eduardo Delgado, Carlos Morales, Adrián Morales, Vicente Caldaña, Alan Vargas, Ulises Borbón, Wilfrido Mora, Daniel Leiva, Rogelio Lázaro, Fernando Barrantes, Braulio Araos, María Mora, Mingo Ovaes, Manuel González, Roberto Calderón, Fernando Leiva, Santiago González, Wilberth Rojas y Noel Lázaro. A través de estas visitas, se obtuvo información del manejo agronómico, sistemas agroforestales, componente salud y ambiente de la comunidad indígena. De todas las variables

analizadas, se muestran solamente aquellas que permiten abordar el análisis del contexto de las ficas de Rey Curré. La ubicación de las fincas visitadas se muestra en la figura 3.

Figura 3. Distribución geográfica de las personas agricultoras visitadas para la aplicación de la matriz diagnóstica.



Nota. La figura representa la ubicación específica de cada una de las fincas visitadas en Rey Curré y su cultivo predominante. Elaborado por F. Novo, 2025.

Manejo agronómico

A partir de la información obtenida en las entrevistas a una muestra de 25 agricultores en Rey Curré, se localizaron 40 sistemas productivos diferentes, distribuidos entre los cultivos de plátano (17 fincas), maíz (8 fincas), chile jalapeño y habanero (5 fincas), ayote (4 fincas), arroz (3 fincas), yuca (1 finca),

frijol (1 finca) y papaya (1 finca). En estas se identificó que en los últimos 3 años el cultivo de plátano, seguido por el maíz, el chile y la yuca fueron los más recurrentes como actividad productiva (Tabla 1).

Tabla 1. Cultivos producidos en Rey Curré durante los últimos 3 años (periodo 2022 - 2024).

Cultivos agrícolas producidos en los últimos 2-3 años	Número de productores que mencionaron producirlo
Plátano	23
Maíz	13
Chile	9
Yuca	8
Frijol	8
Arroz	6
Sandía	4
Ayote	4
Jengibre	3
Frijol de palo	3
Tiquisque	2
Papaya	1
Café	1

Nota. Diversos agricultores participaron de dos o más actividades productivas en los últimos 3 años.

Elaborado por O. Quesada, 2025.

Un 60% de los agricultores (as) entrevistados mencionaron que el cultivo de plátano es la actividad económica más importante, pero también la más dinámica y competitiva en el mercado, lo que disminuye el valor del producto y dificulta obtener ganancias o recuperar los costos de inversión. El maíz se comercializa de forma local, mientras que el chile (al igual que el plátano) se distribuye a comerciantes externos y la yuca se produce para autoconsumo. Por la razón de que el cultivo de plátano, chile y yuca son muy recurrentes y producidos en la zona fue que se seleccionaron en común acuerdo con los productores para que formaran parte de los sistemas agrosilvícolas evaluados en esta investigación.

El patrón productivo en el que el plátano, maíz, chile y yuca constituyen los cultivos de mayor importancia económica en Rey Curré, coincide con tendencias regionales en el Pacífico Sur de Costa Rica, donde el plátano representa una de las principales fuentes de ingresos para pequeños y medianos

agricultores, pero también uno de los cultivos más vulnerables a la fluctuación de precios y a la presión de plagas y enfermedades (González et al., 2025).

La situación competitiva en el mercado de cultivos, junto con la multicrisis que afecta a la agricultura y a la seguridad alimentaria, impacta especialmente a los pequeños agricultores. Álvarez y Cárcamo (2025) señalan que las crisis productivas han perjudicado con mayor intensidad a Centroamérica, debido al limitado desarrollo económico, social y político, su alta vulnerabilidad a los efectos del cambio climático y su dependencia alimentaria. Aunque Costa Rica representa una excepción relativa gracias a un modelo de desarrollo más sólido, la dinámica competitiva del mercado (caracterizada por una alta oferta frente a una demanda limitada) provoca una disminución en el valor de los productos, dificultando la recuperación de los costos.

La forma de producir en Rey Curré es predominantemente convencional y monocultivista, en especial con el cultivo de plátano, chile habanero y maíz. Por lo general, los agricultores entrevistados mencionaron utilizar agroquímicos para el manejo de malezas, plagas y enfermedades que afectan a sus cultivos. Los 40 sistemas productivos visitados conforman un área total de 51,41 hectáreas, distribuidas en diferentes zonas de Rey Curré. El uso de agroquímicos en kilogramos de ingrediente activo por hectárea por año se muestra en la tabla 2. Cabe señalar que se logró entrevistar a un productor adicional para este apartado.

Tabla 2. Uso en kg ha^{-1} /año de i.a de plaguicidas en Rey Curré.

Acción biocida	Ingrediente activo	kg ha^{-1} /año
Herbicida	Paraquat	3,4637
	Glifosato	1,6741
	2,4-D	0,2163
	Fluazifop-P-Butil	0,0032
Fungicida	Captan	7,3482
	Mancozeb	3,4069
	Fosetil-Al	0,4499
	Propamocarb	0,2699
	Azoxistrobina	0,0937
	Carboxín	0,0041
Insecticida	Cipermetrina	4,4031

Dimetoato	2,5552
Terbufós	0,2087
Oxamil	0,1605
Etoprofos	0,1511
Diazinón	0,0448
Bifentrina	0,0281
Permetrina	0,0225
Imidacloprid	0,0158
Abamectina	0,013
Deltametrina	0,0028
Ciflutrina	0,0037

Nota. Valores expresados en kg ha⁻¹/año corresponden al uso promedio ponderado. Elaborado por O.

Quesada, 2025.

Los agricultores abonan sus cultivos con fertilizantes sintéticos como: urea, nitrato de amonio, fosfato diamónico, cloruro de potasio, nitrato de potasio, 10-30-10, 0-0-60, 15-3-31, entre otras.

El predominio del monocultivo en la zona se asocia con una alta dependencia de insumos químicos para el control de plagas y enfermedades en Costa Rica (Quesada y Ramírez, 2023). Los plaguicidas más utilizados son paraquat (3,46 kg i.a. ha⁻¹/año), glifosato (1,67 kg i.a. ha⁻¹/año), captan (7,34 kg i.a. ha⁻¹/año), mancozeb (3,40 kg i.a. ha⁻¹/año), cipermetrina (4,40 kg i.a. ha⁻¹/año) y dimetoato (2,56 kg i.a. ha⁻¹/año), todos considerados como Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAPS) en Costa Rica (Ramírez, 2023).

Estas cifras son consistentes con diagnósticos nacionales que ubican a Costa Rica entre los países con mayor uso per cápita de plaguicidas en el mundo, encabezando el primer lugar en el 2023 (Vargas, 2022; Pomareda, 2023). La aplicación de estos productos no solo genera riesgos ambientales, sino también riesgos a la salud humana, tal como ha sido documentado en comunidades rurales expuestas a herbicidas y fungicidas en la región (Alvarado et al., 2022).

A pesar de ello, algunos productores indicaron incluir, según sus posibilidades, prácticas sostenibles en su actividad productiva como: rotación de cultivos, inclusión de árboles, fertilización con abonos orgánicos, reincorporación de biomasa vegetal, diversificación productiva y policultura. Esto se tomó en consideración durante la selección de fincas para los experimentos.

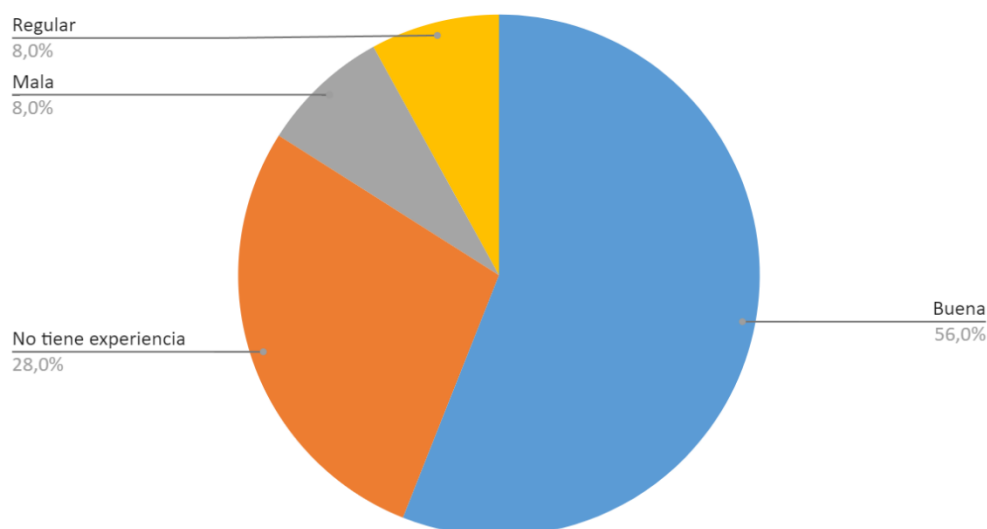
Experiencias en agrosilvicultura o sistemas agroforestales

Como parte del análisis del contexto en la comunidad de Curré, se recopiló información sobre experiencias previas y la presencia de sistemas agroforestales establecidos. De las fincas visitadas, 17 contaban con al menos un sistema agroforestal, clasificados en agrosilvícolas, silvopastoriles y agrosilvopastoriles. La especie forestal más frecuente fue *Leucaena leucocephala* Lam, presente en siete fincas, generalmente asociada al cultivo de plátano.

A pesar del predominio de la producción convencional, existe una base práctica y cultural de integración árbol-cultivo-ganado. En Costa Rica, la adopción de sistemas agroforestales y silvopastoriles se ha promovido desde la década de 1990, con programas como el Pago por Servicios Ambientales (PSA), que han incentivado la siembra de árboles en paisajes productivos (Porras et al., 2022). Rey Curré, accedió a financiamiento de PSA en 2024, por la protección de 2.709 hectáreas de bosque (Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE], 2024).

También se consultó a los agricultores sobre las especies forestales de su interés o preferencia, identificándose, en orden de mayor a menor: *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Albizia adinocephala*, *Leucaena leucocephala*, *Inga edulis*, *Gliricidia sepium*, entre otras. Debido al interés por *T. grandis*, se indagó a los 25 productores sobre su experiencia en el manejo de esta especie: 14 participantes (56%) manifestaron una opinión favorable, 7 (28%) indicaron no haber trabajado con ella y 4 (16%) expresaron una percepción regular o desfavorable (Figura 4).

Figura 4. Percepción de los agricultores basada en la experiencia con la especie *T. grandis*.



Nota. La figura expresa la distribución porcentual de la percepción de los participantes evaluados hacia la especie forestal. Elaborado por O. Quesada, 2025.

El interés expresado por los productores en especies de madera como *T. grandis* y *G. arborea* (melina) está relacionado a las tendencias nacionales de diversificación en especies forestales comerciales de rápido crecimiento, muy valoradas en el mercado de la madera (Pelissari et al., 2014). Además, en la zona es muy utilizada para la construcción de cabañas (Fernando, L. comunicación personal, 10 de diciembre de 2024). La teca predomina en Costa Rica y representa una de las especies maderables más importantes a nivel mundial, con aproximadamente 6,8 millones de hectáreas plantadas en el 2018 (Madeiros et al., 2018). Los agricultores locales tienen conocimiento de su valor comercial y rápido crecimiento de los clones, lo que explica su marcado interés en establecer plantaciones de esta especie.

En varias fincas plataneras se aprovechan árboles de regeneración natural, tales como *Samanea saman* (cenízaro), *Ochroma pyramidale* (balsa), *Astronium graveolens* (ronrón), *Calycophyllum candidissimum* (madroño), *Muntingia calabura* (capulín), *A. adinocephala* (gavilancillo) y *G. arborea*, con el propósito de proporcionar sombra al plátano durante la época seca y, a la vez, disponer de un recurso maderable. En fincas con sistemas silvopastoriles, las cercas vivas están conformadas por *Bursera*

simaruba (jiñocuabe), *Jatropha curcas* (tempate), *Guazuma ulmifolia* (guácimo), *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaste), *Attalea butyracea* (palma real) y *G. sepium* (madero negro).

La presencia de árboles de regeneración natural muestra la relevancia del manejo tradicional en proveer sombra y madera, prácticas que además contribuyen a la regulación microclimática y a la resiliencia de los cultivos frente a sequías (Villarreyna et al., 2020). Esto es especialmente importante en zonas con marcada estacionalidad climática como Rey Curré.

Además, la composición diversa de cercas vivas en los sistemas productivos con especies como *G. sepium*, *B. simaruba* y *E. cyclocarpum* concuerda con lo expresado en estudios realizados por Harvey et al., 2007), quienes evaluaron la importancia relativa de arreglos agroforestales (cacao y banano) para la conservación de la biodiversidad en reservas indígenas de Talamanca, Costa Rica y evidenciaron que estos sistemas incrementan la conectividad ecológica, proveen hábitat para la fauna y vuelven a los sistemas resilientes.

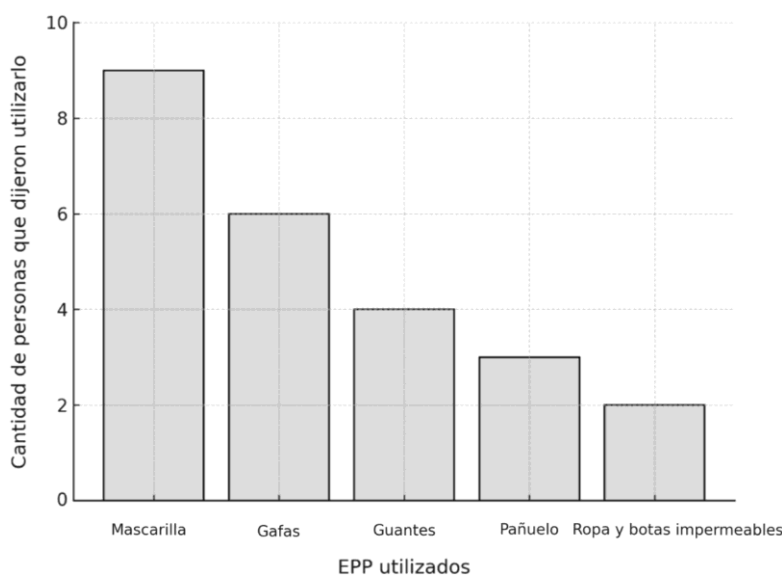
Componente de salud

Un aspecto crítico identificado en la implementación de sistemas agrosilvícolas está relacionado con la salud de los agricultores. Si bien manifestaron interés en producir de forma que no comprometa su bienestar, se evidenció que las prácticas convencionales aún implican una alta exposición a agroquímicos. Un 40% de los entrevistados no utiliza equipo de protección personal (EPP) al aplicar plaguicidas, mientras que el 60% restante lo emplea de forma parcial y no simultánea, priorizando mascarillas, gafas y guantes (Figura 5).

Existe una brecha entre la conciencia del riesgo y su mitigación efectiva, lo que constituye una realidad ampliamente documentada. Estudios comparativos en Costa Rica (por ejemplo, en Zarcero) muestran que la mayoría de los plaguicidas utilizados por pequeños agricultores son considerados altamente peligrosos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), y a pesar de ello, su uso está presente sin las medidas de protección adecuadas (Ramírez, 2023; Damales y Allahyari, 2016).

Un metaanálisis en países en desarrollo realizado por Desye et al. (2024) estimó que solo el 43,1 % de los agricultores adopta prácticas seguras en el manejo de plaguicidas, y que las condiciones para una aplicación segura son mucho más probables si tienen conocimientos, actitudes positivas, educación formal y experiencia acumulada.

Figura 5. Equipos de protección personal utilizados por las personas entrevistadas.



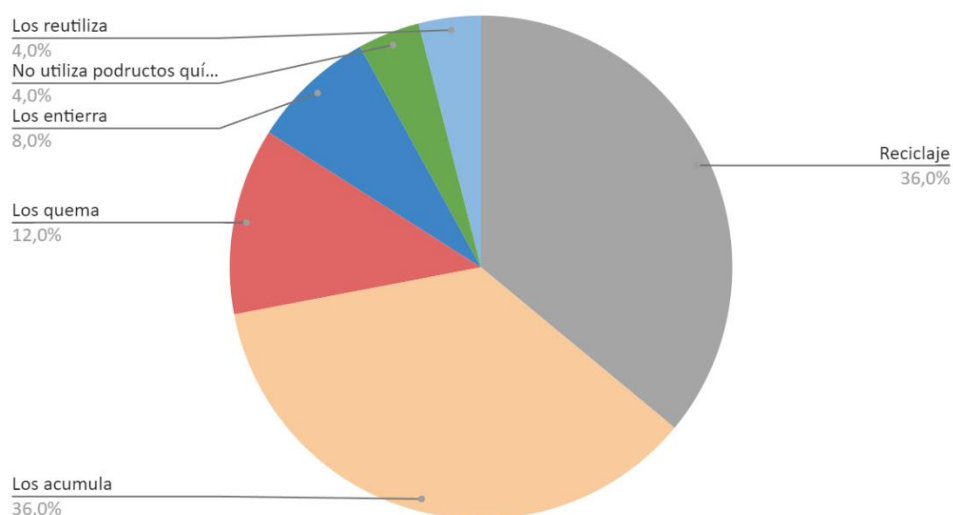
Nota. La figura muestra la distribución del número de agricultores que utilizan equipos de protección personal (EPP) durante sus actividades laborales en campo. Elaborado por O. Quesada, 2025.

Es importante señalar que 17 de los 25 agricultores indicaron no haber recibido capacitación sobre el uso adecuado y la importancia del equipo de protección personal. En cuanto a la protección frente a la radiación solar, mencionaron emplear ropa cómoda y apropiada, usar sombrero, mantener una adecuada hidratación diaria y realizar las labores de finca en horarios de menor incidencia solar.

Componente de ambiente

Los agricultores coinciden en que la sostenibilidad ambiental es clave, y el 96 % está dispuesto a adoptar medidas para minimizar impactos sobre el suelo, agua y ambiente. Sin embargo, hay diferencias en la gestión de residuos de plaguicidas: algunos reciclan los envases, mientras otros los entierran, acumulan o queman (Figura 6).

Figura 6. Destino de los recipientes u otros residuos de plaguicidas utilizados en Rey Curré.



Nota. La figura representa la distribución porcentual del manejo y disposición final de envases de productos químicos utilizados por los agricultores. Elaborado por O. Quesada, 2025.

Los residuos orgánicos generados por la actividad agrícola (biomasa vegetal) son reincorporados al sistema de producción en el 92% de los casos, mientras que el restante 8% se utilizan para generar abono orgánico o amontonarlos fuera de la finca.

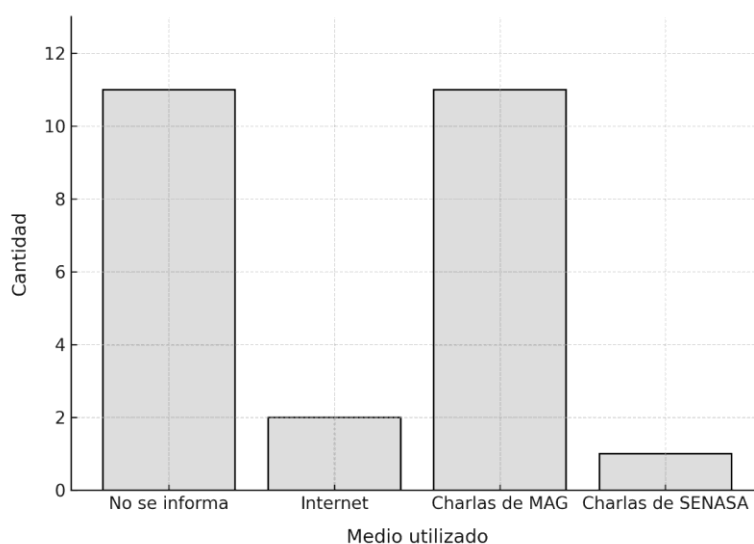
Hay conciencia ambiental, pero también prácticas arriesgadas con plaguicidas y sus residuos. Telidis et al., (2008), mencionan que los métodos comunes al deshacerse de envases incluyen arrojar al campo, quemar o enterrar, lo cual representa un riesgo para el suelo y el ambiente. En Costa Rica, se sugiere una necesidad de fortalecer la capacitación para la gestión segura de residuos químicos. Una alternativa utilizada por Hart (2016) fue la conversión de residuos agrícolas en carbón para filtrar agroquímicos antes de su disposición final.

En la comunidad de Rey Curré, la capacitación recibida en torno a prácticas agrícolas responsables y sostenibilidad ambiental proviene principalmente de charlas impartidas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), que presenta un rol histórico en los procesos de extensión rural en Costa Rica (MAG, 2015). Algunos agricultores manifestaron recurrir a capacitaciones independientes en internet o charlas

organizadas por el Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA), especialmente en temas de manejo de plaguicidas y buenas prácticas agrícolas.

Sin embargo, 11 de los 25 agricultores entrevistados no recibieron ningún tipo de capacitación en esta materia (Figura 7), lo que representa un desafío importante en la transferencia de conocimientos técnicos a las comunidades rurales e indígenas. En Costa Rica, la asistencia técnica brindada por el MAG a los productores agrícolas solo alcanza el 29 %, mientras que las casas comerciales cubren alrededor del 50 % (Vargas, 2022), lo que se vincula al alto uso de insumos químicos en el país.

Figura 7. Medios de información utilizados por los agricultores de Rey Curré para capacitarse sobre prácticas agrícolas responsables.



Nota. La figura expresa la distribución del número de agricultores según el medio utilizado para informarse sobre prácticas agrícolas responsables. Elaborado por O. Quesada, 2025.

Características químicas de los suelos

Todas las fincas presentaron deficiencias de 3 minerales: nitrógeno, fósforo y potasio. Para cubrir esas necesidades, se utilizaron abonos que se encuentran disponibles en la zona y son de uso común entre agricultores (de acuerdo con la entrevista realizada durante el diagnóstico), como Urea, 10-30-10 y Fosfato Diamónico (DAP). La necesidad nutricional por parcela se presenta en los anexos 1, 2 y 3.

Los resultados del análisis químico del suelo del T1, T2, T3 y T4 de la parcela de Noel se muestran en la tabla 3. Para el T1, el suelo contenía los minerales necesarios para el cultivo en proporciones adecuadas, aunque presentaba deficiencias de nitrógeno (ver anexo 1). En el caso del T2, el potasio y nitrógeno fueron los elementos limitantes para el cultivo predominante (plátano). En el T3 y T4, solamente nitrógeno.

Tabla 3. Resultados del análisis químico del T1, T2, T3 y T4 de la finca del productor Noel Lázaro.

Análisis químico del suelo												
			cmol(+)/L				%		mg/L			
Tratamiento	pH	acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
T1	6,96	0,10	38	6,6	0,64	45	0	63	0,25	1,7	29	33
T2	6,91	0,10	39	6,4	0,45	46	0	32	0,92	1,8	30	27
T3	7,25	0,10	36	6,2	1,0	43	0	79	1,6	1,7	22	37
T4	7,49	0,10	40	6,7	0,97	48	0	96	1,9	1,9	24	34

Nota. Macronutrientes catiónicos expresados cmol(+)/L y micronutrientes + P en mg/L, el análisis químico no incluye valores de N y S. Adaptado de resultados del laboratorio de Análisis de Suelos y Foliare del INISEFOR, 2024.

En el caso de Geiner, en la parcela T1, se encontraron cantidades adecuadas de los minerales esenciales para el cultivo; sin embargo, se detectaron deficiencias en nitrógeno y fósforo (anexo 2). Para la parcela T2, los nutrientes limitantes fueron potasio, nitrógeno y fósforo. En el T3 y T4, fueron el nitrógeno y fósforo. En la tabla 4 se muestran los resultados del análisis químico.

Tabla 4. Resultados del análisis químico del T1, T2, T3 y T4 de la finca del productor Geiner.

Análisis químico del suelo												
			cmol(+)/L				%		mg/L			
Tratamiento	pH	acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
T1	6,18	0,10	32	13	0,52	46	0	7,5	1,2	2,1	48	31

T2	6,23	0,20	38	11	0,45	50	0	9,1	2,3	2,9	60	40
T3	6,53	0,20	33	14	0,86	48	0	16	2,5	2,4	43	14
T4	6,10	0,10	26	16	0,54	43	0	8,2	2,6	2,9	50	102

Nota. Macronutrientes catiónicos expresados cmol(+)/L y micronutrientes + P en mg/L, el análisis químico no incluye valores de N y S. Adaptado de resultados del laboratorio de Análisis de Suelos y Foliare del INISEFOR, 2024.

Para Fernando, en la parcela T1, se hallaron deficiencias de nitrógeno y fósforo (anexo 3). En la parcela T2, se obtuvo como nutrientes limitantes el potasio, el nitrógeno y el fósforo. En la parcela T3, nitrógeno y en la T4, potasio y nitrógeno. La tabla 5 permite observar los resultados de laboratorio.

Tabla 5. Resultados del análisis químico del T1, T2, T3 y T4 de la finca del productor Fernando

Análisis químico del suelo												
		cmol(+)/L					%		mg/L			
Tratamiento	pH	acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
T1	6,92	0,10	26	4,4	0,49	31	0,3	33	1,8	3,6	69	6,4
T2	6,92	0,19	30	5,4	0,56	36	1	38	2,2	3,6	72	6,0
T3	6,85	0,10	26	4,6	0,57	31	0	36	2,3	3,4	68	6,1
T4	7,02	0,10	23	5,9	0,22	29	0,3	51	1,4	4,4	43	13

Nota. Macronutrientes catiónicos expresados cmol(+)/L y micronutrientes + P en mg/L, el análisis químico no incluye valores de N y S. Adaptado de resultados del laboratorio de Análisis de Suelos y Foliare del INISEFOR, 2024.

Los suelos de la región de Curré presentan características variables según la finca. En el caso de Noel, la textura predominante fue franco arcilloso arenosa, lo que se traduce en un suelo con buen drenaje y aireación. En cambio, las fincas de Geiner y Fernando se caracterizaron por suelos arcillosos, con una alta capacidad de intercambio catiónico y mayor retención de humedad (Angulo y Zavaleta, 2020). Estas diferencias en la textura condicionan la disponibilidad y movilidad de los nutrientes detectados como limitantes en el análisis químico (Rodríguez y Peñuela, 2020).

Fallas (2014) evaluó la respuesta de la teca a diferentes dosis de fertilización con N-P-K en ultisoles de la zona norte de Costa Rica. En plantaciones menores de dos años, los árboles solamente requirieron aportes de K para no comprometer el diámetro. Entre los 3 y 7 años, los mayores incrementos en diámetro se lograron con 220 g de N. Entre los 3 y 11 años el tratamiento de 300 g de P favoreció a la plantación en comparación al testigo sin fertilizar. En cuanto al K, en la primera etapa el mejor tratamiento fue 220 g; y en la última, el mejor fue 160 g. La fertilización representó una diferencia económica mínima de US\$ 15 876 por hectárea a favor de las plantaciones fertilizadas.

Sin embargo, en un estudio realizado por Fernández et al., (2017) en plantaciones de teca de Costa Rica, mencionan que la fertilización con N-P-K mostró efectos limitados y variables según la edad del rodal: no se registraron mejoras en crecimiento a los 3 y 10 años de edad, mientras que a los 1 y 6 años hubo respuestas positivas a la fertilización. Se requiere de más investigaciones que consideren diferentes edades, sitios y periodos de evaluación para definir con mayor precisión los requerimientos nutricionales de la especie.

Furcal et al., (2014) evaluaron el efecto de la fertilización nitrogenada y potásica en el cultivo de plátano en La Fortuna, San Carlos y observaron efectos positivos en el crecimiento y la producción, principalmente con aplicaciones de 100 y 200 kg N/ha. El potasio no generó respuesta en el primer ciclo (factor atribuido a la incidencia de una enfermedad), aunque en el segundo año sí favoreció el tamaño y calibre del fruto.

Torres et al., (2015) estudiaron el efecto de métodos de fertilización N-P-K en el cultivo de yuca en tres fincas ubicadas en San Carlos, y Los Chiles. En su estudio se encontró que la fertilización combinada suelo-foliar fue la más efectiva para aumentar el rendimiento y la calidad de la yuca, especialmente en suelos de fertilidad media y baja, aunque también mostró mejora en los suelos de alta fertilidad. Por otro lado, Howeler (2002), en una revisión para América Latina, enfatizó que la deficiencia crónica de minerales

como el nitrógeno y potasio en yuca provoca raíces más pequeñas, baja acumulación de almidón y, en algunos casos, aumento de la concentración de compuestos cianogénicos, lo que limita su uso alimentario.

Evaluaciones en el crecimiento de la teca

Al mes después de la siembra de teca, se hizo conteo de mortalidad y no se registraron pérdidas de árboles en la parcela de Fernando, por lo que no fue necesario efectuar resiembra. En la finca de Geiner se encontró una planta muerta en el T3 y en la de Noel una planta muerta en el T1 y otra en el T4. Estas fueron sustituidas una semana después. A los seis meses, se registraron solamente dos plantas muertas, una en el T2 de la finca de Noel y otra en el T3 de Geiner; sin embargo, debido al crecimiento y la competencia entre las plantas restantes, no se efectuaron nuevas resiembras. No hubo más mortalidad a los nueve meses ni al año de evaluación.

A los seis meses del establecimiento de la plantación de teca, la mayoría de los árboles presentaron alturas insuficientes para la medición del diámetro a la altura del pecho (DAP), por lo que el área basal registrada correspondió a estimaciones a partir de la circunferencia en la base de cada árbol. Los datos de altura y área basal no cumplieron el supuesto de normalidad para abordarlos con un ANDEVA, y la prueba de Kruskal-Wallis (95 % de confianza) no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,2176$ y $p = 0,4474$ para altura y área basal, respectivamente). Los valores promedios de altura y área basal, junto con sus intervalos de confianza, se presentan en la tabla 6.

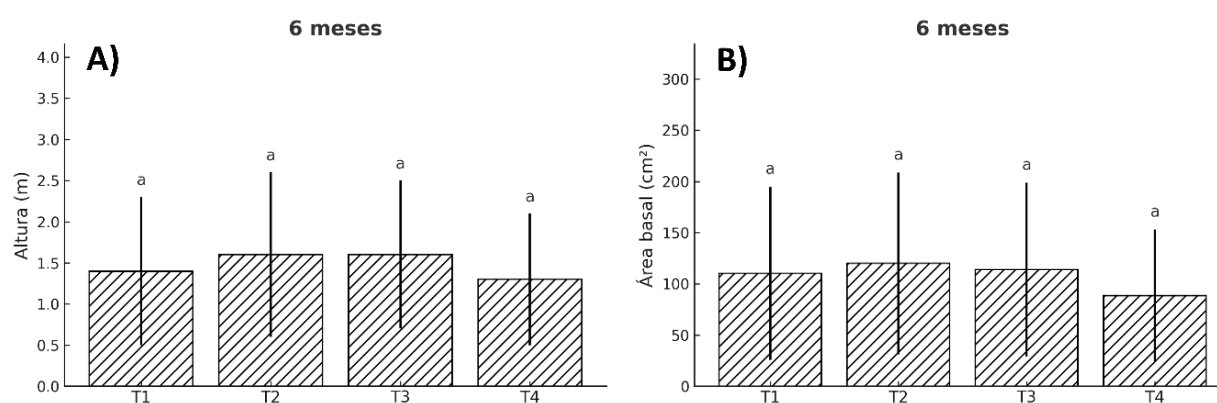
Tabla 6. Valores mínimos y máximos en la altura y área basal de la circunferencia de la teca a los seis meses después del trasplante.

Tratamiento	N	Altura (m)			Área basal circunferencia (cm)		
		Mín	$\bar{x}$	Máx	Mín	$\bar{x}$	Máx
1	45	0,23	$1,4 \pm 0,9^a$	3,21	2,84	$110,32 \pm 84,59^a$	301,72
2	44	0,29	$1,6 \pm 1^a$	3,80	15,90	$120,05 \pm 88,8^a$	298,65
3	44	0,30	$1,6 \pm 0,9^a$	3,35	6,61	$113,86 \pm 84,96^a$	289,53
4	45	0,19	$1,3 \pm 0,8^a$	3,21	3,46	$88,65 \pm 64,36^a$	235,06
General	178	0,19	$1,5 \pm 0,9$	3,8	2,84	$108,12 \pm 81,35$	301,72

Nota. N: número de árboles por tratamiento; Mín: mínimo; Máx: máximo, $\bar{x}$: promedio, cada promedio está seguido de su respectivo intervalo de confianza, letras iguales indican ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). Elaborado por O. Quesada, 2025.

En la figura 8 se expresa de manera comparativa la altura (A) y área basal (B) de cada tratamiento. Dada a la temprana evaluación de las plantaciones de teca, no se visualiza una aparente diferencia en los valores de cada tratamiento.

Figura 8. Altura (A) y área basal de la circunferencia (B) de la teca a los seis meses después del trasplante.



Nota. Letras iguales indican ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). Elaborado por O. Quesada, 2025.

La ausencia de diferencias significativas entre tratamientos puede atribuirse al reducido tamaño y la etapa inicial de desarrollo de las plantas al momento de evaluarlas, en la cual las condiciones microambientales suelen tener mayor influencia que los factores de manejo, por lo que el efecto de cada tratamiento aún no es visible, tal y como sucedió en el estudio de López et al., (2018) con plantaciones jóvenes de teca en Guatemala (2,6 a 7 años).

Goh et al., (2013) midieron clones desde el momento de la plantación hasta los 7 años. Encontraron que las diferencias significativas en altura se expresaban a partir de los 2 años, con una mejora genética estimada de +0,66m en altura para los clones más productivos respecto al promedio. El DAP y el volumen a partir de los 3 años con +0,87 cm y +4,65 dm³, respectivamente.

Mollinedo et al., (2016) analizaron 248 parcelas de teca con mediciones anuales durante varios años y encontraron que las diferencias estadísticamente significativas en el incremento medio anual en altura (entre sitios y clases de crecimiento) incrementaban más con la edad del rodal, especialmente después de los primeros años de establecimiento.

Lo mencionado anteriormente cobra sentido incluso con los datos de la medición a los nueve meses de establecida la plantación (Tabla 7). Ya que, tampoco se detectaron diferencias significativas en la altura y AB de los tratamientos ($p = 0,1962$ y $p = 0,3534$, respectivamente). Las alturas oscilaron entre 1,7 y 2,2 m, con intervalos de confianza amplios que reflejan la variabilidad dentro de cada tratamiento (Figura 9).

Tabla 7. Valores mínimos y máximos en la altura y área basal de la circunferencia de la teca a los nueve meses después del trasplante.

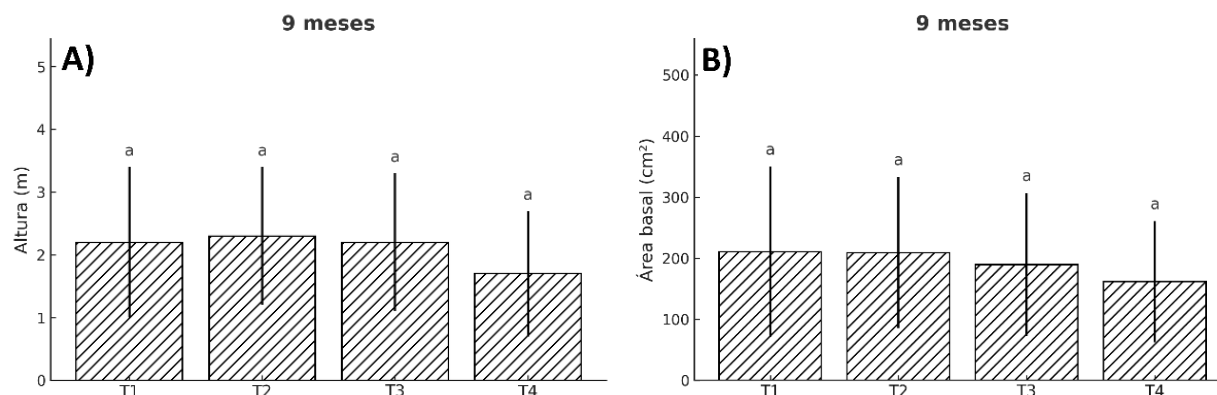
Tratamiento	N	Altura (m)			Área basal circunferencia (cm)		
		Mín	$\bar{x}$	Máx	Mín	$\bar{x}$	Máx
1	45	0,29	2,2±1,2 ^a	5,12	7,07	210,71±138,85 ^a	494,81
2	44	0,53	2,3±1,1 ^a	4,70	25,52	209,11±123,49 ^a	448,63
3	44	0,37	2,2±1,1 ^a	4,85	16,62	189,69±116,84 ^a	452,39
4	45	0,25	1,7±1,0 ^a	3,97	9,62	161,7±99,09 ^a	387,08
General	178	0,25	2,1±1,1	5,12	7,07	192,73±121,04	494,81

Nota. N: número de árboles por tratamiento; Mín: mínimo; Máx: máximo, $\bar{x}$: promedio, cada promedio está

seguido de su respectivo intervalo de confianza, letras iguales indican ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). Elaborado por O. Quesada, 2025.

A pesar de no haber diferencias estadísticas en la altura, en la figura 9 se puede apreciar un aparente menor crecimiento en el tratamiento 4.

Figura 9. Altura (A) y área basal de la circunferencia (B) de la teca a los nueve meses después del trasplante.



Nota. Letras iguales indican ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). Elaborado por O. Quesada, 2025.

Estudios sobre modelos de crecimiento en Latinoamérica, como el enfoque GADA (*Generalized Algebraic Difference Approach*) aplicado en Colombia, destacan que variables como la altura requieren una ventana temporal mayor y control de productividad de sitio para mostrar efectos diferenciados (Martínez y Orrego, 2024). En plantaciones de Costa Rica, se ha enfatizado que el índice de sitio es una variable clave para modelar y proyectar el crecimiento en estas etapas tempranas, debido a la variabilidad edáfica y climática que puede existir entre zonas (Bermejo et al., 2004).

Al año de establecida la plantación, la mayoría de las plantas contaban con un tamaño adecuado para la medición del DAP y con ello la estimación del volumen. En cuanto a la variable altura, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,00868$). La teca en asociación con plátano (T2) mostró un crecimiento superior a todos los demás tratamientos (3,5m), seguida de la teca sin asociación (T1) con 3,4m. El tratamiento que incluyó mayor número de cultivos presentó una menor altura de la teca, con 2,7m (tabla 8).

En el caso del DAP, los datos no cumplieron con los supuestos del ANDEVA, por lo que se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, la cual no arrojó diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,3106$). Lo mismo ocurrió para el volumen ($p = 0,3049$).

Tabla 8. Valores promedio, mínimos y máximos en la altura, DAP y volumen de la teca al año después del trasplante.

Trmt	n	Altura (m)			DAP (cm)			Volumen (m ³ ha ⁻¹)		
		Mín	$\bar{x}$	Máx	Mín	$\bar{x}$	Máx	Mín	$\bar{x}$	Máx
1	45	0,02	3,4±1,6 ^{ab}	7,25	3,6	11±4,8 ^a	20	0,03	0,26 ± 0,25 ^a	0,52
2	44	1,06	3,5±1,1 ^a	5,75	3	10,6±3,8 ^a	17,1	0,06	0,2 ± 0,19 ^a	0,41
3	44	0,82	3,3±1,2 ^{ab}	6,15	4,1	9,9±4 ^a	19,3	0,06	0,18 ± 0,18 ^a	0,38
4	45	0,38	2,7±1,2 ^b	4,87	3,5	9,2±2,9 ^a	16,5	0,048	0,11 ± 0,09 ^a	0,21
General	180	0,02	3,2±1,3	7,25	3	10,2±4	20	0,03	0,19 ± 0,17	0,52

Nota. N: número de árboles por tratamiento; DAP: diámetro a la altura de pecho; Mín: mínimo; Máx:

máximo, $\bar{x}$: promedio, cada promedio está seguido de su respectivo intervalo de confianza, letras iguales indican ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). Elaborado por O. Quesada, 2025.

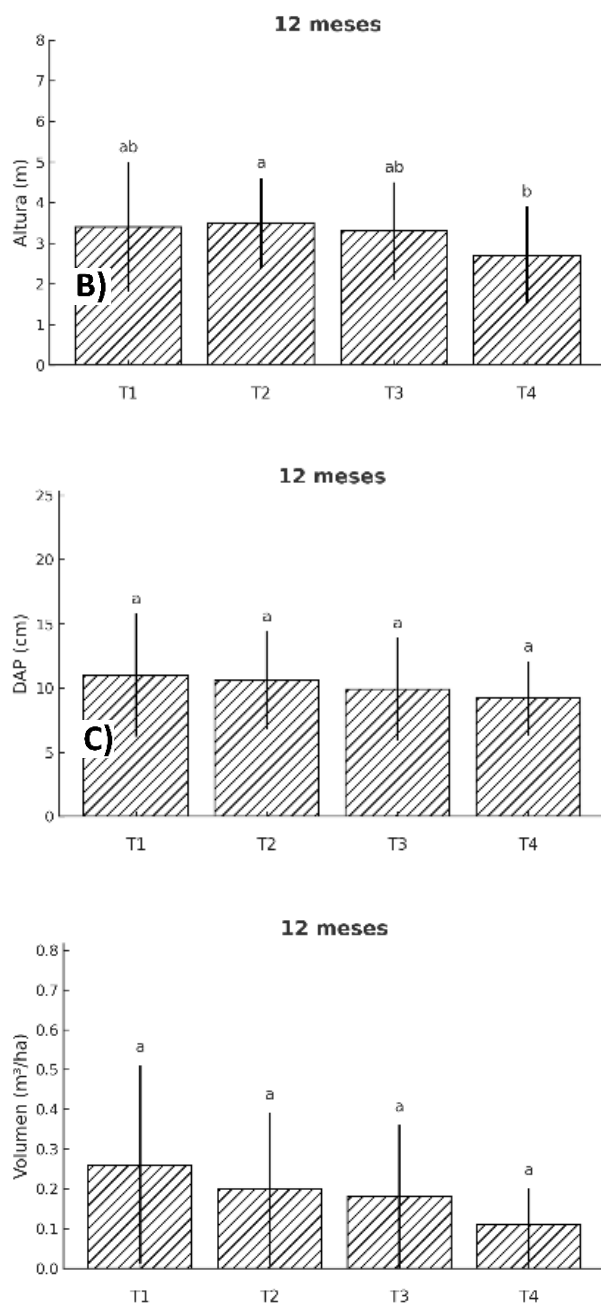
Schargel y Hernando (2008) evaluaron una asociación agroforestal de teca (de un año) sola y en asocio con yuca, establecida sobre suelos inceptisoles en Venezuela. Midieron el DAP y la altura total de las plantas, la teca alcanzó 3,73m de altura en monocultivo y 3,74m en asociación, con diámetros promedio de 4,18 cm y 3,92 cm, respectivamente, sin diferencias significativas ($p>0,05$). Además, la producción promedio de yuca fue de 4 kg por planta, considerada como satisfactoria para el cultivo.

Wijayanto (2007) estudió el impacto de dos modelos agroforestales de teca con maíz (maíz asociado durante todo el ciclo de evaluación de la teca y maíz asociado temporalmente) en el crecimiento de plantas de teca y el rendimiento de maíz. Reportó que la asociación que se mantenía durante todo el ciclo generó mayores alturas de teca comparado con la asociación temporal o de menor grado de asociación.

Por otra parte, estudios en plantaciones juveniles de teca en Perú sobre el crecimiento, la productividad e índices silviculturales mostraron que las diferencias en diámetro y volumen se manifestaron con mayor claridad conforme los árboles maduraban, alcanzando diámetros promedio de 16,93 cm y alturas de 13,27 m a los cinco años (Vásquez, 2023).

Aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas en volumen, se observó una tendencia a que la teca en monocultivo (T¹) acumulaba ligeramente más biomasa que los sistemas asociados. Los valores de altura, DAP y volumen se presentan en la Figura 10.

Figura 10. Altura (A), DAP (B) y volum en (C) de la teca a los doce meses después del trasplante.



Nota. Letras iguales indican ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p >$

0,05). Elaborado por O. Quesada, 2025.

A pesar de que los sistemas agroforestales pueden ralentizar el crecimiento de la especie forestal en un inicio por competencia, con el tiempo pueden mejorar la calidad del suelo y los servicios ecosistémicos: Kuyah et al. (2019) demostraron que los sistemas agroforestales incrementan el nitrógeno total del suelo, el carbono orgánico, y el fósforo disponible, además de reducir la erosión y mejorar la retención de agua, en comparación con monocultivos agrícolas.

Relación equivalente de tierra (LER) en asociaciones

En la finca Fernando, el T2 (teca + plátano) presentó un LER total de 1,24, lo que indica un uso más eficiente de la tierra en comparación con los rendimientos reportados para monocultivos. El plátano mostró una alta eficiencia individual (LER = 0,93), mientras que la teca aportó un valor de 0,31. En contraste, el T3 (teca + plátano + chile) registró un LER total de 0,56, con bajo aporte del plátano (0,27) debido al número menor de plantas que en el T2, dado que gran parte del espacio de la parcela se destinó al cultivo de chile habanero, el cual no logró establecerse. El T4 (teca + plátano + chile + yuca) alcanzó un LER total de 1,38, impulsado por la alta eficiencia de la yuca (LER = 0,90).

En la finca de Geiner, los resultados mostraron una tendencia similar. El T2 alcanzó un LER total de 1,18. El T3 presentó una menor eficiencia (LER total = 0,61), mientras que el T4 registró el valor más alto entre todos los tratamientos, un LER total = 2,17, lo que significa que el sistema fue más del doble de eficiente que si cada cultivo se hubiera sembrado por separado (en una hectárea del sistema asociado se lograría lo mismo que en 2,17 hectáreas con las plantas distribuidas como monocultivos).

Por otro lado, en la finca de Noel, los valores de LER total en teca fueron muy bajos ($\leq 0,05$). Los cultivos asociados no lograron establecerse adecuadamente debido a diversos factores, entre ellos el daño causado por animales que consumieron las plantas de yuca y plátano, el terreno poco profundo y pedregoso que limitó el crecimiento de la teca, y la pérdida total del cultivo de chile. Como resultado, la eficiencia conjunta fue mínima en los tres tratamientos evaluados (T2, T3 y T4).

A nivel general, al promediar las tres fincas, el T2 presentó un LER total de 1,16. El T3 fue el menos eficiente (LER total = 0,53), mientras que el T4 alcanzó el valor más alto (LER total = 1,75). Los resultados se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Rendimiento de cultivos en asocio, LER individual y general de las parcelas evaluadas

Finca	Tratamiento	Cultivo	Rendimiento monocultivo (m ³ ha ⁻¹ o kg ha ⁻¹)	Rendimiento asociación (m ³ ha ⁻¹ o kg ha ⁻¹)	LER individual	LER total
Fernando	T2	Teca	1,34	0,41	0,31	1,24
		Plátano	12 300	11 390	0,93	
	T3	Teca	1,34	0,38	0,29	0,56
		Plátano	12 300	3 300	0,27	
		Chile	16 300	---	---	
	T4	Teca	1,34	0,21	0,16	1,38
		Plátano	12 300	3 900	0,32	
		Chile	16 300	---	---	
		Yuca	11 610	10 500	0,90	
Geiner	T2	Teca	1,34	0,12	0,09	1,18
		Plátano	12 300	13 359	1,09	
	T3	Teca	1,34	0,10	0,08	0,61
		Plátano	12 300	6 500	0,53	
		Chile	16 300	---	---	
	T4	Teca	1,34	0,07	0,055	2,17
		Plátano	12 300	6 375	0,52	
		Chile	16 300	---	---	
		Yuca	11 610	18 450	1,59	
Noel	T2	Teca	1,34	0,06	0,05	0,05
		Plátano	12 300	---	---	
	T3	Teca	1,34	0,06	0,04	0,04
		Plátano	12 300	---	---	
		Chile	16 300	---	---	
	T4	Teca	1,34	0,04	0,03	0,03
		Plátano	12 300	---	---	
		Chile	16 300	---	---	
		Yuca	11 610	---	---	
General	T2	Teca	1,34	0,20	0,15	1,16
		Plátano	12 300	12 375	1,01	
	T3	Teca	1,34	0,18	0,13	0,53
		Plátano	12 300	4 900	0,40	
		Chile	16 300	---	---	
	T4	Teca	1,34	0,11	0,08	1,75
		Plátano	12 300	5 137	0,42	
		Chile	16 300	---	---	
		Yuca	11 610	14 475	1,25	

Nota. LER individual = (LERp + LERc). LER total = suma de LER individuales. Elaborado por O. Quesada, 2025.

Resultados similares fueron reportados por Winara et al. (2022), quienes observaron valores de LER de 1,85 en sistemas agroforestales de teca asociada con malanga (*Xanthosoma sagittifolium*), con rendimientos de malanga de hasta 2,76 toneladas/ha. Montiel et al., (2008) evaluaron sistemas agrosilvícolas de aguacate + café + guayaba, comparándolos con monocultivos de aguacate, y encontraron que los sistemas en asocio fueron más productivos y económicamente rentables. El valor de LER alcanzado fue de 2,30, mientras que la relación costo/beneficio fue de 2,42.

Hernández (2010) evaluó un sistema agroforestal de mezquite + maguey con forrajeras de corte (avena o coquita) en el poblado de Xaltocan, Estado de México, obteniendo un LER de 2,15 y una relación costo/beneficio de 1,85. Corraliza (2022) analizó sistemas agroforestales de nogal (*Juglans regia*) con cereales (trigo y cebada) durante tres años consecutivos, y registró valores de LER entre 1,34 y 2,08. La asociación cebada + nogal presentó los valores más altos, con 2,08 (1,55 + 0,52) en 2014, 1,96 (1,15 + 0,81) en 2015 y 1,55 (0,69 + 0,87) en 2016. La combinación trigo + nogal alcanzó 1,72 (1,20 + 0,52), 1,34 (0,53 + 0,81) y 1,39 (0,52 + 0,87) en los mismos años. Zhang et al., (2015) y Duan et al., (2019) con la misma asociación (nogal + trigo) alcanzaron valores de LER superiores a 1.

Servicios ecosistémicos reportados

El manejo agronómico de las parcelas fue de baja carga química, con únicamente dos aplicaciones de herbicidas en la preparación del terreno y dos con fertilizantes. Este manejo se tradujo en sistemas agroforestales más sostenibles, donde además de las utilidades tangibles, se generaron múltiples servicios ecosistémicos. De acuerdo con observaciones de campo y el criterio de los productores, la sombra combinada de la teca y el plátano contribuyó a mitigar las temperaturas extremas durante la época seca y

a conservar la humedad del suelo, mientras que la caída y descomposición de hojas y tejidos aportaron materia orgánica progresivamente.

Uno de los agricultores indicó que los monocultivos de plátano aledaños presentaban una alta incidencia de manchas foliares y otros síntomas de enfermedad (como *Mycosphaerella fijiensis*, mientras que en los sistemas asociados la sanidad fue visiblemente superior. Se apreció un follaje más limpio y vigoroso, frutos con una apariencia similar a la de plantas de fincas convencionales protegidas mediante el uso de fundas, aunque en este caso sin intervención química (anexo 4). La teca establecida en asociación presentó una menor incidencia de enfermedades foliares en comparación con la teca en monocultivo testigo. Visualmente, las hojas de teca en asocio mostraron una coloración más verde y turgente (anexo 5), mientras que las de los árboles sin asocio se veían más cloróticas, con necrosis marginal y signos de defoliación incipiente.

En La Virgen de Sarapiquí, Navarro (2022) asoció en diferentes sistemas especies forestales como cedro (*Cedrela odorata*) y laurel (*C. alliodora*) con cultivos como pimienta (*Piper nigrum*), cacao (*Theobroma cacao*) y vainilla (*Vanilla fragans*). Estos sistemas estimularon la conservación del suelo, la biodiversidad, autorregulación de plagas y enfermedades, rentabilidad y fueron sustentables económicamente (indicador de sustentabilidad general de 2,69).

En otro estudio realizado por Ngala et al., (2024) se identificó que la agroforestería mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en distintas zonas climáticas, con efectos acumulativos visibles luego de varios años de establecimiento. En los trópicos húmedos y subhúmedos, un metaanálisis realizado por Muchane et al., (2020) reportó incrementos en carbono orgánico del suelo (21 % más), nitrógeno almacenado, disponibilidad de nutrientes y mejor estructura física del suelo (pH, porosidad, infiltración) en sistemas agroforestales comparados con monocultivos.

Cerda et al., (2014) analizaron 179 sistemas agroforestales en cinco países de Centroamérica (Costa Rica, Nicaragua, Panamá, Honduras y Guatemala), evaluando la contribución del cultivo de cacao

en diferentes asociaciones con especies como banano, naranja, pejibaye y árboles maderables. Destacaron importantes aportes ecosistémicos: mayor biodiversidad vegetal y estructural, lo que se tradujo en una mejor regulación del microclima, conservación del suelo, aumento de la materia orgánica y retención de humedad; menor incidencia de plagas y enfermedades, protección contra la erosión, la mayor infiltración de agua y el refugio para fauna benéfica.

Los cultivos en asociación también brindaron protección física a la teca frente a los fuertes vientos. En los sistemas mixtos, las filas de plátano y los cultivos de cobertura actuaron como barreras naturales, reduciendo la exposición de los árboles jóvenes. En cambio, en el tratamiento de teca en monocultivo se observaron ejemplares quebrados o inclinados por efecto del viento (anexo 6).

La cobertura vegetal y la presencia de arvenses espontáneas, en conjunto con los sistemas asociados, contribuyeron en la autorregulación de plagas y enfermedades, al punto de ser innecesario el uso de insecticidas y fungicidas. Algunas de las especies identificadas dentro de los sistemas asociados de teca incluyeron: *Convolvulus arvensis* L., *Melochia nodiflora* Sw, *Geophila macropoda* (Ruiz & Pav. DC), *Browallia americana* L., *Cleome viscosa* L., *Indigofera hirsuta* L., *Centrosema pubescens* Benth., *Commelina Diffusa* Burm. F., *Sclerocarpus divaricatus* (Benth.) Benth. & Hook. f, *Euphorbia hypericifolia* L., *Tridax procumbens* L., *Fimbristilis dychotoma* L., *Emilia sonchifolia* L., *Emilia fosbergii* L, *Conyza* spp., *Chloris* sp., *Ludwigia* sp., *Phyllanthus* sp., entre otras.

En las plantaciones de Costa Rica, existe gran variedad de plantas acompañantes o arvenses que cumplen funciones muy específicas dentro de los sistemas productivos (Soto, 2021). Las plantas mencionadas anteriormente cumplen funciones diversas como: atrayentes de polinizadores, eliminar compuestos tóxicos y metales pesados del suelo, prevenir la erosión del suelo, atraer parasitoides y enemigos naturales, hospederas y fuente de alimento para insectos benéficos, nectaríferas, con propiedades insecticidas, abono verde, entre otras (Nilsson et al., 2016).

Los sistemas agroforestales evaluados en el presente estudio permiten continuar integrando nuevos cultivos conforme la teca se desarrolla en los próximos cuatro años y después realizar raleos estratégicos para facilitar nuevas asociaciones por más tiempo y con ello continuar lucrando bienes tangibles e intangibles.

Charla a agricultores de Rey Curré y entrega de brochure informativo

Se llevó a cabo una charla dirigida a los agricultores de la comunidad indígena de Rey Curré (Figura 11A), en la cual se presentaron los principales hallazgos obtenidos en esta investigación. La actividad contó con una participación y reflexiones de los productores (as) que asistieron, quienes compartieron experiencias y opiniones sobre la producción sostenible. Después de la charla, varios agricultores manifestaron su interés en adoptar prácticas ecológicas y expresaron un cambio en su percepción sobre los sistemas integrados, destacando que ahora reconocen a las plantas acompañantes no como malezas, sino como componentes funcionales del agroecosistema. Otros participantes comentaron sus experiencias previas con sistemas diversos y policultivos, enriqueciendo la discusión con preguntas y aportes constructivos.

Al finalizar la sesión, se entregó un brochure informativo (anexo 7 y 8) a cada agricultor con el propósito de reforzar los conceptos abordados y promover la difusión de los hallazgos. Además, se entregaron 40 brochures adicionales a un agricultor y **B)** ncionario del colegio de Rey Curré para su distribución entre estudiantes de distintas secciones (Figura 11B), con el fin de fomentar la lectura científica y el interés por la producción agroforestal ecológica.

Figura 11. Charla a agricultores de Rey Curré (A) y entrega de brochure para difusión en colegio (B).



Nota. La figura muestra la actividad de difusión y transferencia de conocimientos dirigida a agricultores, incluyendo la entrega de material informativo. Fotos por O. Quesada, 2025.

Se ha evidenciado que la generación de espacios de diálogo entre investigadores y productores estimula el aprendizaje horizontal, fortaleciendo la apropiación de conocimientos y favoreciendo la transición hacia prácticas más sostenibles (Landini, 2022). Investigaciones como la realizada por Gómez (2024) muestran que la visión tradicional de las plantas acompañantes, como malezas, puede generar impactos negativos en los agroecosistemas, como la pérdida de biodiversidad y el uso intensivo de herbicidas. En cuanto a la difusión de buenas prácticas agrícolas e información recopilada en la realización de investigaciones locales, Quiroga y Sánchez (2016), subrayan que es un elemento importante para mejorar la sostenibilidad, competitividad e inclusión social de los productores agrícolas.

A)

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

El diagnóstico en Rey Curré evidencia que la actividad agrícola se basa principalmente en sistemas convencionales y monocultivos de plátano, fundamentales para la economía familiar, pero sometidos a presión del mercado, fluctuaciones de precios y alta incidencia de plagas y enfermedades, lo que ha derivado en un uso intensivo de Plaguicidas Altamente Peligrosos como paraquat (3,46 kg i.a.ha⁻¹), glifosato (1,67 kg i.a.ha⁻¹); captan (7,34 kg i.a.ha⁻¹), mancozeb (3,40 kg i.a.ha⁻¹), cipermetrina (4,40 kg

i.a.ha-1) y dimetoato (2,56 kg i.a.ha-1). La limitada capacitación y uso insuficiente de equipo de protección incrementan los riesgos para la salud y el ambiente. No obstante, se identificó una alta disposición de los productores para adoptar prácticas más sostenibles y un conocimiento previo en sistemas agroforestales, con un 68 % de agricultores que reportaron experiencias en agrosilvicultura con especies como *L. leucocephala*, *I. edulis*, *A. adinocephala*, *G. sepium* y *T. grandis*, lo que constituye una base favorable para la implementación de sistemas agrosilvícolas en la comunidad.

Aunque existe una alta conciencia sobre los riesgos asociados al uso de agroquímicos y la importancia de la sostenibilidad, persisten brechas entre el conocimiento y la práctica. La limitada capacitación disponible (44% no reciben capacitación), sumada al uso parcial o inexistente de equipo de protección personal (40% no utiliza y 60% de forma parcial e incompleta) y a la gestión inadecuada de residuos de plaguicidas (solamente un 36% los recicla), incrementa la vulnerabilidad de los agricultores y del entorno. Aun así, la disposición mayoritaria a adoptar prácticas más seguras resulta muy positivo. Fortalecer los procesos de capacitación, el acompañamiento técnico y la educación continua es esencial para avanzar hacia sistemas productivos más saludables, seguros y ambientalmente responsables en la comunidad.

Durante el primer año de evaluación (2024–2025), el crecimiento vegetativo de la teca clonal estuvo influenciado principalmente por factores ambientales y de sitio, más que por el manejo agronómico aplicado. Sin embargo, se identificaron diferencias significativas en altura entre tratamientos (**p = 0,00868**) donde la asociación teca + plátano (T2) presentó un mayor crecimiento promedio (3,5m) en comparación con los demás sistemas diversificados. Los efectos positivos comienzan a manifestarse durante el primer año, pero evaluaciones a mediano y largo plazo son necesarias para identificar con mayor claridad diferencias en variables como el volumen. Además, el desarrollo de la teca no fue homogéneo entre fincas, evidenciando la influencia de factores como el suelo, manejo y condiciones ambientales locales.

La productividad de los sistemas evaluados mostró una alta variabilidad entre fincas, asociada a diferencias en profundidad efectiva del suelo, pedregosidad, fertilidad y presión por fauna. En la finca de Noel, por ejemplo, las limitaciones edáficas y el daño ocasionado por animales afectaron negativamente la productividad ($LER < 0.05$), aun cuando se realizaron correcciones nutricionales. En contraste, las fincas de Fernando y Geiner presentaron mejores condiciones para el establecimiento de sistemas diversificados ($LER > 1.38$ y $LER > 2.17$, respectivamente) reflejándose un desempeño superior en los tratamientos con mayor complejidad estructural. Estas diferencias confirman que la eficiencia de los sistemas agrosilvícolas depende no solo del arreglo productivo, sino también del contexto biofísico y del manejo específico de cada finca, estos sistemas bien implementados pueden duplicar (o incluso superar) la productividad por unidad de área.

Los sistemas agrosilvícolas evaluados aportaron múltiples servicios ecosistémicos, entre ellos protección física a los árboles jóvenes, regulación microclimática y favorecimiento de funciones ecológicas mediante la presencia de arvenses. El manejo selectivo de la vegetación acompañante demostró ser clave para maximizar estos beneficios, evitando gastos innecesarios en su control. Si bien estos efectos no fueron cuantificados mediante indicadores directos de biodiversidad, lo observado y el conocimiento local sugieren que los sistemas diversificados presentan un mayor potencial ecológico en comparación con los monocultivos convencionales.

Las actividades de divulgación realizadas en la comunidad, como espacios de diálogo, charla y brochures generaron un cambio positivo en la percepción de los agricultores sobre las plantas acompañantes y los sistemas agrosilvícolas. Estos espacios fortalecieron la comprensión de los beneficios productivos, ecológicos y sociales de la diversificación, facilitando procesos de aprendizaje horizontal y apropiación local del conocimiento.

El alcance de los resultados obtenidos estuvo condicionado por diversas limitaciones, entre ellas el corto periodo de evaluación, condiciones del suelo, la afectación por fauna silvestre y la dificultad en el establecimiento del cultivo de chile, lo que dificultó comparaciones totalmente homogéneas entre tratamientos. Estas limitaciones refuerzan la necesidad de evaluaciones de mayor duración y con un enfoque integral que incorpore variables ecológicas y económicas para cuantificar los beneficios asociados.

En conjunto, el estudio demuestra que los sistemas agrosilvícolas que incorporan teca clonal en asociación con cultivos tradicionales representan una alternativa agroecológica viable para la diversificación productiva en territorios campesinos e indígenas como Rey Curré. Desde una perspectiva productiva, estos sistemas mejoran la eficiencia en el uso del suelo ($LER_{\text{general}} < 1,75$); desde el enfoque ecológico, fortalecen la provisión de servicios ecosistémicos y desde la dimensión sociocultural, se articulan con el conocimiento local y la disposición de los agricultores hacia prácticas más sostenibles. Este trabajo aporta evidencia empírica y aplicada que respalda la agrosilvicultura como una estrategia pertinente para avanzar hacia sistemas productivos más resilientes, seguros y coherentes con las realidades territoriales del sur de Costa Rica.

Este es el primer estudio en agrosilvicultura que incorpora teca clonal en asociación con los cultivos más producidos en Rey Curré. Los beneficios tangibles e intangibles son evidentes, lo que puede estimular su adopción a fin de una producción diversificada, ecológica y sostenible.

Recomendaciones

Con base en los resultados del diagnóstico, es necesario promover programas de capacitación coordinados entre universidades, MAG, SENASA y organizaciones locales que aborden los riesgos de los plaguicidas para la salud y ambiente asociados a plaguicidas. Estos programas deben abordar el manejo seguro, la correcta lectura de etiquetas, el uso adecuado de equipo de protección personal y la promoción

de alternativas de manejo integrado de plagas y enfermedades, considerando que actualmente persiste el uso de Plaguicidas Altamente Peligrosos y una limitada protección y capacitación de los agricultores.

Los valores de LER demostraron que las asociaciones de teca + plátano (T2) y teca + plátano + yuca (T4) son las más eficientes. Si se presente incorporar nuevas asociaciones en futuras extensiones, es importante considerar estas combinaciones. Su implementación debe acompañarse de un adecuado diseño espacial y densidades ajustadas para no comprometer el desarrollo de la teca.

Dada la variabilidad observada entre fincas, se deben realizar evaluaciones edáficas previas antes del establecimiento de nuevos sistemas agrosilvícolas, considerando aspectos como textura, profundidad efectiva, pedregosidad y fertilidad del suelo. Además, es fundamental incorporar análisis de riesgos ambientales para diseñar estrategias de manejo que reduzcan las pérdidas productivas sin comprometer la conservación de la biodiversidad local.

Continuar con el monitoreo del crecimiento de la teca clonal en los sistemas agrosilvícolas establecidos, ampliando el periodo de evaluación. Esto permitirá detectar respuestas significativas en variables como volumen y establecer curvas de crecimiento locales, fundamentales para la planificación silvicultural y la toma de decisiones técnicas en la región.

En sistemas con teca ya establecida, se recomienda incorporar gradualmente nuevas asociaciones de cultivos durante los primeros cuatro años y, posteriormente, ajustar las densidades mediante raleos programados. Esta estrategia permitirá prolongar la vida productiva de los sistemas, mantener la provisión de servicios ecosistémicos y asegurar ingresos económicos sostenidos para las familias productoras.

Promover un manejo selectivo de las arvenses, basado en el reconocimiento de especies presentes y de los beneficios ecosistémicos que estas aportan. Esto permitirá aprovechar funciones ecosistémicas y reducir costos de manejo.

Los resultados positivos observados en las actividades de divulgación indican la necesidad de estimular y mantener espacios de diálogo mediante talleres, parcelas demostrativas, intercambio de

experiencias entre fincas y materiales informativos accesibles que fortalezcan la apropiación local del conocimiento y aumenten la probabilidad de adopción de sistemas agrosilvícolas en la comunidad.

Aunque el presente estudio se centró en productividad y servicios ecosistémicos de los sistemas asociados, se debe complementar con análisis económicos (costo/beneficio) para demostrar la viabilidad financiera a largo plazo. Esto facilitará la toma de decisiones de los agricultores.

Bibliografía

- Abdelnour-Esquivel, A., & Muñoz, A. (2005). Micropropagación de teca (*Tectona grandis* Lf). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 2(5), ág-1.
<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/541>
- Aguilar- Rodríguez, C., Sequeira-Guillen, A. y Peralta-Tercero, E. (2017). Factor de forma para la *Tectona grandis* L.F, empresa MLR-Forestal, Siuna, Costa Caribe Norte de Nicaragua. *Revista Ciencia e interculturalidad*, 21 (2), 74-84. 10.5377/rci.v21i2.5602
- Almeyda Panduro, R. E. (2023). Sistemas Agroforestales. <https://repositorio.unu.edu.pe/items/479d1174-4db9-4a5f-a748-766f609032eb>
- Altieri, M. A. (2002). Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*, 27-34.
http://www.redgtd.org/CENTRODOC/BD_ARCHIVOS/Altieri_Agroecologia_principios_Produccion_Sustentable_2001.pdf
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2000). Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable.
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/18777>
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Dinelli, G., & Negri, L. (2024). Towards an agroecological approach to crop health: reducing pest incidence through synergies between plant diversity and soil microbial

ecology. npj Sustainable Agriculture, 2(1), 6. <https://www.nature.com/articles/s44264-024-00016-2>

Alvarado, P., Salazar, M., Montero, Y. y Fallas, I. (2022). Diagnóstico de la afectación a la salud por uso de plaguicidas en Costa Rica. https://impactoplaguicidas.cr/wp-content/uploads/2022/04/AFECTION_SALUD_PLAGUICIDAS_VF_MAY22_VERTICAL.pdf

Alvarado, R. (2023). Diseño agroforestal participativo con la Asociación de Mujeres Indígenas Cabécar (Doctoral dissertation, Instituto Tecnológico de Costa Rica). https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/15119/TF9766_BIB312210_Mar%C3%ADDa_Paula%20_Alvarado-Rodr%C3%ADGuez.pdf?sequence=1

Álvarez, L., y Vargas J. G. (2012). La sustentabilidad como modelo de desarrollo responsable y competitivo. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (11), 97-107. <https://www.redalyc.org/pdf/2311/231125817009.pdf>

Amador, J. (2012). Aspectos económicos de Curré. <http://joseluisamador.info/ejemplo-2/etnografia-de-curre-tesis-de-maestria/tesis-curre-textos/cap-6-aspectos-economicos-de-curre/>

Angulo Roldan, M., & Zavaleta Papa, C. N. (2020). Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico–mecánicas como capa de rodadura en la prolongación navarro cauper, distrito San Juan–Maynas–Iquitos, 2019. (Tesis de Licenciatura, Universidad Científica de Perú - UCP). <http://repositorio.ucp.edu.pe:8080/server/api/core/bitstreams/0685676e-9ac2-47a0-b209-a75e5ef6d425/content>

Arenas Corraliza, M. G. (2022). Respuesta de variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) al cultivo bajo arbolado en sistemas agroforestales mediterráneos. <http://hdl.handle.net/10662/14898>

- Arias, T., Rodríguez, D. C., & Peñuela, G. A. (2020). Influencia de los suelos en la dinámica de transferencia de nutrientes en la interfase suelo-agua en un embalse tropical. *Ingeniería*, 25(3), 223-236. <https://doi.org/10.14483/23448393.15993>
- Arronis, V. (2006). Los sistemas agroforestales como una opción de producción sostenible. *Asociación costarricense de la ciencia del suelo*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-0866.pdf>
- Arteaga Martínez, B., & Castelán Lorenzo, M. (2008). Evaluación dasométrica temprana de una plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el municipio de Huehuetla, Hidalgo. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 14(2), 105-111. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182008000200005
- Asociación de Desarrollo Integral de Curré, Yimba Cájc (2025). Plan ambiental, forestal y territorial, el territorio indígena de Rey Curré, YIMBA CÁJC. <https://pnud-conocimiento.cr/wp-content/uploads/2025/09/PAFT-Rey-Curre-VF.pdf>
- Ávila, B. M. (2017). Caracterización de sistemas agroforestales tradicionales en la parroquia de San Pablo de Lago, provincia de Imbabura, Ecuador (Tesis de bachillerato, Universidad Técnica del Norte). <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7444/1/03%20FOR%20262%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Barrantes-Madrigal, K., Murillo-Cruz, R., Ávila-Arias, C., Fonseca-González, W., & Barquero-Elizondo, A. I. (2021). Tabla de volumen comercial para teca clonal en diferentes índices de sitio en la Zona Norte de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(1), 211-229. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/14888/20686>
- Bautista, M., López, S., Pérez, P., Vargas, M., Gallardo, F., y Gómez, F. C. (2011). Sistemas agros y silvopastoriles en la comunidad El Limón, municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1), 63-76. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93915703005.pdf>

- Bermejo, I., Canellas, I., & San Miguel, A. (2004). Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. *Forest ecology and management*, 189(1-3), 97-110.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.031>
- Blanco, A. M. (2025). Multicrisis, agricultura y seguridad alimentaria en Centroamérica: una aproximación a su estudio. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 49(49), 165-168.
<https://obregon.cihac.fcs.ucr.ac.cr/items/3a507dac-3c08-472d-9d87-6814ba3c8210>
- Bucheli, P., Julián, V., Muchavisoy, M., & Henry, K. (2020). La Agroforestería frente a la Agenda 2030.
<https://repository.udca.edu.co/server/api/core/bitstreams/ea67df10-0a97-497c-bc10-8419aa7306cd/content>
- Bula, A. O. (2020). Importancia de la agricultura en el desarrollo socioeconómico.
<https://rehip.unr.edu.ar/server/api/core/bitstreams/d9042436-7d26-4d43-a85f-c865302ad83c/content>
- Calle, Z., Murgueitio, E., & Chará, J. (2012). Integración de las actividades forestales con la ganadería extensiva sostenible y la restauración del paisaje. *Unasylva*, 63(1), 31-38.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/4c52fcb6-cdd2-4098-816c-a821e90ba40c/content/i2890s06.pdf>
- Cerda, R., Deheuvels, O., Calvache, D., Niehaus, L., Saenz, Y., Kent, J., ... & Somarriba, E. (2014). Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: looking toward intensification. *Agroforestry systems*, 88(6), 957-981.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-014-9691-8>
- Chacón Araya, K., Aguirre Murillo, R., Barrientos Matamoros, G., González Ureña, N., González Gamboa, V., & Amey Fonseca, D. (2024). Aproximación exploratoria sobre las implicaciones productivas, económicas y socioculturales en la seguridad alimentaria y nutricional en Costa Rica.

https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle/20.500.12337/9826/Chacon_K_Seguridad_alimentaria_nutricional_CR_IEN_2024.pdf?sequence=1

Chediack, S. E. (2009). Monitoreo de biodiversidad y recursos naturales: ¿para qué? Corredor Biológico Mesoamericano México Serie Diálogos.

http://www.oikos.unam.mx/LECT/images/Libros/mmrjrgj_2009.pdf

Colque, G., Urioste, M., & Eyzaguirre, J. L. (2015). Marginalización de la agricultura campesina e indígena: dinámicas locales, seguridad y soberanía alimentaria. *Fundación TIERRA, La Paz, BO*. <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/server/api/core/bitstreams/dab3efb4-0215-4981-b3f2-30271c0485db/content>

Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2007). Protección, restauración y conservación de suelos forestales: Manual de obras y prácticas. *Segunda edición*. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/20/1310Manual%20de%20Conservacion%20de%20Suelos%20.pdf>

Damales, C. y Allahyari, M. (2016). Use of personal protective equipment towards pesticide exposure: Farmers' attitudes and determinants of behavior. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.203

Damales, C., Telidis, G. y Thanos, S. (2008). Evaluación de las prácticas de los agricultores sobre la eliminación de residuos de plaguicidas después de su uso. DOI:10.1016/j.scitotenv.2007.10.028

De Camino, R. y Morales, J.P. (2013). Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades. Costa Rica, CATIE, FAO. p. 392. (*Serie Técnica, Informe técnico* no. 397). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2854>

De Mello, C. R., Guo, L., Yuan, C., Rodrigues, A. F., Lima, R. R., & Terra, M. C. (2024). Deciphering global patterns of forest canopy rainfall interception (FCRI): A synthesis of geographical, forest species, and methodological influences. *Journal of Environmental Management*, 358, 120879. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120879>

- Delgado Huertos, E. (2024). El sector agrario y el medio ambiente. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/68263>
- Desye, B., Tesfaye, AH, Daba, C. et al. Prácticas de uso seguro de plaguicidas y síntomas agudos de salud, y factores asociados entre agricultores de países en desarrollo: una revisión sistemática y un metaanálisis de evidencia epidemiológica. *BMC Public Health* 24 , 3313 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20817-x>
- Duan, Z.P., Gan, Y.W., Wang, B.J. et al. Interspecific interaction alters root morphology in young walnut/wheat agroforestry systems in northwest China. *Agroforest Syst* 93, 419–434 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0133-2>
- Fallas, G., Chacon, M., y Castro, J. (2009). Sostenibilidad de sistemas agrícolas de fincas ecológicas y tradicionales en Costa Rica. *UNED Research Journal*, 1(2), 151-161. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/cuadernos/article/view/228>
- Fallas-Zuñiga, J. L. (2014). Respuesta a la fertilización de la teca (*Tectona grandis* Lf) con NPK en ultisoles de la zona norte de Costa Rica. <https://core.ac.uk/download/pdf/60992896.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2010). Funciones productivas de los recursos forestales. FAO, 2010 <http://www.fao.org/3/i1757s/i1757s05.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2023). Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS). <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/agroforestry/basic-knowledge/es/#:~:text=La%20finalidad%20de%20la%20mayor,%C3%A1rboles%20y%20otras%20especies%20le%C3%B1osas>
- Fernández-Moya, J., Alvarado, A., Fallas, J., Miguel-Ayanz, A. S., & Marchamalo-Sacristán, M. (2017). NPK fertilisation of teak (*Tectona Grandis*) plantations: a case study in Costa Rica. *Journal of tropical forest science*, 417-427. <https://www.jstor.org/stable/44371421>

- Freire, G. (2000). Conservación de la biodiversidad en los sistemas agroforestales cacaoteros y bananeros de Talamanca, Costa Rica. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4679/Conservacion_de_la_biodiversidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Furcal-Beriguete, P., & Barquero-Badilla, A. (2014). Nitrogen and potassium fertilization for plantain during the first productive stage. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 267-278. <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr//index.php/agromeso/article/view/15429/28525>
- Furcal-Beriguete, P., Torres-Portuguez, S., & Andrade-Carballo, W. (2015). Evaluación de la fertilización inorgánica en el cultivo de yuca en la región norte de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 28(2), 84-101. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822015000200084
- Gaona, M. (2009). Identificación de sistemas agroforestales tradicionales y la selección de las mejores prácticas para enfrentar la desertificación en el cantón de Zapotillo. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/5860>
- Goh, D. K. S., Japarudin, Y., Alwi, A., Lapammu, M., Flori, A., & Monteuiis, O. (2013). Growth differences and genetic parameter estimates of 15 teak (*Tectona grandis* Lf) genotypes of various ages clonally propagated by microcuttings and planted under humid tropical conditions. DOI:10.1515/sg-2013-0024
- Gómez-Gómez, R. (2024). ¿Malezas o arvenses? Una propuesta conceptual para su manejo agroecológico. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1). https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212024000100042
- González Brenes, F., León Alfaro, Y., & López Estébañez, N. (2025). Sostenibilidad alimentaria y cultural: sistemas agroalimentarios indígenas en Costa Rica. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/items/6313ab49-7a8f-46c0-b388-f1a2395b8214>

- Guevara, J. T., Tenorio, A., y Gómez, A. (2008). Agroforestería: una estrategia de adaptación al cambio climático: propuesta de adaptación tecnológica del cultivo de café y cacao en respuesta al cambio climático en San Martín (Vol. 3). *Soluciones Prácticas*. <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/11/MzM3.pdf>
- Hart, N. (2016). Residuos agrícolas de Costa Rica se convierten en carbón para filtrar y eliminar agroquímicos contaminantes. <https://www.iaea.org/newscenter/news/costa-ricas-agricultural-waste-converted-into-charcoal-to-filter-and-dispose-of-polluting-agricultural-chemicals?utm>
- Harvey, C. A., & González Villalobos, J. A. (2007). Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity and conservation*, 16(8), 2257-2292. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-007-9194-2>
- Hernández Archundia, D. (2010). Diseño, establecimiento, manejo y evaluación financiera del sistema agroforestal mezquite-maguey con forrajeras de corte en el poblado de Xaltocan, Estado de México. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/c0377683-78a2-4c03-a124-e061bfecd645>
- Hidalgo, D. A. (2022). La integración del turismo indígena y la dinámica agrícola: sus posibles impactos en los medios de subsistencia de Talamanca. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/13864/PI09_BIB306116_La_integracion_del_turismo_indigena....pdf?sequence=1
- Hinojosa, F. (2010). Sistemas agroforestales tradicionales en la comunidad de Tallija-Confital, provincia Tapacarí, departamento de Cochabamba (Doctoral dissertation, Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias" Martín Cárdenas". AGRUCO). <http://atlas.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/367>
- Howeler, R. H. (2001). Cassava mineral nutrition and fertilization. In Cassava: Biology, production and utilization (pp. 115-147). Wallingford UK: CABI. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/abs/10.1079/9780851995243.0115>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2014). Sistematización del proyecto.

“Plantando para el futuro: sistemas agroforestales financieramente sostenibles y pagos por servicios ambientales”.

[https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/20870/BCO22088722e.pdf?sequence=1&is](https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/20870/BCO22088722e.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[Allowed=y](https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/20870/BCO22088722e.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. 1 ed. San José, Costa Rica.

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). (2024). Transferencia de tecnología. Publicaciones. <http://www.inta.go.cr/index.php/transferencia-de-tecnologia/publicaciones>

Jimenez Lozano, J. (2021). Plan de negocio para crecimiento exponencial en Commerce Agrícola (Tesis de maestría, Maestría en Gerencia de Proyectos). <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/10476/JimenezJonathan2021.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Kuyah, S., Whitney, C. W., Jonsson, M., Sileshi, G. W., Öborn, I., Muthuri, C. W., & Luedeling, E. (2019). Agroforestry delivers a win-win solution for ecosystem services in sub-Saharan Africa. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(5), 47. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-019-0589-8>

Landini, F. (2022). Intercambio de experiencias y aprendizaje horizontal entre extensionistas: Fuente invisibilizada de conocimientos para la práctica. *Psicoperspectivas*, 21(3), 7-20. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-69242022000300007&script=sci_arttext&lng=pt

Lizano, V. R., & Monge, B. E. (2015). Generación de un índice socioeconómico para los productores de plátano de la reserva indígena Rey Curré. *e-Agronegocios*, 1(2). <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/eagronegocios/article/view/3662>

- Llaguno, J. J., Solano, S. M., Espeleta, A. L. G., & Alfaro, P. B. (2014). Políticas y conflictos socio ambientales: el caso de la tenencia de la tierra y los monocultivos en el caribe de Costa Rica (2006-2012). *Revista de Ciencias Sociales (Cr)*, 3(145), 81-98.
<https://www.redalyc.org/pdf/153/15333873007.pdf>
- López, E. V., Hernández, A. A., & Fernández, R. M. (2018). Características de sitio que determinan el crecimiento y la productividad de teca (*Tectona grandis* Lf) de plantaciones jóvenes en Guatemala. *Agronomía Costarricense*.
<https://archivo.revistas.ucr.ac.cr//index.php/agrocost/article/view/35684>
- López, M., y Rocha L. (2007). Sistemas agroforestales.
<https://repositorio.una.edu.ni/2443/1/nf08m538.pdf>
- Madeiros, R., Nogueira, H., Siqueira, F. & Garcia, H. (2018). Growth and yield of teak stands at different spacing. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(10):1109-1118. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018001000004>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2015). Política de Estado para el Sector Agroalimentario y el Desarrollo Rural Costarricense 2010-2021. San José, Costa Rica.
https://www.cac.int/sites/default/files/Politica_de_estado_para_el_sector_agroalimentario_y_el_desarrollo_rural_costarricense.pdf
- Maglianesi, M. A. (2013). Desarrollo de las piñeras en Costa Rica y sus impactos sobre ecosistemas naturales y agro-urbanos. *Biocenosis*, 27(1-2).
<https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/611/507>
- Marín, W. J. (2001). Los sistemas diversificados de producción en fincas de pequeños productores en la Región Noratlántica de Costa Rica. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, (10), 201-223.
<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales/article/download/3577/3434/>

- Martínez, C. E., & Orrego, S. A. (2024). Modeling dominant height growth of teak plantations in the Caribbean region of Colombia. *Journal of Forest Business Research*, 3(1), 81-102. <https://forest-journal.com/index.php/JFBR/article/view/dominant-height-growth-teak-colombia>
- Martínez, E. (2020). Establecimiento de un sistema agrosilvícola como alternativa socioeconómica y ecológica en Kananguio Pichátaro Michoacán. <https://repositoriouiim.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/84/Tesis%20Erica%20Martinez%20octubre%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mead R, Willey RW. (1980). The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields for intercropping. *Exp Agric* 16:217–228. doi:10.1017/S0014479700010978
- Merino, F., Avalos, F., Jordán, R., y Eras, A. (2011). La chakra integral. Guía técnica: Modelo de transferencia de tecnología para capacitación a capacitadores. <https://repositoriointerculturalidad.ec/xmlui/handle/123456789/33505>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (sf). *Manihot sculenta* Crantz (yuca). <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-0658yuca.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE]. (2024). Territorios indígenas han recibido mas de ¢5 mil millones por proteccion a bosques. <https://minae.go.cr/noticias/2024/71%20TERRITORIOS%20INDIGENAS%20HAN%20RECIBIDO%20MAS%20DE%20%20C2%A2%20MIL%20MILLONES%20POR%20PROTECCION%20A%20BOSQUE%20S.aspx>
- Mollinedo García, MS, Herrera Machuca, M. Á., & Muñoz Sáez, F. (2016). Caracterización del crecimiento y la productividad de plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* Linn f.) y estimación de curvas de índice de sitio en el área septentrional de la República de Guatemala. *Madera y bosques*, 22 (2), 89-103. https://scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712016000200089&script=sci_abstract&tlng=en

- Montagnini, F., Somarriba, E., Fassola, H., y Eibl, B. (2015). Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. *Informe técnico*. http://cipav.org.co/sdm_downloads/sistemas-agroforestales-funciones-productivas-socioeconomicas-y-ambientales/
- Monteuuis, O. y Maitre, H. (2006). Adelantos en la clonación de teca. <https://agritrop.cirad.fr/543129/8/543129ESP.pdf>
- Montiel-Aguirre, G., Krishnamurthy, L., Vázquez-Alarcón, A., & Uribe-Gómez, M. (2008). Opciones agroforestales para productores de aguacate. *Terra latinoamericana*, 26(1), 85-90. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s0187-57792008000100011&script=sci_arttext
- Muchane, M. N., Sileshi, G. W., Gripenberg, S., Jonsson, M., Pumarino, L., & Barrios, E. (2020). Agroforestry boosts soil health in the humid and sub-humid tropics: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 295, 106899. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106899>
- Municipalidad de Buenos Aires. (2022). Plan de Acción para la Adaptación al Cambio Climático del Cantón de Buenos Aires 2023-2030. Proyecto Plan A: Territorios Resilientes ante el Cambio Climático. Municipalidad de Buenos Aires y DCC-MINAE. San José, Costa Rica. http://munibuenosaires.go.cr/media/documentos/desarrollo_urbano/Plan_Adaptacion_BA.pdf
- Muñoz, M. (2022). Planeta sostenible. Un agricultor de Costa Rica salva la selva cultivando alimentos en ella. <https://www.brightvibes.com/es/un-agricultor-de-costa-rica-salva-la-selva-cultivando-alimentos-en-ella/#:~:text=La%20agrosilvicultura%20incluye%20una%20amplia,fauna%20y%20los%20seres%20humanos>
- Navarro, H., Santiago, A., Musálem, M., Lindemann, H., y Pérez, M. (2012). La diversidad de especies útiles y sistemas agroforestales. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(1), 71-86. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v18n1/v18n1a7.pdf>

- Navarro, P. J. (2022). Diseño de sistema agroforestal basado en integración ecosistémica y experiencias de forestería análoga en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica. <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/25772>
- Neamatollahi, E., Jahansuz, M. R., Mazaheri, D., & Bannayan, M. (2013). Intercropping. *Sustainable Agriculture Reviews: Volume 12*, 119-142. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-5961-9_4
- Ngaba, M. J. Y., Mgelwa, A. S., Gurmesa, G. A., Uwiragiye, Y., Zhu, F., Qiu, Q., ... & Rennenberg, H. (2024). Meta-analysis unveils differential effects of agroforestry on soil properties in different zonobiomes. *Plant and Soil*, 496(1), 589-607. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-023-06385-w>
- Nicholls, C. I., Altieri, M. A., & Vázquez, L. L. (2015). Agroecología: Principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. *Agroecología*, 10(1), 61-72. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300741/216161>
- Nicholls, C. I., Altieri, M. A., y Vázquez, L. L. (2015). Agroecología: Principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. *Agroecología*, 10(1), 61-72. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300741/216161>
- Nilsson, L., Sánchez, V., y Manfredi, A. (2016). Hierbas y arbustos comunes en cafetales y otros cultivos. Guía para su identificación.
- Oficina Nacional Forestal [ONF]. (2018). Sistemas agroforestales. <https://onfcr.org/sistemas-agroforestales#:~:text=Sistemas%20agroforestales%3A%20establecimiento%20de%20proyectos,especies%20forrajeras%2C%20frutales%20u%20otras>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). Agroforestería para la gestión sostenible de los recursos naturales. FAO.

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6a784625-677d-4c37-86de-2fcf3a57047a/content>

Ospina, A. (2006). Agroforestería; Aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el manejo agroforestal. <https://www.monografias.com/trabajos-pdf/agroforesteria/agroforesteria2>

Palomeque, F. (2009). Sistemas agroforestales. Chiapas, SOCLA. DOI:10.13140/RG.2.2.20194.99525

Pelissari, A., Guimarães, P., Behling, A., & Ebling, Â. A. (2014). Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. *Agrarian Academy*, 1(01). <https://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2014a/cultivo.pdf>

Pineda Acosta, D. S. (2022). Ni arar en el mar, ni sembrar en el viento: el poder de la agroecología ante el modelo de producción agrícola capitalista. <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/18265>

Plan Nacional de Desarrollo. (2009). Agroecosistemas sustentables. https://www.colpos.mx/wb_pdf/Investigacion/LPI/lpi-2/PE%20LPI%202.pdf

Pomadere, G. (2018). Las recuperaciones de tierras de pueblos originarios son legítimas y justas. *Voces nuestras*. <https://vocesnuestras.org/las-recuperaciones-de-tierras-de-pueblos-originarios-son-legitimas-y-justas-afirman/>

Poradene, G. (2023). Costa Rica es el país que utiliza más plaguicidas en todo el mundo, según estadísticas de la FAO. <https://semanariouniversidad.com/pais/costa-rica-es-el-pais-que-utiliza-mas-plaguicidas-en-todo-el-mundo-segun-estadisticas-de-la-fao/>

Porras, I., Barton, DN, Miranda, M. y Chacón-Cascante, A. (2022). Aprendizaje tras 20 años de pagos por servicios ecosistémicos en Costa Rica . Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo. <https://www.iiied.org/16514iiied?a=A%20Cascante>

- Quesada-Cabezas, O. y Ramírez-Muñoz, F. (2023). Alternativas al clorpirifos y a otros insecticidas organofosforados. Serie 54. *Informes Técnicos IRET*.
https://ipen.org/sites/default/files/documents/alternativas_a_los_organofosforados.pdf
- Quinde, B. M. (2017). Caracterización de sistemas agroforestales tradicionales en la parroquia de San Pablo de Lago, provincia de Imbabura, Ecuador (Tesis de bachillerato).
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7444>
- Quiroga Hernández, P., & Sánchez Cid, J. (2016). El rol institucional en la gestión y difusión de las buenas prácticas agrícolas en Cundinamarca. <https://ciencia.lasalle.edu.co/items/1257711d-a303-4b3a-b605-42ec517ceff6/full>
- Ramírez Muñoz, F. (2023). Los plaguicidas altamente peligrosos en Costa Rica: plan de acción sobre PAPs. *IRET-UNA*. Serie 53. *Informes Técnicos IRET*.
<https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/1495b216-35854b6d-971d-83987ad5c1a0/content>
- Ramírez, M. E., Limas, E. A., Ortiz, P. R., y Díaz, A. R. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de geografía*, (53-54), 77-88.
<https://revistas.um.es/geografia/article/view/143451/128731>
- Rivera, M. (2015). Análisis de la producción maderable de teca (*Tectona grandis* Linn. F.) en plantaciones y sistemas agroforestales en Hojancha, Costa Rica, y bases para el desarrollo de un plan de incidencia política para promover su cultivo.
https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7201/Analisis_de_la_produccion_maderable.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rojas, U. (2018). Tierras recuperadas por indígenas en Rey Curré se encuentran casi desérticas. *Surcos digital*. <https://surcosdigital.com/tierras-recuperadas-por-indigenas-en-rey-curre-se-encuentran-casi-deserticas/>

- Romero, I. C. G., & Diéguez, V. C. (2013). El aspecto social de la desertificación: Análisis de la percepción de la administración pública en Centro América. *Gestión y ambiente*, 16(2), 37-48.
<https://www.redalyc.org/pdf/1694/169428420003.pdf>
- Rosales Adame, J. J., Cevallos Espinosa, J., Castillo y Dzul, Á. A., Caamal Canto, A. R., Dzib Castillo, B. B., Herrera Dzul, Á. J., ... & Giménez, A. (2020). Experiencias de agroforestería en México.
<http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/106048>
- Sánchez, J., Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., y Sunkel, O. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL. Cepal.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44785/1/S1900378_es.pdf
- Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Agroecología*, 4, 19-28. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117131>
- Schargel, I., & Hernando, G. (2008). Evaluación de un sistema agroforestal de Teca (*Tectona grandis*) y yuca (Manihot esculenta). *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 24(1), 40-44.
https://www.academia.edu/3432191/Evaluaci%C3%B3n_de_un_sistema_agroforestal_de_Teca_Tectona_grandis_y_yuca_Manihot_esculenta
- Servicio Fitosanitario del Estado [SFE]. (2024). *Insumos y Fiscalización*.
<http://app.sfe.go.cr/SFEInsumos/aspx/Insumos/ConsultaRegistroPlaguicida.aspx>
- Soto Aguilar, A. (2021). Inclusión de las arvenses al agroecosistema del cafeto.
https://www.lareferencia.info/vufind/Record/CR_93d18b21fe2f3147ff0ee49c5ead63b2
- Soto, M. A., y Nicholls, C. I. (2000). Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable.
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/18777/AGROECOLOGIA2%5b1%5d.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Van Kanten, R. F. (1994). Productividad y fenología del arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh) bajo tres sistemas agroforestales en Baja Talamanca, Costa Rica.

https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5463/Productividad_y_fenologia_del_a_raza.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vargas, C. (2022). Uso aparente de plaguicidas en la agricultura de Costa Rica.

https://d1qqtien6gys07.cloudfront.net/wp-content/uploads/2022/05/USO-APARENTE-DE-PLAGUICIDAS_MAY22_VF_PRINT.pdf

Vargas, J. (2017). Estudio etnogeográfico sobre el sistema de producción agrícola del anexo de Mosopuquio del distrito de Characato, en el año 2016. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín].

<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/55afd6d9-57f2-47db-9479-aa78fe35b157/content>

Vasquez-Miñope, C., Sulca-Gamboa, K., & Cuellar-Bautista, E. (2023). Crecimiento, productividad e índices silviculturales en plantaciones juveniles de *Tectona grandis* L. f. en Perú. *Colombia forestal*, 26(1), 79-91.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-07392023000100079&script=sci_arttext

Veintimilla, R. (2010). Evaluación in situ de cuatro sistemas agroforestales como alternativas de producción y manejo sostenible de los recursos naturales en la Sierra Norte del Ecuador.

<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1058/1/iniapscP.V422e2010.pdf>

Villarreyna, R. A., Avelino, J., & Cerda, R. (2020). Adaptación basada en ecosistemas: efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales. *Agronomía Mesoamericana*, 499-516.

<https://doi.org/10.15517/am.v31i2.37591>

Wijayanto, N. (2007). Study on Impact of Agroforestry Model to the Growth of Teak (*Tectona grandis* LF) Plants. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 13(2), 100-108.

<https://journal.ipb.ac.id/index.php/jmht/article/view/5474>

- Winara, A., Fauziyah, E., Suhartono, Widiyanto, A., Sanudin, Sudomo, A., ... & Diana, M. (2022). Assessing the productivity and socioeconomic feasibility of cocoyam and teak agroforestry for food security. *Sustainability*, 14(19), 11981. <https://doi.org/10.3390/su141911981>
- Yaguache, R., y Carrión, R. (2000). Agroforestería. Establecimiento de plantaciones. *Coordinación RAFE, CAMAREN, Quito, Ecuador*.
- Zhang, W., Ahanbieke, P., Wang, B. J., Gan, Y. W., Li, L. H., Christie, P., & Li, L. (2015). Temporal and spatial distribution of roots as affected by interspecific interactions in a young walnut/wheat alley cropping system in northwest China. *Agroforestry Systems*, 89(2), 327-343. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-014-9770-x>

Anexos

Anexo 1. Plan de fertilización para los tratamientos de la parcela de Noel

Balance General Tratamiento 1										
Finca de Noel	kg ha ⁻¹									
	Ca	Mg	K	N	S	P	Zn	Cu	Fe	Mn
Aporte de suelo	11400.00	1188.00	374.40	0.00	0.00	94.50	0.38	2.55	43.50	49.50
Absorción de cultivo	50.00	20.00	60.00	80.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aporte – absorción (considerando eficiencia de fertilización)	11350.00	1168.00	314.40	-80.00	0.00	44.50	0.38	2.55	43.50	49.50
Necesidad de fertilizante (considerando óxidos)	-	-	-	-114.29	-	-	-	-	-	-
Necesidad en la parcela (160m ²)	-	-	-	-1.83	-	-	-	-	-	-
Balance General Tratamiento 2										
Aporte de suelo	11700.00	1152.00	263.25	0.00	0.00	48.00	1.38	2.70	45.00	40.50
Absorción de cultivo	76.00	132.30	532.00	185.00	0.00	25.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Aporte – absorción (considerando eficiencia de fertilización)	11624.00	1019.70	-268.75	-185.00	0.00	22.80	1.38	2.70	45.00	40.50
Necesidad de fertilizante	-	-	-383.93	-264.29	-	-	-	-	-	-
Necesidad en la parcela (160m ²)	-	-	-6.14	-4.23	-	-	-	-	-	-
Balance General Tratamiento 3										
Aporte de suelo	10800.00	1116.00	585.00	0.00	0.00	118.50	2.40	2.55	33.00	55.50
Absorción de cultivo	23.00	13.00	180.00	139.00	0.00	26.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aporte – absorción (considerando eficiencia de fertilización)	10777.00	1103.00	405.00	-139.00	0.00	92.50	2.40	2.55	33.00	55.50
Necesidad de fertilizante	-	-	-	-198.57	-	-	-	-	-	-
Necesidad en la parcela (160m ²)	-	-	-	-3.18	-	-	-	-	-	-
Balance General Tratamiento 4										
Aporte de suelo	12000.00	1206.00	567.45	0.00	0.00	144.00	2.85	2.85	36.00	51.00
Absorción de cultivo	121.00	122.00	250.00	253.00	0.00	28.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aporte – absorción (considerando eficiencia de fertilización)	11879.00	1084.00	317.45	-253.00	0.00	116.00	2.85	2.85	36.00	51.00
Necesidad de fertilizante	-	-	-	-361.43	-	-	-	-	-	-

Necesidad en la parcela (160m ²)	-	-	-	-5.78	-	-	-	-	-	-
--	---	---	---	-------	---	---	---	---	---	---

Anexo 2. Plan de fertilización para los tratamientos de la parcela de Geiner

Balance General Tratamiento 1										
Finca de Geiner	kg ha ⁻¹									
	Ca	Mg	K	N	S	P	Zn	Cu	Fe	Mn
Aporte de suelo	9600.00	2340.00	304.20	0.00	0.00	11.25	1.80	3.15	72.00	46.50
Absorción de cultivo	50.00	20.00	60.00	80.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aporte – absorción (considerando eficiencia de fertilización)	9550.00	2320.00	244.20	-80.00	0.00	-38.75	1.80	3.15	72.00	46.50
Necesidad de fertilizante	-	-	-	-114.29	-	-55.36	-	-	-	-
Necesidad en la parcela (160m ²)	-	-	-	-1.83	-	-0.89	-	-	-	-
Balance General Tratamiento 2										
Aporte de suelo	11400.00	1980.00	263.25	0.00	0.00	13.65	3.45	4.35	90.00	60.00
Absorción de cultivo	76.00	132.30	532.00	185.00	0.00	25.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Aporte – absorción (considerando eficiencia de fertilización)	11324.00	1847.70	-268.75	-185.00	0.00	-11.55	3.45	4.35	90.00	60.00
Necesidad de fertilizante	-	-	-383.93	-264.29	-	-16.50	-	-	-	-
Necesidad en la parcela (160m ²)	-	-	-6.14	-4.23	-	-0.26	-	-	-	-
Balance General Tratamiento 3										
Aporte de suelo	9900.00	2520.00	503.10	0.00	0.00	24.00	3.75	3.60	64.50	46.50
Absorción de cultivo	23.00	13.00	180.00	139.00	0.00	26.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aporte – absorción (considerando eficiencia de fertilización)	9877.00	2507.00	323.10	-139.00	0.00	-2.00	3.75	3.60	64.50	46.50
Necesidad de fertilizante	-	-	-	-198.57	-	-2.86	-	-	-	-
Necesidad en la parcela (160m ²)	-	-	-	-3.18	-	-0.05	-	-	-	-
Balance General Tratamiento 4										
Aporte de suelo	7800.00	2880.00	315.90	0.00	0.00	12.30	3.90	4.35	75.00	153.00
Absorción de cultivo	121.00	122.00	250.00	253.00	0.00	28.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aporte – absorción (considerando eficiencia de fertilización)	7679.00	2758.00	65.90	-253.00	0.00	-15.70	3.90	4.35	75.00	153.00
Necesidad de fertilizante	-	-	-	-361.43	-	-22.43	-	-	-	-

Necesidad en la parcela (160m²)	-	-	-	-5.78	-	-0.36	-	-	-	-
---	---	---	---	--------------	---	--------------	---	---	---	---

Anexo 3. Plan de fertilización para los tratamientos de la parcela de Fernando

Balance General Tratamiento 1										
Finca de Fernando	kg ha⁻¹									
	Ca	Mg	K	N	S	P	Zn	Cu	Fe	Mn
Aporte de suelo	7800.00	792.00	286.65	0.00	0.00	49.50	2.70	5.40	103.50	9.60
Absorción de cultivo	50.00	20.00	60.00	80.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aporte – absorción (considerando eficiencia de fertilización)	7750.00	772.00	226.65	-80.00	0.00	-0.50	2.70	5.40	103.50	9.60
Necesidad de fertilizante	-	-	-	-114.29	-	-0.71	-	-	-	-
Necesidad en la parcela (160m²)	-	-	-	-1.83	-	-0.01	-	-	-	-
Balance General Tratamiento 2										
Aporte de suelo	9000.00	972.00	327.60	0.00	0.00	57.00	3.30	5.40	108.00	9.00
Absorción de cultivo	76.00	132.30	532.00	185.00	0.00	25.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Aporte – absorción (considerando eficiencia de fertilización)	8924.00	839.70	-204.40	-185.00	0.00	31.80	3.30	5.40	108.00	9.00
Necesidad de fertilizante	-	-	-292.00	-264.29	-	-	-	-	-	-
Necesidad en la parcela (160m²)	-	-	-4.67	-4.23	-	-	-	-	-	-
Balance General Tratamiento 3										
Aporte de suelo	7800.00	828.00	333.45	0.00	0.00	54.00	3.45	5.10	102.00	9.15
Absorción de cultivo	23.00	13.00	180.00	139.00	0.00	26.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aporte – absorción (considerando eficiencia de fertilización)	7777.00	815.00	153.45	-139.00	0.00	28.00	3.45	5.10	102.00	9.15
Necesidad de fertilizante	-	-	-	-198.57	-	-	-	-	-	-
Necesidad en la parcela (160m²)	-	-	-	-3.18	-	-	-	-	-	-
Balance General Tratamiento 4										
Aporte de suelo	6900.00	1062.00	128.70	0.00	0.00	76.50	0.33	6.60	64.50	19.50
Absorción de cultivo	121.00	122.00	250.00	253.00	0.00	28.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aporte – absorción (considerando eficiencia de fertilización)	6779.00	940.00	-121.30	-253.00	0.00	48.50	0.33	6.60	64.50	19.50

Necesidad de fertilizante	-	-	-173.29	-361.43	-	-	-	-	-	-
Necesidad en la parcela (160m²)	-	-	-2.77	-5.78	-	-	-	-	-	-

Anexo 4. Frutos de las plantas de plátano de los sistemas agrosilvícolas.



Anexo 5. Teca en asocio con plátano (T2) sin afectaciones por factores bióticos o abióticos



Anexo 6. Árbol de teca quebrado por afectación del viento



Anexo 7. Brochure informativo sección frontal

En Curré, se evaluaron diferentes arreglos agroforestales

Parcela 1
Teca (T1)

Parcela 2
Teca + Plátano (T2)

Parcela 3
Teca + Plátano + Chile (T3)

Parcela 4
Teca + Plátano + Chile + Yuca (T4)

Cada parcela contó con una dimensión de 100m²

Condiciones iniciales del terreno

Se establecieron las cuatro parcelas en tres fincas diferentes (cada finca representó una repetición), en suelos no aprovechados para la producción agrícola y forestal.

Trasplante de teca y cultivos

En colaboración con miembros de la comunidad indígena de Rey Curré, se realizó la preparación del terreno, delimitación del área de cada parcela y trasplante de la teca y cultivos.

Tres meses después del trasplante

Con excepción del chile habanero, cada cultivo se estableció adecuadamente en las diferentes parcelas de cada finca.

Evaluaciones

Se realizaron evaluaciones de los sistemas agroforestales a los seis, nueve y doce meses después del trasplante. Para la teca, se evaluó en todas las plantas:

- Altura (m)
- Diámetro a la altura del pecho (DAP) (cm)
- Volumen (m³/ha)

Para los cultivos (con una muestra de un 25%) se evaluó al año:

- Rendimiento en kg/ha
- LER (relación equivalente de tierra)

El LER indica la eficiencia de los cultivos asociados en comparación con los monocultivos. Cuando el resultado es superior a uno, el cultivo en asociación favoreció el crecimiento y rendimiento de las especies asociadas.

Seis meses después del trasplante

Las plantas de teca contaban con una altura promedio general de ±1.5m. En dos fincas, todas las parcelas contaban con plantas que medían hasta 3.2m.

Altura promedio de la teca a los seis meses después del trasplante

La parcela T2 y T3 presentaron una mayor altura que los demás tratamientos. No hubo diferencias estadísticas significativas a esta edad.

Anexo 8. Brochure informativo sección posterior

