



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN SUELOS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

“DIAGNÓSTICO Y DISEÑO AGROFORESTAL EN LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN FAMILIAR SANTA ROSA, TOPIA, DURANGO”

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Presenta:

KRYSTAL YEDID ALVAREZ QUIÑONES

Bajo la supervisión de:

DR. MIGUEL URIBE GÓMEZ

Chapingo, Estado de México, mayo de 2026.

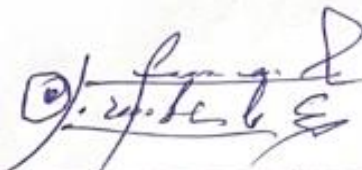


**“DIAGNÓSTICO Y DISEÑO AGROFORESTAL EN LA
UNIDAD DE PRODUCCIÓN FAMILIAR SANTA ROSA,
TOPIA, DURANGO”**

Tesis realizada por **KRYSTAL YEDID ALVAREZ QUIÑONES**, bajo la dirección
del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

DIRECTOR:



DR. MIGUEL URIBE GÓMEZ

ASESOR:



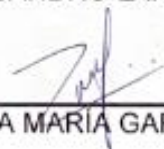
M.C. JUAN ANGEL TINOCO RUEDA

ASESOR:



DR. ALEJANDRO LARA BUENO

ASESOR:



DRA. ROSA MARÍA GARCÍA NÚÑEZ

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVOS	4
1.1.1	Objetivo general	4
1.1.2	Objetivos específicos.....	4
2	REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1	Agroforestería	5
2.2	Sistemas agroforestales (SAF).....	7
2.3	Clasificación de sistemas agroforestales.....	9
2.4	Sistemas agroforestales tradicionales	10
2.5	Sistemas agroforestales en Durango.....	11
2.6	Metodologías de diagnóstico y diseño agroforestal.....	12
2.6.1	Diagnóstico y diseño	12
2.6.2	Etapas del diagnóstico	14
2.6.3	Diseño agroforestal	16
2.6.4	Diagnóstico y diseño agroforestal participativo	17
2.6.5	Diagnóstico y diseño agroforestal a nivel de UPF	18
2.7	LITERATURA CITADA	19
3	DIAGNÓSTICO INTEGRAL PARA EL DISEÑO AGROFORESTAL DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN FAMILIAR SANTA ROSA, TOPIA, DURANGO ³ ..	24

3.1	Resumen	24
3	INTEGRATED DIAGNOSIS FOR THE AGROFORESTRY DESIGN OF THE SANTA ROSA FAMILY PRODUCTION UNIT, TOPIA, DURANGO.....	25
3.2	Abstract	25
3.3	INTRODUCCIÓN.....	26
3.4	MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.4.1	Área de estudio	29
3.4.2	Metodología.....	29
3.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
3.5.1	Pre-diagnóstico.....	34
3.5.2	Diagnóstico biofísico.....	36
3.5.3	Diagnóstico agroforestal.....	41
3.5.4	Diagnóstico social.....	48
3.5.5	Diagnóstico económico-financiero.....	50
3.6	CONCLUSIONES	53
3.7	LITERATURA CITADA	54
4	DISEÑO AGROFORESTAL EN LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN FAMILIAR SANTA ROSA, TOPIA, DURANGO	60
4.1	Resumen	60
4.2	Abstract	61
4.3	INTRODUCCIÓN.....	62
4.4	MATERIALES Y MÉTODOS	64
4.4.1	Área de estudio	64

4.4.2	Metodología.....	65
4.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.5.1	Especies arbóreas multipropósito para el diseño de SAF en la UPF Santa Rosa	66
4.5.2	Tecnologías agroforestales propuestas para el diseño de SAF en la UPF Santa Rosa	68
4.6	CONCLUSIONES	76
4.7	LITERATURA CITADA	77
5	CONCLUSIONES GENERALES	83
5.1	ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Superficie calculada para cada área de la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.	38
Cuadro 2. Propiedades físico-químicas de las muestras de suelo de la UPF Santa Rosa.	39
Cuadro 3. Indicadores de calidad de suelo para la UPF Santa Rosa.	40
Cuadro 4. Índice de Abundancia Relativa de las especies arbóreas más abundantes registradas en las condiciones analizadas en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.	42
Cuadro 5. Resultados de Shannon-Wiener y Jaccard para los datos de árboles en las condiciones analizadas en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.	43
Cuadro 6. Resultados de Kuskal-Wallis para los valores de: Jackknife1 (Riqueza), IAR (Abundancia relativa), y Shannon-Wiener (Diversidad) en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.	46
Cuadro 7. Resultados χ^2 para los valores de Jackknife1 (Riqueza), IAR (Abundancia relativa), y C) Shannon-Wiener (Diversidad) en las condiciones analizadas en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.	46
Cuadro 8. Análisis funcional de la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.	48
Cuadro 9. Usos de los recursos de la UPF Santa Rosa en las diferentes épocas del año.	49
Cuadro 10. Análisis FODA de la UPF Santa Rosa.	50
Cuadro 11. Especies seleccionadas para el diseño agroforestal en la UPF Santa Rosa.	67
Cuadro 12. Características de las tecnologías agroforestales propuestas para la UPF Santa Rosa.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de macro localización de la UPF Santa Rosa Topia, Durango, México.	29
Figura 2. Puntos de muestreo del suelo y transectos en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.	32
Figura 3. Croquis a mano alzada de la UPF Santa Rosa, elaborada por Gerardo Quiñones.	35
Figura 4. Mapa de fisiografía de la UPF Santa Rosa, Topia Durango.	37
Figura 5. Mapa de uso de suelo en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.	38
Figura 6. Curvas de rarefacción de especies arbóreas observadas vs. estimadas mediante Jackknife1 en las condiciones analizadas en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.	42
Figura 7. Resultados de los CAJ para los datos de A) riqueza y B) abundancia de árboles en las condiciones analizadas en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.	45
Figura 8. Diagramas de flujo productivo e itinerario técnico para los diversos sistemas de cultivo y crianza encontrados en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango. Fuente: Elaboración propia.	52
Figura 9. Mapa de macro localización de la UPF Santa Rosa Topia, Durango, México.	65
Figura 10. Diseño de árboles en linderos para la UPF Santa Rosa.	70
Figura 11. Disposición de las especies arbóreas en los linderos para la UPF Santa Rosa. Fuente: Elaboración propia.	71
Figura 12. Diseño de cercas vivas para la UPF Santa Rosa.	72
Figura 13. Disposición de las especies arbóreas en las cercas vivas para la UPF Santa Rosa.	72
Figura 14. Diseño de barreras vivas para la UPF Santa Rosa.	73

Figura 15. Diseño de plantación de las especies arbóreas en barreras vivas para la UPF Santa Rosa. Fuente:	Elaboración	propia.	
.....			74
Figura 16. Diseño de barreras vivas con forestería análoga para la UPF Santa Rosa.			75
Figura 17. Diseño de plantación de las especies arbóreas en barreras vivas para la UPF Santa Rosa. Fuente:	Elaboración	propia.	
.....			75

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Indicadores de calidad de suelo.	84
Anexo 2. Datos de especies arbóreas registradas en las condiciones: Árboles Dispersos a 1750 msnm, Cercas Vivas a 1850 msnm, SBC a 1650 msnm y SBC a 1550 msnm en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.	85

LISTA DE ABREVIATURAS

AYAUM	Árboles y Arbustos de Uso Múltiple
CP	Colegio de Postgraduados
D&D	Diseño y Diagnóstico
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FODA	Fortalezas Oportunidades Debilidades y Amenazas
IAR	Índice de Abundancia Relativa
ICRAF	Centro Internacional de Investigación Agroforestal
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
PNUD	Programa de Las Naciones Unidas para el Desarrollo
SAF	Sistemas Agroforestales
SAFT	Sistemas Agroforestales Tradicionales
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIG	Sistemas de Información Geográfica
UACH	Universidad Autónoma Chapingo
UNAM	Universidad Nacional Autónoma De México
UPF	Unidad de Producción Familiar

DEDICATORIAS

Dedico esta tesis a mi abuelo Cipriano Quiñones Vidaña (Q.E.P.D.) y a mi familia quienes siempre creyeron en mí, son mi mayor impulso y fueron esenciales para que este trabajo pudiera concretarse.

AGRADECIMIENTOS

A la SECIHTI antes CONAHCYT, por el financiamiento otorgado para llevar a cabo mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo por brindarme el espacio académico y humano para crecer, aprender y fortalecer mi formación profesional.

Al Dr. Saúl Ugalde, por su dedicación y paciencia al enseñarme las herramientas estadísticas que se utilizaron para este trabajo.

Al Dr. Joel Pineda Pineda y a la laboratorista María Hayde Téllez Sánchez, por el apoyo para analizar las muestras de suelo.

Mi profundo agradecimiento a mi Tata, por su acompañamiento en campo y por compartirme todos sus saberes.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nombre: Krystal Yedid Alvarez Quiñones

Fecha de nacimiento: 3 de enero de 1996

Lugar de nacimiento: Durango, Dgo.

CURP: AAQK960103MDGLXR08

Profesión: Ing. en Ciencias Forestales

Cédula profesional: 13921324



Desarrollo académico

Bachillerato: CBTIS 110, 2011 – 2014.

Licenciatura: Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, 2014 – 2019.

Posgrado: Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Enseñanza e Investigación en Suelos, Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, 2024 – 2026.

¹RESUMEN GENERAL

Diagnóstico y diseño agroforestal en la unidad de producción familiar Santa Rosa, Topia, Durango

Los sistemas agroforestales son agroecosistemas multifuncionales que permiten la transición hacia la sostenibilidad de los territorios rurales. La presente investigación se desarrolló en la Unidad de Producción Familiar (UPF) Santa Rosa, ubicada en Topia, Durango, la cual ha experimentado cambios en el uso del suelo, pérdida de cobertura vegetal e incendios recurrentes, lo que ha disminuido su capacidad para proveer productos y servicios ecosistémicos. Con el objetivo de contribuir a su rehabilitación se aplicó la metodología de Diagnóstico y Diseño (D&D) participativo a nivel de UPF. El diagnóstico integró análisis biofísico, agroforestal, social y económico-financiero, apoyado en recorridos en campo, entrevistas semiestructuradas, sistemas de información geográfica e índices de diversidad para la vegetación arbórea (Shannon-Wiener, Jaccard, Jackknife¹). Como resultados se registraron 37 especies arbóreas, 68 % de vegetación natural y una diversidad arbórea estable ($H' = 3.21$). Las especies más abundantes fueron *Juniperus deppeana*, *Pinus spp.*, *Ipomoea arborescens*, *Erythrina flabelliformis* y *Lysiloma acapulcense*. La UPF presenta economía diversificada, orientada a la autosuficiencia alimentaria, con alta disposición del productor para adoptar prácticas agroforestales. Con base en estos resultados, se diseñaron cuatro tecnologías agroforestales: árboles en linderos, cercas vivas, barreras vivas y forestería análoga en el área minera, incorporando además especies frutales (*Cydonia oblonga*, *Morus nigra*) conforme a las preferencias del productor. Los diseños propuestos integran criterios biofísicos, productivos y sociales y están orientados a delimitar espacios, conservar suelo, recuperar áreas degradadas y diversificar la producción. Con esta propuesta de prácticas agroforestales se pretende que los productores incrementen sus ingresos económicos por la venta de los productos obtenidos, así como potenciar el valor agregado de estos. El incremento de la cobertura arbórea con el establecimiento de las especies sugeridas permitirá fomentar los servicios ecosistémicos como el almacenamiento de carbono, mantenimiento de la biodiversidad nativa y la recarga de agua hacia los acuíferos de la región.

Palabras clave: agroforestería, sistemas agroforestales, agricultura familiar, sistemas de información geográfica, índices de diversidad.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Krystal Yedid Alvarez Quiñones

Director: Dr. Miguel Uribe Gómez

²ABSTRACT

Agroforestry diagnosis and design in the Santa Rosa family production unit, Topia, Durango

Agroforestry systems are multifunctional agroecosystems that support the transition toward sustainable rural territories. This research was conducted at the Santa Rosa Family Production Unit (FPU), located in Topia, Durango, where land-use changes, vegetation cover loss, and recurrent fires, have reduce the capacity to provide ecosystem goods and services.

To contribute to its rehabilitation, the participatory Diagnosis and Design (D&D) methodology was applied at the FPU level. The diagnosis integrated biophysical, agroforestry, social, and economic-financial analyses, supported by field surveys, semi-structured interviews, geographic information systems, and diversity indices for tree vegetation (Shannon-Wiener, Jaccard, and Jackknife¹). A total of 37 tree species were recorded, with 68% natural vegetation cover and stable tree diversity ($H' = 3.21$). The most abundant species were *Juniperus deppeana*, *Pinus* spp., *Ipomoea arborescens*, *Erythrina flabelliformis*, and *Lysiloma acapulcense*. The FPU has a diversified economy oriented toward food self-sufficiency, and the producer showed a high willingness to adopt agroforestry practices. Based on these results, four agroforestry technologies were designed: boundary trees, live fences, live barriers, and analog forestry in the mining area, incorporating fruit species (*Cydonia oblonga*, *Morus nigra*) according to the producer's preferences. The proposed designs integrate biophysical, productive, and social criteria and are intended to delimit spaces, conserve soil, restore degraded areas, and diversify production.

Through this proposal of agroforestry practices, producers are expected to increase their income through the sale of agricultural products and enhance their added value. In addition, increasing tree cover through the establishment of the proposed species will help promote ecosystem services such as carbon storage, maintenance of native biodiversity, and groundwater recharge in the region.

Keywords: agroforestry, agroforestry systems, family farming, geographic information systems, diversity indices.

² Master of Science Thesis, Master of Science in Agroforestry for Sustainable Development

Universidad Autónoma Chapingo

Author: Krystal Yedid Alvarez Quiñones

Advisor: Dr. Miguel Uribe Gómez

1 INTRODUCCIÓN

En México, CONAFOR (2020) registró una tasa de deforestación de 127,770 ha por año durante el periodo de 2015 a 2020, donde los principales factores en la pérdida del bosque son la perturbación ecológica y la transformación del paisaje que se asocian principalmente con la conversión a la agricultura o la ganadería comercial, eliminando la vegetación natural a través del manejo del fuego. El estado de Durango se reportó entre uno de los diez estados del país con mayor incidencia de incendios forestales (CONAFOR, 2023).

Desde la perspectiva de Mariño (2016) la transformación de antiguos sistemas de producción hacia modelos basados en monocultivos y ganadería extensiva ha ocasionado la fragmentación de los paisajes, la disminución de la conectividad, la degradación de la calidad del hábitat y un incremento en la pérdida de suelo y cobertura vegetal, impactando negativamente en la conservación y en la provisión de servicios ecosistémicos.

Una vez que la vegetación es eliminada, la erosión por el viento y agua rápidamente elimina la capa delgada del suelo fértil, haciendo que la rehabilitación sea difícil y lenta, en el mejor de los casos cierta vegetación se restablecerá por si sola, sin embargo, mediante la agroforestería estas tierras pueden ser rehabilitadas a menor plazo (Nair, Kumar & Nair, 2021).

La agroforestería es un sistema de uso de la tierra en el que, en la misma unidad de superficie, están presentes leñosas perennes con cultivos y/o animales en combinaciones o secuencias interactivas para la obtención de múltiples productos o servicios. Este sistema genera al menos dos productos, sus ciclos productivos son de más de un año y las interacciones generan una complejidad ecológica y económica mayor que la de un monocultivo (Nair et al., 2021). La Agroforestería tiene como sus principales objetivos: 1) Maximizar la producción agrícola; 2) Conservar los recursos naturales y 3) Promover la sostenibilidad a largo plazo.

Por lo que, el diagnóstico y diseño agroforestal es esencial ya que permite identificar oportunidades y limitaciones de las Unidades de Producción Familiar (UPF), especies de árboles y arbustos de uso múltiple que sean económicamente viables y ecológicamente adecuadas para la agroforestería, maximizando los beneficios tanto para los agricultores como para el medio ambiente, los Sistemas Agroforestales (SAF), pueden mejorar la productividad, la estabilidad del suelo, la calidad del agua y la biodiversidad, promoviendo así la sustentabilidad a largo plazo (Escamilla, Ayala & Quispe, 2026; Somarriba, 2009).

En las últimas décadas, la importancia de la producción de árboles y arbustos multipropósito ha aumentado significativamente tanto en México como en el resto del mundo. Alfaro, Saturnino, García, Delgado & López (2022), señalan que los árboles de uso múltiple ofrecen la posibilidad de incorporar a los SAF diferentes densidades y combinaciones de especies nativas con diversos propósitos, enfocándose en superar desafíos tanto ambientales y económicos.

Es fundamental considerar que la introducción de SAF en el paisaje implica su diseño y es crucial iniciar el proceso con los agricultores, comprendiendo y valorando sus conocimientos, necesidades, deseos y habilidades para posteriormente, colaborar con ellos en el diseño conjunto de prácticas agroforestales adaptadas a las condiciones locales (CIFOR-ICRAF, 2023).

En el estado de Durango, el modelo de SAF con más posibilidades para su implementación, hasta ahora estudiado, según la investigación de Borja et al. (2016), es el agrosilvícola simultáneo, en el que se incluyen árboles de pino (*Pinus greggii*) intercalados con cultivos anuales de maíz y frijol. Probablemente otro sistema agroforestal sea el Silvopastoril (árboles maderables, pasturas y ganado), debido a la actividad forestal desarrollada en los bosques de manera conjunta con la ganadería bajo sistemas de rotación en sitios de agostadero (Dueñez-Alanís, Gutiérrez, Pérez & Návar, 2006).

La agricultura y ganadería convencional, así como el uso inadecuado de los recursos naturales han generado pérdida de cobertura vegetal y desgaste de

suelo, ante ello surge la necesidad de una visión de manejo holístico, que permitan revertir los procesos de degradación, potencializando los beneficios ambientales, sociales y económicos. Esta problemática se refleja en la UPF “Santa Rosa”, propiedad de la familia Quiñones, ubicada en el municipio de Topia, en el estado de Durango, donde las actividades agrícolas, ganaderas y forestales han modificado la composición y disponibilidad de sus recursos naturales.

Durante las últimas tres décadas, la UPF “Santa Rosa” ha experimentado cambios significativos en el uso del suelo. A ello se suman los incendios recurrentes registrados durante los últimos cinco años, los cuales han favorecido la pérdida de cobertura forestal y, en consecuencia, la disminución de su capacidad para proveer productos y servicios ecosistémicos. Ante esta situación, se plantea la necesidad de implementar nuevas prácticas de uso y manejo de los recursos que contribuyan a mejorar el estado actual de la unidad productiva familiar.

Considerando lo anterior, se destaca la importancia de caracterizar a la UPF, para identificar la diversidad de especies arbóreas y arbustivas existentes en las áreas con vegetación natural remanente en este sitio, y seleccionar las especies que puedan aportar beneficios para integrarlas en el diseño de un sistema agroforestal.

Por lo que, este trabajo tiene como finalidad contribuir a la rehabilitación de la UPF Santa Rosa, mediante el Diagnóstico y Diseño Agroforestal participativo a nivel de UPF, adaptado a las necesidades del productor y del área de estudio, rescatando la biodiversidad y promoviendo prácticas sostenibles para el manejo de los recursos naturales.

Utilizando para su implementación la metodología de Diagnóstico y Diseño agroforestal desarrollada por Raintree (1987) y Somarriba (1998), en este estudio la metodología se adaptará de acuerdo con el trabajo desarrollado en campo y con base a las necesidades y disponibilidad de los propietarios de la UPF.

Para el desarrollo de la investigación se plantearon los siguientes objetivos:

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Diagnosticar y diseñar alternativas agroforestales en la UPF “Santa Rosa”, en el municipio de Topia, Durango para fomentar el desarrollo sostenible integrando sistemas agroforestales que conserven y optimicen el uso de los recursos naturales y favorezcan el bienestar socioeconómico de la familia.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Realizar un diagnóstico biofísico, agroforestal, social y económico-financiero de la UPF Santa Rosa, con el propósito de identificar oportunidades y limitaciones para la implementación de sistemas agroforestales.
2. Diseñar sistemas agroforestales considerando como base la información obtenida en el diagnóstico para implementación en la UPF Santa Rosa, integrando conocimientos técnicos y tradicionales que optimicen el uso de recursos naturales y promuevan la sostenibilidad de la UPF.

La etapa de diagnóstico muestra una visión de la UPF, del responsable de la unidad y de los demás miembros de la familia, del entorno biofísico, económico y social, del componente leñoso y las oportunidades y limitaciones que lo acompañan.

El diseño de alternativas agroforestales es la búsqueda de las oportunidades para manejar, en forma óptima, el componente leñoso en los sistemas agrícolas y ganaderos. Las oportunidades se evalúan razonando sobre la situación actual y sobre el potencial del componente leñoso para los diferentes sistemas agroforestales.

Las alternativas se evalúan en términos de los posibles incrementos en productividad, en sus efectos sobre la sostenibilidad y sobre su potencial de adoptabilidad. Las recomendaciones deben incluir todos los detalles de

implementación y el análisis técnico que las justifica, y una evaluación de la adoptabilidad de las recomendaciones.

Para el cumplimiento de sus objetivos, esta investigación está estructurada en tres capítulos fundamentales. En el primer capítulo se describe la problemática y la relevancia de la implementación basada en el diseño de SAF. El segundo capítulo muestra la importancia del diagnóstico biofísico, agroforestal, social y económico-financiero de la UPF Santa Rosa. Finalmente, el tercer capítulo, que al sistematizar la información del diagnóstico se encuentran las mejores opciones para el diseño e implementación de los SAF.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Agroforestería

Aunque no existe una definición universalmente aceptada, una forma de entenderla es como el nombre colectivo dado a sistemas de uso de la tierra que manejan leñosas perennes con animales y/o cultivos en combinaciones o secuencias interactivas para la obtención de múltiples productos o servicios de una misma unidad (Nair et al., 2021).

El término agroforestería es una palabra polisémica que hace referencia a la práctica, el arte y a la disciplina científica que estudia la diversidad de estas formas de manejo de la tierra. Varios autores proponen que es una palabra nueva para prácticas tan antiguas como el origen de la agricultura. La agroforestería tiene sus raíces en el concepto de agrosilvicultura (King, 1968). La primera definición de agroforestería fue expresada por Bene & Côté (1977) definiéndola como “un sistema sostenible de manejo de tierras que aumenta la producción total, combinando simultánea o secuencialmente cultivos agrícolas, árboles y/o animales, aplicando prácticas de manejo que sean compatibles con los patrones culturales de la producción local”.

La agroforestería es un nombre colectivo para los sistemas de uso de la tierra y tecnologías donde las perennes leñosas (árboles, arbustos, palmas y bambúes etc.) se cultivan deliberadamente en las mismas unidades de manejo de tierra con cultivos agrícolas, y/o animales en alguna forma de arreglo espacial o de secuencia temporal. Donde se presentan interacciones ecológicas y económicas entre sus componentes (ICRAF, 1982).

Agroforestería es el conjunto de técnicas de manejo de tierras que indica la combinación de árboles con cultivos o con animales domésticos, o la combinación de los tres. Tal combinación puede ser simultánea o secuencial, manteniendo el principio de rendimiento sustentable. En esta combinación debe haber una interacción significativa (Budowski, 1993).

La Agroforestería es el arte y la ciencia del cultivo de árboles en combinación interactiva con cultivos anuales y/o cría de animales en la misma unidad de tierra, con propósitos múltiples; es un enfoque práctico para el desarrollo rural sostenible (Krishnamurthy & Ávila, 1999).

Algunos autores definen la agroforestería como el cultivo de especies leñosas en la misma unidad de tierra que los cultivos agrícolas y/o animales, ya sea simultánea o secuencial (Nair, 1997). Además, la agroforestería puede incluir el manejo de plantas leñosas perennes como árboles, arbustos o palmas, junto con cultivos agrícolas y/o animales (Soto-Pinto, Jiménez & Lerner, 2008).

La agroforestería es una forma de gestión forestal que puede contribuir a incrementar la productividad agrícola basada en la biodiversidad, generando medios de vida sustentables en la misma medida que se controla la deforestación y degradación forestal, qué al integrar aspectos naturales, ecológicos, productivos y sociales, se debe incluir como un componente esencial de las estrategias de restauración (Villa, Martins, Delgado-Monsanto, Oliveira-Neto & Mota-Cancio, 2015). Esto se debe a que ayuda al bienestar de las comunidades rurales al mejorar su calidad de vida a través de la diversificación de los cultivos

y la preservación de los recursos naturales (Villavicencio-Enríquez & Valdez-Hernández, 2003).

Resumiendo, “la agroforestería puede definirse como: un nombre colectivo para todos los sistemas y prácticas de uso de la tierra donde las plantas leñosas perenes se establecen deliberadamente en la misma unidad de tierra con cultivos agrícolas y/o animales, en combinaciones espaciales o en secuencia temporal. Deberá haber una interacción ecológica y económica importante entre los componentes leñosos y no leñosos”. Esta definición indica la naturaleza diversa de la agroforestería.

En términos técnicos, la agroforestería es una ciencia que se distingue de la silvicultura como de la agricultura. Su objetivo es optimizar interacciones positivas entre los componentes leñoso y no leñoso, de tal manera que el sistema de producción pueda ser más sustentable y diversificado que el enfoque convencional bajo las condiciones agroecológicas y socioeconómicas dadas.

En la agroforestería participan tres disciplinas básicas que deben colaborar necesariamente: la silvicultura, la agronomía y la cría de ganado. El objetivo de esta colaboración es identificar las óptimas combinaciones posibles de los diferentes componentes. El enfoque de sistemas es una herramienta que permite el estudio de situaciones reales de una manera práctica.

En el contexto rural un sistema agrícola puede definirse como “un arreglo único y razonablemente estable de empresas agrícolas que la familia maneja de acuerdo con prácticas bien definidas en respuesta al ambiente físico, biológico y socioeconómico y en concordancia a las metas, preferencias y recursos de la familia” (Shaner, Philipp, & Schmehl, 1982).

2.2 Sistemas agroforestales (SAF)

A partir del concepto de agroforestería surge el término de Sistemas Agroforestales, es un sistema de producción de alimentos con árboles en combinaciones interactivas con animales y/o cultivos. Los SAF pueden estar

diseñados con base en conocimientos empíricos, los cuales se denominan prácticas agroforestales. Un concepto clave dentro de los SAF es el de árbol y arbusto de uso múltiple que es una leñosa perenne cultivada deliberadamente para aportar productos y servicios al sistema (por ejemplo, madera, frutos, resinas, protección, sombra, aporte de materia orgánica al suelo, entre otras). El concepto de árbol y arbusto de uso múltiple es tan importante en la agroforestería que un sistema no puede llamarse agroforestal si no está presente el componente arbóreo (Nair, 1997; Krishnamurthy & Ávila, 1999).

Casi todos los SAF conducen a un incremento de la agrobiodiversidad, pero no necesariamente todos contribuyen a la conservación de las especies naturales o a la conectividad de los hábitats, para ello, se necesita incluir en el sistema más árboles y especies autóctonas; es decir, aquellas que crecen de manera natural en la zona (Gassner & Dobie, 2023). Como lo menciona Villa et al. (2015), particularmente, cada situación estará determinada por la interacción compleja entre la capacidad de recuperación de los ecosistemas y las prácticas de rehabilitación agroforestal aplicadas, y en todas las circunstancias, es probable que los SAF establecidos en zonas deforestadas sean capaces de capturar y retener mayores cantidades de carbono en la vegetación y en el suelo en comparación con los sistemas agrícolas temporales sin árboles.

La implementación de SAF en terrenos degradados podría ser una opción relativamente efectiva en comparación con otras estrategias de gestión forestal, ya que los árboles generan una mayor cantidad de materia orgánica que gradualmente mejora la calidad del suelo y facilita la captura de carbono a corto plazo, además que proveen una amplia gama de productos los que benefician a los agricultores al proporcionar alimentos para personas y animales, materia prima para herramientas, productos ornamentales, medicinales entre otros (Alfaro et al., 2022).

Además, tomando como referencia a Saavedra, Vallarino, Mejía y Centella (2021), el uso de vegetación como cobertura ejerce un impacto significativo en el nivel de humedad del suelo, ya que ésta intercepta una gran parte de la

precipitación, la cual se acumula en hojas y ramas, facilitando su evaporación al medio ambiente como parte del ciclo hidrológico, por lo tanto este tipo de modelos productivos tiene además la capacidad de enfrentar mejor los efectos del cambio climático, y vuelve a los sistemas tradicionales más resilientes.

2.3 Clasificación de sistemas agroforestales

La clasificación de los SAF permite ordenar la gran diversidad de combinaciones posibles entre árboles, cultivos agrícolas, pastizales y animales. Estas combinaciones en muchos casos han recibido nombres locales o específicos según el contexto en que se practican (Escamilla et al., 2026). Diversos criterios pueden ser usados para clasificar y agrupar los SAF y sus prácticas. Al respecto, Nair et al. (2021) mencionan que uno de los criterios más utilizados se basa en la estructura del sistema, es decir, en la composición y arreglo de sus componentes, así como en su función, escala socioeconómica, nivel de manejo y alcance ecológico.

La clasificación dependerá sobre la propuesta para la cual será destinado. Sin embargo, hay solo tres componentes básicos establecidos que son manejados por el hombre en todo el sistema agroforestal, es decir leñosas perennes, plantas herbáceas y animales, y por consiguiente, el primer paso lógico es la clasificación de los SAF basados en sus componentes, es decir en sistemas agrosilvícolas, silvopastoril y agrosilvopastoril (o cualquier otro especializado) (Nair et al., 2021).

En este sentido, Combe y Budowski (1979), proponen una clasificación inicial basada en los componentes asociados, distinguiendo sistemas silvoagrícolas (árboles y cultivos), silvopastoriles (árboles y ganado), y agrosilvopastoriles (cultivos, árboles y ganado).

Los sistemas agrosilvopastoriles, combinan la actividad forestal, agrícola y ganadera sobre una misma superficie de tierra, por lo que se consideran más complejos, integrando los componentes: arboles, cultivos, ganado y suelo que interactúan entre sí. El diseño y manejo de sistemas agrosilvopastoriles requiere del análisis profundo de esas interacciones (Carranza & Ledesma, 2009).

2.4 Sistemas agroforestales tradicionales

Las prácticas agroforestales tradicionales integran árboles y arbustos en los paisajes agrícolas y se basan en gran medida en los sistemas de conocimiento indígenas. Estas prácticas, moldeadas por milenios de observación, ofrecen perspectivas para la gestión sostenible de la tierra. El conocimiento indígena mejora la comprensión de los ecosistemas locales, los tipos de suelo y las condiciones climáticas, lo que resulta en técnicas que equilibran la producción agrícola con la conservación ecológica. Las prácticas indígenas fomentan la biodiversidad, promueven diversas especies vegetales para obtener beneficios ecológicos y económicos, y reflejan una profunda comprensión de los ciclos estacionales, maximizando los rendimientos y minimizando el impacto ambiental. A pesar de enfrentar desafíos modernos como la tenencia de la tierra, la integración del conocimiento indígena con enfoques científicos puede mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de los sistemas agroforestales, cruciales para abordar los desafíos ambientales (Moreno-Calles, Toledo & Casas, 2013).

Los Sistemas Agroforestales Tradicionales (SAFT) son sistemas de uso de la tierra ancestrales que han prevalecido hasta la actualidad; su forma de producción es de baja intensidad por las prácticas, herramientas y los insumos usados (Viswanath, Lubina, Subbanna & Sandhya, 2018). Mantienen cultivos básicos y una alta diversidad de recursos vegetales y animales, además de hongos y microbiota (Moreno-Calles, Casas, Toledo & Vallejo-Ramos, 2016) y se caracterizan por el lugar en el que se desarrollan, ya que difieren en estructura, función, atributos socioeconómicos y los servicios ecológicos que ofrecen (Viswanath et al., 2018).

Las prácticas agroforestales tradicionales integran árboles y arbustos en los paisajes agrícolas y se basan en gran medida en los sistemas de conocimiento indígenas. Estas prácticas, moldeadas por milenios de observación, ofrecen perspectivas para la gestión sostenible de la tierra. El conocimiento indígena mejora la comprensión de los ecosistemas locales, los tipos de suelo y las condiciones climáticas, lo que resulta en técnicas que equilibran la producción

agrícola con la conservación ecológica. Las prácticas indígenas fomentan la biodiversidad, promueven diversas especies vegetales para obtener beneficios ecológicos y económicos, y reflejan una profunda comprensión de los ciclos estacionales, maximizando los rendimientos y minimizando el impacto ambiental. A pesar de enfrentar desafíos modernos como la tenencia de la tierra, la integración del conocimiento indígena con enfoques científicos puede mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de los SAF, cruciales para abordar los desafíos ambientales (Moreno-Calles et al., 2013).

Algunos ejemplos incluyen el sistema de "milpa" en Mesoamérica, que combina maíz, frijol y calabaza con diversos árboles, el sistema "taungya" en el Sudeste Asiático, que fusiona cultivos con plantaciones de árboles maderables. Las terrazas agroforestales, son los sistemas más antiguos que los arqueólogos han encontrado en México, de origen prehispánico y construidas desde los años 1200 para producir alimentos y retener el agua de las lluvias, utilizando técnicas asociadas a condiciones edafoclimáticas de temperatura, precipitación y suelo. Actualmente, de este sistema tradicional sobrevive la producción principalmente de maíz, árboles frutales y/o magueyes en bordos para la contención del suelo con un ancho de 3 a 4 m y altura de 1 a 1.5 m. El área de siembra tiene una superficie entre 15 y 25 m de ancho en función de la pendiente: a mayor pendiente, menor área de siembra. Las terrazas se asocian con la forma de construcción para el control de la erosión del suelo y la retención de la humedad (Moreno-Calles et al., 2016).

2.5 Sistemas agroforestales en Durango

En Durango, los sistemas agroforestales representan una estrategia de manejo del suelo en la que se combinan la plantación de especies arbóreas y cultivos agrícolas, y animales con el fin de proveer de beneficios alimenticios, económicos y ambientales, debido a que, comúnmente, las plantaciones forestales comerciales de *Pinus greggii* y *P. engelmannii* son las más utilizadas por su potencial como pinos de navidad, sin embargo el tiempo es una limitante, pues los productores tienen que esperar de 8 a 12 años para realizar el

aprovechamiento de los árboles, por esto surgió la necesidad de proponer sistemas agroforestales de Pino, frijol y/o maíz en hileras y callejones, con un costo de establecimiento de entre 38 y 40 mil pesos por ha (Borja, Sigala, Sarmiento & Rosales, 2016).

Moreno-Calles et al. (2016) encontraron qué, en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, Durango, donde hay un sistema silvopastoril establecido durante la época colonial y que aún se utiliza, conocido localmente como “ganadería libre” el cuál es llamado así porque no se usan cercos que delimiten las áreas de pastoreo, sin embargo, ha sido poco estudiado.

2.6 Metodologías de diagnóstico y diseño agroforestal

2.6.1 Diagnóstico y diseño

La agroforestería y su clasificación en sistemas agroforestales es una forma de uso de la tierra que puede incrementar la productividad, diversificar la producción y mejorar la sostenibilidad ecológica. Estos beneficios se alcanzan cuando las recomendaciones agroforestales responden a las condiciones particulares de cada UPF, de cada sistema de producción y de cada productor. En este sentido la metodología de Diagnóstico y Diseño agroforestal es una herramienta valiosa para interpretar y manejar los sistemas agroforestales de una UPF, porque centra en el análisis en el componente leñoso perenne, de sus interacciones con los otros componentes productivos, de su manejo y de su utilización por parte de la familia que administra la tierra (Raintree, 1987; Rocheleau & Vonk, 1983).

El D&D de SAF fue desarrollado en el Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF) bajo la dirección de Raintree (1987), quien lideró la creación del D&D, metodología destinada a diagnosticar problemas de manejo de la tierra y diseñar e implementar soluciones agroforestales, que se enfoca específicamente en las necesidades, restricciones y oportunidades de la agroforestería dentro de los sistemas de uso de la tierra existentes. El D&D es un enfoque metodológico utilizado en diversas disciplinas, como la agroforestería, el diseño urbano, la planificación ambiental y el paisajismo. Este

enfoque busca identificar problemáticas, necesidades y oportunidades en un sistema o área específica (diagnóstico) y proponer soluciones o estrategias adecuadas para optimizar su funcionamiento o mejorar las condiciones existentes (diseño) (Raintree, 1987).

El proceso D&D se desarrolla en dos etapas complementarias. El diagnóstico consiste en la recopilación y análisis de información para comprender las características, dinámicas y problemáticas de un sistema de producción a diferentes escalas, considerando aspectos biofísicos, agroforestales, sociales y económico-financieros. Esta etapa permite identificar los subsistemas que lo componen, los recursos disponibles, las limitaciones, las potencialidades y el contexto socioeconómico, con el fin de reconocer los elementos clave para la planificación agroforestal. A partir de esta información, el diseño integra soluciones específicas y estratégicas orientadas a mejorar el sistema o resolver los problemas identificados, respondiendo a criterios de productividad, sostenibilidad y potencial de adopción (Somarriba, 1998; Soto-Pinto et al., 2008).

La metodología de D&D es una herramienta valiosa para manejar los SAF (Somarriba, 1998), este visualiza la UPF como un sistema donde interactúan el entorno ambiental y socioeconómico con los sistemas de producción (Raintree, 1987) y se centra en el análisis del componente leñoso perene, las interacciones con otros componentes productivos y su manejo y utilización por parte de la familia que administra la tierra (Rocheleau & Vonk, 1983).

Nair (1993) señaló que los procedimientos sugeridos en el D&D deben adaptarse siempre a las necesidades y circunstancias de usuarios específicos, garantizando así la efectividad de los SAF. El ICRAF propone desarrollar la metodología de diagnóstico desde un enfoque analítico, que permita analizar el estado actual del sistema, para determinar los subsistemas e identificar las oportunidades, limitantes y los potenciales de ellos. A partir del diagnóstico, se tiene la capacidad de “identificar tecnología existente que podría ser introducida en el sistema o subsistema y definir la naturaleza del problema de investigación

que debe resolverse si se desea mejorar la capacidad del sistema” (Raintree, 1987).

2.6.2 Etapas del diagnóstico

2.6.2.1 Prediagnóstico

En esta etapa se realiza recorridos para identificar los usos de suelo existentes en la UPF, definir los objetivos de los productores e identificar recursos y tecnología disponibles, se utiliza el mapeo comunitario, transectos, visitas a la comunidad y entrevistas informales (Soto-Pinto et al., 2008).

2.6.2.2 Diagnóstico biofísico

En este diagnóstico se realiza el análisis de superficies, donde se toma en cuenta el tipo de suelo de la UPF, el clima, la topografía y la vegetación, por lo que es necesario medir: la asignación de tierra a las actividades productivas y no productivas de la UPF (análisis de superficies), las plantaciones en líneas y las oportunidades y limitaciones de la UPF y su entorno ambiental (Somarriba, 1998).

2.6.2.3 Diagnóstico agroforestal

El diagnóstico agroforestal tiene como propósito evaluar la distribución, composición y funcionalidad de las especies leñosas perennes en la UPF, así como su relación con los sistemas de producción existentes. En este diagnóstico Somarriba (1998) menciona que se trata principalmente de responder las preguntas: ¿Dónde están las leñosas perennes de la UPF?, ¿En qué sistema de producción?, ¿Cuáles son las especies? (composición botánica), ¿Cuántas son? (abundancia), ¿Cuáles y cuantos productos o beneficios aportan? (producción), ¿Qué efectos favorables o desfavorables producen en los otros componentes de los sistemas de la UPF? (interacciones). Para recolectar esta información se hacen recorridos, identificación de especies, conteos y se anota en formularios.

2.6.2.4 Diagnóstico social

A través de este diagnóstico se pretenden conocer los objetivos y visión (actual y futura) del encargado de la UPF y su familia, la estructura familiar, educación, empleo, y las oportunidades y/o limitaciones que tienen. Esta información se obtiene mediante entrevistas semiestructuradas (Raintree, 1987; Somarriba, 1998).

2.6.2.5 Diagnóstico económico-financiero

El diagnóstico económico tiene como objetivo recopilar información clave que permita diseñar y establecer SAF viables, sostenibles y adaptados a las necesidades de la UPF y su comunidad. Antes de establecer un SAF, se tiene que evaluar la rentabilidad financiera, la cual debe considerar aspectos particulares del manejo de los árboles y cultivos agrícolas. Así mismo, es necesario analizar la obtención y venta de diferentes productos, con la finalidad de proporcionar información que sustente la toma de decisiones por parte de los productores y que se garantice la recuperación de la inversión. La implementación de un sistema viable, desde el punto de vista financiero contribuye a la sostenibilidad de los sistemas de producción y al mismo tiempo se incrementa la calidad de vida de la población rural (Borja et al., 2016).

Los datos se obtienen mediante una o varias entrevistas y formularios sobre manejo, costos, insumos, producción y precios (Somarriba, 1998).

Raintree (1987) menciona que el D&D ha evolucionado de una metodología emergente a un conjunto sólido de procedimientos y conocimientos fundamentales, convirtiéndose en una herramienta valiosa para el desarrollo de la agroforestería. No obstante, su máximo potencial aún no se ha alcanzado. Para progresar, será esencial un enfoque equilibrado que integre la mejora de los procedimientos con el continuo desarrollo del conocimiento. Esto permitirá asegurar que las tecnologías agroforestales sean no solo viables desde el punto de vista técnico, sino también adecuadas a las condiciones ecológicas, económicas y sociales de los sistemas de uso de la tierra.

2.6.3 Diseño agroforestal

El diseño agroforestal se fundamenta en la integración planificada de componentes arbóreos y cultivos agrícolas o ganaderos con el fin de generar sistemas productivos sostenibles que optimicen el uso del espacio, mejoren la fertilidad del suelo y diversifiquen los ingresos de las comunidades rurales (FAO, 2013; Nair, 1993). Es por eso que la elección de especies debe sustentarse en criterios de compatibilidad ecológica y económica; a diferencia de las modalidades convencionales de uso de la tierra, los SAF promueven la complementariedad de funciones ecológicas y productivas, al combinar especies con distintas tasas de crecimiento, patrones de raíz y demandas hídricas, de modo que se minimicen las pérdidas por lixiviación y se potencie la fijación de nutrientes (Jose, 2009; Montagnini & Nair, 2004).

El diseño debe incorporar una perspectiva dinámica, capaz de adaptarse a las variaciones climáticas y a la evolución de los requerimientos del productor. Para ello, se recomienda emplear modelos de simulación y herramientas participativas que involucren a las comunidades locales en la toma de decisiones, garantizando así la viabilidad técnica, económica y social del sistema (FAO, 2013; Schroth & Sinclair, 2003). Con un enfoque interdisciplinario y participativo, el diseño agroforestal contribuye de manera significativa al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente aquellos relacionados con la seguridad alimentaria, la gestión sostenible de los recursos naturales y la mitigación del cambio climático (Jose, 2009; Nair et al., 2021).

Para llevar a cabo un diseño agroforestal eficiente, es imprescindible contar con el diagnóstico, seleccionando especies y tecnologías que maximicen la sostenibilidad. Según (López, 2023) este diseño incluye:

- **Especies arbóreas:** Selección de especies adecuadas considerando sus funciones ecológicas y económicas de preferencia nativas y adaptadas al contexto local.
- **Disposición espacial:** Diseño espacial del sistema, incluyendo arreglos lineales, zonificación y densidades de plantación.

- **Cronograma:** Planificación temporal de las actividades agroforestales.
- **Implementación y monitoreo:** Establecimiento de parcelas experimentales y monitoreo periódico para evaluar el desempeño del sistema y realizar ajustes.

Soto-Pinto et al. (2008) afirman que la selección de especies es esencial para el diseño de los SAF, dado que de ello dependen el potencial productivo y la capacidad de protección del sistema. No obstante, enfatizan que los objetivos de los productores y las características del terreno son aspectos cruciales de los que dependerá el diseño y la selección de especies. Ruiz, Gómez y Monterroso (2019) coinciden con esto y propusieron una metodología de evaluación de tierras para diseñar tecnologías agroforestales en la que consideran el diagnóstico de los aspectos biofísicos, la participación social y un elemento adicional: la valoración económica.

Como menciona López (2023), la amplia variedad de características naturales y estilos de vida de las comunidades permite promover el diseño de sistemas agroforestales que planifiquen la densidad, el arreglo de los componentes y hasta las prácticas de manejo a realizar para que se adapten específicamente a los recursos disponibles de cada región y a las necesidades de la población local.

En este contexto, si las tecnologías agroforestales incluidas en el diseño ya están disponibles, el diseño puede ser utilizado directamente como referencia para establecer nuevos sistemas agroforestales, en caso de que dichas tecnologías aún no estén desarrolladas o no sean lo suficientemente conocidas para ser recomendadas a los agricultores, el diseño actúa como una herramienta para identificar las áreas de investigación que necesitan ser abordadas para crear las tecnologías necesarias (Raintree, 1987).

2.6.4 Diagnóstico y diseño agroforestal participativo

Es una metodología del Diagnóstico y Diseño que busca construir un conocimiento compartido y contextualizado, donde la comunidad es protagonista en la identificación de sus propias necesidades y potencialidades, así como en la

definición de estrategias para su desarrollo sostenible. Esta metodología se basa en principios de colaboración y diálogo, promoviendo la participación directa de los actores locales en la recopilación de información, la toma de decisiones y la planificación de acciones para el desarrollo, en este proceso lo más importante es incorporar el conocimiento, experiencia y participación de los productores para ajustarse a las condiciones reales (Soto-Pinto et al., 2008).

Algunas características clave del diagnóstico participativo según (Soto-Pinto et al., 2008) son: 1) Participación Inclusiva: Se busca la inclusión de todos los sectores de la comunidad, considerando sus saberes, percepciones y experiencias. Esto ayuda a obtener una visión más completa y rica del contexto y los problemas que enfrenta la comunidad; 2) Empoderamiento Local: Al ser parte activa del proceso de diagnóstico, los miembros de la comunidad se empoderan, desarrollan capacidades de análisis crítico y fortalecen su autogestión para resolver problemas; 3) Intercambio de saberes: Se valora tanto el conocimiento científico como el tradicional, fomentando un intercambio de saberes entre técnicos, investigadores y la comunidad, lo que enriquece el proceso de diagnóstico y las soluciones propuestas. 4) Procesos dialógicos: La metodología se desarrolla a través de talleres, entrevistas, mapas participativos y otras herramientas que facilitan el diálogo y la reflexión colectiva. 5) Propuestas Contextualizadas: Las soluciones y propuestas de acción derivadas del diagnóstico son específicas al contexto local, tomando en cuenta la diversidad cultural, social y ecológica de la comunidad.

2.6.5 Diagnóstico y diseño agroforestal a nivel de UPF

Hay muchas posibilidades para mejorar las practicas campesinas y cada productor tiene diferentes necesidades y aspiraciones, por ello, Soto-Pinto et al. (2008) menciona que para diseñar nuevas formas de producción hay que ser un buen observador pues las técnicas propuestas deben ser realmente útiles y específicas aplicables a nivel de UPF.

En su análisis, Dzib (2016) argumenta que los esfuerzos en el diseño agroforestal se han centrado a nivel micro, específicamente en sistemas de producción a escala de parcela. Sin embargo, no se ha profundizado en cómo estos sistemas agroforestales se relacionan con la conservación de la biodiversidad y la gestión del paisaje, destacando que la ecología del paisaje proporciona métodos para analizar los patrones generales que caracterizan el entorno, y puede ser una herramienta invaluable para analizar y diseñar SAF. Por lo que considera fundamental enfocarse en integrar especies arbóreas locales como componentes clave.

2.7 LITERATURA CITADA

- Alfaro R., T., Saturnino D., M., García C., X., Delgado B., J. & López C., Y. (2022). *Árboles multipropósito de la península de Yucatán de importancia agroforestal*. CONAFOR.
- Bene, J. G., Beall, H. W. & Côté, A. (1977). *Trees, food, and people: Land management in the tropics*. International Development Research Centre.
- Borja B., M., Sigala R., J. Á., Sarmiento L., H. & Rosales M., S. (2016). *Eficiencia productiva y económica de sistemas agroforestales pino y cultivos anuales en el estado de Durango* (1.^a ed.). INIFAP.
- Budowski, G. (1993). Agroforestería: Una disciplina basada en el conocimiento tradicional. *Recursos Naturales y Ambiente*, (3).
- Carranza, C. A. & Ledesma, M. (2009). *Bases para el manejo de sistemas silvopastoriles* [ponencia]. XIII Congreso Forestal Mundial, Buenos Aires, Argentina.
- CIFOR-ICRAF. (2023). *Agroforestería: Una guía. Principios de diseño y manejo agroforestal en beneficio de las personas y del medioambiente*. <https://doi.org/10.5716/cifor-icraf/BK.33141>
- Combe, J. & Budowski, G. (1979). *Clasificación de las técnicas agroforestales: Una revisión de literatura*. En G. de las Salas (Ed.), *Taller Sistemas*

Agroforestales en América Latina, Turrialba, 1979: Actas (pp. 17–48). CATIE.

Comisión Nacional Forestal. (2020). *Estimación de la tasa de deforestación en México para el periodo 2001–2018 mediante el método de muestreo*. CONAFOR.

Comisión Nacional Forestal. (2023). *Informe estadístico de incendios forestales para el periodo enero–diciembre 2023*. Programa de Manejo del Fuego.

Dzib, C. B. B. (2016). *Diseño de sistemas agroforestales con base en las condiciones ecológicas y productivas de comunidades campesinas de la Península de Yucatán*. ECOSUR.

Dueñez-Alanís, J., Gutiérrez, J., Pérez, L. & Návar, J. (2006). Manejo silvícola, capacidad de infiltración, escurrimiento superficial y erosión. *Terra Latinoamericana*, 24(2), 233–240.

Escamilla, E., Ayala, D. & Quispe, G. C. (2026). *Los sistemas agroforestales para el bienestar social comunitario en México. Volumen I: Fundamentos, diseño y experiencias* [manual técnico]. Universidad Autónoma Chapingo; El Colegio de la Frontera Sur; Comisión Nacional Forestal.

FAO. (2013). *Avanzando la agroforestería en la agenda de políticas: Guía para responsables de la toma de decisiones*. FAO.

Gassner, A. & Dobie, P. (2023). Codiseño y establecimiento de sistemas agroforestales. En *Agroforestería: Una guía. Principios de diseño y manejo agroforestal en beneficio de las personas y del medioambiente* (pp. 70–87). Centro para la Investigación Forestal Internacional; Centro Internacional de Investigación Agroforestal.

ICRAF. (1982). *Definición de agroforestería*. Centro Internacional de Investigación Agroforestal.

- Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, 76, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- King, K. F. S. (1968). *Agri-silviculture: The taungya system* (Bulletin No. 1). Department of Forestry.
- Krishnamurthy, L. & Ávila, M. (1999). *Agroforestería básica* (Serie de Textos Básicos para la Formación Ambiental N.º 3). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe; Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe.
- López Ortiz, S. (2023). Diseño de sistemas agroforestales basados en los recursos locales. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 23 (Suplemento II). <https://doi.org/10.53897/revaia.23.27.33>
- Mariño G., R. A. (2016). *Caracterización de servicios ecosistémicos para el diseño de sistemas agroforestales en la cuenca alta del río Ranchería, Guajira, Colombia* [tesis de grado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales].
- Montagnini, F. & Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61(1–3), 281–295.
- Moreno-Calles, A., Toledo, V. M. & Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4), 375–398. <https://doi.org/10.17129/botsci.552>
- Moreno-Calles, A., Casas, A., Toledo, V. M. & Vallejo-Ramos, M. (2016). *Etnoagroforestería en México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nair, P. K. R. (1993). Design and evaluation of agroforestry systems. En *An introduction to agroforestry* (pp. 347–356). ICRAF.
- Nair, P. K. R. (1997). *Agroforestería*. Universidad Autónoma Chapingo.

- Nair, P. K. R., Kumar, B. M., & Nair, V. D. (2021). *An introduction to agroforestry: Four decades of scientific developments* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-75358-0>
- Raintree, J. B. (1987). The state of the art of agroforestry diagnosis and design. *Agroforestry Systems*, 5, 219–250. <https://doi.org/10.1007/BF00119124>
- Rocheleau, D. E. & Vonk, R. B. (1983). The role of agroforestry in farming systems research and development. *Farming Systems Support Project Newsletter*, 1(3).
- Ruiz, G. P., Gómez, D. J. D., Monterroso, R. A. I. & Uribe, G. M. (2019). Tecnologías agroforestales para una selva baja caducifolia: Propuesta metodológica. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10, 80–107.
- Saavedra, F. G., Vallarino, R., Mejía, G. & Centella, D. (2021). Bioingeniería de taludes: Evaluación del uso de árboles y arbustos como posible mecanismo para incrementar el factor de seguridad. *Revista de Iniciación Científica*, 7(2), 26–38.
- Shaner, W. W., Philipp, P. F. & Schmehl, W. R. (1982). *Farming systems research and development: Guidelines for developing countries*. Westview Press.
- Schroth, G. & Sinclair, F. L. (2003). *Trees, crops and soil fertility: Concepts and research methods*. CABI Publishing.
- Somarriba, E. (1998). Diagnóstico y diseño agroforestal. *Agroforestería en las Américas*, 5(17–18), 68–72.
- Somarriba, E. (2009). Planificación agroforestal de fincas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). ISBN 978-9977-57-483-7
- Soto-Pinto, L., Jiménez, F. G. & Lerner, M. T. (2008). *Diseño de sistemas agroforestales para la producción y la conservación: Experiencia y tradición en Chiapas* (1.^a ed.). ECOSUR.

- Villa, P. M., Martins, S. V., Delgado-Monsanto, L., Oliveira-Neto, S. N. & Mota-Cancio, N. (2015). La agroforestería como estrategia para la recuperación y conservación de reservas de carbono en bosques de la Amazonía. *Bosque*, 36(3), 347–356. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000300002>
- Villavicencio-Enríquez, L. & Valdez-Hernández, J. I. (2003). Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*, 37(4), 413–423.
- Viswanath, S., Lubina, P., Subbanna, S. & Sandhya, M. (2018). Traditional agroforestry systems and practices: A review. *Advanced Agricultural Research & Technology Journal*, 2(1), 18–29.

3 DIAGNÓSTICO INTEGRAL PARA EL DISEÑO AGROFORESTAL DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN FAMILIAR SANTA ROSA, TOPIA, DURANGO³

3.1 Resumen

Se realizó un diagnóstico agroforestal integral en la Unidad de Producción Familiar Santa Rosa Topia, Durango, con el propósito de generar las bases para el diseño de sistemas agroforestales, la metodología utilizada fue el Diagnóstico y Diseño agroforestal participativo a nivel de finca y las herramientas con las que se obtuvo la información fueron las entrevistas semiestructuradas, los sistemas de información geográfica y la determinación de índices para estimar la riqueza de especies arbóreas reportada en las diferentes condiciones evaluadas (Shannon-Wiener y Jaccard). Para los parámetros de riqueza y abundancia; los datos (presencia-ausencia; riqueza) por especie arbórea registrada y, los de sus frecuencias (abundancia) fueron analizados con Análisis de Clusterización Aglomerativa Jerárquica. Los resultados arrojan 37 especies arbóreas con una proporción de vegetación natural de (68%). Una diversidad arbórea estable (Shannon-Wiener 3.21). Los Índices de Abundancia Relativa para la vegetación arbórea en las diferentes condiciones bajo estudio; mostraron que cinco de las especies arbóreas registradas fueron las más abundantes en el ensamblaje (*Juniperus deppeana*, *Pinus spp.*, *Ipomoea arborescens*, *Erythrina flabelliformis*, *Lysiloma acapulcense*). Predomina el uso tradicional de los árboles como postes para delimitar espacios y como sombra para el ganado. Desde el punto de vista socioeconómico la Unidad de Producción Familiar presenta una estructura basada en la diversificación productiva de agricultura (maíz, frijol, avena, calabaza) y ganadería a pequeña escala orientada al autoconsumo, complementada con otras actividades no agropecuarias y dependencia de apoyos gubernamentales, lo que refleja una economía resiliente, pero vulnerable. Sin embargo, el productor tiene amplia disposición para adoptar prácticas agroforestales, presentando un alto potencial para el diseño, rediseño e implementación de sistemas agroforestales sostenibles.

Palabras Clave: Agroforestería, diagnóstico agroforestal, diversidad arbórea, sistemas agroforestales, unidad de producción familiar.

³Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Krystal Yedid Alvarez Quiñones

Director de tesis: Dr. Miguel Uribe Gómez

3 INTEGRATED DIAGNOSIS FOR THE AGROFORESTRY DESIGN OF THE SANTA ROSA FAMILY PRODUCTION UNIT, TOPIA, DURANGO

3.2 Abstract

An integrated agroforestry diagnosis was carried out in the Santa Rosa Family Production Unit, located in Topia, Durango, with the purpose of establishing the basis for the design of agroforestry systems. The methodology used was participatory agroforestry Diagnosis and Design at the farm level. Information was collected through semi-structured interviews and geographic information systems. For the agroforestry diagnosis, diversity indices were calculated to estimate the richness of tree species reported under the different evaluated conditions (Shannon-Wiener and Jaccard indices). For the richness and abundance parameters, the data on presence-absence and richness by recorded tree species, as well as their frequency data (abundance), were analyzed using Hierarchical Agglomerative Cluster Analysis. The results showed 37 tree species, with natural vegetation representing 68% of the total. Tree diversity was stable, according to the Shannon-Wiener index (3.21). The Relative Abundance Indices for tree vegetation under the different conditions studied showed that five recorded tree species were the most abundant in the assemblage: *Juniperus deppeana*, *Pinus* spp., *Ipomoea arborescens*, *Erythrina flabelliformis*, and *Lysiloma acapulcense*. The traditional use of trees predominates, mainly as fence posts to delimit spaces and as shade for livestock. From a socioeconomic perspective, the Family Production Unit has a structure based on productive diversification, including agriculture (maize, beans, oats, and squash) and small-scale livestock farming oriented toward self-consumption, complemented by non-agricultural activities and dependence on government support. This reflects a resilient but vulnerable economy. However, the producer shows a strong willingness to adopt agroforestry practices, indicating high potential for the design, redesign, and implementation of sustainable agroforestry systems.

Keywords: Agroforestry, agroforestry diagnosis, tree diversity, agroforestry systems, family production unit.

³Master of Science Thesis, Master of Science in Agroforestry for Sustainable Development, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Krystal Yedid Alvarez Quiñones

Advisor: Dr. Miguel Uribe Gómez

3.3 INTRODUCCIÓN

Los orígenes del enfoque de diagnóstico agroforestal se remontan a finales de los años setenta, cuando el Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF) definió la necesidad de una metodología que permitiera analizar de manera integral los problemas de manejo de tierras y las potencialidades de los Sistemas Agroforestales (SAF). De este esfuerzo emergió la metodología de Diagnóstico y Diseño (D&D) desarrollada por Raintree (1987). Su innovación consistió en otorgar un papel central a los árboles dentro de los sistemas de uso de suelo y en reconocer explícitamente la necesidad de integrar el conocimiento local con la investigación científica, la importancia del D&D radica en la capacidad de identificar tanto los factores biofísicos como socioeconómicos que inciden en el funcionamiento de los SAF, facilitando la formulación de intervenciones adecuadas para su mejora productiva, ecológica y social (Sinclair, 1999).

A partir de los años noventa, el diagnóstico agroforestal se vinculó estrechamente con el concepto de sostenibilidad. Otros estudios también han destacado la contribución de incluir indicadores de resiliencia climática y de biodiversidad en los diagnósticos, considerando el papel estratégico de los SAF frente al cambio climático (Mbow, Smith, Skole, Duguma & Bustamante, 2014).

Posteriormente, el enfoque D&D fue adaptado y desarrollado en América Latina por Eduardo Somarriba, quien integró herramientas participativas y criterios productivos para el diagnóstico de fincas, consolidando su aplicación en el diseño de sistemas agroforestales sostenibles (Somarriba, 1998). Diversos estudios han aplicado esta metodología en contextos tropicales. En SAF de cacao, el uso del enfoque D&D ha permitido caracterizar los sistemas productivos, identificar especies arbóreas relevantes y diseñar arreglos agroforestales adaptados a las condiciones locales mediante procesos participativos con productores (Somarriba, 2009).

En México, múltiples estudios han documentado la función de los SAF tradicionales, como los cafetales bajo sombra, donde se ha evidenciado una alta

diversidad arbórea y su contribución a la conservación de la biodiversidad. Un ejemplo representativo son los trabajos de Moguel & Toledo (1999), Soto-Pinto, Villalobos y Jiménez-Ferrer (2012), quienes analizaron estos sistemas en regiones como Veracruz y Chiapas.

Instituciones como el Colegio de Postgraduados (CP), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y el Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), han adaptado el diagnóstico agroforestal para comprender la lógica local del uso del suelo, caracterizar la diversidad arbórea y planificar sistemas de manejo que equilibren la producción y la conservación. Investigaciones como las de Soto-Pinto, Anzueto, Mendoza, Ferrer & De Jong (2000), Soto-Pinto y Caballero-Nieto (2011), han documentado la relevancia de integrar variables agroecológicas, sociales y económicas en los diagnósticos, subrayando la multifuncionalidad de los árboles en los sistemas campesinos.

En la actualidad, el diagnóstico agroforestal enfrenta el reto de consolidarse como un instrumento aún más flexible e inclusivo. Se demanda mayor integración de indicadores (cambio climático, conectividad del paisaje, carbono y seguridad alimentaria), así como mecanismos de escalamiento de experiencias exitosas en políticas públicas y programas de desarrollo (Moreno-Calles et al., 2021; Moreno-Calles, Ortiz-Tapia & Monroy-González, 2023).

El diagnóstico agroforestal ha sido una herramienta clave en proyectos gubernamentales de desarrollo rural sostenible en México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y diversas agencias internacionales como la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), han identificado zonas aptas para implementar SAF que mejoren los ingresos de las comunidades rurales y conserven el capital natural.

A pesar de sus avances, el diagnóstico agroforestal enfrenta desafíos importantes. Uno de ellos es la necesidad de metodologías más flexibles que se adapten a contextos sociales y ecológicos cambiantes. De igual forma, se

requiere una mayor integración entre el conocimiento local y científico, así como mejores mecanismos de escalamiento de las propuestas agroforestales exitosas (Montañez, Peña-Claros & Toledo, 2020).

Para este caso, se utilizó el Diagnóstico participativo a nivel micro donde el área de trabajo es la Unidad de Producción Familiar (UPF), los sistemas de producción y sus componentes; el propósito es caracterizar y analizar el sistema agroforestal, sus elementos y manejo, los beneficios económicos y problemáticas tecnológicas del sistema (Krishnamurthy, 1999). El Diagnóstico participativo se fundamenta en la premisa de que la incorporación de los productores en las actividades de investigación y extensión permiten que las recomendaciones e intervenciones subsecuentes sean más fácilmente adoptadas.

En este contexto, el objetivo de la presente investigación es realizar un diagnóstico agroforestal integral en la UPF “Santa Rosa”, Topia, Durango, con el fin de identificar las potencialidades y limitaciones biofísicas, sociales, económicas y productivas que permitan establecer bases sólidas para el diseño de SAF sostenibles. La metodología utilizada para el desarrollo de esta investigación fue el Diagnóstico y diseño agroforestal participativo desarrollada por Raintree (1987) y modificada por (Somarriba, 2009). En este estudio la metodología se adaptó de acuerdo con el trabajo desarrollado en campo, con base a las necesidades y disponibilidad de los propietarios de la UPF.

Los resultados facilitaron la identificación de oportunidades y limitaciones para generar una propuesta de diseño agroforestal que permita realizar un uso eficiente de los recursos naturales y fortalezca la economía de la UPF.

Para el desarrollo de esta investigación se planteó la siguiente hipótesis: El Diagnóstico integral agroforestal proporciona bases sólidas para la identificación de prácticas sostenibles y mejora la toma de decisiones en el diseño, rediseño, implementación y manejo de los SAF.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Área de estudio

La UPF Santa Rosa se encuentra ubicada en el Municipio de Topia al noroeste del Estado de Durango, en las coordenadas 25°12'8.80" N y 106°34'28" O (Figura 1), con una altitud de 1500 a 1850 msnm. La vegetación de este sitio corresponde a la transición de Selva Baja Caducifolia con el Bosque de Pino-Encino. El clima predominante es (A)C(w2) semicálido subhúmedo con régimen de lluvias en verano y sequía invernal marcada, con temperatura media anual de 18 a 22 °C y una precipitación media anual de 1400 mm (García, 1964). El tipo de suelo predominante es Litosol, pertenece a la cuenca Culiacán, subcuenca Q. de Topia (INEGI, 2010).

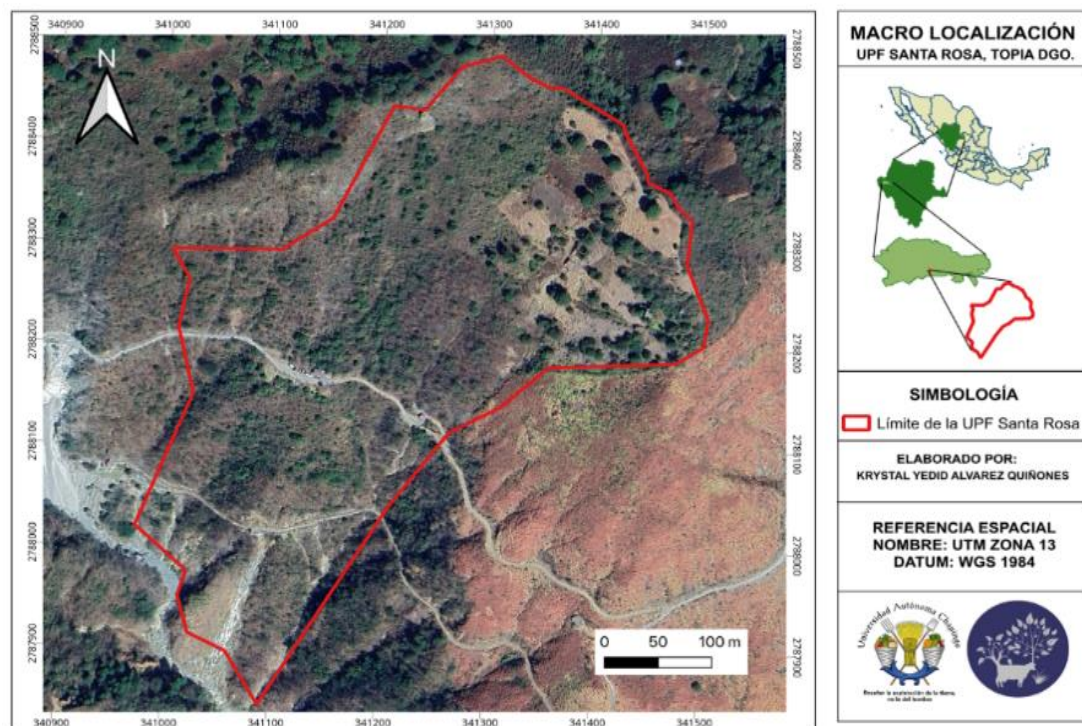


Figura 1. Mapa de macro localización de la UPF Santa Rosa Topia, Durango, México.

3.4.2 Metodología

La metodología está orientada a la caracterización biofísica del territorio con base en criterios de sostenibilidad, funcionalidad ecológica y factibilidad

socioeconómica, para seleccionar prácticas agroforestales adecuadas que contribuyan a detener y revertir los procesos de degradación, de acuerdo al D&D (Raintree, 1987; Somarriba, 1998). El desarrollo del diagnóstico de la UPF se hizo en diferentes etapas, se recopiló información cualitativa y cuantitativa de diversas fuentes.

3.4.2.1 Pre-diagnóstico

En esta etapa se llevó a cabo un recorrido general en la UPF, con el propósito de identificar los usos actuales del suelo, definir los objetivos de la familia y reconocer los recursos y tecnologías disponibles. Para ello, se emplearon herramientas como el mapeo participativo, la realización de transectos y entrevistas informales, facilitando así la recolección de información clave (Somarriba, 2009).

3.4.2.2 Diagnóstico biofísico

Esta etapa se llevó a cabo a partir de la generación independiente de dos cartografías temáticas: 1) fisiografía; y 2) uso de suelo y vegetación, mediante el programa QGIS v.3.38. La información requerida se obtuvo principalmente de fuentes secundarias, como bases de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010) en formatos compatibles con los sistemas de información geográfica (SIG).

3.4.2.2.1 Mapa fisiográfico

La elaboración del mapa fisiográfico inició con la descarga del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la página de INEGI. El DEM se usó como base para la generación de curvas de contorno cada 50 m, el Triangulated Irregular Network (TIN) el cual proporcionó la información de la altitud del área de estudio, las pendientes y las geoformas.

3.4.2.2.2 Mapa de uso de suelo y vegetación

El mapa de uso de suelo y vegetación se inició con la descarga de la serie VI de INEGI y del compendio edafológico, en QGIS se recortó la capa con el área de

estudio y se revisaron los límites sobre los cuales se categorizaron las coberturas (bosques, selvas, infraestructura, zonas agrícolas y minas) utilizando la imagen satelital de Google y fotointerpretación, finalmente se obtuvo la descripción del suelo (INEGI, 2010).

3.4.2.2.3 Análisis del suelo

Adicionalmente, se realizaron muestreos de suelo (Figura 2) siguiendo metodologías de evaluación de calidad del suelo basadas en conjuntos mínimos de datos y el uso de indicadores integradores en campo (Ardila-García, Plazas-Navarro & Vallejo-Quintero, 2022) (ANEXO 1), a cada muestra se le determinaron, sus propiedades químicas y físicas bajo la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

3.4.2.3 Diagnóstico agroforestal

Se utilizó el marco metodológico propuesto por Somarriba (2009) para responder preguntas clave sobre la ubicación, composición, abundancia, producción, interacciones de las especies arbóreas potenciales, sus usos, tolerancia a condiciones locales y aportes a los SAF. El diagnóstico se enfocó en: 1) Identificar la ubicación y distribución de las leñosas perennes dentro de la UPF; 2) Determinar la composición botánica, abundancia y aportes productivos de estas especies; 3) Interpretar las interacciones entre las especies leñosas y los demás componentes de los sistemas de producción; 4) Identificar oportunidades para mejorar o diversificar los sistemas de producción actuales. Se hizo la recolección de información en campo a través de transectos para ubicar las áreas donde están presentes las especies leñosas perennes y se registraron las características del entorno. En la (Figura 2) se muestran dichos transectos utilizados para el registro de las especies arbóreas presentes en las diferentes condiciones de la UPF. Con el método de la línea de Canfield (Canfield, 1941) adaptada a las condiciones presentes en la UPF, de forma similar se registró la abundancia de cada especie mediante conteos directos. Los datos recolectados se anotaron en formularios estructurados, que incluyen: 1) Ubicación

(coordenadas geográficas o áreas dentro de la UPF); 2) Composición botánica (especies presentes); 3) Abundancia (número de individuos por especie); 4) Productos o beneficios (frutos, madera, sombra, control de erosión, etc.); 5) Observaciones sobre interacciones (positivas o negativas) con cultivos, suelo o prácticas de manejo. Se elaboró un mapa de la UPF donde se representaron gráficamente las áreas y sistemas en los que se encuentran las especies leñosas perennes.

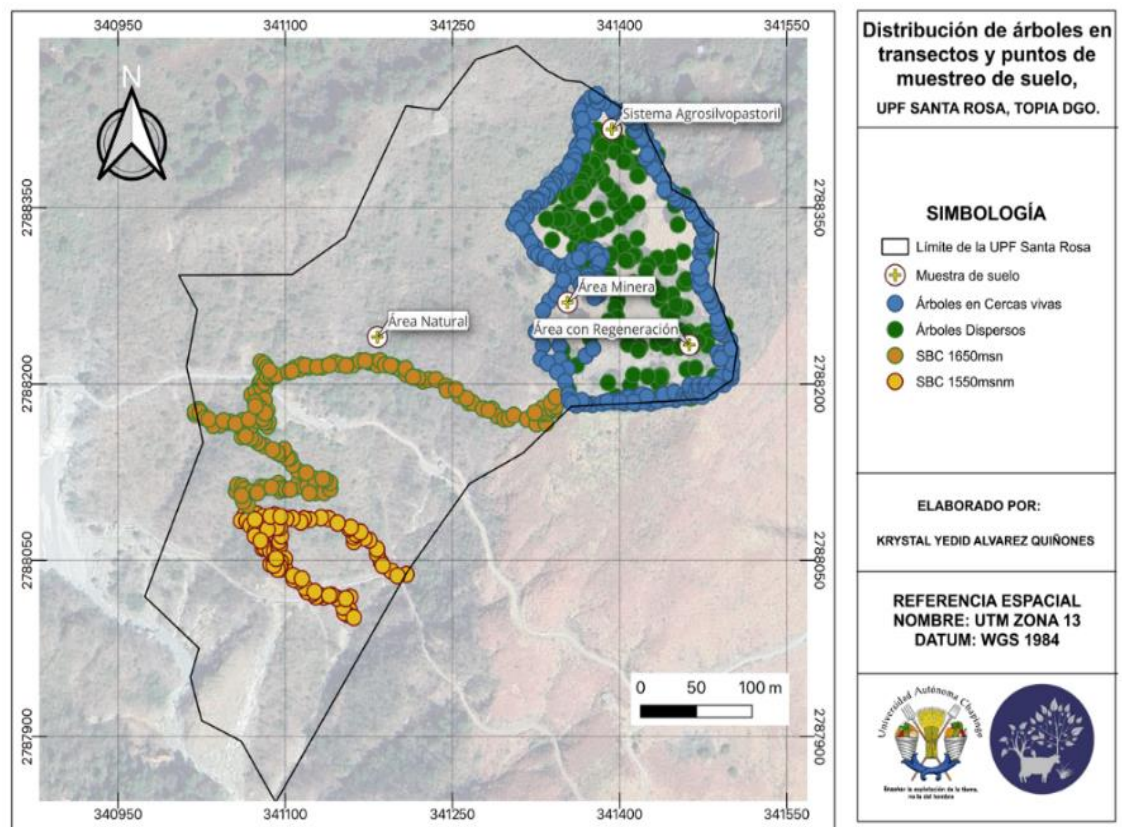


Figura 2. Puntos de muestreo del suelo y transectos en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.

3.4.2.3.1 Diversidad arbórea

Para estimar la riqueza de especies arbóreas reportada en las diferentes condiciones evaluadas, los datos de presencia-ausencia fueron analizados mediante el método Jackknife1 (Magurran, 1988; Krebs, 1989; Palmer, 1990;

González, Padilla, González, Uvalle & Reséndiz, 2012). Dichos análisis se efectuaron mediante el programa EstimateS v.9.1.0 (Colwell, 2013).

Con la finalidad de estimar la abundancia relativa por especie arbórea registrada los datos de sus frecuencias fueron analizados mediante el Índice de Abundancia Relativa (IAR) (Carmona-Galindo & Carmona, 2013). Estos análisis se desarrollaron en Excel v. 16.89.1 (Microsoft, 2024).

La diversidad y similitud de especies arbóreas se determinaron usando los datos de presencia-ausencia registrados de cada una de ellas, para lo cual se emplearon los Índices de Shannon-Wiener y Jaccard, respectivamente (Shannon y Weaver, 1949; Krebs, 1985; 1989; Magurran, 1989; Carmona-Galindo & Carmona, 2013). Dichos análisis se efectuaron en el programa EstimateS v. 9.1.0 (Colwell, 2013).

Para determinar potenciales disimilitudes en los parámetros de riqueza y abundancia, los datos (presencia-ausencia; riqueza) por especie arbórea registrada en las condiciones bajo estudio, así como los de sus frecuencias (abundancia), fueron analizados con Análisis de Clusterización Aglomerativa Jerárquica (CAJ) (Anderberg, 1973; Martella, Trumper, Bellis, Renison, Giordano, Bazzano & Gleiser, 2012; Bouza-Herrera, 2017). Dichos análisis se llevaron a cabo con ayuda del programa Xlstat v.2019.2.2 (Addinsoft, 2022).

La identificación de posibles diferencias en los datos estimados de Jackknife1 (Riqueza), IAR, y Shannon-Wiener (Diversidad), se realizó mediante el análisis de Kruskal-Wallis (Bartlett, 1937; Shapiro & Wilk, 1965; Molinero, 2003; Zamora, Monge, Ubillus & Moreno, 2023). Estas pruebas fueron desarrolladas en JMP IN, v.18.2.2 (SAS, 2022).

La proporción en los datos estimados de Jackknife1 (Riqueza), IAR, Shannon-Wiener (Diversidad), fueron analizadas con pruebas de homogeneidad de χ^2 para tablas de contingencia (Krebs, 1978; Infante, 1980). Dichos análisis se

llevaron a cabo con el programa JMP IN, v.18.2.2 (SAS, 2022). En todos los casos de análisis de empleo un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

3.4.2.4 Diagnóstico social

El diagnóstico social buscó comprender la situación actual y las perspectivas futuras de los integrantes de la UPF, así como identificar los factores sociales que pueden influir en la implementación del SAF mediante entrevistas semiestructuradas, se diseñó un formulario estructurado con preguntas para: 1) Identificar las metas actuales y futuras de la UPF; 2) Conocer la estructura familiar, lo que permitió registrar el número de integrantes, edades, roles y participación en las actividades de la UPF; 3) Nivel de educación y empleo de los miembros de la familia y las fuentes principales de ingreso; 4) Oportunidades y limitaciones con la finalidad de analizar factores que favorecen o dificultan el desarrollo de proyectos en la UPF.

3.4.2.5 Diagnóstico económico financiero

Mediante la aplicación de encuestas semiestructuradas se identificaron los factores de la producción (tierra, trabajo y capital) y los factores externos mercados, comercialización, precios que afectan las decisiones de manejo de la UPF. Con base en lo anterior se obtuvo información sobre formas de posesión de la tierra, el empleo de los miembros de la familia y la contratación de mano de obra, los mercados y los precios de los productos que la UPF produce.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Pre-diagnóstico

Los resultados del recorrido de campo con Gerardo Quiñones, responsable de la UPF, muestran que el propietario dedica de 3 a 4 horas diarias al manejo de los animales y a producir alimentos para el autoconsumo familiar. La UPF tiene una superficie de 16.3 ha, de las cuales 2.5 ha están dedicadas para el uso agrícola y el resto se mantiene con vegetación natural sin manejo, mediante el mapeo participativo se obtuvo el croquis a mano alzada (Figura 3).

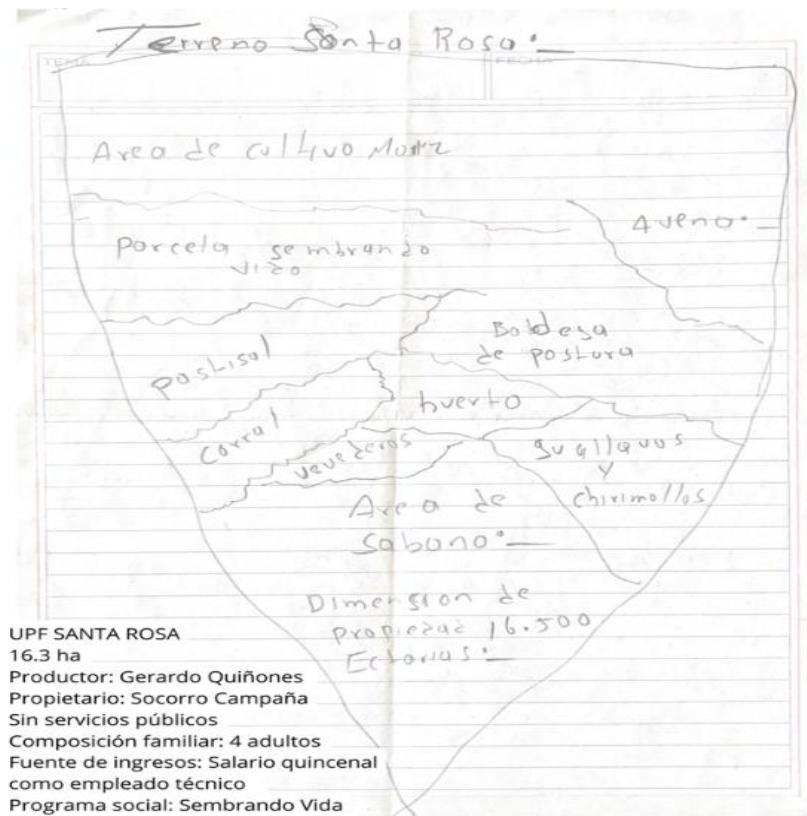


Figura 3. Croquis a mano alzada de la UPF Santa Rosa, elaborada por Gerardo Quiñones.

Durante el recorrido el Sr. Gerardo, mencionó que la UPF le pertenece a su familia desde hace 30 años. Desde entonces, el predio ha experimentado cambios importantes en el uso del suelo, pasando de una cobertura originalmente forestal a tener actividades mineras, agrícolas y ganaderas. Actualmente participa de manera activa en la siembra de cultivos como maíz, frijol, avena y calabaza, y ganadería a pequeña escala bajo un esquema convencional, cuenta con árboles frutales (guayabo y chirimoyo), que en conjunto con los cultivos contribuyen a la alimentación básica de su familia. En el área destinada a la ganadería ha establecido pasto mombaza (*Panicum maximum*) y pasto llanero (*Andropogon gayanus*) para la alimentación de ganado bovino y equino. Se detectaron zonas con desechos derivados de actividades mineras.

Gran parte del área mantiene la vegetación original, el Sr. Gerardo conoce la mayor parte de la vegetación que hay y algunos de sus usos tradicionales, entre las especies identificadas se encontró una mezcla de pinos (*Pinus spp*), táscate

(*Juniperus deppeana*), palo de judas (*Bocconia arborea*), cazahuates (*Ipomoea arborescens*), pochote (*Ceiba aesculifolia*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), palo mulato (*Bursera simaruba*), colorín (*Erythrina flabelliformis*), las cuales son especies características de la selva baja caducifolia y de los bosques de pino-encino. Entre las especies arbóreas nativas, el táscate y el pino son las que utiliza con mayor frecuencia, principalmente para la elaboración de postes destinados a la delimitación de linderos y la implementación de cercos vivos.

Desde 2020, la UPF ha sufrido incendios recurrentes, por actividades mal ejecutadas como la roza-tumba y quema, por otro lado, el productor señaló que la escasez de agua representa el principal factor limitante para la producción, ante este contexto, expresó su interés en modificar sus prácticas de manejo para producir sus alimentos.

3.5.2 Diagnóstico biofísico

El mapa fisiográfico de la UPF (Figura 4), muestra características correspondientes a la sierra alta con cañones, con altitudes que oscilan desde los 1350 hasta los 1850 msnm. El 95% del área tiene una pendiente mayor al 40% lo que indica que es un terreno escarpado, presenta suelos clasificados como litosoles característicos de un suelo delgado, pedregoso y poco desarrollado, asociados a orografía compleja (SEMARNAT, 2008).

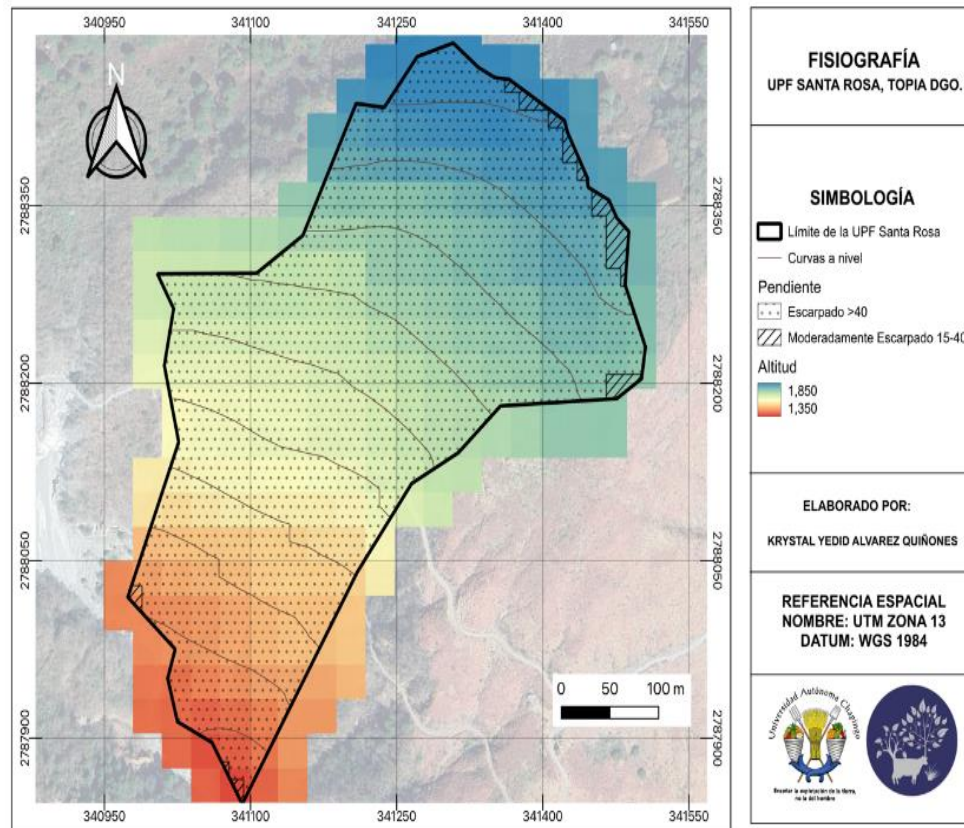


Figura 4. Mapa de fisiografía de la UPF Santa Rosa, Topia Durango.

La configuración espacial observada evidencia un mosaico productivo fragmentado donde coexisten áreas de conservación con áreas intensamente intervenidas. La UPF tiene diferentes usos de suelo, en la (Figura 5) y en el (Cuadro 1) se muestra la distribución espacial y la superficie por cada condición identificada. El Área Natural (AN), constituye la cobertura vegetal de Selva Baja Caducifolia y es la dominante dentro del predio, concentrándose principalmente en la porción central y sur. El Sistema Agrosilvopastoril (SA), se localiza en el sector noreste, las Áreas Mineras (AM), se distribuyen en zonas específicas con presencia de suelo desnudo y material de desecho, evidenciando procesos de degradación localizados.

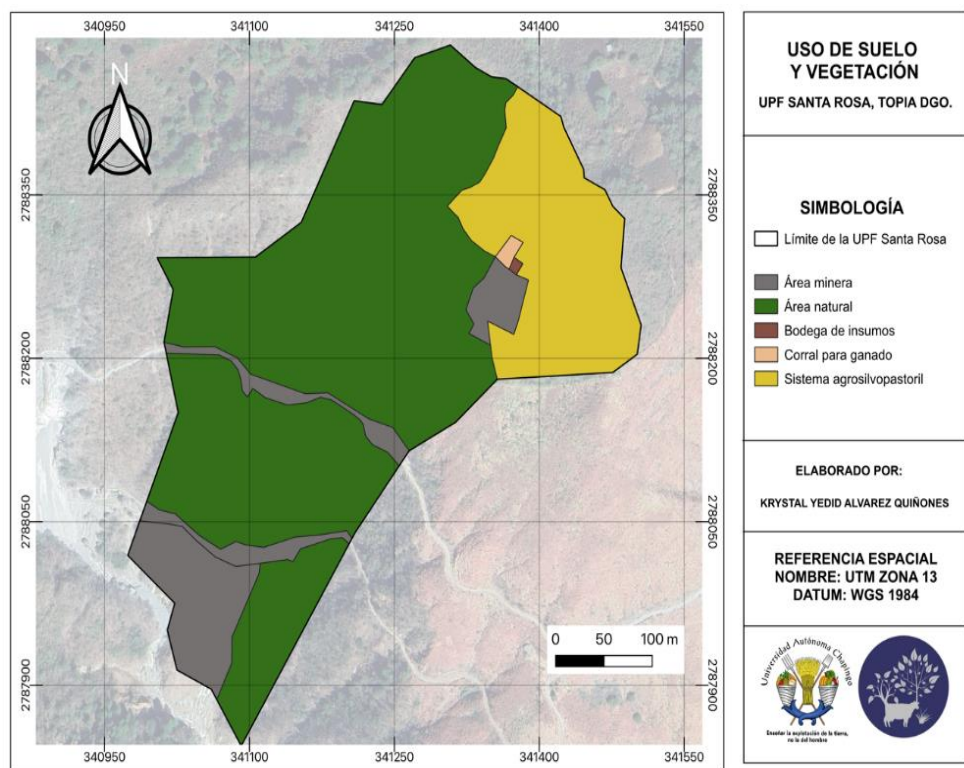


Figura 5. Mapa de uso de suelo en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.

Cuadro 1. Superficie calculada para cada área de la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.

Descripción	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Área minera (AM ^z)	1.966	12.1
Área natural (AN ^y)	11.026	68.8
Bodega de insumos	0.012	0.1
Corral para ganado	0.042	0.3
Sistema agrosilvopastoril (SA ^x)	2.991	18.7
Total	16	100

^zAM= Área Minera; ^yAN = Área Natural; ^xSA = Sistema Agrosilvopastoril

Fuente: Elaboración propia.

El análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas del suelo en las cuatro áreas muestreadas evidencia un gradiente claro de alteración edáfica asociado al uso y manejo del suelo (Cuadro 2). Los suelos presentan un pH de moderadamente ácido a extremadamente ácido, lo que influye directamente con la disponibilidad de fósforo y otros nutrientes. Además, el análisis reveló un alto nivel de metales pesados como zinc, manganeso y hierro en la condición AM,

con concentraciones potencialmente tóxicas (SEMARNAT, 2002; Sharma, Lishika, Shubham & Kaushal, 2023).

Cuadro 2. Propiedades físico-químicas de las muestras de suelo de la UPF Santa Rosa.

	^z SA	Condición		
		^y AR	^x AN	^w AM
Propiedades Físico-químicas				
Densidad aparente (g·cm ⁻³)	1.04	1.25	1.02	0.98
Clase textural	Franco	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco
pH	5.8	4.72	6.3	4.1
CE (dS·m ⁻¹)	0.36	0.14	0.38	0.38
M.O. (%)	2.5	2.19	6.33	2.07
CIC (meq·100 ⁻¹ g suelo)	29.16	10.95	28.26	10.04
Análisis Nutricional (mg·kg⁻¹)				
N	47.25	35	38.50	28
P	32.90	11.50	10.25	38.95
K	276	172	214	240
Ca	4077.52	1467.56	4669.60	1421.84
Mg	946.42	366.49	507.76	252.43
Na	42	28	30	50
Fe	21.44	65.40	13.04	322.04
Mn	71.52	40.12	39.53	84.62
Zn	17.20	8.50	63.61	284.02
Cu	1.60	0.51	3.61	11.46
B	1.01	0.23	2.08	0.16

^zSA = Sistema Agrosilvopastoril; ^yAR = Área con Regeneración; ^xAN = Área Natural;

^wAM= Área Minera.

Fuente: Elaboración propia.

La materia orgánica es el principal diferenciador de calidad del suelo, ya que presentó su valor más alto en el área AN (6.33 %), superando ampliamente a las demás zonas de la UPF. Este valor se asocia directamente con una mayor Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de 28.26 (meq·100⁻¹ g suelo), considerado como alto, con una textura franco-arenosa. El sitio SA presentó un valor de CIC alto (29.16 meq·100⁻¹ g suelo) con un suelo de textura franca lo que muestra mayor capacidad de retención y suministro de nutrientes (SEMARNAT, 2002).

El índice de calidad del suelo se generó con variables físicas y biológicas, los resultados mostraron una relación directa con el manejo en cada área de la UPF (Cuadro 3), (Anexo 1). El sitio AN presentó el valor más alto del índice de calidad lo que se relaciona con el alto contenido de materia orgánica, evidenciando un sistema edáfico estable, con agregación adecuada, menor erosión y mayor actividad biológica. Estos resultados ubican a esta zona como referencia ecológica ya que el suelo es un sistema complejo cuya salud depende de la interacción entre propiedades físicas, químicas, biológicas y ecológicas, y se expresa a través de sus funciones y servicios ecosistémicos (SEMARNAT, 2002; Lal, 2016; Ardila-García et al., 2022).

Cuadro 3. Indicadores de calidad de suelo para la UPF Santa Rosa.

Característica	Condición			
	^z SA	^y AR	^x AN	^w AM
1. Estructura	10	5	10	1
2. Compactación e infiltración	5	5	10	1
3. Profundidad del suelo	5	5	5	1
4. Estado de residuos	1	1	10	1
5. Color, color y materia orgánica	10	5	10	1
6. Retención de humedad	5	1	5	1
7. Desarrollo de raíces	10	5	10	1
8. Cobertura de suelo	10	5	10	1
9. Erosión	1	1	10	1
10. Actividad biológica	5	5	10	1

^zSA = Sistema Agrosilvopastoril; ^yAR = Área con Regeneración; ^xAN = Área Natural; ^wAM= Área Minera.

Fuente: Elaboración propia.

Las zonas SA y AR mostraron valores intermedios en la calidad del suelo, lo que pone de manifiesto que el manejo y la cobertura vegetal influyen significativamente en la estabilidad edáfica (Mulyono, Suriadikusumah, Harriyanto & Djuwansah, 2019). En este sentido, el incremento sostenido de materia orgánica mediante residuos vegetales, abonos verdes y cobertura permanente se perfila como una estrategia clave para mejorar la calidad del suelo

en SAF, especialmente en suelos con baja capacidad de intercambio catiónico (Ardila-García et al., 2022; Lal, 2016; Sharma et al., 2023; Weil & Brady, 2017).

En contraste, la zona AM, a pesar de presentar contenidos medios de materia orgánica, los valores obtenidos en el índice de calidad fue el más bajo, lo cual indica que la materia orgánica por sí sola no es suficiente para recuperar la funcionalidad del suelo cuando existen limitantes físicas severas como compactación, baja profundidad efectiva y alteración estructural (Ardila-García et al., 2022; SEMARNAT, 2002).

Finalmente, el área AN conserva condiciones fisicoquímicas en el suelo que favorecen la funcionalidad ecológica del sistema. Por su parte, la zona AM muestra señales claras de degradación edáfica, particularmente por acidificación severa. En términos agroforestales, la restauración de los sitios AM, AR y SA (aunque esta última mantiene capacidad productiva), requerirán estrategias enfocadas en corrección de acidez, incremento de materia orgánica y mejora de la estructura del suelo, mientras que el sitio AN constituye el referente ecológico para el diseño y planificación del sistema (SEMARNAT, 2002; Weil & Brady, 2017).

3.5.3 Diagnóstico agroforestal

3.5.3.1 Estructura y composición

Se registraron 37 especies arbóreas distribuidas en cuatro condiciones: sistema silvopastoril (árboles dispersos), sistema agrosilvopastoril (cercas vivas) y dos áreas de selva baja caducifolia (SBC) a diferentes altitudes (Anexo 2). De acuerdo con Somarriba (1999), el análisis de la diversidad arbórea es útil en agroforestería porque permite interpretar la composición de especies y su distribución relativa dentro de los sistemas productivos, lo cual es fundamental para decidir qué especies conservar, manejar o incorporar en nuevos arreglos agroforestales.

El estimador promedio de Jackknife1 sugiere el registro de 37.43 (42 %) de las especies arbóreas predichas por el modelo para las condiciones analizadas (Figura 6). Pla (2006) advierte que, en estudios ecológicos, especialmente cuando existen especies poco abundantes o muestras relativamente pequeñas, la riqueza registrada puede subestimar la riqueza total, por lo que es recomendable interpretar estos valores como una aproximación diagnóstica y no como un inventario definitivo.

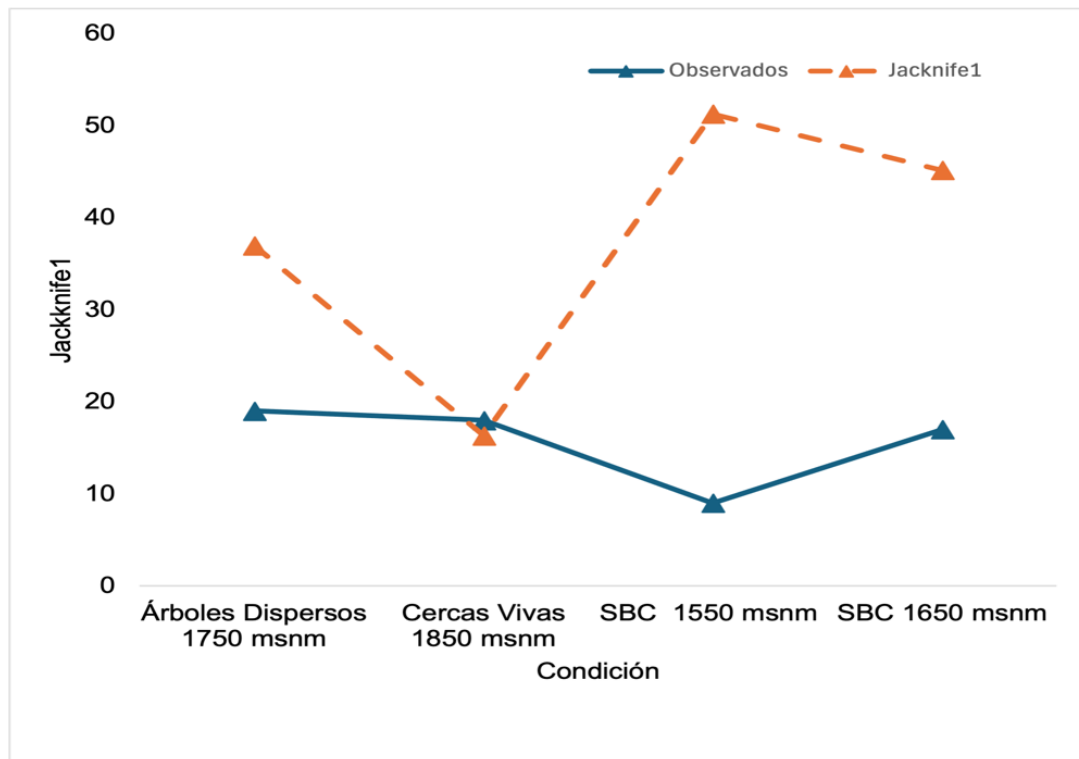


Figura 6. Curvas de rarefacción de especies arbóreas observadas vs. estimadas mediante Jackknife1 en las condiciones analizadas en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.

Los IAR para la vegetación arbórea en las diferentes condiciones bajo estudio mostraron que cinco de las especies arbóreas registradas fueron las más abundantes en el ensamblaje (Cuadro 4).

Cuadro 4. Índice de Abundancia Relativa de las especies arbóreas más abundantes registradas en las condiciones analizadas en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.

Especie	^zIAR (ind./16.3 ha)
<i>Juniperus deppeana</i>	1.7
<i>Pinus spp.</i>	1.2
<i>Ipomoea arborescens</i>	0.7
<i>Erythrina flabelliformis</i>	0.6
<i>Lysiloma acapulcense</i>	0.6
Otras	5.1

^zIAR = índice de abundancia relativa (individuos / 16.3 ha).

Fuente: Elaboración propia.

El estimador de Shannon-Wiener para los datos de árboles en las condiciones analizadas mostraron un ensamblaje relativamente estable, mientras que los resultados con el estimador Jaccard evidenciaron una similitud promedio relativamente baja (Cuadro 5). En concordancia con Pla (2006), el índice de Shannon expresa la heterogeneidad de una comunidad a partir de dos componentes: el número de especies presentes y la abundancia relativa de cada una; por ello, valores altos indican una comunidad con mayor incertidumbre en la selección aleatoria de un individuo, es decir, con menor dominancia de una sola especie. Así mismo, Somarriba (1999) explica que el índice de Shannon aumenta cuando se incrementa la riqueza de especies y cuando los individuos se distribuyen de manera más homogénea entre ellas. Por tanto, los valores obtenidos en Santa Rosa indican que, aunque existen especies más abundantes, la comunidad arbórea conserva una distribución relativamente equilibrada.

Cuadro 5. Resultados de Shannon-Wiener y Jaccard para los datos de árboles en las condiciones analizadas en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.

Condición	Shannon Mean	Jaccard Classic
Cercas Vivas 1850 msnm	2.76	0.23
Árboles Dispersos 1750 msnm	3.22	0.30
SBC 1650 msnm	3.39	0.17
SBC 1550 msnm	3.50	0.16
Valor promedio	3.218	0.238

Fuente: Elaboración propia.

La mayor diversidad registrada en las áreas de selva baja caducifolia se asocia con la vegetación natural remanente y con una menor selección directa de especies por parte del productor, en contraste, las cercas vivas presentaron el valor más bajo, lo que se explica por su función productiva y de delimitación, ya que estos arreglos están compuestos por especies seleccionadas por su utilidad, facilidad de establecimiento y disponibilidad local. La baja similitud florística observada en la UPF coincide con lo reportado por Silva-Aparicio, Castro-Ramírez y Castillo-Campos (2018) quienes demostraron que el índice de Jaccard permite diferenciar grupos de parcelas en comunidades de selva baja caducifolia y bosque de encino, lo que evidencia que la composición de especies leñosas cambia entre áreas aun cuando pertenezcan a un mismo paisaje regional. En el caso de Santa Rosa, la baja similitud no se considera negativa, desde el punto de vista agroforestal, esto significa que cada área cumple un papel distinto en la conservación de especies y en la provisión potencial de productos y servicios ecosistémicos.

La Clusterización Aglomerativa Jerarquizada (CAJ) para los datos de riqueza y abundancia de árboles en las condiciones analizadas exhibieron la conformación de cuatro clústeres con sus respectivas amalgamaciones (Figura 7). Esta composición es importante porque refleja tanto la adaptación local de las especies como su potencial para integrarse en el diseño agroforestal. Soler, Berroterán, Gil y Acosta (2012) indican que la abundancia, la frecuencia y la dominancia permiten reconocer la importancia ecológica de las especies dentro de una comunidad vegetal, ya que muestran cuáles especies tienen mayor peso estructural en el sistema.

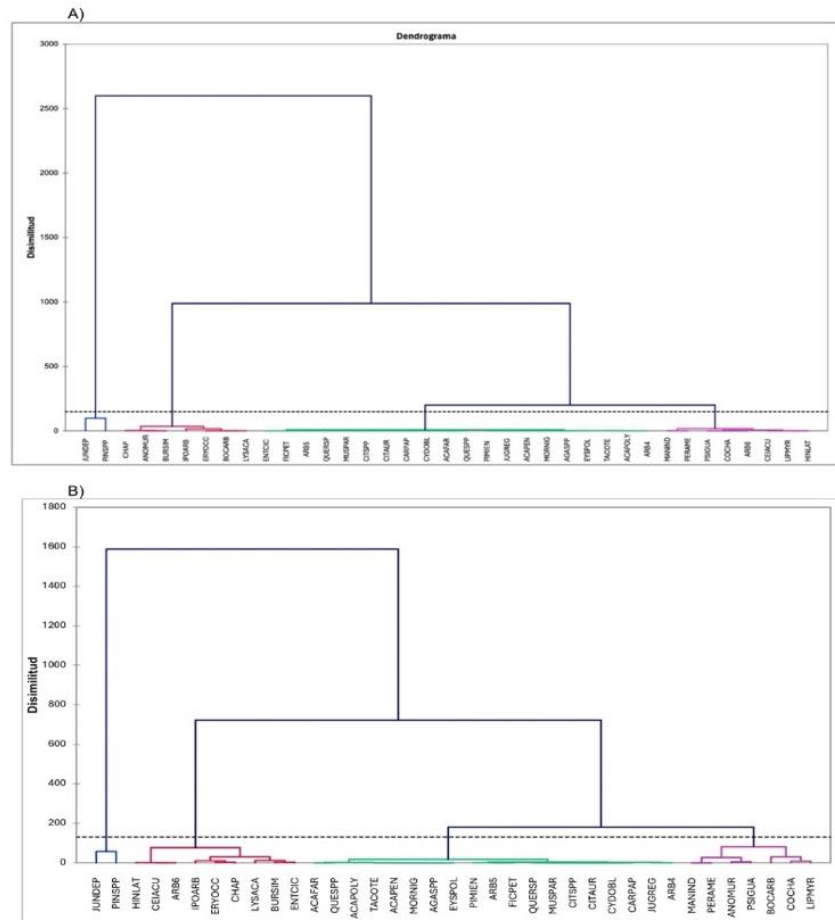


Figura 7. Resultados de los CAJ para los datos de A) riqueza y B) abundancia de árboles en las condiciones analizadas en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.

El análisis de Kruskal-Wallis para los datos de Jackknife1 (Riqueza), IAR (Abundancia relativa), y Shannon-Wiener (Diversidad) evidenciaron que para cada parámetro analizado no hay diferencias significativas en las condiciones evaluadas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 6). Esta respuesta sugiere que, aunque las condiciones evaluadas difieren en composición florística, mantienen una estructura general relativamente estable en términos de riqueza estimada, abundancia y diversidad. Por lo tanto, la comparación de comunidades mediante índices de diversidad debe considerar no solo el valor puntual del índice, sino también la variabilidad y la estructura de la muestra, ya que comunidades con riqueza similar pueden diferir en la distribución de sus abundancias (Pla, 2006).

Cuadro 6. Resultados de Kuskal-Wallis para los valores de: Jackknife1 (Riqueza), IAR (Abundancia relativa), y Shannon-Wiener (Diversidad) en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.

Parámetro	Grados de libertad	Ji cuadrado	Prob > Ji cuadrado
Jackknife1	3	3	0.3916
IAR	3	1.7625	0.6231
Shannon-Wiener	3	3	0.3916

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de χ^2 para los índices de diversidad, muestran el registro de dichos atributos en las especies arbóreas que potencialmente ocurren en las condiciones evaluadas (Cuadro 7). Los cuales indicaron que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones evaluadas, esto indica que la riqueza estimada, la abundancia relativa y la diversidad arbórea presentan un comportamiento similar dentro de la UPF Santa Rosa, aun cuando la composición de especies pueda variar entre condiciones. Este resultado es coherente con Pla (2006), quién señala que el índice de Shannon debe interpretarse considerando tanto la riqueza y la abundancia relativa de las especies, ya que comunidades con distinta composición pueden presentar valores similares de diversidad. Desde el enfoque agroforestal, esto sugiere que el componente leñoso se mantiene de forma estable tanto en áreas de vegetación natural como en arreglos manejados, lo que representa una base favorable para conservar, enriquecer y rediseñar los SAF existentes.

Cuadro 7. Resultados χ^2 para los valores de Jackknife1 (Riqueza), IAR (Abundancia relativa), y C) Shannon-Wiener (Diversidad) en las condiciones analizadas en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.

Parámetro	N	Grados de libertad	R cuadrado (U)	Prob > Ji cuadrado (Pearson)
Jackknife1 (Riqueza)	4	9	1	0.2133
IAR (Abundancia relativa)	79	75	0.4258	1
Shannon-Wiener (Diversidad)	4	9	1	0.2133

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3.2 Función, interacciones y potencial de las especies arbóreas

El análisis cualitativo (Cuadro 8) evidenció que las especies arbóreas presentes cumplen principalmente funciones estructurales y de uso tradicional, sin embargo, se identificó que el potencial agroforestal de las especies está subutilizado, ya que no se emplean especies arbóreas con fines forrajeros de manera intencional (poca integración árbol–cultivo–ganado) y no se aprovechan plenamente los servicios ecosistémicos (mejoramiento del suelo, regulación microclimática, retención de humedad). Lo anterior, refleja un sistema con presencia de árboles pero con un bajo nivel de diseño agroforestal planificado. Esto es relevante porque los sistemas agroforestales alcanzan mayor funcionalidad cuando las especies leñosas se seleccionan y manejan de acuerdo con sus aportes productivos y ecológicos, tales como reciclaje de nutrientes, regulación microclimática, protección contra erosión, provisión de hábitat y diversificación de productos (Gassner & Dobie, 2023; Nair et al., 2021).

Las interacciones entre los componentes del sistema no son gestionadas en gran medida. No obstante, se observan procesos ecológicos relevantes, a pesar de ello, estas interacciones no han sido incorporadas de manera estratégica en el manejo productivo, lo que limita su contribución al rendimiento agrícola y a la sostenibilidad del sistema, y le confiere a la UPF un alto potencial para el desarrollo de propuestas de SAF que integren funciones productivas y ecológicas ya que estos procesos pueden fortalecer la resiliencia de las unidades productivas cuando se articulan con prácticas de manejo participativo, selección de especies multipropósito y arreglos espaciales adecuados a los objetivos del productor (CIFOR-ICRAF, 2023; Somarriba, 2009).

Cuadro 8. Análisis funcional de la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.

Función Agroforestal	Interacciones Ecológicas y Productivas	Potencial Agroforestal
• Delimitación de parcelas mediante cercas vivas	• En áreas de vegetación natural, existe una mayor acumulación de materia orgánica y estabilidad del suelo	• La presencia de diversidad de especies nativas adaptadas
• Producción de postes (principalmente <i>Pinus</i> spp. y <i>Juniperus deppeana</i>)	• En sistemas con árboles dispersos, se generan microambientes que favorecen la retención de humedad • En sistemas con árboles dispersos, se generan microambientes que favorecen la retención de humedad	• El conocimiento local del productor sobre la vegetación
• Sombra para el ganado	• En cercas vivas, se promueve la conectividad biológica a pequeña escala	• La existencia de sistemas productivos diversificados (agricultura y ganadería)
• Conservación de la cobertura vegetal		• La disposición del productor para adoptar nuevas prácticas

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4 Diagnóstico social

La UPF es administrada por el Sr. Gerardo Quiñones Quiñones de 63 años, quien desempeña actividades agrícolas y ganaderas (Cuadro 9). Residen en el hogar cuatro personas, 2 hombres y 2 mujeres quienes muestran interés genuino por aprender e implementar sistemas de producción agroforestal, aunque actualmente lo que producen satisface sus necesidades de autoconsumo visualizan que su terreno puede ser mucho más productivo en los próximos años. La disposición del productor y de la familia para aprender e implementar sistemas agroforestales constituye una fortaleza central, ya que la adopción de innovaciones agroforestales depende no sólo de su viabilidad técnica, sino también de su correspondencia con los objetivos, capacidades, conocimientos y disponibilidad de trabajo de la familia (CIFOR-ICRAF, 2023; Somarriba, 2009; Soto-Pinto et al., 2008). En este caso, aunque la producción actual se orienta

principalmente al autoconsumo, la visión familiar de incrementar la productividad del terreno ofrece una base social favorable para proponer alternativas graduales, de bajo costo y compatibles con el manejo tradicional de la UPF.

Cuadro 9. Usos de los recursos de la UPF Santa Rosa en las diferentes épocas del año.

Usos / época del año	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Uso de suelo	Pastoreo de animales	Cultivar la tierra, sembrar	Se hace la cosecha de los cultivos	Ninguno, se deja descansar del cultivo o se meten los animales al rastrojo
Uso de vegetación	Podas Y se usa como alimento para animales Cosecha de guayaba (marzo-abril) papaya (mayo)	Se elimina la maleza con herbicidas para que se desarrolle el cultivo	Se usa como rastrojo para los animales Se cosecha el chirimoyo	Ninguno
Uso de fauna	Acarreo de tierra, fertilizantes, leña y productos de cosecha	Se ponen en el corral para proteger los cultivos	Se mantienen separados de las parcelas de siembra, pasteando en donde no hay cultivos o en el potrero alimentándose de las cosechas del año anterior	Se cambian de lugar o se dejan libres para el pastoreo

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4.1 Análisis FODA

El análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) (Cuadro 10) se empleó como herramienta de evaluación estratégica para identificar factores internos y externos que influyen en la viabilidad y sostenibilidad del SAF en la zona de estudio. Se consideraron variables biofísicas, productivas, sociales y económicas derivadas del diagnóstico previo.

Estos resultados refuerzan la necesidad de un diseño agroforestal adaptado que incorpore prácticas sostenibles y utilice especies nativas para mejorar la productividad, promover la resiliencia y generar beneficios económicos y ambientales en la UPF Santa Rosa, este enfoque coincide con la lógica del D&D, que plantea que las recomendaciones deben ser técnicamente viables, ambientalmente adecuadas y socialmente adoptables para la familia productora (Raintree, 1987; Ruiz et al., 2019 Somarriba, 1998).

Cuadro 10. Análisis FODA de la UPF Santa Rosa.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
• Diversidad productiva: combinación de cultivos y ganado que asegura la autosuficiencia alimentaria.	• Interés en incorporación de tecnologías agroforestales	• Mano de obra escasa.	• Variabilidad climática y sequía.
• Disposición del productor para implementar cambios, adoptar los SAF y actividades de manejo sostenible que mejoren la productividad.	• Acceso a apoyos gubernamentales	• Suelos degradados y delgados.	• Incendios recurrentes.
• Alta diversidad y abundancia de especies leñosas nativas y multipropósito	• Potencial para captación y manejo de agua	• Recurso agua limitado a la época de lluvias.	• Pendientes >40 % y erosión.
• Conocimiento tradicional del productor sobre el manejo de la vegetación.	• Existencia de mercados locales cercanos	• Limitada infraestructura y accesibilidad. • Bajo nivel de tecnificación.	• Actividad minera en la zona.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5 Diagnóstico económico-financiero

Con base en la entrevista semiestructurada para el diagnóstico económico-financiero se pueden identificar varios aspectos relevantes sobre la estructura productiva, fuentes de ingreso y acceso a apoyos gubernamentales del representante entrevistado.

3.5.5.1 Diversificación de actividades económicas

El hogar realiza múltiples actividades además de la agricultura y ganadería, lo cual muestra una diversificación de ingresos que puede ser una estrategia de solidez económica: 1) Peón/jornalero agrícola (realizado por el productor) como su actividad permanente; 2) construcción (realizada por el productor y otro familiar), actividad permanente; 3) transporte caminando, en burros/caballos, actividad permanente. Estas actividades se desarrollan dentro de la UPF Santa Rosa, lo que implica que no hay migración temporal o desplazamiento diario largo, y que el capital humano del hogar se queda localmente.

3.5.5.2 Sistemas de producción e ingresos

Los principales sistemas productivos son la agricultura (maíz, frijol, calabaza y avena) y la ganadería. Aunque la producción es destinada mayoritariamente al autoconsumo, representa una fuente clave de ahorro, al reducir la compra de alimentos básicos. El productor identifica el ganado como una oportunidad de expansión futura, deseando incrementar el número de cabezas y diversificar las especies frutales en la UPF.

Los diagramas productivos de cada uno de los sistemas de cultivo se muestran en la (Figura 8), en donde se muestra del lado izquierdo los ingresos al sistema, al centro el proceso de producción y a la derecha las salidas del sistema. Con lo anterior se explica el carácter de ahorro que el ganado tiene dentro de la familia pues es un elemento importante para la seguridad alimentaria en el medio rural.

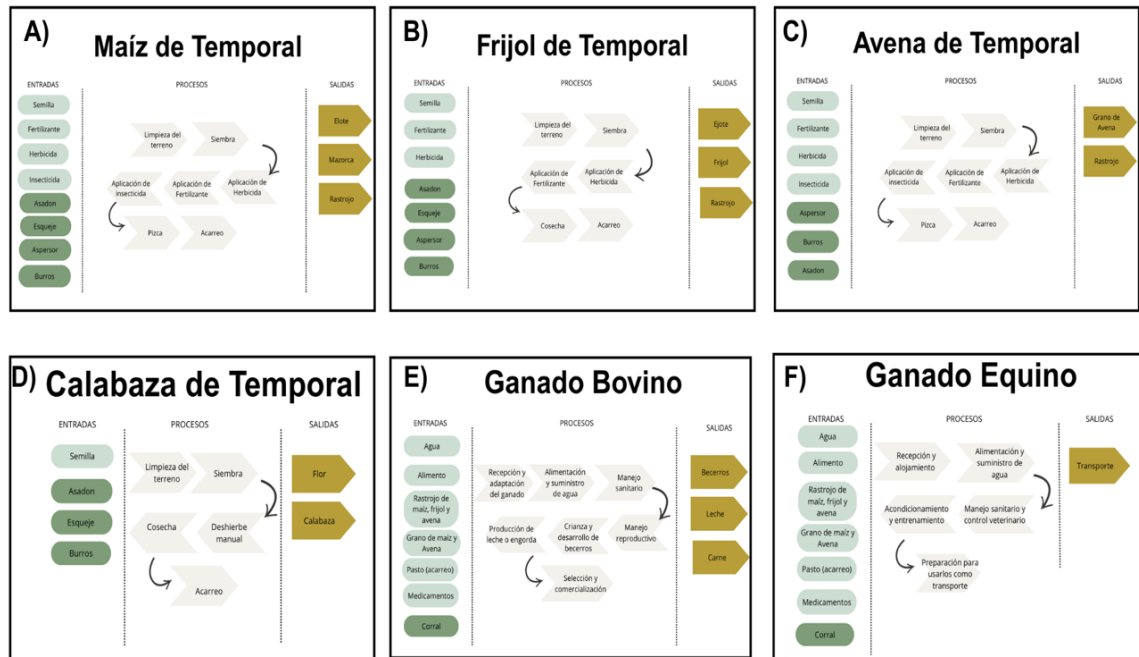


Figura 8. Diagramas de flujo productivo e itinerario técnico para los diversos sistemas de cultivo y crianza encontrados en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango. Fuente: Elaboración propia.

La actividad que más ingresos genera a la UPF es la agricultura a través de la producción de maíz y milpa para autoconsumo, lo cual refleja una lógica de autosuficiencia y ahorro más que de venta directa. La actividad a la que más tiempo se dedica a lo largo del año es la ganadería (cuidado de los animales y corte de pasto para alimentarlos). Esto sugiere una inversión constante en la producción pecuaria de tipo familiar a pequeña escala.

Se reporta recepción de apoyos gubernamentales por dos personas del hogar: 1) El entrevistado recibe apoyo del programa Sembrando Vida, lo cual indica inserción en un programa agroecológico y de desarrollo rural del Gobierno Federal; 2) Socorro (propietario) recibe pensión de adultos mayores, lo cual refuerza el ingreso familiar fijo y no condicionado. Por lo tanto, el hogar muestra ingresos mixtos: monetarios (de oficios y transporte) y en especie (producción de maíz y ganadería para autoconsumo).

Hay dependencia de subsidios públicos, lo cual puede ser un componente clave de la estabilidad financiera. El uso del tiempo y los ingresos no están centrados exclusivamente en actividades formales, lo cual refleja una economía familiar rural típica, caracterizada por el pluriempleo, informalidad y la autosuficiencia. La planificación agroforestal destaca que la adopción aumenta cuando las prácticas se ajustan a las prioridades económicas de la familia y producen beneficios visibles sin elevar excesivamente los costos iniciales (Borja et al., 2016; CIFOR-ICRAF, 2023; Somarriba, 2009).

Este hogar presenta una estructura económica multifuncional y resiliente, pero también vulnerable en términos de ingresos monetarios, dependiendo de apoyos públicos y estrategias de autosuficiencia. Esto debe ser tomado en cuenta en cualquier propuesta de fortalecimiento económico, por ejemplo, promover la producción, implementar la comercialización de excedentes, y capacitación técnica en las actividades ya desarrolladas (transformación de productos, transporte, construcción, ganadería).

3.6 CONCLUSIONES

Las condiciones biofísicas, socioeconómicas y culturales de la UPF presentan condiciones favorables para el diseño de SAF que permitan la conservación de los recursos disponibles e incrementen los ingresos.

Las actividades productivas de la UPF se centran en cultivos básicos (maíz, frijol, avena, calabaza) y ganadería a pequeña escala. El sistema contribuye significativamente al sustento familiar mediante la autosuficiencia alimentaria. La diversificación de actividades no agropecuarias (peón agrícola, construcción, transporte) y los apoyos gubernamentales refuerzan la resiliencia económica del hogar, aunque también muestran dependencia de programas sociales.

Los resultados de los diagnósticos biofísico, agroforestal, social y económico-financiero indican que el establecimiento de SAF en la UPF debe estar basado en las condiciones biofísicas del terreno, las prioridades del responsable y sus

integrantes, la disponibilidad económico-financiera de la UPF. La propuesta debe priorizar estrategias de bajo costo, alto impacto ecológico, social y cultural que refuercen los saberes locales y fomenten la sostenibilidad a largo plazo.

El análisis cualitativo evidenció que las especies arbóreas presentes cumplen principalmente funciones estructurales y de uso tradicional, sin embargo, se identificó que el potencial agroforestal de las especies está subutilizado. Existe poca integración árbol–cultivo–ganado y no se aprovechan plenamente los servicios ecosistémicos, esto refleja un sistema con presencia de árboles pero con un bajo nivel agroforestal planificado.

3.7 LITERATURA CITADA

Addinsoft. (2022). *XLSTAT* (versión 2022.3) [software]. Addinsoft.

Anderberg, M. R. (1973). *Cluster analysis for applications*. Academic Press.

Ardila-García, V., Plazas-Navarro, L. P. & Vallejo-Quintero, V. E. (2022). Conservation agriculture as a potential strategy to increase soil quality in Colombian agroecosystems. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(3), e2674. https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2674

Bartlett, M. S. (1937). Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 160, 128–138.

Borja B., M., Sigala R., J. Á., Sarmiento L., H. & Rosales M., S. (2016). *Eficiencia productiva y económica de sistemas agroforestales pino y cultivos anuales en el estado de Durango* (1.^a ed.). INIFAP.

Bouza-Herrera, C. N. (2017). *Una mirada a los métodos y algoritmos del análisis de clústeres*. Facultad de Matemática y Computación, Universidad de La Habana.

Canfield, H. R. (1941). Application of the line interception method in sampling range vegetation. *Journal of Forestry*, 388–394.

- Carmona-Galindo, V. D. & Carmona, T. V. (2013). La diversidad de los análisis de diversidad. *Bioma*, 14, 20–28.
- CIFOR-ICRAF. (2023). *Agroforestería: Una guía. Principios de diseño y manejo agroforestal en beneficio de las personas y del medioambiente*. <https://doi.org/10.5716/cifor-icraf/BK.33141>
- Colwell, R. K. (2013). *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples* (versión 9) [software]. <http://purl.oclc.org/estimates>
- García, E. (1964). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gassner, A. & Dobie, P. (2023). Codiseño y establecimiento de sistemas agroforestales. En *Agroforestería: Una guía. Principios de diseño y manejo agroforestal en beneficio de las personas y del medioambiente* (pp. 70–87). Centro para la Investigación Forestal Internacional; Centro Internacional de Investigación Agroforestal.
- González, D. U., Padilla, H., González, F., Uvalle, J. & Reséndiz, L. (2012). Mejora a la estimación de la cobertura vegetal por línea intercepto o línea de Canfield. *Ciencia UANL*, 15(59), 1–8.
- Infante, G. S. (1980). *Métodos estadísticos no paramétricos*. Centro de Estadística y Cálculo, Colegio de Postgraduados.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010: Topia, Durango*.
- Krebs, C. J. (1978). *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance* (2.^a ed.). Harper and Row.
- Krebs, C. J. (1985). *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. Harper and Row.
- Krebs, C. J. (1989). *Ecological methodology*. Harper and Row.

- Krishnamuthy, L. (1999). *Agroforestería básica*. Serie de textos para la formación ambiental n. 3. FAO.
- Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5(4), 212–222. <https://doi.org/10.1002/fes3.96>
- Magurran, A. E. (1988). Diversity indices and species abundance models. En *Ecological diversity and its measurement* (pp. 7–45). Princeton University Press.
- Magurran, A. E. (1989). *Diversidad ecológica y su medición* (1.^a ed.). Ediciones Vendrá.
- Martella, M., Trumper, E., Bellis, L., Renison, D., Giordano, P., Bazzano, G. & Gleiser, R. (2012). Manual de ecología. Poblaciones: Introducción a las técnicas para el estudio de poblaciones silvestres. *REDUCA (Biología)*, Serie Ecología, 5(1), 1–31.
- Mbow, C., Smith, P., Skole, D., Duguma, L. & Bustamante, M. (2014). Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.002>
- Microsoft Corporation. (2024). *Microsoft Excel* (versión 16.89.1) [software]. Microsoft.
- Moguel, P. & Toledo, V. M. (1999). Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13(1), 11–21. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x>
- Molinero, L. M. (2003). *¿Y si los datos no se ajustan a una distribución normal? Bondad de ajuste a una normal, transformaciones, pruebas no paramétricas*. Asociación de la Sociedad Española de Hipertensión; Liga Española para la Lucha contra la Hipertensión Arterial.
- Montañez, J. M., Peña-Claros, M. & Toledo, V. M. (2020). Agroforestería y sustentabilidad: Una perspectiva socioterritorial. *Revista Mexicana de*

- Moreno-Calles, A., Toledo, V. M. & Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4), 375–398. <https://doi.org/10.17129/botsci.552>
- Moreno-Calles, A. I., Ortiz-Tapia, A. & Monroy-González, A. (2023). Comunidades de aprendizaje campesino y diseño agroforestal participativo: El caso de Sembrando Vida en Oaxaca. *Revista Latinoamericana de Agroecología*, 20(1), 45–62.
- Mulyono, A., Suriadikusumah, A., Harriyanto, R. & Djuwansah, M. R. (2019). Soil quality under agroforestry trees pattern in Upper Citarum watershed, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 20(1), 203–213. <https://doi.org/10.12911/22998993/93942>
- Palmer, M. (1990). The estimation of species richness by extrapolation. *Ecology*, 71(1), 1195–1198. <https://doi.org/10.2307/1937387>
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583–590.
- QGIS Development Team. (2024). *QGIS Geographic Information System* (versión 3.38) [software]. QGIS Association.
- Raintree, J. B. (1987). *The state-of-the-art of agroforestry diagnosis and design*. ICRAF.
- Ruiz, G. P., Gómez, D. J. D., Monterroso, R. A. I. & Uribe, G. M. (2019). Tecnologías agroforestales para una selva baja caducifolia: Propuesta metodológica. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10, 80–107.
- SAS Institute Inc. (2022). *JMP* (versión 18.1.2) [software]. SAS Institute Inc.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). *NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad*

y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2008). Suelos. En Informe de la Situación del Medio Ambiente en México: Compendio de Estadísticas Ambientales (pp. 119–152). SEMARNAT.

Shannon, C. E. y Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press.

Shapiro, S. & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52, 591–611.

Sharma, S., Lishika, B., Shubham & Kaushal, S. (2023). Soil quality indicators: A comprehensive review. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(22), 315–325. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i224139>

Silva-Aparicio, M., Castro-Ramírez, A., & Castillo-Campos, G. (2018). Estructura y composición de leñosas en dos bosques de las regiones Mixteca y Valles Centrales de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 24(1), e2411445. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411445>

Sinclair, F. L. (1999). A general classification of agroforestry practice. *Agroforestry Systems*, 46(2), 161–180. <https://doi.org/10.1023/A:1006255431033>

Soler, P. E., Berroterán, J. L., Gil, J. L., & Acosta, R. A. (2012). Índice valor de importancia, diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 62(1–4), 25–37.

Somarriba, E. (1998). Diagnóstico y diseño agroforestal. *Agroforestería en las Américas*, 5(17–18), 68–72.

Somarriba, E. (1999). Diversidad Shannon. *Agroforestería en las Américas*, 6(23), 72–74.

- Somarriba, E. (2009). *Planificación agroforestal de fincas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Soto-Pinto, L., Anzueto, M., Mendoza, J., Ferrer, G. J. & De Jong, B. H. (2000). Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 49(1), 39–60.
- Soto-Pinto, L., Jiménez, F. G. & Lerner, M. T. (2008). *Diseño de sistemas agroforestales para la producción y la conservación: Experiencia y tradición en Chiapas* (1.^a ed.). ECOSUR.
- Soto-Pinto, L. & Caballero-Nieto, J. (2011). Agroforestry systems for biodiversity conservation and food security: The case of traditional coffee plantations in southern Mexico. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 35(7), 840–862. <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.603845>
- Soto-Pinto, L., Villalobos, E. y Jiménez-Ferrer, G. (2012). Agroforestería y seguridad alimentaria en comunidades indígenas de los Altos de Chiapas. *Revista Agroecología*, 7, 37–45.
- Weil, R. R. & Brady, N. C. (2017). *The nature and properties of soils* (15.^a ed.). Pearson.
- Zamora, D. J., Monge García, G. V., Ubillus, S. C. & Moreno Paredes, M. A. (2023). Análisis no paramétrico a través de Kruskal-Wallis para evaluar la distribución sectorial y el desarrollo de las empresas dentro de la Provincia de Orellana. *Tesla*, 3(2), e228. <https://doi.org/10.55204/trc.v3i2.e228>

4 DISEÑO AGROFORESTAL EN LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN FAMILIAR SANTA ROSA, TOPIA, DURANGO

4.1 Resumen

Los sistemas agroforestales representan una alternativa para integrar especies leñosas perennes en unidades productivas rurales, favoreciendo la diversificación, la conservación de recursos naturales y el fortalecimiento de la sostenibilidad. En la Unidad de Producción Familiar Santa Rosa, ubicada en Topia, Durango, el diagnóstico previo evidenció limitaciones asociadas a pendientes pronunciadas, escasez de agua, áreas degradadas por actividad minera y ausencia de una planificación agroforestal, a pesar de contar con una alta diversidad de especies leñosas nativas y conocimiento local del productor. El objetivo de esta investigación fue diseñar alternativas agroforestales adaptadas a las condiciones biofísicas, productivas y sociales de la Unidad de Producción Familiar Santa Rosa, orientadas a mejorar la productividad, la conservación del suelo y la resiliencia del sistema. Se empleó la metodología de Planificación Agroforestal de Fincas, integrando el enfoque de Diagnóstico y Diseño, análisis FODA y diseño espacial de propuestas agroforestales en un contexto de sistemas de información geográfica. Para el caso del área impactada por minería se consideraron principios de forestería análoga con el fin de propiciar la restauración del sitio. Como resultado se seleccionaron especies multipropósito como *Juniperus deppeana*, *Pinus* spp, *Ipomoea arborescens*, *Erythrina flabelliformis*, *Lysiloma acapulcense*, *Cydonia oblonga* y *Morus nigra*, por su valor ecológico, productivo, frutal, forrajero y de restauración. Se propusieron cuatro tecnologías agroforestales: árboles en linderos, cercas vivas, barreras vivas y barreras vivas con forestería análoga. Estas alternativas permiten delimitar áreas productivas, reducir la pérdida de suelo, favorecer la infiltración, diversificar productos y recuperar zonas degradadas. Se concluye que el diseño agroforestal propuesto constituye una estrategia viable para transitar hacia un sistema multifuncional, sostenible y adaptado a las necesidades del productor.

Palabras clave: Diagnóstico y diseño agroforestal, tecnologías agroforestales, forestería análoga, barreras vivas, cercas vivas, linderos.

⁴Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Krystal Yedid Alvarez Quiñones

Director de tesis: Dr. Miguel Uribe Gómez

4 AGROFORESTRY DESIGN IN THE SANTA ROSA FAMILY PRODUCTION UNIT, TOPIA, DURANGO

4.2 Abstract

Agroforestry systems represent an alternative for integrating perennial woody species into rural production units, promoting diversification, natural resource conservation, and the strengthening of sustainability. In the Santa Rosa Family Production Unit, located in Topia, Durango, the previous diagnosis revealed limitations associated with steep slopes, water scarcity, areas degraded by mining activity, and the absence of agroforestry planning, despite the presence of high diversity of native woody species and the producer's local knowledge. The objective of this research was to design agroforestry alternatives adapted to the biophysical, productive, and social conditions of the Santa Rosa Family Production Unit, aimed at improving productivity, soil conservation, and system resilience. The Farm Agroforestry Planning methodology was used, integrating the Diagnosis and Design approach, SWOT analysis, and the spatial design of agroforestry proposals within a geographic information systems context. For the area impacted by mining, principles of analog forestry were considered in order to promote site restoration. As a result, multipurpose species such as *Juniperus deppeana*, *Pinus* spp., *Ipomoea arborescens*, *Erythrina flabelliformis*, *Lysiloma acapulcense*, *Cydonia oblonga*, and *Morus nigra* were selected due to their ecological, productive, fruit, forage, and restoration value. Four agroforestry technologies were proposed: boundary trees, live fences, live barriers, and live barriers with analog forestry. These alternatives make it possible to delimit productive areas, reduce soil loss, promote infiltration, diversify products, and restore degraded areas. It is concluded that the proposed agroforestry design constitutes a viable strategy for transitioning toward a multifunctional, sustainable system adapted to the producer's needs.

Keywords: Agroforestry design, agroforestry technologies, analog forestry, live barriers, live fences, boundaries.

⁴Master of Science Thesis, Master of Science in Agroforestry for Sustainable Development, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Krystal Yedid Alvarez Quiñones

Advisor: Dr. Miguel Uribe Gómez

4.3 INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales (SAF) permiten la integración de árboles en los campos agrícolas mediante múltiples arreglos espaciales, los cuales pueden ajustarse a las condiciones particulares de cada sistema productivo y a los objetivos de los productores (Raintree, 1987; Somarriba, 1998; Sotomayor & Barros, 2016).

El Diagnóstico y Diseño Agroforestal, propuesto por Raintree (1987), consiste en la identificación y análisis de oportunidades para optimizar el manejo del componente leñoso en los sistemas de producción a partir de un diagnóstico de la situación actual del sistema y del potencial de Árboles y Arbustos De Uso Múltiple (AYAUM) para mejorarlo. Lo anterior se sustenta en que el manejo adecuado de las leñosas perennes se encuentra condicionado por las particularidades biofísicas, productivas y socioeconómicas propias de cada sistema productivo (Gassner & Dobie, 2022; Somarriba, 2009).

Los SAF se caracterizan por la interacción ecológica y económica entre sus componentes, buscando generar sinergias que mejoren la productividad, la sostenibilidad y los beneficios ambientales y sociales, permitiendo el desarrollo de actividades productivas en contextos de vulnerabilidad alimentaria, degradación de recursos naturales, contribuyendo a la estabilidad ecológica y al mejoramiento de la calidad de vida rural (Gacitúa, González, Hernández, Villalobos & Montenegro, 2020). De acuerdo con Somarriba (1998), la evaluación de las alternativas agroforestales se fundamenta en función de su capacidad para incrementar la productividad, así como sus implicaciones sobre la sostenibilidad del sistema y el potencial de adopción por parte de los productores, de tal forma que las recomendaciones formuladas deben incorporar de manera detallada los procedimientos de implementación, así como el sustento técnico que respalda su viabilidad.

Un diseño agroforestal consiste en decidir el objetivo de la producción, los componentes a usar, así como su acomodo y manejo en el espacio y tiempo

(Gassner & Dobie, 2022). Uno de los principios más importantes es que el enfoque del productor debe ser tomado en cuenta de acuerdo con sus necesidades y objetivos para fomentar la adoptabilidad de los SAF propuestos, los cuales deben de generar ingresos o productos útiles y evitar riesgos (sequía, plagas, inseguridad alimentaria). Adicionalmente, los componentes dentro del sistema deben de reducir la competencia, es decir, deben interactuar de manera positiva para compartir los recursos eficientemente (agua, luz, nutrientes y espacio), de tal manera que el sistema además de producir bienes también mejore los servicios ecosistémicos (Cadena-Zamudio, Cadena-Iñiguez, Arispe-Vázquez & Noriega-Cantú, 2022; Gassner & Dobie, 2022).

Los modelos agroforestales ayudan a optimizar la productividad de las unidades prediales a través de esquemas diversificados, en los cuales los AYAUM cumplen un papel fundamental al proveer funciones productivas y ecológicas. Los árboles dentro de los SAF permiten la obtención de productos y proveen servicios ecosistémicos entre los que se encuentran la mejora de la fertilidad del suelo, la conectividad del paisaje, la regulación del microclima, la captura de carbono, la protección de la biodiversidad, y el control de arvenses; fortaleciendo así la funcionalidad integral del territorio (Gacitúa et al., 2020).

En México, los diseños agroforestales se han construido a partir de la caracterización simultánea del sistema productivo, la vegetación natural y el conocimiento biocultural del productor. Sin embargo, este último aspecto está siendo erosionado por la intensificación de los sistemas productivos y afecta directamente al diseño porque se pierde conocimiento de las especies y se simplifica la composición de los componentes del agroecosistema. Una forma alterna que se orienta hacia la sostenibilidad es diseñar modelos agroforestales que integren especies nativas de uso múltiple bajo un manejo agroecológico y que se ajuste a las necesidades y cosmovisión del productor (Palma & Cruz, 2010). En este proceso no siempre existe una única opción ideal ya que cada SAF presenta beneficios y limitaciones, por ello, la elección debe orientarse hacia la alternativa que mejor responda a las necesidades de las personas y del

sistema en cuestión (Dzib Castillo, 2016; Escamilla, Ayala & Quispe, 2026; Ortiz, 2011).

De acuerdo con los resultados del Diagnóstico de la Unidad de Producción Familiar (UPF) “Santa Rosa” realizado previamente, se observa que este presenta limitaciones que afectan su sostenibilidad, entre las que destacan la presencia de pendientes pronunciadas, escasez de agua y áreas impactadas por actividades mineras, lo que condiciona el rendimiento del sistema productivo. A pesar de contar con una alta diversidad de especies leñosas, el sistema carece de planificación agroforestal, estas condiciones incrementan su vulnerabilidad ante factores climáticos y reducen su capacidad de generar beneficios económicos para la familia. Por lo que, el objetivo de la presente investigación fue diseñar alternativas agroforestales que mejoren la productividad, la sostenibilidad y la resiliencia de los sistemas productivos de la UPF con base en las limitaciones biofísicas, sociales y económicas identificadas en el diagnóstico. Se pretende que el diseño propuesto represente una alternativa viable para optimizar el uso del suelo, integrar de manera funcional los componentes del sistema y fortalecer su resiliencia, contribuyendo a mejorar la productividad, la conservación de los recursos naturales y la calidad de vida del productor y su familia.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1 Área de estudio

La UPF Santa Rosa se encuentra ubicada en el Municipio de Topia al noroeste del Estado de Durango, en las coordenadas 25°12'8.80"N 106°34'28"O (Figura 9), con una altitud de 1500 a 1850 msnm. La vegetación de este sitio corresponde a la transición de Selva Baja Caducifolia con el Bosque de Pino-Encino. El clima predominante es (A)C(w2) semicálido subhúmedo con un régimen de lluvias en verano y sequía invernal marcada, con temperatura media anual de 18 a 22 °C y una precipitación media anual de 1400 mm (García, 1964). El tipo de suelo

predominante es Litosol, pertenece a la cuenca Culiacán, subcuenca Q. de Topia (INEGI, 2010).

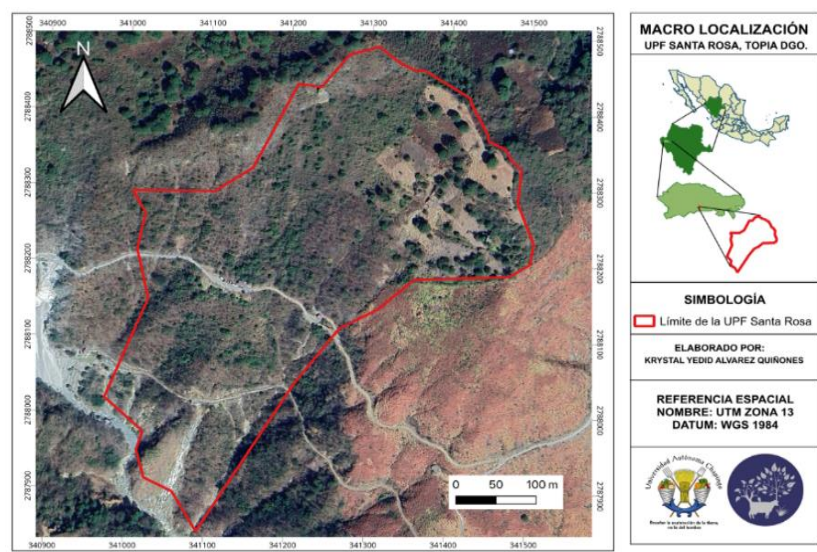


Figura 9. Mapa de macro localización de la UPF Santa Rosa Topia, Durango, México.

4.4.2 Metodología

Se empleó la metodología de Diagnóstico y Diseño (D&D) (Raintree, 1987; Somarriba, 1998; Somarriba, 2009), el análisis FODA de acuerdo con Ramírez-Rojas y Cerda (2021), y el diseño de propuestas agroforestales, el cual se inicia con la modelación de una recomendación técnica detallada de las especies arbóreas a implementar y su manejo. Los diseños gráficos de las propuestas de tecnologías agroforestales se desarrollaron con ayuda de los programas QGIS 3.38 (QGIS Development Team, 2024) y Canva Pro (Canva Pty Ltd., 2026).

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con el diagnóstico desarrollado en el capítulo anterior, se identificó que el predio presenta condiciones favorables para el establecimiento de diseños agroforestales orientados a la conservación del suelo, la diversificación productiva, el aprovechamiento de especies nativas y la recuperación gradual de áreas degradadas. A pesar de las limitantes, el diagnóstico evidenció una alta diversidad de especies leñosas nativas, conocimiento local del productor sobre

su vegetación y disposición para incorporar prácticas agroforestales, lo que permitió definir propuestas de diseño acordes con las condiciones biofísicas, productivas y sociales del sitio.

Los diseños agroforestales propuestos responden a la necesidad de pasar de un sistema con presencia dispersa de árboles hacia un sistema agroforestal planificado, en donde las especies arbóreas cumplan funciones ecológicas y productivas tomando en cuenta aspectos ecológicos y socioeconómicos que ayuden a potenciar las condiciones del área y de los medios de vida del productor y su familia.

4.5.1 Especies arbóreas multipropósito para el diseño de SAF en la UPF Santa Rosa

En concordancia con los índices de diversidad obtenidos durante el diagnóstico, las especies con mayor relevancia dentro de la UPF son *Juniperus deppeana* (Tascate), *Pinus spp.* (Pino), *Ipomoea arborescens* (Cazahuate) y *Erythrina flabelliformis* (Colorín), lo que indica su importancia ecológica, productiva y funcional dentro del sistema. Estas especies se consideran prioritarias para el diseño agroforestal debido a su presencia, adaptación a las condiciones locales y potencial para contribuir a la restauración de la cobertura vegetal, la delimitación de espacios productivos y la protección del suelo. No obstante, además de las especies identificadas como principales en el diagnóstico, se propone la incorporación de *Cydonia oblonga* (Membrillo) y *Morus nigra* (Mora) como componentes complementarios, ya que responden al interés del productor por integrar especies frutales y forrajeras dentro del sistema. De esta manera, el diseño agroforestal no solo retoma la composición florística existente y las especies con mayor representatividad, sino que también incorpora las necesidades y preferencias productivas de la familia, favoreciendo la diversificación de productos, el aprovechamiento múltiple del predio y el fortalecimiento de la sostenibilidad del sistema. En el (Cuadro 11), se presentan las especies seleccionadas para los diseños agroforestales, así como sus principales usos y los servicios ecosistémicos que proveen.

Cuadro 11. Especies seleccionadas para el diseño agroforestal en la UPF Santa Rosa.

Nombre común y científico	Usos	Servicios ecosistémicos
Tascate (<i>Juniperus deppeana</i>)	Maderable, se obtienen postes para cercas, se usa también como cerca viva. Obtención de aceites esenciales aromáticos. Forrajera (Zamora, Cruz, & López, 2012).	Sombra y refugio para la fauna. Control de la erosión. Recuperación de terrenos degradados (Zamora et al., 2012; Herrerías & Nieto, 2020).
Pino (<i>Pinus spp</i>)	Maderable, para construcción de viviendas, cercas vivas y postes; leña y carbón. Resina. Comestible (piñón) (Palma et al., 2007; Rodríguez-Trejo & Quiahua Barrera, 2021; Fitch et al., 2022).	Captura de carbono. Cortina rompevientos. Protección (sombra) para el ganado (Bitog et al., 2012; Nyakatawa, Naka & Bukenya, 2012; Karki et al., 2019).
Cazahuate (<i>Ipomoea arborescens</i>)	Maderable, en la construcción de muebles y herramientas; Leña. Medicinal, para tratar dolores musculares, cólicos, picaduras de alacrán y serpientes. Forrajero, las flores son alimento para el ganado. Repelente, insecticida, herbicida. Ornamental. Cultural, en rituales. Delimitación, como cerca viva en huertos familiares (Valencia et al., 2021; Avendaño, Salomón & Márquez, 2022; Álvarez-Martínez & Caughey-Espinoza, 2024).	Fuente de alimentación de la fauna silvestre y polinizadores. Contribuye a la conservación del suelo y disminuye la erosión (Valencia et al., 2021; Avendaño et al., 2022; Álvarez-Martínez et al., 2024).
Colorín (<i>Erythrina flabelliformis</i>)	Cerco vivo y ornamental. Forrajes, leña, carbón y postes (CONABIO Y SEMARNAT, 2017; Vázquez-Yanes, Batis, Alcocer, Gual & Sánchez, 1999)	Al ser especie de la familia Fabaceae puede contribuir al mejoramiento de suelo con el aporte de nitrógeno y sus flores vistosas favorecen la presencia de polinizadores y fauna asociada (CONAFOR, s.f.).

Tepehuaje (<i>Lysiloma acapulcense</i>)	Maderable, para construcción de cercas; leña (Avendaño-Yáñez, Quiroz-Martínez, Pérez-Elizalde & López-Ortiz, 2020; Camacho-Moreno, López-Ortiz, Suárez-Islas & Valdez-Hernández, 2021).	Protección al ganado (sombra), aporte de materia orgánica e incremento de nitrógeno y fósforo al suelo (Avendaño-Yáñez et al., 2020; Camacho-Moreno et al., 2021).
Membrillo (<i>Cydonia oblonga</i>)	Frutal con valor alimenticio. Pueden aprovecharse los frutos frescos o procesados (Orwa, Mutua, Jamnadass & Simons, 2009a).	Aporta materia orgánica al suelo (Ashraf, Muhammad, Hussain & Bukhari, 2016)
Mora (<i>Morus nigra</i>)	Frutal, forrajera y sombra (Orwa et al., 2009b).	Aporta sombra (CABI, s. f.)

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Tecnologías agroforestales propuestas para el diseño de SAF en la UPF Santa Rosa

Las tecnologías agroforestales propuestas para el establecimiento en la UPF “Santa Rosa” son las siguientes: 1) árboles en linderos para delimitar el predio, 2) cercas vivas para delimitar áreas dentro del sistema agrosilvopastoril, 3) barreras vivas a curvas a nivel en el sistema agrosilvopastoril, y 4) barreras vivas con forestería análoga en el área minera para retener el suelo. En el Cuadro 12 se presentan las características de las tecnologías agroforestales propuestas.

Cuadro 12. Características de las tecnologías agroforestales propuestas para la UPF Santa Rosa.

Tecnología agroforestal	Objetivo del establecimiento	Especies arbóreas sugeridas
Árboles en linderos	Favorecen la delimitación el predio y, al mismo tiempo, aprovechar especies nativas ya conocidas por el productor. Este diseño permite distribuir las especies de acuerdo con el gradiente altitudinal del predio, evitando establecer una sola combinación vegetal en toda la UPF. De esta manera, el diseño reconoce la heterogeneidad ambiental del sitio y propone arreglos diferenciados según altitud, cobertura vegetal, uso actual del suelo y función esperada.	<i>Tasquite</i> (<i>Juniperus deppeana</i>), <i>Pino</i> (<i>Pinus spp.</i>), <i>Colorín</i> (<i>Erythrina flabelliformis</i>), <i>Tepehuaje</i> (<i>Lysiloma acapulcense</i>).

Forestería análoga en barreras vivas	Se plantea como una alternativa para el área minera, donde se requiere disminuir la pérdida de suelo por las condiciones de la pendiente, el establecimiento de hileras de árboles en curvas de nivel puede contribuir a reducir la velocidad del escurrimiento superficial, favorecer la infiltración de agua y retener partículas de suelo.	<i>Tascate (Juniperus deppeana), Pino (Pinus spp.).</i>
Barreras vivas	Disponer de árboles en callejones entre los cultivos a curvas de nivel constituye una estrategia para retener suelo y humedad, disminuir el escurrimiento superficial, mejorar el aprovechamiento del terreno agrícola y hacer más sostenible la producción de maíz, frijol, avena y calabaza.	<i>Membrillo (Cydonia oblonga), Mora (Morus nigra).</i>
Cercas vivas	Responde a la necesidad de fortalecer la delimitación de potreros y parcelas dentro del sistema agrosilvopastoril sustituyendo gradualmente postes muertos o cercos convencionales por estructuras vivas multifuncionales y reducir la dependencia de materiales externos para cercado.	<i>Tascate (Juniperus deppeana), Cazahuate (Ipomoea arborescens), Colorín (Erythrina flabelliformis).</i>

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describen las tecnologías agroforestales propuestas:

4.5.2.1 Árboles en linderos

De acuerdo con el diagnóstico, la delimitación de parcelas mediante postes y cercas ya forma parte del manejo tradicional de la UPF, sin embargo, esta práctica puede mejorarse mediante el establecimiento planificado de árboles vivos en los bordes del terreno (Figura 10). Los árboles en linderos son una tecnología agroforestal que permite la delimitación de las áreas productivas combinando los beneficios de retención de sedimentos, almacenamiento de carbono, proveer de madera para postes, entre otros (Nair, Kumar, & Nair, 2021).

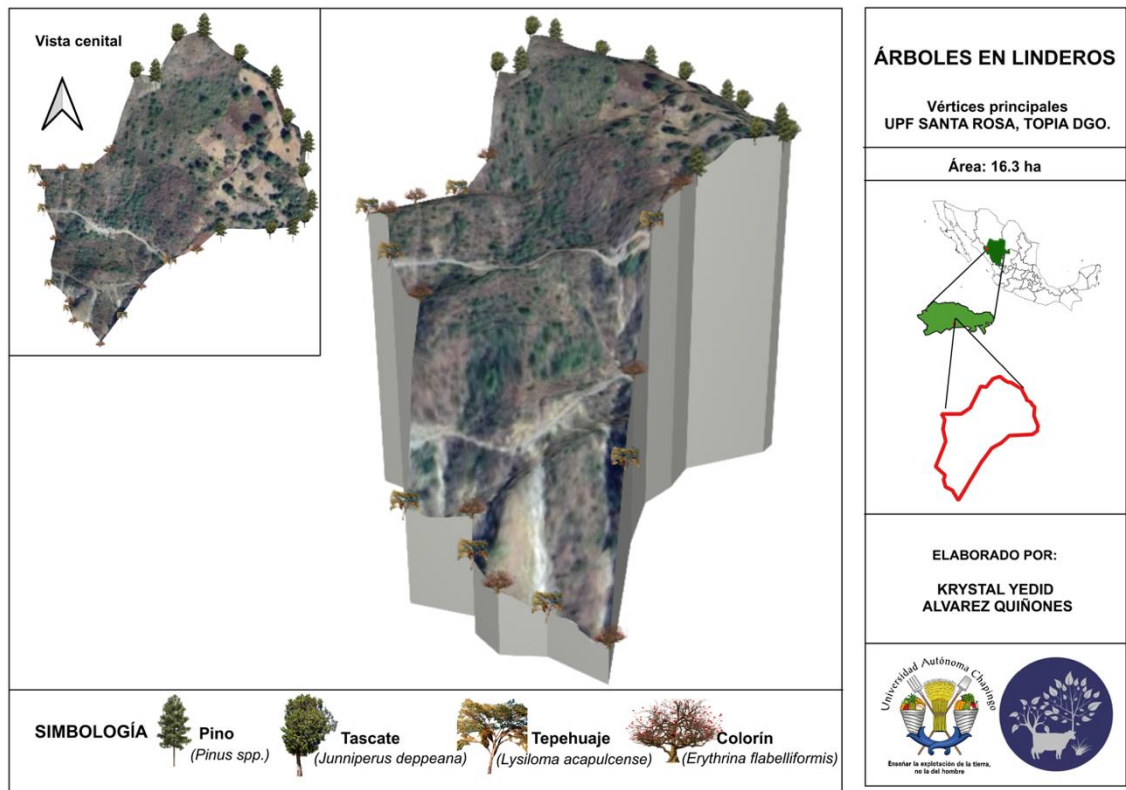


Figura 10. Diseño de árboles en linderos para la UPF Santa Rosa.

Para las zonas de mayor altitud (1750 a 1850 msnm) se propone utilizar *J. deppeana* (Tascate) y *Pinus spp.* (Pino), debido a su presencia natural en las áreas de transición con bosque de pino-encino y a su importancia actual como especies estructurales dentro de la UPF. Estas especies pueden funcionar como cortinas rompevientos, fuentes futuras de madera o postes, elementos de sombra y componentes de conectividad con las áreas naturales conservadas. Mientras que en las zonas de menor altitud (1350 a 1750 msnm) se propone incorporar *L. acapulcense* (Tepehuaje) y *E. flabelliformis* (Colorín), especies más afines a condiciones de selva baja caducifolia. El colorín, además de haber sido registrado entre las especies más abundantes del ensamblaje arbóreo, puede aportar sombra, materia orgánica y potencial forrajero, dependiendo del manejo que se le dé dentro del sistema. El tepehuaje, por su parte, puede contribuir a la restauración funcional de zonas con menor cobertura, debido a su adaptación a ambientes secos y su posible aporte a la fertilidad del suelo (Figura 11).

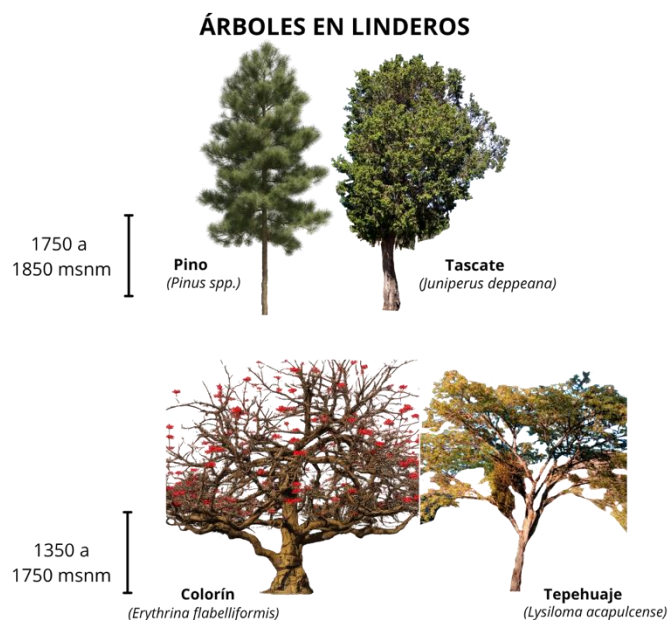


Figura 11. Disposición de las especies arbóreas en los linderos para la UPF Santa Rosa.
Fuente: Elaboración propia.

4.5.2.2 Cercas vivas

En el diagnóstico se identificó que las cercas vivas ya cumplen una función importante dentro de la UPF, pero su manejo no se encuentra plenamente orientado hacia la generación de beneficios ecológicos y productivos adicionales. Las cercas vivas (Figura 12) pueden favorecer la conectividad biológica a pequeña escala, mejorar la protección de las parcelas, ofrecer sombra para el ganado y reducir la presión sobre la vegetación natural al disminuir la necesidad de extraer postes. Además, al establecerse en los límites de áreas agrícolas y ganaderas, no compiten directamente con los cultivos principales y pueden ser adoptadas de manera gradual, de acuerdo con la disponibilidad de mano de obra y recursos de la familia (Morantes-Tolozá & Renjifo, 2018; Villanueva, Ibrahim & Casasola, 2008).

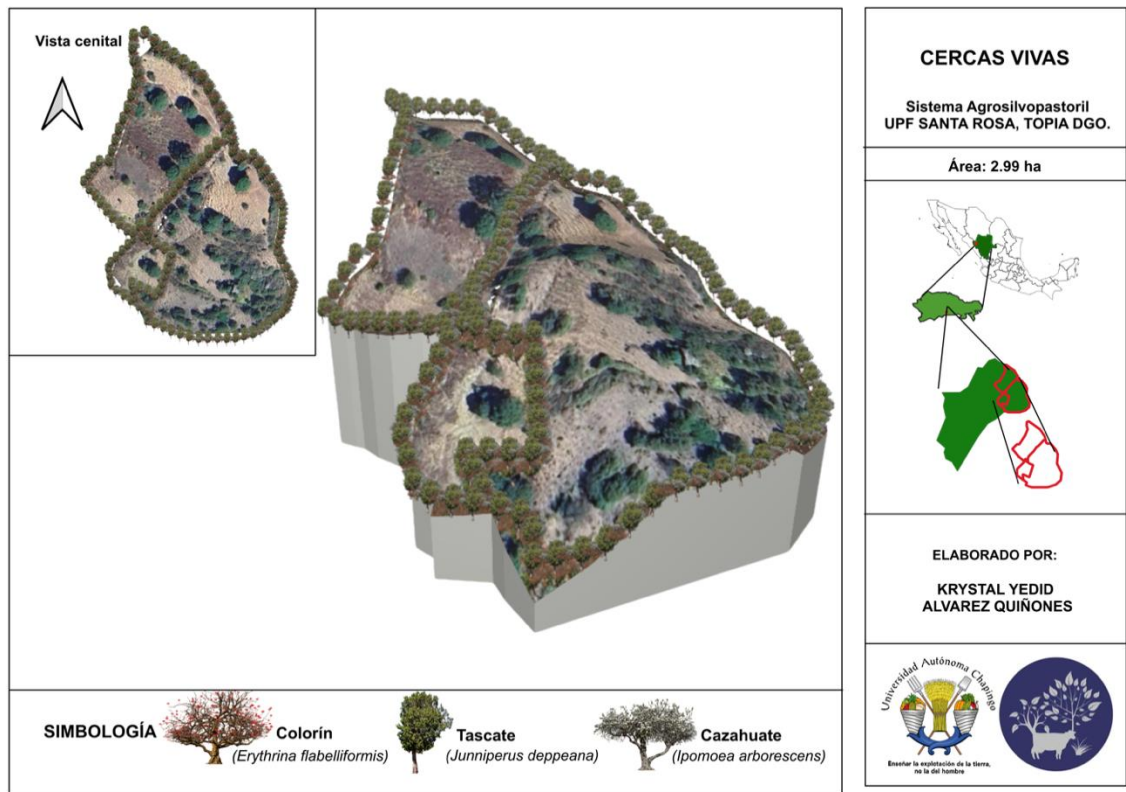


Figura 12. Diseño de cercas vivas para la UPF Santa Rosa.

La incorporación de Colorín, Tascate y Cazahuate permite integrar especies presentes en la vegetación local y con funciones complementarias (Figura 13).

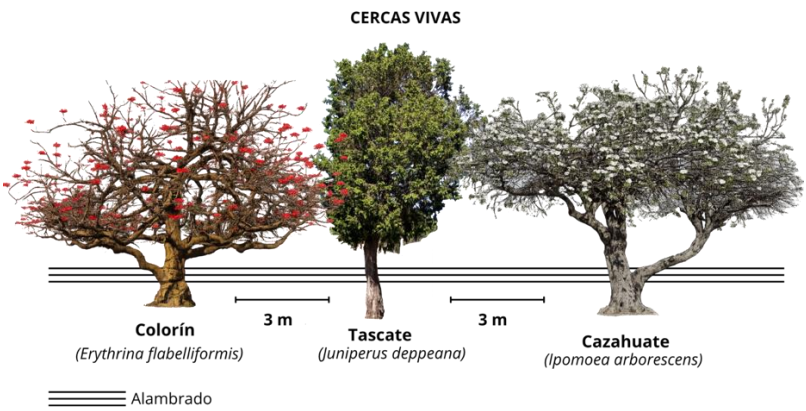


Figura 13. Disposición de las especies arbóreas en las cercas vivas para la UPF Santa Rosa.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2.3 Barreras vivas

Las barreras vivas con especies frutales representan una estrategia de bajo costo y alto impacto, debido a que no sustituyen completamente el uso actual del suelo, sino que se integran gradualmente a las parcelas agrícolas. Su implementación puede mejorar la cobertura permanente, aportar residuos vegetales al suelo y generar microambientes más favorables para los cultivos, especialmente durante la época seca (García, 2011) (Figura 14).

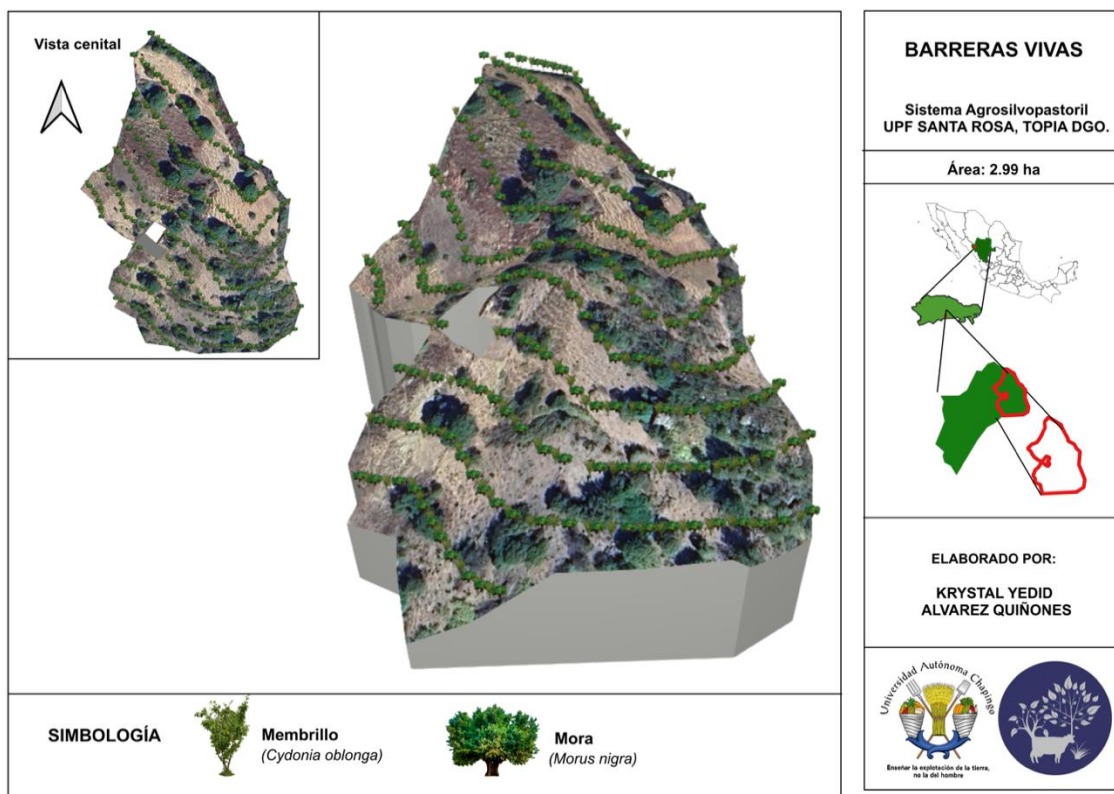


Figura 14. Diseño de barreras vivas para la UPF Santa Rosa.

Se propone intercalar Membrillo, el cual tiene importancia regional para la elaboración de licores y mermeladas, así como Mora que es una especie frutal y forrajera de corte y acarreo (Figura 15).

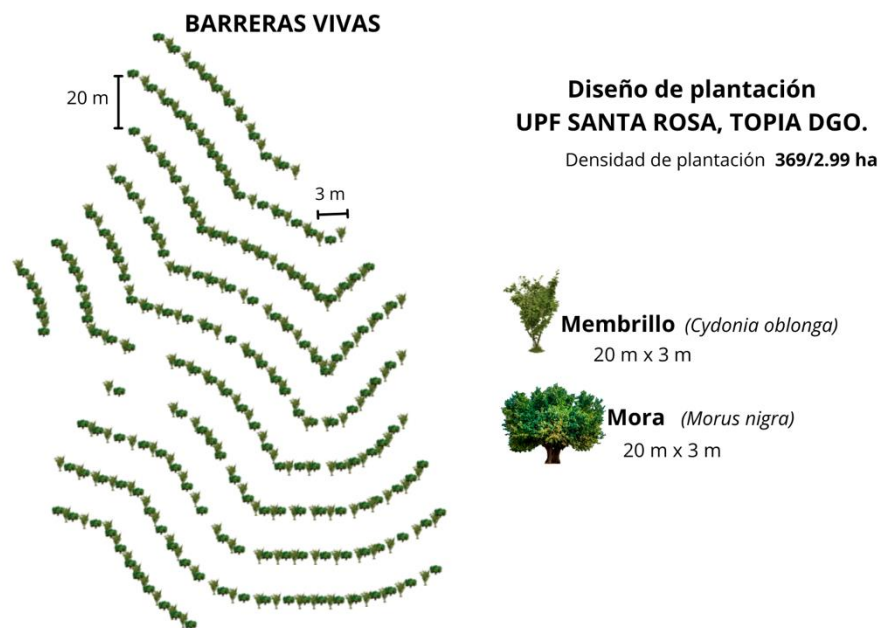


Figura 15. Diseño de plantación de las especies arbóreas en barreras vivas para la UPF Santa Rosa.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2.4 Barreras vivas (Forestería análoga)

La forestería análoga es una metodología de restauración que busca recuperar áreas degradadas mediante el diseño de sistemas productivos parecidos al bosque natural (Cuadro 12), imitando su estructura, biodiversidad y funciones ecológicas. Las especies que se seleccionan deben ser especies útiles que permitan restaurar progresivamente el suelo, la biodiversidad, la productividad y los servicios ecosistémicos, considerando también las necesidades del productor y del paisaje (Red Internacional de Forestería Análoga, 2020). Se proponen barreras vivas bajo la forestería análoga para la UPF Santa Rosa en la zona afectada por la minería (Figura 16), con un diseño intercalado entre Pino y Tascate (Figura 17).

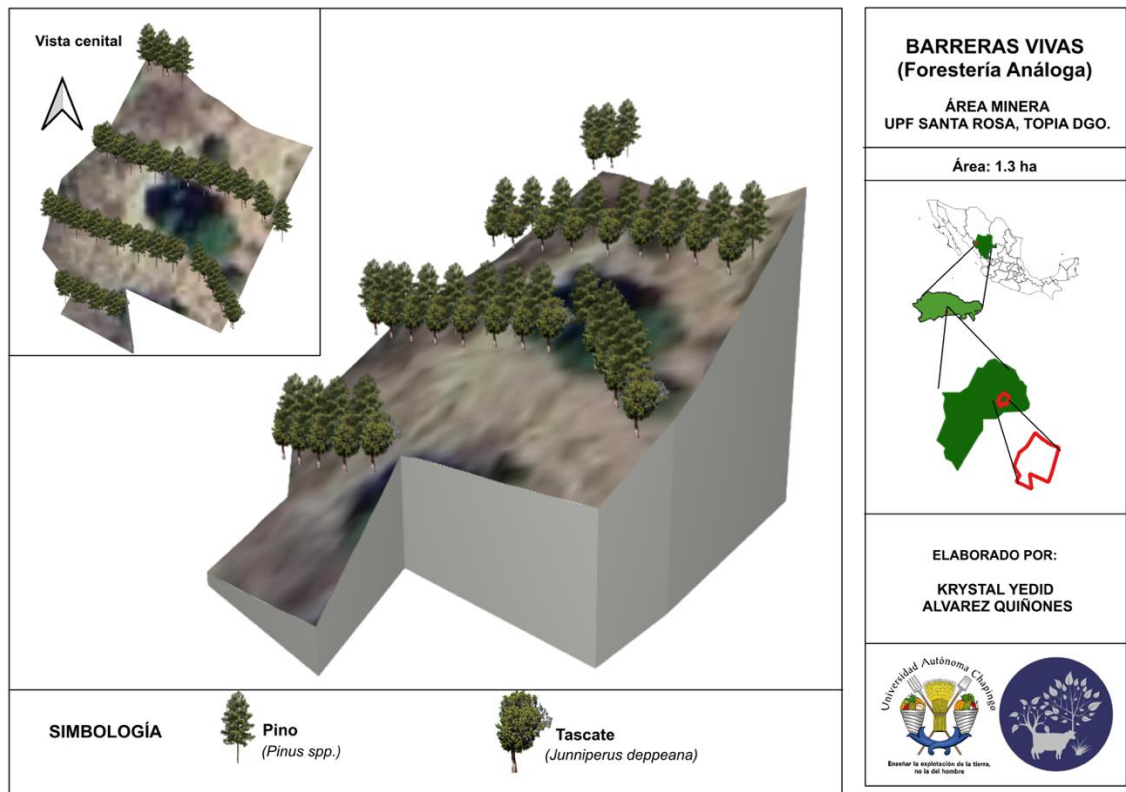


Figura 16. Diseño de barreras vivas con forestería análoga para la UPF Santa Rosa.

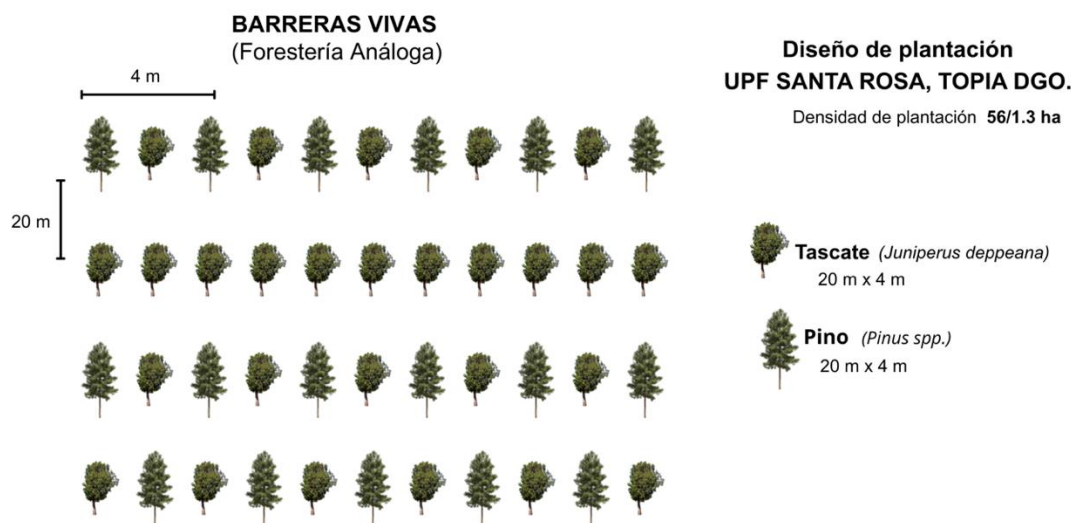


Figura 17. Diseño de plantación de las especies arbóreas en barreras vivas para la UPF Santa Rosa.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2.5 Recomendaciones generales

Se recomienda utilizar planta juvenil producida en vivero, preferentemente con material genético local, o bien recolectar semillas de individuos sanos presentes en la misma UPF, realizar la plantación en época de lluvias y realizar aclareos posteriormente para eliminar la competencia de los árboles por espacio, luz y agua.

Se sugiere realizar podas de formación en invierno y apertura del centro de la copa para favorecer ventilación y entrada de luz, durante los primeros años pueden requerir tutorado (CONAFOR, 2010; Fernández, Basauri, Madariaga, Menéndez, Olea & Zubizarreta-Gerendiain, 2017; Orwa et al., 2009a; Pastor-Martínez, Velázquez-Martínez & Gil-Vera, 2024; Rivera, Gómez, Aldrete & Montes, 2020; Yescas, Cruz, Uribe, Lara & Maldonado, 2016).

4.6 CONCLUSIONES

El diseño agroforestal propuesto para la UPF “Santa Rosa”, integra criterios biofísicos, productivos y sociales, ya que considera el gradiente altitudinal del predio, la adaptación de las especies, los usos actuales del suelo y las necesidades del productor. Esto favorece su potencial de adopción, debido a que las propuestas se basan en especies conocidas localmente y en arreglos que pueden implementarse de manera progresiva según la disponibilidad de recursos y mano de obra.

Las especies seleccionadas para el diseño agroforestal responden tanto a la composición florística existente como a los objetivos productivos de la familia. En este sentido, el tascate, pino, cacahuete, colorín y tepehuaje son especies con valor ecológico y funcional para la delimitación, restauración y protección del suelo, mientras que el membrillo y la mora permiten incorporar componentes frutales y forrajeros que fortalecen la diversificación productiva del sistema con potencial de generar productos como valor agregado.

Las tecnologías agroforestales propuestas constituyen alternativas viables para responder a las principales limitantes del predio, como la pendiente, la pérdida de suelo, la escasez de agua, la fragmentación de áreas productivas y la degradación asociada a la actividad minera. Su establecimiento gradual puede contribuir a mejorar la funcionalidad ecológica del sistema sin desplazar por completo los usos actuales del suelo.

4.7 LITERATURA CITADA

- Álvarez-Martínez, A., & Caughey-Espinoza, D. (2024). Importancia del palo blanco (*Ipomoea arborescens*) en el noroeste de México. *Abanico Boletín Mexicano*, e2024-6.
- Álvarez-Martínez, A., Caughey-Espinoza, D., Magaña-Barajas, E., Rodríguez-Briseño, K., Celaya-Rosas, M., Morales-Romero, D., & Cota-Arriola, O. (2024). Germinación in vitro de palo blanco (*Ipomoea arborescens* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) G. Don). *Abanico Agroforestal*, 6, 1–14. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2024.2>
- Ashraf, M. U., Muhammad, G., Hussain, M. A., & Bukhari, S. N. A. (2016). *Cydonia oblonga M., a medicinal plant rich in phytonutrients for pharmaceuticals*. *Frontiers in Pharmacology*, 7, 163. <https://doi.org/10.3389/fphar.2016.00163>
- Avendaño Gómez, A., Salomón Montijo, B., & Márquez Salazar, G. (2022). Árboles nativos de Sinaloa del sistema agroforestal huerto familiar. *Polibotánica*, (54), 219–240. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.54.14>
- Avendaño-Yáñez, Ma. de la L., Quiroz-Martínez, S., Pérez-Elizalde, S., & López-Ortiz, S. (2020). Litterfall from tropical dry forest trees scattered in pastures. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 26(3), 409–418. <https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2019.12.092>

- Bitog, J. P., Lee, I.-B., Hwang, H.-S., Shin, M.-H., Hong, S.-W., Seo, I.-H., Kwon, K.-S., Mostafa, E., & Pang, Z. (2012). Numerical simulation study of a tree windbreak. *Biosystems Engineering*, 111(1), 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.10.006>
- CABI. (s. f.). *Morus nigra* (black mulberry). *CABI Compendium*. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.34830>
- Cadena-Zamudio, D. A., Cadena-Iñiguez, P., Arispe-Vázquez, J. L., & Noriega-Cantú, D. H. (2022). Diseño de sistemas agroforestales: una alternativa sostenible para la agricultura en el estado de Guerrero, México. *Agro-Divulgación*, 2(5), 57–62.
- Camacho-Moreno, E., López-Ortiz, S., Suárez-Islas, A., & Valdez-Hernández, J. I. (2021). Conocimiento local, importancia cultural y adoptabilidad de tres especies arbóreas multipropósito en sistemas agroforestales del centro de Veracruz, México. *Revista Etnobiología*, 19(2), 30–45.
- Canva Pty Ltd. (2026). *Canva Pro* [Software].
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Durango (SEMARNAT) . (2017). La biodiversidad en Durango: Estudio de Estado.
- Comisión Nacional Forestal. (2010). *Prácticas de reforestación: Manual básico*. CONAFOR.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (s. f.). *Erythrina flabelliformis*, colorín norteño. *EncicloVida*.
- Dzib Castillo, B. B. (2016). Diseño de sistemas agroforestales con base en las condiciones ecológicas y productivas de comunidades campesinas de la Península de Yucatán (Tesis de doctorado). El Colegio de la Frontera Sur.
- Escamilla, E., Ayala D., & Quispe, G.C. 2026. Los Sistemas Agroforestales para el Bienestar Social Comunitario en México, Volumen I. Fundamentos,

diseño y experiencias. Manual Técnico. Universidad Autónoma Chapingo, El Colegio de la Frontera Sur y Comisión Nacional Forestal. México. 118 p.

- Fernández, M. P., Basauri, J., Madariaga, C., Menéndez-Miguélez, M., Olea, R., & Zubizarreta-Gerendiain, A. (2017). Effects of thinning and pruning on stem and crown characteristics of *Pinus radiata*. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 10(1), 86–94. <https://iforest.sisef.org/contents/?id=ifor2037-009>
- Fitch, A., Rowe, R., McNamara, N. P., Prayogo, C., Ishaq, R. M., Prasetyo, R. D., Mitchell, Z., Oakley, S., & Jones, L. (2022). The Coffee Compromise: Is Agricultural Expansion into Tree Plantations a Sustainable Option? *Sustainability*, 14(5), 3019. <https://doi.org/10.3390/su14053019>
- Gacitúa, S., González, M., Hernández, J., Villalobos, E., & Montenegro, J. (2020). Diseño e implementación de modelos agroforestales de secano en obras de conservación de agua y suelos. Región de Coquimbo (Manual N° 54). Instituto Forestal de Chile.
- García, E. (1964). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, G. (2011). *Barreras vivas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Gassner, A., & Dobie, P. (Eds.). (2022). *Agroforestry: A primer: Design and management principles for people and the environment*. CIFOR & World Agroforestry (ICRAF). <https://doi.org/10.5716/cifor-icraf/BK.33141>
- Herrerías Mier, L. G., & Nieto de Pascual Pola, M. C. del C. (2020). Características estructurales y demográficas de *Juniperus deppeana* Steud. en dos localidades del estado de Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.618>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010: Topia, Durango*.
- Karki, U., Karki, Y., Khatri, R., Tillman, A., Poudel, S., Gurung, N., & Kumi, A. S. (2019). Raising goats in the southern-pine silvopasture system: challenges and opportunities. *Agroforestry Systems*, 93(5), 1647–1657. <https://doi.org/10.1007/S10457-018-0271-1>
- Morantes-Toloza, J., & L., Renjifo, L. M. (2018). Cercas vivas en sistemas de producción tropicales: Una revisión mundial de los usos y percepciones. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 739–753.
- Nair, P. K. R., Kumar, B. M., & Nair, V. D. (2021). *An introduction to agroforestry: Four decades of scientific developments* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-75358-0>
- Nyakatawa, E. Z., Mays, D. A., Naka, K., & Bukenya, J. O. (2012). Carbon, nitrogen, and phosphorus dynamics in a loblolly pine-goat silvopasture system in the Southeast USA. *Agroforestry Systems*, 86(2), 129–140. <https://doi.org/10.1007/S10457-011-9431-2>
- Ortiz Timoteo, J. (2011). Diseño de sistemas agroforestales con base en el manejo tradicional de la milpa y el solar en el municipio de Jesús Carranza, Veracruz (Tesis de maestría). Universidad Veracruzana.
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., & Simons, A. (2009a). *Cydonia oblonga*. En *Agroforestree Database: A tree reference and selection guide* (Version 4.0). World Agroforestry Centre.
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., & Simons, A. (2009b). *Morus nigra*. En *Agroforestree Database: A tree reference and selection guide* (Version 4.0). World Agroforestry Centre.
- Palma, J. H. N., Graves, A. R., Bunce, R. G. H., Burgess, P. J., de Filippi, R., Keesman, K. J., van Keulen, H., Liagre, F., Mayus, M., Moreno, G., Reisner, Y., & Herzog, F. (2007). Modeling environmental benefits of

- silvoarable agroforestry in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(3–4), 320–334.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.07.021>
- Palma, E., & Cruz, J. (2010). *¿Cómo elaborar un plan de finca de manera sencilla?* (Serie técnica. Manual técnico No. 96). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Pastor-Martínez, U. E., Velázquez-Martínez, A., & Gil-Vera, J. A. (2024). Efecto de podas en plantaciones jóvenes de *Pinus patula* Schltdl. & Cham. en el ejido Llano Grande, Chignahuapan, Puebla. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 30(1).
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.10.077>
- QGIS Development Team. (2024). QGIS Geographic Information System (versión 3.38) [software]. QGIS Association.
- Raintree, JB. (1987). The state of the art of agroforestry diagnosis and design. *Agroforestry Systems* 5:219-250.
- Ramírez Rojas, J., & Cerda, R. (2021). Diseño (y rediseño) y manejo de sistemas agroforestales de café. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) & Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Red Internacional de Forestería Análoga. (2020). *Guía de campo en forestería análoga: Una herramienta práctica y sencilla*. RIFA.
- Rodríguez-Trejo, D. A., & Quiahua Barrera, L. (2021). *Pinus L. (Pinaceae). Semillas de especies forestales* (pp. 223–245). Universidad Autónoma Chapingo.
- Somarriba, E. (1998). Diagnóstico y diseño agroforestal. *Agroforestería en las Américas*, 5(17–18), 68–72.
- Somarriba, E. (2009). Planificación agroforestal de fincas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). ISBN 978-9977-57-483-7

- Sotomayor, A., & Barros, S. (Eds.), 2016. Los Sistemas Agroforestales en Chile, Instituto Forestal, Chile. p. 458.
- Rivera Torres, P. S., Gómez Guerrero, A., Aldrete, A., & Montes Recinas, S. (2020). Nutrición inicial en una reforestación de *Juniperus deppeana* Steud. y su capacidad de rebrote posincendio. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61), 152–175. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.769>
- Valencia Díaz, S., Pérez-Sanvicente, E., León Rivera, I., Perea-Arango, I., Abarca-Camacho, C., & Flores-Palacios, A. (2021). Importancia y usos de los cazahuates y quiebraplatos. *Inventio*, 17(42). <https://doi.org/10.30973/inventio/2021.17.42/2>
- Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis Muñoz, M. I. Alcocer Silva, M. Gual Díaz & C. Sánchez Dirzo. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM.
- Villanueva, C., Ibrahim, M., & Casasola, F. (2008). *Valor económico y ecológico de las cercas vivas en fincas y paisajes ganaderos* (Serie técnica. Informe técnico No. 372). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Yescas Albarrán, C. A., Cruz León, A., Uribe Gómez, M., Lara Bueno, A., & Maldonado Torres, R. (2016). Árboles nativos con potencial dendroenergético para el diseño de tecnologías agroforestales en Tepalcingo, Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(16), 3301–3313. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i16.398>
- Zamora Serrano, C., Cruz Chávez, F. J., & López Martínez, J. (2012). Tecnología para la preservación de *Juniperus comitana* Mart. y *J. deppeana* var. *gamboana* (Mart.) R. P. Adams. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(11).

5 CONCLUSIONES GENERALES

Los diseños agroforestales en México destacan por su carácter biocultural y adaptativo, sin embargo, enfrentan limitaciones asociadas a la pérdida del conocimiento tradicional, restricciones biofísicas y baja viabilidad socioeconómica, lo que plantea como principal reto la construcción de sistemas contextualizados que integren conocimiento local, funcionalidad ecológica y rentabilidad productiva.

La configuración espacial observada en la UPF Santa Rosa, evidencia un mosaico productivo fragmentado, donde coexisten áreas de conservación con zonas intensamente intervenidas, lo cual representa una oportunidad para el diseño de sistemas sostenibles como es la agroforestería.

Es importante continuar con la implementación de los diseños agroforestales propuestos y si es necesario rediseñar, con la finalidad de encontrar un equilibrio entre los aspectos ecológicos, sociales y económicos para lograr la sostenibilidad del sistema agroforestal.

5.1 ANEXOS

Anexo 1. Indicadores de calidad de suelo.

CALIDAD DE SUELO

1. Estructura

Suelo polvoso, sin granulos visibles (1)

Suelo suelto con pocos gránulos que se rompen al aplicar presión suave (5)

Suelo friable y granular, los agregados, mantienen la forma después de aplicar presión suave, aún humedecidos (10)

2. Compactación e infiltración

Compacto, se anega (1)

Presencia de capa compacta delgada, el agua se infiltra lentamente (5)

Suelo no compacto, el agua se infiltra fácilmente (10)

3. Profundidad del suelo

Subsuelo casi expuesto (1)

Suelo superficial delgado, con menos de 10 cm (5)

Suelo superficial más profundo, con más de 10 cm (10)

4. Estado de residuos

Presencia de residuos orgánicos que no se descomponen o lo hacen muy lentamente (1)

Se mantienen residuos del año anterior, en proceso de descomposición (5)

Residuos en varios estados de descomposición, residuos viejos bien descompuestos (10)

5. Color, olor y materia orgánica

Suelo pálido, con mal olor o químico, y no se observa la presencia de materia orgánica o humus (1)

Suelo pardo claro o rojizo, con poco olor y con algún grado de materia orgánica o humus (5)

Suelo de negro o pardo oscuro, con olor a tierra fresca, se nota presencia abundante de materia orgánica y humus (10)

6. Retención de humedad

Suelo se seca rápido (1)

Suelo permanece seco durante la época seca (5)

Suelo mantiene humedad durante la época seca (10)

7. Desarrollo de raíces

Raíces poco desarrolladas, enfermas y cortas (1)

Raíces con crecimiento limitado, se observan algunas raíces finas (5)

Raíces con buen crecimiento, saludables y profundas, con abundante presencia de raíces finas (10)

8. Cobertura de suelo

Suelo desnudo (1)

Menos de 50 % del suelo cubierto por residuos, hojarasca o cubierta viva (5)

Más del 50 % del suelo con cobertura viva o muerta (10)

9. Erosión

Erosión severa, se nota arrastre de suelo y presencia de cárcavas y canalillos (1)

Erosión evidente, pero poca (5)

No hay mayores señales de erosión (10)

10. Actividad biológica

Sin signos de actividad biológica, no se observan lombrices o invertebrados (insectos, arañas, centípedos, etc.) (1)

Se observan algunas lombrices y artrópodos (5)

Mucha actividad biológica, abundantes lombrices y artrópodos (10)

Anexo 2. Datos de especies arbóreas registradas en las condiciones: Árboles Dispersos a 1750 msnm, Cercas Vivas a 1850 msnm, SBC a 1650 msnm y SBC a 1550 msnm en la UPF Santa Rosa, Topia, Durango.

ID	Nombre Común	Especie	Orden	Familia	Cercas Vivas 1850 msnm	Árboles Dispersos 1750 msnm	SBC 1650 msnm	SBC 1550 msnm
JUNDEP	Tascate	<i>Juniperus deppeana</i>	Asparagales	Asparagaceae	18	30	2	0
BOCARB	Palo judas	<i>Bocconia arborea</i>	Laurales	Lauraceae	10	7	0	0
PINSPP	Pino	<i>Pinus spp</i>			8	26	2	0
IPOARB	Palo blanco	<i>Ipomoea arborescens</i>			6	0	2	14
COCHA	Cocha	<i>arbol 1</i>	Magnoliales	Annonaceae	7	2	0	0
ERYOCC	Colorin	<i>Erythrina flabelliformis</i>			5	0	2	11
ANOMUR	Chirimoyo	<i>Anona muricata</i>	Fabales	Fabaceae	3	10	0	0
CHAP	Chapote	<i>arbol 2</i>	Gentianales	Rubiaceae.	3	0	2	10
LIPMYR	Nacare	<i>Lippia myriocephala</i>	Fagales	Fagaceae	3	3	1	0
AGASPP	Agave	<i>Agave spp</i>	Fabales	Fabaceae	2	0	0	0
EYSPOL	Palo dulce	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	Fabales	Fagaceae	2	0	0	0
MORNIG	Mora	<i>Morus nigra</i>	Myrtales	Myrtaceae	2	0	0	0
ACAPOLY	Gatuño	<i>Acacia polyacantha</i>	Fabales	Fabaceae	2	1	0	0
ACAPEN	Tepame	<i>Acacia pennatula</i>	Fagales	Fagaceae	2	0	0	0
ACAFAR	Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	Sapindales	Rutaceae	1	0	0	0
QUESPP	Encino manzano	<i>Quercus spp</i>	Sapindales	Rutaceae	1	0	0	0
BURSIM	Papelillo	<i>Bursera simaruba</i>	Sapindales	Anacardiaceae	1	0	1	12
PSIGUA	Guayabo	<i>Psidium guajava</i>	Rosales	Rosaceae	0	10	0	0
MANIND	Mango	<i>Mangifera indica</i>	Rosales	Moraceae	0	5	0	0

PERAME	Aguacate	<i>Persea americana</i>	Lamiales	Verbenaceae	0	5	0	0
CYDOBL	Membrillo	<i>Cydonia oblonga</i>	Fagales	Juglandaceae	0	1	0	0
CARPAP	Papaya	<i>Carica papaya</i>	Solanales	Convolvulaceae	0	1	0	0
CITAU	Limon	<i>Citrus aurantifolia</i>			0	1	0	0
CITSP	Lima	<i>Citrus spp</i>	Fabales	Fabaceae	0	1	0	0
MUSPAR	Platano	<i>Musa paradisiaca</i>			0	1	0	0
JUGREG	Nogal	<i>Juglans regia</i>	Ranunculales	Papaveraceae	0	2	0	0
ARB4	Candelilla	<i>arbol 4</i>	Brassicales	Caricaceae	0	2	1	0
LYSACA	Tepehuaje	<i>Lysiloma acapulcense</i>	Sapindales	Burseraceae	0	1	1	15
QUERSP	Encino Laurel	<i>Quercus spp</i>			0	1	0	0
ARB5	palo fierro	<i>arbol 5</i>	Pinales	Pinaceae	0	0	1	0
CEIACU	Pochote	<i>Ceiba acuminata</i>	Zingiberales	Musaceae	0	0	2	6
ARB6	palo de bolas	<i>arbol 6</i>	Malvales	Malvaceae	0	0	2	7
HINLAT	copalquin	<i>Hintonia latiflora</i>			0	0	1	6
FICPET	tescalama	<i>Ficus petiolaris</i>	Pinales	Cupressaceae	0	0	1	0
ENTCIC	Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabales	Acacia pennatula	0	0	1	10
PIMIEN	Pimientilla	<i>Pimientilla</i>	Fabales	Fabaceae	0	1	1	0
TACOTE	Tacote	<i>TACOTE</i>	Rosales	Moraceae	2	0	0	0