

Agricultura regenerativa en fincas piñeras (*Ananas comosus*): un enfoque innovador en el contexto del cambio climático

Elías de Melo Virgínio Filho
María José Cervantes

The Rainforest Alliance is creating a more sustainable world by using social and market forces to protect nature and improve the lives of farmers and forest communities.



©RAINFOREST ALLIANCE, 2023

Autores : Elias de Melo Virginio Filho
María José Cervantes

Coordinación de edición : Juliana Jaramillo

Revisión : Juliana Jaramillo
Elena Nera
Javier Carazo

Diagramación : Rocío Jiménez Salas

Agradecimientos:

Por el aporte a la validación de los conceptos y modelos, así como información de apoyo, se externa un especial agradecimiento a: Oscar Maroto y Jakeline Rodríguez de Rainforest Alliance Costa Rica; Jorge Sánchez y Joselyn Rojas Varela de NICOVERDE; Cesar Barrantes y Alfredo Zamora de COOPEPIÑA; y Fabián Calvo.

Contenido

Capítulo 1.	Introducción.	5
	Referencias bibliográficas	7
Capítulo 2.	La importancia de la piña y sus desafíos.	8
	Importancia alimentaria	9
	Importancia socioeconómica	9
	Caso Costa Rica	9
	Principales desafíos	10
	Referencias bibliográficas	12
Capítulo 3.	Requerimientos agroecológicos	13
	Referencias bibliográficas	16
Capítulo 4.	Enfoque de agricultura regenerativa	17
	Referencias bibliográficas	22
Capítulo 5.	Consideraciones generales sobre prácticas regenerativas	23
	Rotación regenerativa de cultivos.	26
	Referencias bibliográficas	28
Capítulo 6.	La importancia del dominio dinámico de la radiación solar.	29
	Técnicas de podas	30
	Disposición de los elementos en el sistema.	31
	Selección de especies	31
	Referencias bibliográficas	32
Capítulo 7.	Los sistemas agroforestales y forestales para <i>Ananas comosus</i>	33
	Sistemas agroforestales como sistemas regenerativos	34
	Criterios para establecer un sistema agroforestal	34
	Propuestas de diseños regenerativos.	36
	Referencias bibliográficas	43
Capítulo 8.	Propuesta de validación en diseño y manejo de sistemas agroforestales regenerativos para <i>Ananas comosus</i>	45
	Proceso de validación	46
	Referencias bibliográficas	50

Índice De Figuras

Figura 1.	Proporción de producción de piña por región, 2021	9
Figura 2.	Producción en toneladas por año y área cultivada en hectáreas de los principales países productores de piña a nivel mundial para el año 2021.	10
Figura 3.	Fruto de piña en desarrollo, fotografía de campo. San Carlos, Costa Rica, 2023	14
Figura 4.	Niveles de clasificación de estado de sistemas productivos de piña de transición a sistemas productivos regenerativos	19
Figura 5.	Consideraciones generales para una agricultura regenerativa	24
Figura 6.	Importancia de una rotación de cultivos equilibrada.	26
Figura 7.	Principios para control dinámico de radiación solar en sistemas agroforestales	30
Figura 8.	Beneficios de un control dinámico de radiación.	31
Figura 9.	Beneficios de la implementación de sistemas agroforestales	34
Figura 10.	Aspectos de conocimiento para establecer un sistema agroforestal	35
Figura 11.	Diseño 1: Áreas de cultivo de piña con zonas de alta declividad y quebradas.	36
Figura 12.	Diseño 2: Áreas de cultivo de piña con áreas incrementales de bosque nativo y /o establecido.	37
Figura 13.	Diseño 3: Islas/parches de bosques nativos y/o establecidos con especies nativas dentro del área de producción de piña.	37
Figura 14.	Diseño 4: Filas de árboles (mono especies o poliespecies) entre divisiones de lotes del cultivo y otros márgenes	38
Figura 15.	Diseño 5: Cercas vivas multipropósitos	39
Figura 16.	Diseño 6: Franjas de árboles (2 a 3 filas paralelas) dentro de áreas de cultivo	39
Figura 17.	Sistemas de cultivo en callejones de árboles leguminosos de servicio	40
Figura 18.	Sistemas de cultivo en callejones de árboles de servicio y árboles maderables.	41
Figura 19.	Sistema agroforestal Piña, café, banano y árbol de servicio <i>Gliricidia</i>	42
Figura 20.	Principios básicos para la validación de sistemas regenerativos de piña.	46
Figura 21.	Pasos por seguir para la validación de diseños agroforestales regenerativos para el cultivo de <i>Ananas comosus</i>	47
Figura 22.	Modelo de valoración de la gestión productiva de la piña.	48

Índice de cuadros

Cuadro 1.	Principales riesgos y limitantes vinculadas al cambio climático por región productiva de piña en Costa Rica	11
Cuadro 2.	Requerimientos agroecológicos de <i>Ananas comosus</i> para los principales países productores de América Latina y el Caribe.	14
Cuadro 3.	Tabla de clasificación (niveles, categorías y criterios) de sistemas productivos según etapa de transición a sistema regenerativo.	19
Cuadro 4.	Comparación del aporte de beneficios y servicios ambientales de buenas prácticas ambientales para <i>Ananas comosus</i>	24
Cuadro 5.	Recomendaciones de plantas mejoradoras del suelo para rotación de cultivos.	27
Cuadro 6.	Especies potenciales para sistemas agroforestales con características de mejoradores de suelo	35
Cuadro 7.	Especies frutales de potencial para integrar los sistemas agroforestales en asocio con el cultivo de la piña.	36



Capítulo 1. Introducción



La crisis climática en la agricultura es una realidad que nos convoca a todas y todos. La creación de nuevas medidas de adaptación y mitigación será vital para hacer de nuestros sistemas productivos alimentarios, sistemas fuertes y resilientes que garanticen la seguridad alimentaria de nuestra región. La alta exposición a desastres naturales, la incidencia de temperaturas extremas, el aumento de sequías y lluvias torrenciales y el incremento de la radiación solar son los factores que, según indica el último reporte del IPCC (2022), harán que América Latina y el Caribe sea una de las regiones con mayor vulnerabilidad.

La innovación forma un pilar importante en la transformación y sostenibilidad de la agricultura, especialmente en la agricultura de pequeña escala (Rivero & Thomé, 2021). La implementación de innovaciones en el sector a lo largo de la historia ha permitido el aumento de la producción de alimentos, y con ello mejores ingresos a los productores (Sonnino & Ruane, 2013). Es por ello, que, así como el clima y el planeta cambia, así mismo nuestros sistemas productivos necesitan cambiar a través de innovaciones que garanticen la sostenibilidad económica, ambiental y social. La agricultura regenerativa nos puede brindar una ruta de transformación, en la que podamos convertir los sistemas comúnmente degenerativos (con alto consumo de insumos químicos sintéticos, uso irracional de recursos hídricos y suelos, así como reducción de la biodiversidad) a sistemas regenerativos que garanticen un mejor manejo de recursos, sostenibilidad ambiental y económica, pero sobre todo adaptación y mitigación al cambio climático.

Por su gran sabor, cantidad de nutrientes, propiedades antioxidantes y versatilidad para su consumo, la piña (*Ananas comosus*) es una fruta de gran relevancia mundial (Hossain, 2015). Se reporta una producción mundial de 28 647 865,69 toneladas para el 2021, de las cuales 8 521 155,28 toneladas se producen en América Latina (FAOSTAT, 2023). Su gran auge hace que la producción de piña sea de importancia socioeconómica para la región. A lo largo de la cadena productiva, han surgido nuevos productos a partir de otras partes de la planta o bien de los residuos generados tales como cuero sintético, biomateriales y combustibles, creando un ciclo bioeconómico de gran importancia (Hernández-Chaverri & Barragán, 2018; Chaparro et al, 2018; Segura et al, 2020).

Por tal razón, la producción de *Ananas comosus* necesita encaminarse hacia una producción sostenible con enfoque regenerativo, que garantice resiliencia climática, sostenibilidad económica y resguardo de la biodiversidad, cambiando así la imagen negativa asociada al cultivo.

El presente documento tiene como objetivo mostrar una serie de propuestas teórico-prácticas que incentiven la intensificación regenerativa de *Ananas comosus*, siendo este un esfuerzo conjunto de Rainforest Alliance y CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), organizaciones que actualmente trabajan en integrar productores, técnicos e instituciones a una producción de cultivos sostenibles y regenerativos. El documento está dirigido a personas técnicas y facilitadoras de procesos de fortalecimiento de capacidades, que brindan apoyo a productores en la sostenibilidad de los ejes ambiental, económico y social del cultivo de piña.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chaparro, G; Puerto, A & Velásquez, A. 2018. Producción de cuero de piña. Tesis Esp. Bogotá, Colombia, Universidad Piloto de Colombia. 183 p.

FAOSTAT. 2023. Food and agriculture data (en línea). Roma, Italia. Disponible en FAOSTAT

Hernández-Chaverri, R; Prado, L. 2018. Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. Cuadernos de investigación UNED, 10(2):455-468 p.

Hossain, F; Akhtar, S; Anwar, M. 2015. Nutritional value and medicinal benefits of pineapple. International Journal of Nutrition and Food Sciences, 4(1):84-88.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2022. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Geneva, Switzerland. 3056 p. Disponible en Summary for Policymakers | Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability (ipcc.ch)

Riveros, T; Thomé, M. (2021). Adopción de innovaciones en la agricultura familiar latinoamericana. Pensamiento Actual 21(36). Disponible en Adopción de innovaciones en la agricultura familiar latinoamericana. | Pensamiento Actual (ucr.ac.cr)

Segura, A; Manriquez, A; Santos, D; Ambriz, E; Casas, P; Muñoz, S. 2020. Obtención de bioetanol a partir de residuos de cascara de piña (*Ananas comosus*). Jóvenes en la ciencia 8:1-8. Disponible en Microsoft Word - bioetanol_modalidad poster_ Articulo.docx (iberopuebla.mx)

Sonnino, A; Ruane, J. 2013. La innovación en agricultura como herramienta de la política de seguridad alimentaria: el caso de las biotecnologías agrícolas. Biotecnologías e innovación: el compromiso social de la ciencia, 25-52.



Capítulo 2.

La importancia de la piña y sus desafíos



IMPORTANCIA ALIMENTARIA

Ananas comosus, conocido principalmente como piña o ananás, es considerada una de las principales frutas tropicales junto con el aguacate y el mango (Altendorf, 2017). Este alimento se caracteriza no solo por su sabor y versatilidad en preparaciones, sino también por su calidad nutricional. Contiene grandes cantidades de agua, fibra dietética, calcio, potasio, magnesio y vitamina C, siendo este último de gran aporte antioxidante que contribuye a los procesos metabólicos y a la reducción del estrés oxidativo (Ortega, 2021).

IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA

Se registra una producción mundial total de 28 647 865,69 toneladas para el año 2021. Para el año 2020 la producción bruta tuvo un valor de 8994338,00 (miles US\$). Esta producción está distribuida mayoritariamente en los continentes de Asia y América (Figura 1).

La producción mundial es liderada por Costa Rica, seguida de Indonesia, Filipinas, Brasil y China. En la figura 2 se pueden observar diferencias entre la relación producción/área, donde Costa Rica e Indonesia poseen la menor área plantada, pero con una alta productividad que los mantiene en la cabeza de la lista. En orden de magnitud, para 2021, China tenía la mayor área de siembra (67 543 ha), seguido por Filipinas (67 117 ha), Brasil (63 589), Costa Rica (40 000 ha) e Indonesia (22 339 ha), (FAOSTAT, 2023).

Dos países de América Latina poseen una importante producción de *Ananas comosus* (Costa Rica y Brasil), otorgando así una gran relevancia en la economía de la región. Además, se agregan países como México, Colombia, Perú y Venezuela dentro los 15 principales países productores de la fruta, con un aproximado de 8 521 155,28 toneladas totales para 2021 (FAOSTAT, 2023).

De acuerdo con CEPAL, IICA y FAO (2021), la región de América Latina y el Caribe posee un gran potencial de aprovechamiento de biomasa, el cual puede encadenar nuevas oportunidades de negocios en el ámbito de la agricultura contribuyendo a un mejor desarrollo socioeconómico rural. La cadena productiva de la piña es una ventana para un desenvolvimiento sólido de un modelo de bioeconomía, ya que diversos productos y oportunidades se pueden obtener a partir del aprovechamiento de residuos y otras partes de la planta; dentro de estos productos se destacan: cuero sintético, bioetanol, biomateriales, alimento para ganado y otros (Hernández-Chaverri & Prado, 2018; Chaparro et al, 2018; Segura et al, 2020).

CASO COSTA RICA

En Costa Rica el cultivo de piña posee gran relevancia para el desarrollo socioeconómico del país. Costa Rica es el principal exportador de la fruta a nivel mundial, con un volumen aproximado de 1 014,3 millones de dólares (PROCOMER, 2021); sus principales destinos son Europa y Estados Unidos.

FIGURA 1

Proporción de producción de piña por región, 2021.

Fuente: Tomado de FAOSTAT 2023.

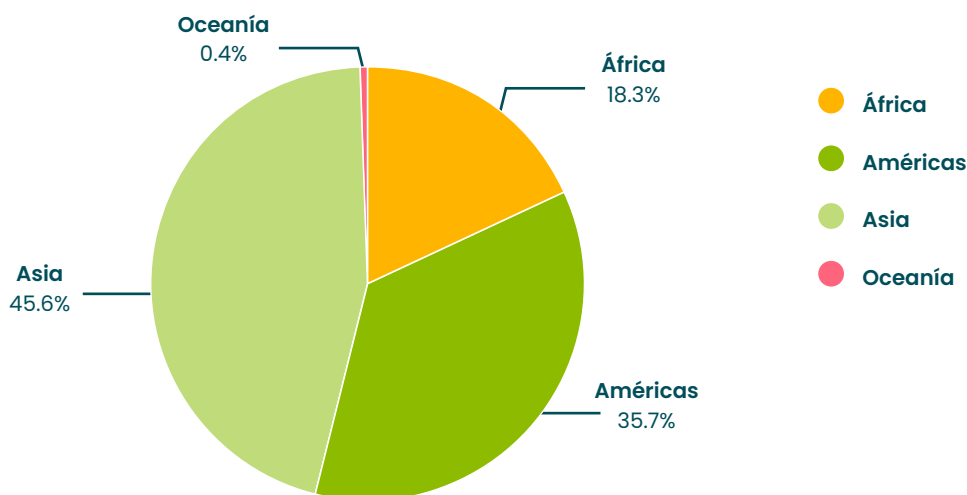
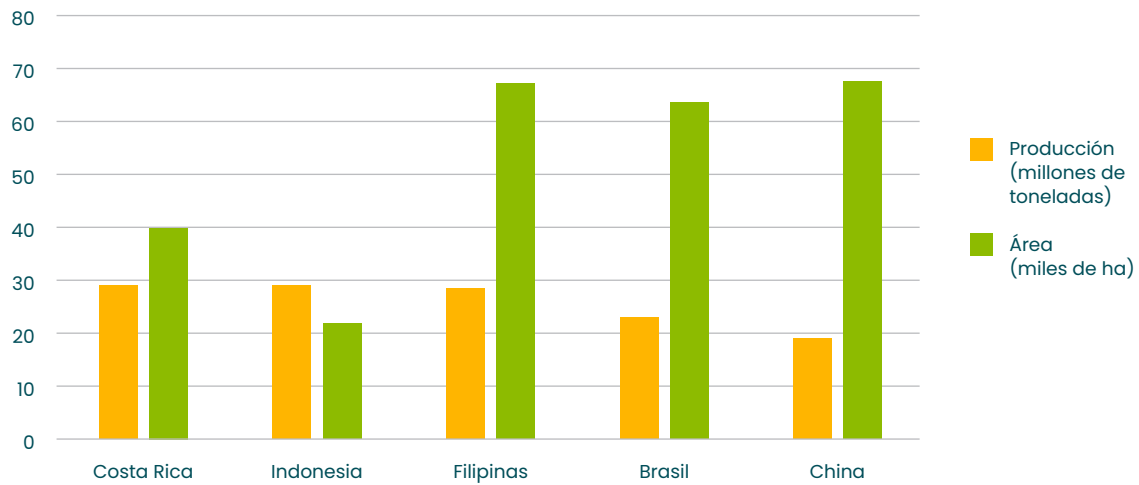


FIGURA 2

Producción en toneladas por año y área cultivada en hectáreas de los principales países productores de piña a nivel mundial para el año 2021.

Fuente: Elaborado con base en FAOSTAT 2023.



Se estima un total aproximado de 40 000 hectáreas plantadas, según la Cámara Nacional de exportadores y productores de piña (CANADEP, 2023), con 122 exportadores y 97 empresas emparadoras. En consecuencia con lo anterior, Guevara et al (2017) indican que la producción de piña genera cerca de 32 000 empleos directos y 120 000 empleos indirectos, convirtiéndose en un pilar para la economía de las regiones Brunca, Huetar Caribe y Huetar Norte, siendo esta última la región con la mayor producción (Manrow et al, 2022). Además, el mismo informe realizado por INCAE (Guevara et al, 2017), recalca que el cultivo de piña es el que presenta la mayor cantidad de valor agregado en comparación con los otros productos de importancia agrícola, triplicando al cultivo de banano (segundo producto de importancia) y aportando un 30% al PIB Agrícola y un 5% al PIB general.

Las condiciones agroclimáticas de Costa Rica han hecho que este cultivo se desarrolle con facilidad y calidad, sus avances en investigaciones agronómicas y biotecnológicas han provocado que la productividad se dispare (Guevara et al, 2017). Sin embargo, bajo el contexto actual, este cultivo se puede ver amenazado.

PRINCIPALES DESAFÍOS

La incidencia de cambios en los patrones del clima ha ocasionado el aumento de la vulnerabilidad al sector agrícola, provocando inseguridad alimentaria a lo largo de todo el mundo (IPCC, 2022) y para

este caso, el cultivo de piña no es la excepción. Un reciente estudio en Ghana, indica que la variabilidad climática afectará en la calidad y cantidad de producción de piña en este país, siendo el factor temperatura el más determinante (Williams et al, 2017). Iwuchukwu (2014) menciona que el cultivo de piña en Nigeria presenta alta sensibilidad ante el cambio climático y que afecta directamente a la calidad y productividad del cultivo; misma tendencia se reporta en el estudio realizado por Mugambwa (2011), el cual indica que se deben tomar medidas inmediatas que favorezcan tanto la mitigación como la adaptación al cambio climático.

El estudio Prácticas Efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos, realizado en conjunto con el CATIE, MINAE, DCC y FUNDECOOPERACIÓN en 2018 (Vignola et al, 2018) para Costa Rica, aclara la urgencia de medir los riesgos climáticos y crear prácticas que respondan a una resiliencia fortalecida de la cadena productiva. El mismo informe mapea los siguientes riesgos y limitantes para cada región productora de piña del país, (Cuadro 1.). Como factor asociado a los efectos climáticos se agudiza la incidencia de plagas y enfermedades.

Es de vital importancia que se consideren los riesgos climáticos en el proceso fenológico del cultivo y se creen nuevos sistemas que amortigüen el nivel de afectación ante la incidencia de estos eventos. El control de microclimas dentro de la finca y el desarrollo de sistemas adaptables pueden ser vitales para, en un futuro cercano, tener cultivos resilientes.

CUADRO 1

Probabilidad de los principales riesgos y limitantes vinculados al cambio climático por región productiva de piña en Costa Rica.

Fuente: Elaborado con base en Vignola et al 2018.

Riesgos y limitantes	Huetar Norte	Huetar Caribe	Región Brunca
Lluvias extremas en intensidad y tiempo	Muy alta	Alta	Muy Alta
Inundaciones/anegamiento del cultivo	Muy alta	N/A	N/A
Tormentas tropicales, huracanes y ciclones	Alta	N/A	Alta
Temperaturas extremas (exceso de calor y frío)	Muy alta	Muy alta	Alta
Sequías	Alta	N/A	Muy Alta
Erosión de suelo	Muy alta	Muy alta	Muy Alta
Variabilidad de la temperatura (tendencia creciente)	Alta	N/A	Muy Alta
Heladas y olas de frío	N/A	Muy alta	Muy Alta
Fenómeno de El Niño	Alta	N/A	Muy Alta
Fenómeno de La Niña	Alta	Alta	Muy Alta
Niebla extrema	N/A	N/A	Alta
Alta humedad (%)	Muy alta	N/A	Alta

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altendorf, S. 2017. Perspectivas mundiales de las principales frutas tropicales. Perspectivas, retos y oportunidades a corto plazo en un mercado global pujante. Boletín FAO. Disponible en [Tropical_Fruits_Spanish2017.pdf \(fao.org\)](#)
- Arce, R; Guevara, A; Guevara, P. 2017. Impacto económico, social y ambiental de la piña en Costa Rica. INCAE. Informe final. San José, Costa Rica.
- CANAPEP ESTADÍSTICAS. 2023. Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña. Costa Rica. Disponible en Estadísticas | CANAPEP
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe); IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2021. Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2021-2022. Informe 2021. San José, Costa Rica. 128 p. Disponible en: [Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2021-2022 \(iica.int\)](#)
- Chaparro, G; Puerto, A; Velásquez, X. 2018. Producción de cuero de piña. Tesis Especialización. Bogotá, Colombia. Disponible en <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/4976>
- FAOSTAT. 2023. Food and agriculture data (en línea). Roma, Italia. Disponible en FAOSTAT
- Hernández-Chaverri, R; Barragán, L. 2018. Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. Cuadernos de investigación UNED, 10(2):455-468. Disponible en [Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña \(*Ananas comosus*\) en Costa Rica \(redalyc.org\)](#)
- Hossain, F; Akhtar, S; Anwar, M. 2015. Nutritional value and medicinal benefits of pineapple. International Journal of Nutrition and Food Sciences, 4(1):84-88.
- Ibarra, E; Hernández, G; Ortega, I. 2021. Composición nutricional y compuestos fitoquímicos de la piña (*Ananas comosus*) y su potencial emergente para el desarrollo de alimentos funcionales. Boletín De Ciencias Agropecuarias Del ICAP 7(14):24-28. Disponible en <https://doi.org/10.29057/icap.v7i14.7232>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2022. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Geneva, Switzerland. 3056 p. Disponible en [Summary for Policymakers | Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability \(ipcc.ch\)](#)
- Iwuchukwu, J; Udoye, C. 2014. Climate change information needs of pineapple farmers in Enugu State, Nigeria. Journal of Agricultural Extension 18(1):73-83. Disponible en (PDF) [Climate Change Information Needs of Pineapple Farmers in Enugu State, Nigeria \(researchgate.net\)](#)
- Manrow, M; Vargas, Y; Vargas, C; Arguedas, C; Miller, C. 2022. Informe: detección de cambios basados en la pérdida, ganancia y no cambio de cobertura arbórea asociado al paisaje productivo de piña, periodo 2018-2019. San José, Costa Rica. CONARE – CENAT. 61 p.
- Mugambwa, E. 2011. Effects of Climatic Variability on Pineapple Growing in Uganda: A Case Study of Pineapple Growers in Kangulumira Sub-County, Kayunga District. Disponible en [Effects of Climatic Variability on Pineapple Growing in Uganda: A Case Study of Pineapple Growers in Kangulumira Sub-county, Kayunga District. \(umu.ac.ug\)](#)
- PROCOMER (Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica). 2021. Anuario Estadístico 2021. San José, Costa Rica. Disponible en [Anuario Estadístico 2021 – Procomer Costa Rica](#)
- Segura, A; Manriquez, A; Santos, D; Ambriz, E; Casas, P; Muñoz, AH. 2020. Obtención de bioetanol a partir de residuos de cascara de piña (*Ananas comosus*). Jóvenes en la ciencia, 8:1-8. Disponible en [OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE PIÑA \(*Ananas comosus*\) | JÓVENES EN LA CIENCIA \(ugto.mx\)](#)
- Vignola, R; Walter, W; Poveda, K; Vargas, A. 2018. Ficha Técnica Cultivo de Café: Prácticas Efectivas Para la Reducción de Impactos por Eventos Climáticos en el Cultivo de Piña en Costa Rica. Estudio de prácticas efectivas para adaptación de cultivos prioritarios para seguros, en Costa Rica. MAG. 85 p. Disponible en [Prácticas-reduccion-impactos-por-eventos-climatológicos \(mag.go.cr\)](#)
- Williams, P; Crespo, O; Atkinson, C; Essegbey, G. 2017. Impact of climate variability on pineapple production in Ghana. Agriculture & Food Security, 6(1):1-14. Disponible en [Impact of climate variability on pineapple production in Ghana | Agriculture & Food Security | Full Text \(biomedcentral.com\)](#)



Capítulo 3. Requerimientos agroecológicos



La piña o ananás tiene su origen principalmente en América del Sur, donde actualmente su expansión se lleva a cabo en lugares tropicales y subtropicales, llegando así a países asiáticos como Indonesia y Filipinas. Es considerada parte de la familia de las bromelias, (Bromeliácea), del género *Ananas* especie *comosus* (Castañeda, 1997).

La piña es una planta perenne herbácea que puede alcanzar un metro de altura, posee sistema radicular pequeño, puede llegar a tener de 70 a 80 hojas ubicadas en espiral, produce inflorescencias que pueden llegar a ocupar de 100 a 200 flores (figura 3). Su fruto es denominado sorosis de bayas, ya que es un agregado de frutas individuales (Castañeda, 1997).

Como se mencionó en el capítulo anterior, *Ananas comosus*, es producida en diferentes países de América Latina, de los cuales destacamos a Costa Rica, México, Brasil, Colombia y Perú como grandes productores en la región. La fruta se adapta a un amplio rango de climas tropicales, dentro los cuales se encontraron los siguientes parámetros para cada país de importancia (Cuadro 2).

El cultivo de piña requiere en promedio 1500 horas de luz por año aproximadamente. De manera común, muchos de los sistemas adoptados son sistemas sometidos a alta exposición de luz, es decir, sin sombra (terrenos sin otro tipo de cobertura vegetal).

FIGURA 3

Fruto de piña en desarrollo, fotografía de campo. San Carlos, Costa Rica, 2023.



CUADRO 2

Requerimientos agroecológicos de *Ananas comosus* para los principales países productores de América Latina y el Caribe. Fuente: Elaborado con base en Vargas (2009); Rojas (2014); Pires et al (2006); Garzón (2016); Fritzons y Pires (2013); Sagarpa (2017).

País	Altitud (msnm)	Precipitación (mm al año)	Temperatura (°C)	Brillo solar (horas luz)	Característica suelo
Costa Rica	0 - 900	1500 - 3500	23°C - 30°C	1500	pH 5 -6 Franco arcilloso
México		1000- 1800	24°C		pH 5 -6 Franco-limosos
Brasil	0 - 400	100 - 1500	22 °C - 32 °C	2,920	pH 4,5 y 5 Arcillo-arenoso
Colombia	0 -1200	1500 - 3500	23°C - 30 °C	1200 - 1500	pH 5,5 y 6,2
Perú	100 - 600	1500 - 2000	20 °C - 30 °C		pH 4,5 - 5,5 Franco arenosa, franco limoso, franco arcilloso

En consecuencia, a la zona de producción, la fenología de la planta cambiará dependiendo de los requerimientos. La fenología que describe Zhan et al 2016, la compone de 10 etapas: aparición de brotes, desarrollo de la hoja, formación de brotes laterales, alargamiento de pseudotallo, desarrollo foliar de los brotes laterales, formación de inflorescencia, floración, desarrollo del fruto, maduración de la fruta y senescencia, llegando a completarlas en un periodo de 12 meses. Por otra parte, Vargas et al (2017), agrupan las primeras cinco etapas mencionadas por Zhan et al (2016) en una sola y la llaman "crecimiento vegetativo de la planta" y consideran las etapas de inducción floral, floración, desarrollo del fruto y maduración de la fruta, siendo la etapa de senescencia no relevante en la producción

comercial. Los mismos autores contabilizan 210 días para la etapa de crecimiento vegetativo, 52 días para la etapa de inducción floral, 29 días para la floración, 60 días para el desarrollo del fruto y aproximadamente 8 días para la maduración del fruto, dicha temporalidad para la zona Huetar Norte de Costa Rica, dando una duración de 365 días aproximadamente.

Entre las variables que se producen en mayor frecuencia, la Cayena lisa, también conocida como hawaiana, fue una de las principales variedades de exportación. Sin embargo, posee alta susceptibilidad a plagas y enfermedades. Como un híbrido de la Cayena Lisa también surge la variedad MD2 (o dorada), con un ciclo productivo más corto con características muy apetecidas (Cerrato, 2013).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castañeda, R. 1997. Origen e importancia del cultivo de la piña (*Ananas comosus* (L.) Merrill). Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA.
- Cerrato, I. (2013). Panorama mundial de la piña. PRONAGRO. Disponible en Panorama mundial de la piña (infoagro.hn)
- Fritzens N; Pires, A. 2013. Abacaxi: O produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, Brasil. Embrapa.
- Garzón, I. 2016. Establecimiento y manejo de un cultivo de piña en la sede de la Asociación De Ingenieros Agrónomos Del Llano En Villavicencio. Tesis Ing. Villavicencio, Colombia. Universidad De Los Llanos. 67 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2007. Cadena agroalimentaria del cultivo de piña en distrito de Chires de Puriscal. Puriscal, Costa Rica. 69 p.
- Pires, A; Haroldo, D; Pinto, G; Santos, J; Da Silva, L; Fritzens, N; Álvares O. 2006. A cultura do abacaxi. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, Brasil. 61 p.
- Rojas, F. 2014. Mecanización agrícola de la piña en el Valle de Satipo Fundo Santa Teresa. Anales científicos 75(1): 108-115. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7003408>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030.
- Vargas, V. 2009. Manejo técnico del cultivo de piña. Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA. Serie técnica n. 13-2009.
- Vignola, R; Walter, W; Poveda, K; Vargas, A. 2018. Ficha Técnica Cultivo de Café: Prácticas Efectivas Para la Reducción de Impactos por Eventos Climáticos en el Cultivo de Piña en Costa Rica. Estudio de prácticas efectivas para adaptación de cultivos prioritarios para seguros, en Costa Rica. MAG. 85 p. Disponible en Prácticas-reduccion-impactos-por-eventos-climatológicos (mag.go.cr)
- Zhang, H; Sun, WS; Sun, G; Liu, S; Li, Y. H; Wu, Q; Wei, Y. 2016. Phenological growth stages of pineapple (*Ananas comosus*) according to the extended Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie scale. Annals of Applied Biology, 169(2):311-318.



Capítulo 4. Enfoque de agricultura regenerativa



La agricultura es un elemento esencial para la supervivencia de la humanidad, sus sistemas han evolucionado en el tiempo y con ello su intensificación con miras a aumentar la producción y atender las necesidades alimentarias. El modelo imperante ha contribuido a la expansión de la frontera agrícola, a la pérdida de biodiversidad, al agotamiento del suelo y consumo excesivo del recurso hídrico (Reyer-Palomino et al, 2022).

La agricultura intensiva, de base convencional, ha ocasionado en los últimos 60 años el incremento de la dependencia de agroquímicos y con ello el aumento de daños ambientales y a la salud humana (Abbona et al, 2015).

Transformar los sistemas agroalimentarios es posible; pasar de un sistema degenerativo a uno regenerativo debe ser el objetivo. A lo largo de la historia, el término de agricultura regenerativa ha tomado relevancia, y con ello distintas formas de definición. En la literatura diversos autores la definen según el enfoque de importancia que le desean dar. A continuación, enlistamos diversos conceptos de agricultura regenerativa:

Lal, 2020, nos enmarca en 4 principios básicos para apuntar a una agricultura regenerativa:

1. Agricultura de conservación;
2. Integración de cultivos con árboles y/o ganadería;
3. Restauración de la salud del suelo y
4. Re-carbonización de la biosfera.

Schreefel et al 2020 orienta el concepto de agricultura regenerativa hacia una mejora no solo del ámbito ambiental sino también al ámbito social y económico mediante la conservación del suelo como punto de entrada para la mejora de procesos de regulación, provisionamiento y regeneración.

Newton et al 2020 realizaron un estudio sobre los distintos conceptos de agricultura regenerativa, en el cual encontraron dos principales grupos, uno en el que orientan el concepto en procesos específicos (mínima labranza, uso de cobertura etc.) y otro grupo que lo definen de acuerdo con resultados (secuestro de carbón, suelo saludable etc).

En concordancia con la revisión de la literatura, podemos indicar que la agricultura regenerativa posee las siguientes características principales:

- Aumento y conservación de la biodiversidad con paisajes de calidad
- Mejora de procesos biológicos
- Restauración de la salud del suelo
- Restauración, conservación y gestión sostenible del agua
- Capacidad de adaptar y mitigar la crisis climática
- Promueve la economía circular y bioeconomía
- Genera bienestar humano
- Crea sistemas adaptables

Con lo anterior, podemos concluir que la agricultura regenerativa es una hoja de ruta de distintos procesos políticos, sociales, culturales y económicos, donde las estrategias agronómicas se orientan a lograr sistemas agrícolas que restauren el equilibrio natural en el uso de los territorios.

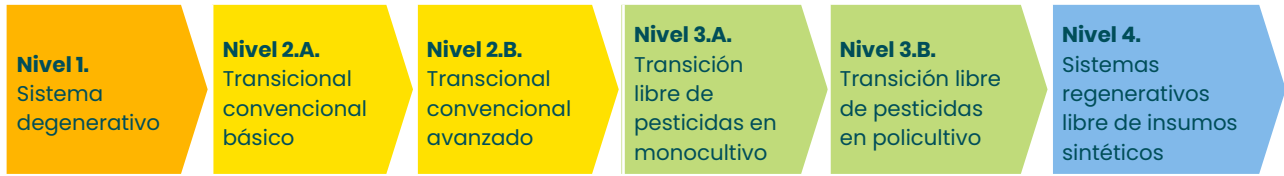
Para realizar una transición adecuada y orientada a un sistema regenerativo, es necesario clasificar el estado del sistema productivo actual, en los diferentes contextos productivos, y con ello comenzar a determinar las prioridades que orientarán una mejora continua. Por lo anterior, se propone un sistema de clasificación de sistemas productivos de piña para conocer el nivel de transición a un sistema regenerativo. La tabla de clasificación propone los siguientes ejes temáticos para sus criterios:



La clasificación propone cuatro niveles y seis categorías de estado de sistema productivo según la etapa de transición en la que se encuentra para lograr un sistema regenerativo. La figura 4 ilustra de forma progresiva los niveles de estado.

FIGURA 4

Niveles y categorías de clasificación de estado de sistemas productivos de piña en la transición a sistemas regenerativos.



La identificación del nivel y categoría de clasificación que corresponde un sistema productivo dado, en el modelo evaluativo propuesto (Cuadro 3), está en función de la verificación de los criterios predominantes a partir de los tipos de prácticas agronómicas realizadas y sus vínculos con las dimensiones de la agricultura regenerativa.

Cuando se quiere caracterizar en que categoría esta un sistema productivo, se revisa los diferentes criterios indicados (8 temas y subtemas), y cuando se cumple más de un 80% de los criterios de una dada columna tendremos la confirmación de la categoría en que se encuentra el sistema productivo.

CUADRO 3

Tabla de clasificación (niveles, categorías y criterios) de sistemas productivos según etapa de transición a sistema regenerativo.

Nivel 1	Nivel 2		Nivel 3		Nivel 4
1. Sistemas degenerativos	2.A. Transición convencional básico	2.B. Transición convencional avanzado	3.A. Transición libre de pesticidas en monocultivo	3.B. Transición libre de pesticidas en policultivo	4. Sistemas regenerativos libre de insumos sintéticos
1. Alta dependencia de insumos químicos sintéticos (contaminantes tóxicos)	1. Reducción de insumos químicos sintéticos	1. Baja dependencia de insumos químicos sintéticos	1.1 Manejo de cultivo libre de insumos químicos	1.1 Manejo de cultivo libre de insumos químicos	1. Uso exclusivo de bio-insumos en todo el ciclo de producción
			1.2 Uso de bioinsumos (Control biológico, bioles, enmiendas orgánicas)	1.2 Uso de bioinsumos (Control biológico, bioles, enmiendas orgánicas)	
			1.3. Bajas aplicaciones de herbicidas por ciclo.	1.3. Bajas aplicaciones de herbicidas por ciclo.	
2. Sistema productivo de monocultivo extensivo	2. Sistema productivo de monocultivo extensivo	2.1 Sistema productivo de policultivo	2. Sistema de monocultivo extensivo	2. Sistema productivo de policultivo	2.1 Sistema productivo de policultivo
		2.2 Presencia de sistemas agroforestales.			2.2 Presencia de sistemas agroforestales.

Nivel 1	Nivel 2		Nivel 3		Nivel 4
3.1 Ausencia y/o muy limitada conectividad en el paisaje y entre áreas de bosque	3.1 Baja conectividad en el paisaje y entre áreas de bosque	3.1 Regular conectividad en el paisaje y entre áreas de bosque	3.1 Regular conectividad en el paisaje y entre áreas de bosque	3.1 Regular conectividad en el paisaje y entre áreas de bosque	3. Alta conectividad biológica en el paisaje y entre áreas de bosque
3.2 Bajo índice de biodiversidad en el paisaje productivo	3.2 Bajo índice de biodiversidad en el paisaje productivo	3.2 Bajo índice de biodiversidad en el paisaje productivo	3.2 Bajo índice de biodiversidad en el paisaje productivo	3.2 Moderado índice de biodiversidad en el paisaje productivo	3.2 Alto índice de biodiversidad en el paisaje productivo
4.1 Altas limitantes en la física, química y biología del suelo	4.1 Moderados limitantes en la física, química y biología del suelo	4.1 Moderados limitantes en la física, química y biología del suelo	4.1 Bajos limitantes en la física, química y biología del suelo	4.1 Bajos limitantes en la física, química y biología del suelo	4. Restauración y protección continua del equilibrio en la física, química y biología del suelo
4.2 No hay retorno de materia orgánica en el suelo	4.2 No hay retorno de materia orgánica en el suelo	4.2 Existe poco retorno de materia orgánica en el suelo	4.2 No hay retorno de materia orgánica en el suelo	4.2 Existe retorno de materia orgánica en el suelo	4.2 Existe retorno efectivo de materia orgánica en el suelo
4.3 Sin rotación de cultivos	4.3 Presencia de rotación de cultivos con relevancia económica	4.3 Presencia de rotación de cultivos con relevancia económica y mejoradores del suelo	4.3 Presencia de rotación de cultivos con relevancia económica y mejoradores del suelo	4.3 Presencia de rotación de cultivos con relevancia económica y mejoradores del suelo	4.3 Presencia de rotación de cultivos con relevancia económica y mejoradores del suelo
5.1 Exceso de exposición de radiación y luz solar en el cultivo	5.1 Exceso de exposición de radiación y luz solar en el cultivo	5.1 Control dinámico de la exposición de radiación y luz solar en el cultivo	5.1 Exceso de exposición de radiación y luz solar en el cultivo	5.1 Control dinámico de la exposición de radiación y luz solar en el cultivo	5.1 Control dinámico de la exposición de radiación y luz solar en el cultivo
5.2 Vulnerabilidad muy crítica frente a las consecuencias de la crisis climática	5. Vulnerabilidad muy crítica frente a las consecuencias de la crisis climática	5. Vulnerabilidad crítica frente a las consecuencias de la crisis climática	5. Vulnerabilidad regular frente a las consecuencias de la crisis climática	5. Adaptabilidad a las consecuencias de la crisis climática	5. Alta adaptabilidad a las consecuencias de la crisis climática
6.1 Retorno ineficiente del agua residual	6.1 Retorno ineficiente del agua residual	6.1 Retorno adecuado del agua residual	6.1 Retorno adecuado del agua residual	6.1 Retorno adecuado del agua residual	6.1 Retorno óptimo del agua residual
6.2 Sin protección y ni conservación de cuerpos de agua	6.2 Sin protección y ni conservación de cuerpos de agua	6.2 Poca protección y conservación de cuerpos de agua	6.2 Poca protección y conservación de cuerpos de agua	6.2 Con protección y conservación de cuerpos de agua	6.2 Mayor protección, conservación y manejo de cuerpos de agua

Nivel 1	Nivel 2		Nivel 3		Nivel 4
6.3 Consumo excesivo del recurso hídrico	6.3 Consumo regular del recurso hídrico	6.3 Consumo eficiente del recurso hídrico	6.3 Consumo eficiente del recurso hídrico	6.3 Consumo eficiente del recurso hídrico	6.3 Consumo eficiente y consciente del recurso hídrico
7.1 Mala gestión de insumos y residuos químicos que afectan la salud humana	7.1 Mala gestión de insumos y residuos químicos que afectan la salud humana	7.1 Gestión adecuada de insumos y residuos químicos que podrían afectar la salud humana	7.1 Uso de insumos y productos que no afectan la salud humana	7.1 Uso de insumos y productos que no afectan la salud humana	7.1 Uso de insumos y productos que no afectan la salud humana
7.2 Alta exposición de radiación solar en el paisaje productivo que afecta en la salud los colaboradores	7.2 Alta exposición de radiación solar en el paisaje productivo que afecta en la salud los colaboradores	7.2 Baja exposición de radiación solar en el paisaje productivo que genera un ambiente adecuado para la salud de los colaboradores	7.2 Alta exposición de radiación solar en el paisaje productivo que afecta en la salud los colaboradores	7.2 Baja exposición de radiación solar en el paisaje productivo que genera un ambiente adecuado para la salud de los colaboradores	7.2 Paisaje del sistema productivo con control de radiación solar permite crear un ambiente adecuado para la salud de los colaboradores
8. En modelo de economía lineal	8. En modelo de economía lineal	8. En modelo de transición hacia una economía circular	8. En modelo de economía lineal	8. En modelo de transición hacia una economía circular	8. Sistema en modelo de economía circular y bioeconomía consolidadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Lal, R. 2020. Regenerative agriculture for food and climate. *Journal of soil and water conservation*, 75(5):123A-124A.

Abbona, E; Iermanó, M; Oyhamburu, M; Sarandon, S. 2015. Riesgo ambiental por el uso de agroquímicos en la agricultura extensiva de Buenos Aires, Argentina. Buenos Aires, Argentina. Presentado en V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA (La Plata, 2015).

Newton, P; Civita, N; Frankel-Goldwater, L; Bartel, K; Johns, C. 2020. What is regenerative agriculture? A review of scholar and practitioner definitions based on processes and outcomes. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4:1-11. Disponible en [Frontiers | What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes \(frontiersin.org\)](#)

Reyes-Palomino, S; Cano, D. 2022. Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1):53-64. Disponible en [Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad \(scielo.org.pe\)](#)



Capítulo 5. Consideraciones generales sobre prácticas regenerativas



Un reciente estudio de Sauvadet et al (2021) mostró como la incorporación de plantas leguminosas y no leguminosas puede fortalecer la salud del suelo según su perfil. Otro estudio realizado en la región de Guanacaste, Costa Rica (Cañet-Prades, 2022) evidenció que el aplicar los principios de agricultura regenerativa de diferentes prácticas aplicadas a un sistema de producción de alimentos aumentó el secuestro de carbono y aseguró la restauración de la salud del suelo, y por ende el mejoramiento de la seguridad alimentaria.

Ahora bien, conociendo los objetivos esenciales de la agricultura regenerativa y los aspectos relevantes del sistema productivo de *Ananas comosus*, es necesario replantear y evaluar las buenas prácticas conocidas e implementar nuevas innovaciones relacionadas para orientar la transformación y mejora continua de la producción. Para ello, se debe tomar en cuenta las consideraciones descritas en la figura 5.

El cuadro 4 muestra una serie de buenas prácticas realizadas en el cultivo de piña, y la comparación en cuanto al aporte o no de beneficios, incluyendo los servicios ambientales.

Para la implementación de sistemas productivos regenerativos es determinante la combinación de diferentes buenas prácticas, pero particularmente se debe priorizar e intensificar aquellas que genera mayores sinergias ambientales y beneficios.

FIGURA 5

Consideraciones generales para una agricultura regenerativa.



CUADRO 4

Comparación del aporte de beneficios y servicios ambientales de buenas prácticas ambientales para *Ananas comosus*.

Buenas prácticas para piña	Beneficios y servicios ambientales											
	Conectividad del paisaje	Aumento de Biodiversidad	Protección exceso de temperatura y radiación	Protección bajas temperaturas	Microclima adecuado para labores de campo	Fijación de N al suelo	Ciclaje de nutrientes	Protección contra erosión	Protección y producción de agua	Control natural de plagas y enfermedades	Diversificación de productos	Productividad de piña
Incorporación de rastrojo y materia orgánica	No	Si En suelo	En parte	No	No	Si	Si	Si	Si	No	No	Si
Barreras vivas en drenajes	Si En extracto bajo	Si	En parte	No	No	Si	Si	Si	Si	No	No	No

Buenas prácticas para piña	Beneficios y servicios ambientales											
	Conectividad del paisaje	Aumento de Biodiversidad	Protección exceso de temperatura y radiación	Protección bajas temperaturas	Microclima adecuado para labores de campo	Fijación de N al suelo	Cicloje de nutrientes	Protección contra erosión	Protección y producción de agua	Control natural de plagas y enfermedades	Diversificación de productos	Productividad de piña
Rotación de cultivos con leguminosas	En parte	Si	No	No	No	Si	Si	Si	No	No	Si	Si
Utilización de bioinsumos	No	En parte	No	No	Si	En parte	Si	No	Si	En parte	No	Si
Rotación de cultivos tradicional	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	En parte	Si	No
Manejo manual y mecánico en control de malezas	No	No	No	No	No	No	Si	Si	Si	No	No	Si
Sistemas Agroforestales SAF con fijadores de N y biomasa de calidad y control de luz y sombra baja a moderada	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	En parte	Si
SAF con fijadores de N + Maderables + Frutales control de luz y sombra baja a moderada	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
SAF con maderables y/o frutales con control de luz y sombra baja a moderada	Si	Si	Si	Si	Si	No	En parte	Si	Si	Si	Si	Si
Reforestación con especies nativas para conectar parches de bosque	Si	Si	Si	Si	Si	En parte	Si	Si	Si	Si	Si	No
Reforestación en zonas no aptas para cultivo de piña	Si	Si	En parte	Si	Si	En parte	Si	Si	Si	Si	En parte	No
Producto protector solar	No	No	Si	Si	No	No	No	No	No	No	No	Si
Uso de Sarán	No	No	Si	Si	No	No	No	Si	Si	En parte	No	Si

Según el cuadro anterior, las prácticas que generan mayor aporte de beneficios integrales son los establecimientos de sistemas agroforestales, mientras que el uso de protector solar químico y una rotación de cultivos tradicional (sin mejoradoras de suelo y biodiversidad) no aporta en gran medida a los beneficios y servicios ambientales necesarios.

ROTACIÓN REGENERATIVA DE CULTIVOS

Una rotación de cultivo tradicional generalmente genera agotamiento del suelo, implica el uso de agroquímicos, crea limitantes en la biodiversidad del paisaje y genera en menor medida, incorporación de materia orgánica. Mientras que una rotación de cultivo enfocada a la mejora de las capacidades físicas, químicas y biológicas de suelo (plantas mejoradoras de suelo) pueden contribuir a una disminución de erosión, atracción de especies polinizadoras, aporte de materia orgánica y nutrientes al suelo (Vergara & Acevedo, 2015; Castilla, 2013).

La importancia de una rotación equilibrada y regenerativa de cultivos radica según lo indica la figura 6.

Los aspectos por tomar en cuenta para realizar una rotación acertada con enfoque regenerativo son:

- Diversificación económica
- Cultivos que incrementen el aporte de nitrógeno durante descanso sin piña
- Cultivos que ayudan controlar malezas cubriendo el suelo
- Cultivos que incorporan grandes cantidades de residuos (Materia orgánica y nutrientes complementares)
- Cultivos de raíz profunda presentes
- Cultivos de familias diferentes a *Ananas comosus*
- Priorizar cultivos nativos y evitar riesgo de introducción de especies invasoras
- Variedades de cultivos que favorezcan polinizadores controladores
- Buena secuencia de cultivos que se complementan entre sí, durante el ciclo de rotación
- Tiempo mínimo de descanso sin piña (1 año)

Dentro de las especies que se pueden incorporar como plantas mejoradoras de suelo se recomiendan *Mucuna*, *Guandul*, *Flemingia* y *Lupino* (Cuadro 5).

FIGURA 6

Importancia de una rotación de cultivos equilibrada.

Foto: <http://www.climagri.eu/index.php/es/rotacion-de-cultivos>.



Control de plagas y enfermedades

Aumento de producción

Diversidad agrícola

Salud del suelo

Mejora balance de materia orgánica y nutrientes

CUADRO 5

Recomendaciones de plantas mejoradoras del suelo para rotación de cultivos.

Fuente: Elaborado con base en Brenes & Peña (2018); Camacaro et al (2004); Céspedes et al (2019); Crespo & Fraga (2002); Gonzales et al (2016); Sanclemente et al (2013); Sauvadet (2021); Vega & Leblanc (2013); ECHOcommunity.org (2022).

Plantas mejoradoras de suelo importantes en rotación de cultivos		
Nombre común	Nombre científico	Beneficios
Mucuna	<i>Mucuna pruriens</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Aporte de biomasa al suelo - Ayudar a disminuir la acidificación del suelo - Fija carbono y nitrógeno al suelo
Frijol de palo, Guandul	<i>Cajanus cajan</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Especie resistente a las inclemencias del tiempo - Se utiliza como controlador biológico - Ayuda a descompactar el suelo - Aporte de biomasa al suelo y nitrógeno
Flemingia	<i>Flemingia macrophylla</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Fija nitrógeno al suelo. - Control de erosión y mejoradora de suelo. - Recomendada en filas en sistemas de callejones con otros cultivos. - Se reporta como controladora de nemátodos en cultivos de piña.
Lupino	<i>Lupinus albus</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Contribuye a la liberación de fósforo fijado en el suelo a través de la exudación de citratos desde sus raíces y de enzimas, como la fosfatasa ácida, cuya acción solubiliza fosfatos del suelo no disponibles para las plantas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brenes, P; Peña, W. 2018. Aporte de materia orgánica de *Crotalaria spectabilis* Roth, en un suelo sembrado con *Brachiaria brizantha* cv. BRS piatá San Carlos, Costa Rica. Repertorio Científico 21(1). Disponible en https://www.researchgate.net/publication/334206910_Aporte_de_materia_organica_de_Crotalaria_spectabilis_Roth_en_un_suelo_sembrado_con_Brachiaria_brizantha_cv_BRS_piatá_San_Carlos_Costa_Rica
- Camacaro, S; Garrido, J; Machado, W. 2004. Fijación de nitrógeno por *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* y *Albizia lebbek* y su transferencia a las gramíneas asociadas. Zootecnia Tropical, 22(1):49-70. Disponible en Fijación de nitrógeno por *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* y *Albizia lebbek* y su transferencia a las gramíneas asociadas (scielo.org)
- Cañet-Prades, F. 2022. Aplicación de los principios de la Agricultura Regenerativa para aumentar los niveles de nutrientes en el suelo y enfrentar una emergencia de seguridad alimentaria y nutricional local en Guanacaste, Costa Rica. Revista Regenerativo 1(2):17-28. Disponible en <https://doi.org/10.55924/ucireg.v1i2.12>
- Castilla, F. 2013. La elegida para conservar el suelo: Una decisión agronómica que combina rotación de cultivos, fertilizantes y agricultura de precisión para aumentar la producción y preservar los recursos naturales. Adoptada en forma masiva en la Argentina, es una de las claves para evitar pérdidas del suelo por erosión. RIA. Revista de investigaciones agropecuarias, 39(2):118-123. Disponible en La elegida para conservar el suelo: Una decisión agronómica que combina rotación de cultivos, fertilizantes y agricultura de precisión para aumentar la producción y preservar los recursos naturales. Adoptada en forma masiva en la Argentina, es una de las claves para evitar pérdidas del suelo por erosión (scielo.org.ar)
- Céspedes, S; Zuñiga, A; Mendoza, A; Chavez, A. Montero, K; Peña, W. 2019. Evaluación de la incorporación de *Mucuna pruriens* y *Crotalaria spectabilis*, sobre el aporte y absorción de nutrientes en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Repertorio Científico 22(1):29-37. Disponible en (PDF) Evaluación de la incorporación de *Mucuna pruriens* L. (Fabaceae) y *Crotalaria spectabilis* Roth (Fabaceae), sobre el aporte y absorción de nutrientes en el cultivo de arroz (researchgate.net)
- Crespo, G., & Fraga, S. (2002). Nota técnica acerca del aporte de hojarasca y nutrientes al suelo por las especies *Cajanus cajan* (L.) Millsp y *Albizia lebbek* (L.) Benth en sistemas silvopastoriles. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 36(4), 397-402.
- ECHOcommunity (2022) Flemingia. Ficha de información sobre plantaeas. <https://www.echocommunity.org/es/resources/5fd1eb86-a4fa-453c-9bfb-6b4da91a027d.pdf>
- González, L; Rey, A; Fallas, A. 2016. El Gandul (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.) una excelente alternativa para Sistemas Agrosilvopastoriles. Repertorio Científico 19(2):135-143. Disponible en El Gandul (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.) una excelente alternativa para Sistemas Agrosilvopastoriles (researchgate.net)
- Sanclemente, O; Prager, M; Acevedo, L. 2013. Aporte de Nitrógeno al suelo por *Mucuna pruriens* y su efecto sobre el rendimiento de maíz dulce (*Zea mays* L.). Revista de Investigación Agraria y Ambiental 4(2):149-155. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5344985>
- Sauvadet, M; Trap, J; Damour, G; Plassard, C; Van den Meersche, K; Achard, R; Allinne, C; Autfray, P; Bertrand, I; Blanch, E; Deberdt, P; Enock, S; Essobo, JD; Freschet, G; Hedde, M; Virginio Filho, E; Rabary, B; Rakotoarivelo, M; Randriamanantsoa, R; Rhino, B; Ripoché, A; Rosalie, E; Saj, S; Becquer, T; Tixier, P; Harmand, JM. 2021. Agroecosystem diversification with legumes or non-legumes improves differently soil fertility according to soil type. Science of the Total Environment 795.
- Silva, P; Vergara, W; Acevedo, E. 2015. Rotación de cultivos. Rastrojo de cultivos y residuos forestales. In Programa de transferencia de prácticas alternativas al uso del fuego en la región del Bio-Bio, 48-67. Disponible en NR40199.pdf (agrohertos.com)
- Tenorio, P. 2016. Método de evaluación rápida de invasividad (MERI) para especies exóticas en México *Mucuna Pruriens utilis* (L.) CONAGEBIO.
- Vega, P; Leblanc, H. 2013. Producción de biomasa y fijación de nitrógeno de *Mucuna pruriens* en el trópico húmedo de Costa Rica. Tierra Tropical 9(1):57-65. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/281066094_Produccion_de_biomasa_y_fijacion_de_nitrogeno_de_Mucuna_pruriens_en_el_tropico_humedo_de_Costa_Rica



Capítulo 6. La importancia del dominio dinámico de la radiación solar



La piña tropical, ha sido un cultivo que ha permitido una producción creciente para la región de América Latina; sin embargo, factores de riesgos climáticos continúan amenazando el rendimiento alcanzado. Uno de estos elementos que puede llegar a comprometer el 70% de la producción es la quema por el sol (da Cunha et al 2003) (Hossain, 2006). Existen tecnologías actualmente que protegen la formación del fruto, como por ejemplo la disposición de las mismas hojas de la planta o el uso de material como papel periódico, uso de químicos protectores solares, redes traslucidas, embolsado del fruto, coberturas de suelo entre otros (Rabie & Mbatha, 2016; Lal & Sahu, 2017). Un reciente estudio demostró que el uso de empaque de polietileno ayudó a disminuir considerablemente la quema del fruto por radiación y que incluso su calidad mejoró (Zhang et al, 2023). Por otra parte, (Mazariegos, 2019) determinó que el uso de sarán con un porcentaje de cobertura por sombra del 47% durante la floración de *Ananas comosus* demostró influir en un mejor rendimiento de cajas de fruta por hectárea.

Durante visitas de campo en Costa Rica se evaluaron franjas de piña en asocio con filas de *Gliricidia sepium* con porcentajes de sombra entre 30 y 35% sin comprometer vigor y sanidad del cultivo.

Lo anterior demuestra que, a pesar de ser un cultivo con exigencia de luz, el exceso de esta puede traer consecuencias en los rendimientos, calidad y producción, y que por ende, se deben aplicar métodos de protección de radiación a lo largo del ciclo productivo. Las metodologías artificiales de regulación de la radiación pueden traer consigo generación de desechos plásticos, contaminación con químicos e incremento de costos.

Este capítulo pretende abordar el control de radiación dinámica a través de la integración de elementos arbóreos que generen un microclima e incidencia de luz adecuados para la producción de *Ananas comosus*. Además, se espera que los diferentes diseños de arborización mejoren la conectividad de la biodiversidad en el paisaje agrícola de producción de piña

Ahora bien, definimos control dinámico como el manejo de la entrada de luz al cultivo según sea la necesidad del ciclo fenológico y condiciones ambientales dentro del sistema, que garantice una resiliencia micro-climática (control de temperatura, vientos, entre otros beneficios) producción con altos rendimientos y buena calidad a través del uso de especies forestales.

Dicho control de dinámico se propone realizar a través de lo descrito en la figura 7.

FIGURA 7

Principios para control dinámico de radiación solar en sistemas agroforestales.



TÉCNICAS DE PODAS

Al implementar un sistema para control de radiación (microclima) por medio, de sistemas agroforestales, se debe tomar en cuenta que las etapas de mantenimiento y adaptación de árboles es esencial, así como los tipos de árboles empleados (leguminosos de servicio, maderables y frutales). Para cumplir con los objetivos planteados de control de temperatura y radiación, es necesaria la creación de un plan de control de copas a través de técnicas de podas reguladas. La estructura del plan de control debe contestar las siguientes preguntas:

- **Cuándo realizar la poda:** los aspectos a considerar para definir el momento de realizar la poda deben ser la época del año (época seca, inicio de lluvias), edad del árbol en cuestión (podas de formación, podas de altura, elección de rebrotes) (Sanfiorenzo, 2022) y la etapa fenológica del cultivo para conocer el nivel de demanda de luz (control de incidencia de luz). Los árboles de servicio leguminosos

deben estar regulados anualmente siendo los principales en la estrategia de dominio de aporte de biomasa (nutrientes) y regulación de sombra. Los maderables y frutales deben estar en menor cantidad y con manejos específicos para apertura de entrada de luz en ambos casos, y para los primeros poda de formación de fuste para garantizar madera de calidad.

- **Cómo realizar la poda:** para realizar una poda efectiva que garantice la supervivencia de los árboles se debe tomar en cuenta los instrumentos a utilizar. Basnonville et al (2021) recomiendan la mecanización de las podas por medio de podadora telescópica, que conllevará a mejores rendimientos, reducción de riesgos y aporte de biomasa al sistema. Otros aspectos para tomar en cuenta son el aclareo (entresacar ramas de la copa para evitar resistencia del viento), proporción (entre la altura del árbol y la cantidad de ramas a eliminar), simetría y balanceo (Rascón-Solano, 2021). Sin embargo, para árboles de servicio con alta tolerancia a podas las regulaciones pueden variar de intensidad de conformidad con los propósitos de producción de biomasa y control de sombra. Árboles como las *Erythrinas* y *Gliricidias* tienen alta capacidad de rebrote, incluso después de podas drásticas. Las Ingas podrán ser igualmente una alternativa, aunque para estas las podas completas de copa son poco toleradas.

DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS EN EL SISTEMA

La ubicación estratégica de las especies arbóreas dentro del cultivo, en este caso piña, es de suma importancia para asegurar el éxito continuo del establecimiento. La disposición de los árboles respecto a la trayectoria del sol durante el día puede ayudarnos a dinamizar la incidencia de la radiación. Una disposición de líneas de árboles de este a oeste nos garantiza una mayor penetración de rayos solares, mientras que una ubicación norte-sur, puede otorgar sombra prolongada en ciertos momentos del día. En función de ambas condiciones se debe diseñar el sistema agroforestal más compatible, por ejemplo, para áreas en sentido norte-sur los sistemas agroforestales deben tener distancias más amplias entre árboles y/o podas fuertes anuales que permite controlar la entrada de luz.

SELECCIÓN DE ESPECIES

La selección de las especies forestales para control de radiación debe tomar en cuenta aspectos como: morfología del árbol, tipo de crecimiento, arquitectura de copa, beneficio adyacente (además de proveer el servicio de control de radiación puede proveer producción de madera, leña y frutos, fijación de nutrientes, conectividad biológica, entre otros), tipo de hoja, tendencia de crecimiento, alturas promedio. Estos aspectos son necesarios para obtener ventaja y cumplir con objetivos de producción y restauración ecológica. El anexo I, presenta la descripción de algunas especies maderables utilizadas en sistemas agroforestales. Se destaca algunas promisorias nativas como *Cedrela odorata*, *Samanea saman* y *Swietenia macrophylla*. En general con adecuado diseño y manejo se puede utilizar una amplia lista de especies, sin embargo, algunas especies tienen particularidades que deben ser consideradas, por ejemplo, la *Terminalia amazonia* es muy competitiva con los cultivos y su uso debe ser controlado en especial con muy poca densidad de árboles, y asociadas con árboles mejoradores del suelo (Cuadro 6).

La incorporación de un sistema complejo y dinámico conlleva paralelamente a obtener otros beneficios complementarios de gran relevancia para el cultivo; dichos beneficios se observan en la figura 8.

FIGURA 8

Beneficios de un control dinámico de radiación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Basnonville, Loic; Virginio Filho, E; Molina, L. 2021. El potencial de la mecanización en el manejo de los árboles asociados al cultivo del café. Rol en la adaptación, mitigación y sostenibilidad del cultivo ante el cambio climático. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 165-170 p. Informe N°51-2021.

da Cunha, G. 2003. News from Brazil. Newsletter of the Pineapple Working Group, International Society for Horticultural Science May 10:5-6. Disponible en content (hawaii.edu)

Hossain, F. 2016. World pineapple production: An overview. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 16(4):11443-11456. Disponible en World pineapple production: an overview | African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development (ajol.info)

Lal, N; Sahu, N. 2017. Management strategies of sun burn in fruit crops-A Review.

Mazariegos, N. 2019. Evaluación del efecto de cuatro porcentajes de sombra en la etapa de floración del cultivo de piña (*Ananas comosus* L. Merr.), en finca San Luis, Santo Domingo, Suchitepéquez. Tesis PhD. Guatemala. Disponible en <https://repositoriosidca.csuca.org/Record/RepoUSAC12902>

Rabie, E; Mbatha, B. 2016. Evaluation of the efficacy of Eclipse® in reducing sunburn in 'Queen' pineapple of South Africa. Presentado en XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes. Acta Horticulturae, (1111):241-248.

Rascón-Solano, J; Galván-Moreno, V; García-García, S; Hernández-Salas, J. 2021. Manual Práctico para Podas. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México. 65 p.

Sanfiorenzo, A. 2022. Guía para el manejo de sistemas agroforestales: énfasis en la poda de árboles. Sustainable Agriculture Research & Education. 23 p. Puerto Rico. Disponible en <https://projects.sare.org/wp-content/uploads/Guia-para-el-manejo-de-sistemas-agroforestales-enfasis-en-la-poda-de-arboles.-1.pdf>

Zhang, Y; Wenxiu, Y; Zhao, W; Yang, X. 2023. Expandable polyethylene bag can improve fruit quality of pineapple cv.'MD-2'. Ciência Rural, 53(2). Disponible en <https://www.scielo.br/j/cr/a/xQMFwtpT8v6TNmkTnHrvmVd/?format=pdf&lang=en>



Capítulo 7.
Los sistemas agroforestales
y forestales para
Ananas comosus



SISTEMAS AGROFORESTALES COMO SISTEMAS REGENERATIVOS

Los sistemas agroforestales son sistemas que buscan integrar especies arbóreas con cultivos agronómicos y/o ganadería. Estos sistemas buscan conciliar la necesidad de protección del suelo y la necesidad de más tierras para producir, logrando una integración espacial de un conjunto de sistemas (Jiménez et al, 2001).

Como bien se menciona en capítulos anteriores, los sistemas degenerativos poseen poca capacidad de adaptación a los efectos del cambio climático, a la vez que degradan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sufren por la ausencia de control de microclima. Para solventar lo anterior, se propone la implementación contextualizada de sistemas agroforestales en cultivos de *Ananas comosus*, ya que dichos sistemas promueven adaptación a la variabilidad de las condiciones climáticas, mejoran el control de microclimas en las unidades productivas y además aportan biomasa al suelo, fijación de nitrógeno y captura de carbono, generando mitigación dentro del ciclo de producción (Montagnini, 2015).

En la figura 9 se mencionan otras características de los sistemas agroforestales bien diseñados y manejados.

Estudios como el realizado por Patiño et al (2018), demuestran como el aporte de nutrientes por medio de SAF al suelo mejora sus propiedades y por ende la capacidad productiva del cultivo, creando un sistema que favorece la regeneración de los agroecosistemas con mayor resiliencia climática.

La urgencia de buscar nuevos procesos regenerativos en el contexto actual es vital para los productores de la región; los SAF pueden contribuir a un proceso de transformación garantizando productividad y sostenibilidad.

CRITERIOS PARA ESTABLECER UN SISTEMA AGROFORESTAL

El establecimiento de sistemas agroforestales convenientes para un cultivo como *Ananas comosus*, debe contemplar ciertos conocimientos como los que se mencionan en la figura 10 (Gassner & Dobie, 2022).

FIGURA 9

Beneficios de la implementación de sistemas agroforestales.

Fuente: Elaborado con base en (Vasconcelos, 2007; Proyecto de Manejo Sostenible de Recursos Naturales, 2019; Amazon Conservation Team, The Nature Conservancy, 2020).



FIGURA 10

Aspectos de conocimiento para establecer un sistema agroforestal.

Fuente: Elaborado con base en (Gassner & Dobie, 2022).



Conociendo previamente la importancia de un sistema agroforestal regenerativo y sus aportes, tanto ambientales, económicos y sociales, se recomiendan la combinación planificada de árboles leguminosos de servicio, maderables y frutales. Del punto de vista de restauración de suelos y beneficios directos al cultivo de la piña la mayor cantidad de árboles deben ser de servicio y bajo manejo anual. Entre las especies (consideradas de servicio por sus aportes a la salud del suelo) se destacan la *Erythrina*, *Inga* y *Gliricidia*, (Cuadro 6).

Hay una amplia lista de especies maderables que pueden integrar los diferentes diseños de sistemas agroforestales y forestales en fincas piñeras, para ello es importante revisar los inventarios y recomendaciones de especies nativas y exóticas indicadas para cada zona geográfica a donde se cultiva la piña. El Anexo 1 presenta una breve lista de referencias de algunas especies maderables y sus características, que pueden ser consideradas en diferentes lugares.

CUADRO 6

Especies de servicio potenciales para sistemas agroforestales con características de mejoradores de suelo.

Fuente: Elaborado con base en Martín-Alonso et al (2021); Rojas et al (2017); CATIE (1991); Montenegro (2005); Fernández-Hilario (2010); Romero (2006); Alvarado et al (2020); Farfán (2014).

Nombre común	Nombre científico	Manejo de copa	Aporte biomasa y nutrientes
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i>	Realizar podas cada 3 o 6 meses para aporte de biomasa y nutrientes al suelo	Biomasa: 2,51 t ha ⁻¹ de masa seca por año; 1,5 hasta 6 t ha ⁻¹ año ⁻¹ Nitrógeno: 50,61 kg ha ⁻¹ año ⁻¹ o 16.2 g kg ⁻¹ ; Fósforo 1.16 g kg ⁻¹ ; Potasio 8.44 g kg ⁻¹ ; Calcio 4.2 g kg ⁻¹ ; Magnesio 0.92 g kg ⁻¹ (en SAF con cacao)
Poró	<i>Erythrina poeppigiana</i>	Para un suficiente aporte de nitrógeno se recomienda una poda semestral con densidades arriba de 100 árboles/ha.	Biomasa: 3396.92 kg por ha por año en manejo convencional de SAF en café en primeras podas, para segunda poda aporta 8393.10 kg por hectárea. Nitrógeno: 144 kg/ha
Inga	<i>Inga edulis</i>	Se recomienda una poda por año a partir del cuarto año de crecimientos en densidades de al menos 12 metros por 12 metros.	Biomasa: 1270 kg por ha por año en parcelas de ensayo sin cultivo asociado. Nitrógeno: 39.76 kg por hectárea

El Cuadro 7, igualmente presenta un breve listado de especies frutales de potencial para componer los sistemas agroforestales en asocio con el cultivo de la piña. De manera general, en función de los objetivos de producción se podría pensar en asocio de otros frutales bajo diferentes diseños agroforestales, sin embargo, cuando se quiera lograr altas productividades de piña los diseños de asocio más adecuados podrían ser en sistemas agroforestales en callejones, franjas de varias filas paralelas o filas únicas de otros frutales distribuidas en divisiones de lotes o paralelo a cercas. También se podría combinar los diferentes diseños indicados anteriormente. Más adelante se presenta diferentes opciones de diseños de asocio.

PROPUESTAS DE DISEÑOS REGENERATIVOS

Ahora bien, conociendo el aporte y beneficios de los sistemas agroforestales, se puede contar una gran gama de oportunidades para la implementación de estos en áreas productivas de *Ananas comosus*, dentro de las cuales se proponen las siguientes:

- 1 **Áreas de cultivos de piña con quebradas y áreas de alta declividad próximas protegidas con bosques (nativos y/o establecidos)**

El bosque hace parte del paisaje de producción, protegiendo fuentes y cursos de agua con distancias de franja horizontal reglamentarias. El principal objetivo de este diseño será la protección

CUADRO 7

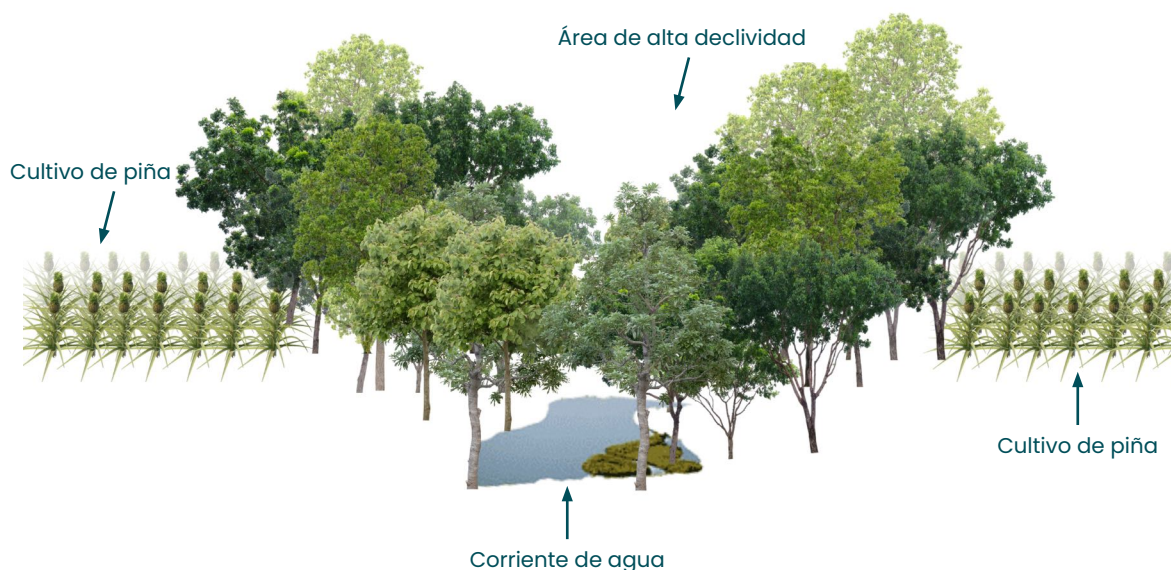
Especies frutales de potencial para integrar los sistemas agroforestales en asocio con el cultivo de la piña.

Nombre común	Nombre científico
Aguacate, Palta	<i>Persea americana</i>
Banano, Plátano	<i>Musa sp</i>
Cas	<i>Psidium friedrichsthalianum</i>
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>
Guanábana	<i>Annona muricata</i>
Naranja, Mandarinas, Limón	<i>Citrus sp</i>
Mango	<i>Mangífera indica</i>
Mamón Chino	<i>Nephelium lappaceum</i>
Papaya	<i>Carica papaya</i>
Pejibaye	<i>Bactris gasipaes</i>
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>

del recurso hídrico, conectividad de biodiversidad, así como evitar la erosión en zona de alta pendiente donde el cultivo de piña no es posible. En la figura 11 se puede observar una manera de ilustrar tal diseño.

FIGURA 11

Diseño 1: Áreas de cultivo de piña con zonas de alta declividad y quebradas.



2

Cultivos de piña con áreas incrementales (además de las áreas de márgenes de cursos de agua y de altas pendientes) de bosques (nativos y/o establecidos)

En este diseño, se hace referencia a aquellas zonas de bosque nativo y/o establecido de gran tamaño con gran relevancia ecológica. Para tal diseño, se recomienda la debida protección del área, así como el enriquecimiento con especies nativas para la mejora de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en general.

3

Islas/parches de bosques nativos y o establecidos con especies nativas dentro del área de producción de piña

Son pequeñas (mínimo de 100 metros cuadrados) áreas distribuidas en lugares estratégicos entre diferentes lotes productivos. Además de contribuir con refugio a la fauna y mejorar a la conectividad del paisaje, puede mejorar el microclima en el área del cultivo de la piña. Es importante considerar una distancia mínima adecuada del área de cultivo, en particular en el lado oeste del parche de bosque que mantendrá cierto grado de sombra durante las mañanas.

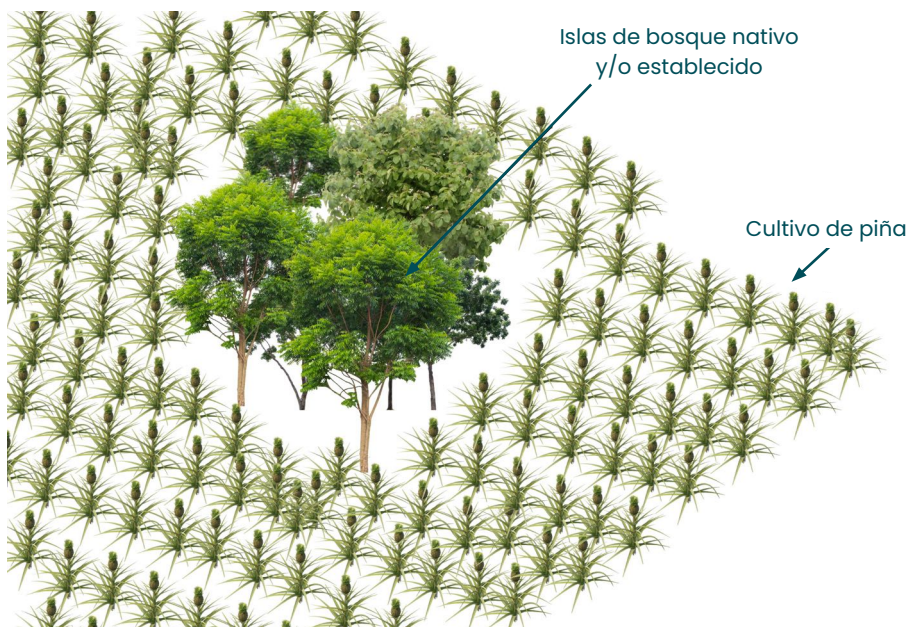
FIGURA 12

Diseño 2: Áreas de cultivo de piña con áreas incrementales de bosque nativo y /o establecido.



FIGURA 13

Diseño 3: Islas/parches de bosques nativos y/o establecidos con especies nativas dentro del área de producción de piña.



4 Filas de árboles (mono especies o poliespecies) entre divisiones de lotes del cultivo y márgenes de caminos internos.

Una forma de diversificar el paisaje productivo es utilizar especies arbóreas cuyo propósito sea dividir lotes de cultivo, potreros u otros cultivos dentro de la finca. Cabe destacar que el establecimiento de estas líneas de árboles es multipropósito, es decir, además de tener la funcionalidad de dividir zonas puede cultivarse especies maderables y frutales de importancia económica. También es recomendable intercalar maderables y frutales con especies arbóreas leguminosas de servicio (*Erythrina*, *Inga* y *Gliricidia*, por ejemplo) por sus funciones regenerativas, otros beneficios y facilidades de manejo a la hora de abrir entrada de luz y aporte de biomasa (nutrientes) al cultivo de la piña.

5 Cercas vivas con especies arbóreas

Un arreglo muy común en sistemas agrarios es el establecimiento de cercas vivas en linderos de la unidad productiva. De igual manera, que con el diseño 4 anteriormente descrito, el incorporar árboles multipropósito en las cercas diversificará la producción, controla microclima, permite conectividad en el paisaje, así como también enriquecer la salud de suelo, en especial se cuentan con árboles leguminosos de servicio.

6 Franjas de árboles (2 a 3 filas paralelas) dentro de áreas de cultivo formando corredores entre áreas boscosas cercanas.

Destinar área para colocar franjas de especies de importancia económica y biológica contribuirán a que el sistema se enriquezca y se adapte a la variabilidad climática, generando microclima moderado dentro del cultivo. Las franjas, además, pueden contribuir limitando la dispersión de plagas y enfermedades para el cultivo de la piña.

7 Sistemas de cultivo en callejones de árboles (solo especies leguminosas o mezcla de estas con maderables y frutales).

Las filas de árboles estarían a distancias de 10 a 20 metros entre sí. Los árboles de servicios estarían en mayor cantidad y siempre con altura intermedia baja para permitir aportes continuos de biomasa de calidad y fijación de nitrógeno al suelo beneficiando el cultivo de la piña. Cuando la fila tenga especies maderables y/o frutales estaría a largas distancias dentro de la fila (superior a 35m), intercalados por árboles leguminosos de servicio, en mayor densidad, y bajo manejo controlado por podas de copa a cada ciclo productivo. Dentro de las filas, los árboles leguminosos pueden estar

FIGURA 14

Diseño 4: Filas de árboles (mono especies o poliespecies) entre divisiones de lotes del cultivo y otros márgenes.

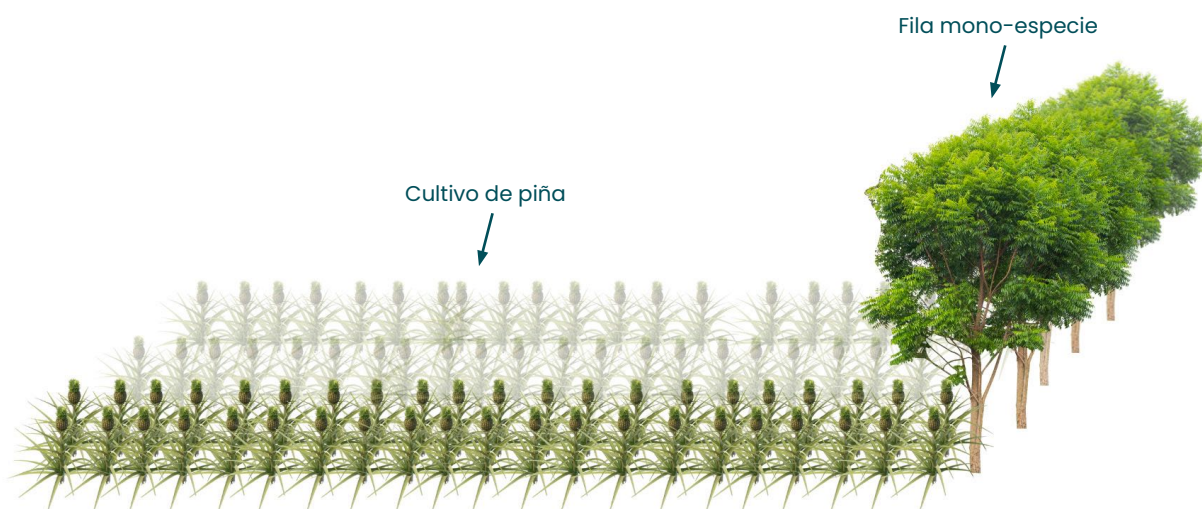


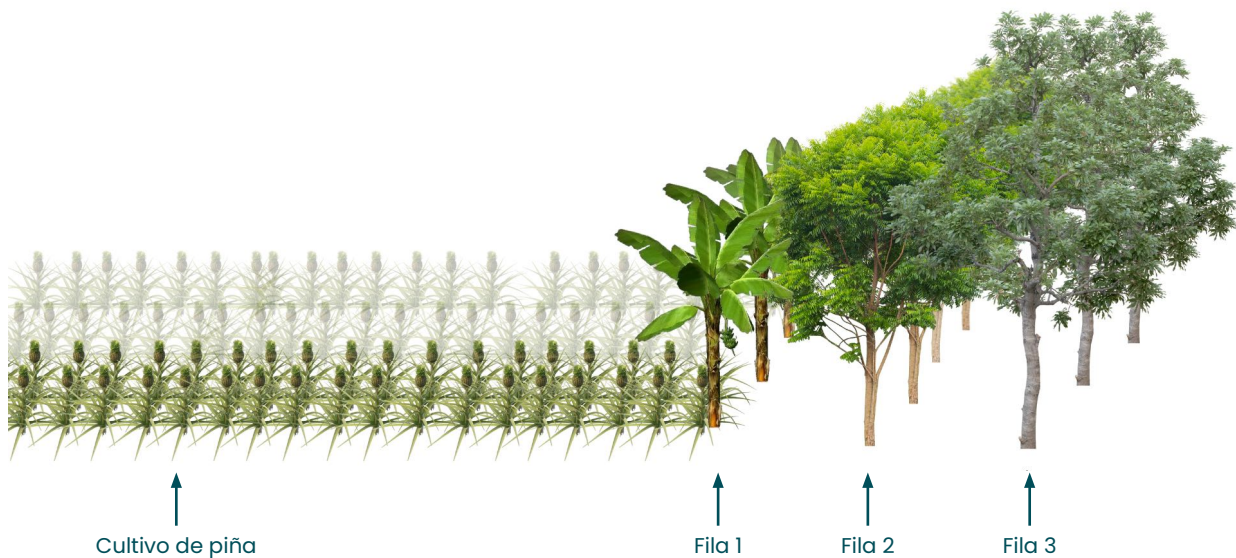
FIGURA 15

Diseño 5: Cercas vivas multipropósitos.



FIGURA 16

Diseño 6: Franjas de árboles (2 a 3 filas paralelas) dentro de áreas de cultivo.



a distancias de 2, 3, 4, 5 o 6 metros entre ellos. A menor distancia más árboles aportando biomasa (con podas continuas) y fijación de nitrógeno. Para este, y todos los diseños que incorporan árboles de servicio es muy importante contar con equipo que permita de manera eficiente el manejo de las podas de las copas (podadoras telescópicas con sierra, serruchos pequeños, machetes, etc.), en particular manteniendo los árboles de servicio a baja altura para poder controlar fácilmente, y cuando será necesario, la entrada de luz y aporte de biomasa.

Se proponen 4 arreglos distintos para este tipo de integración SAF con piña con libre opción de manejo mecanizado del cultivo:

Sistema de cultivo de piña en callejones con fila de árboles de servicio

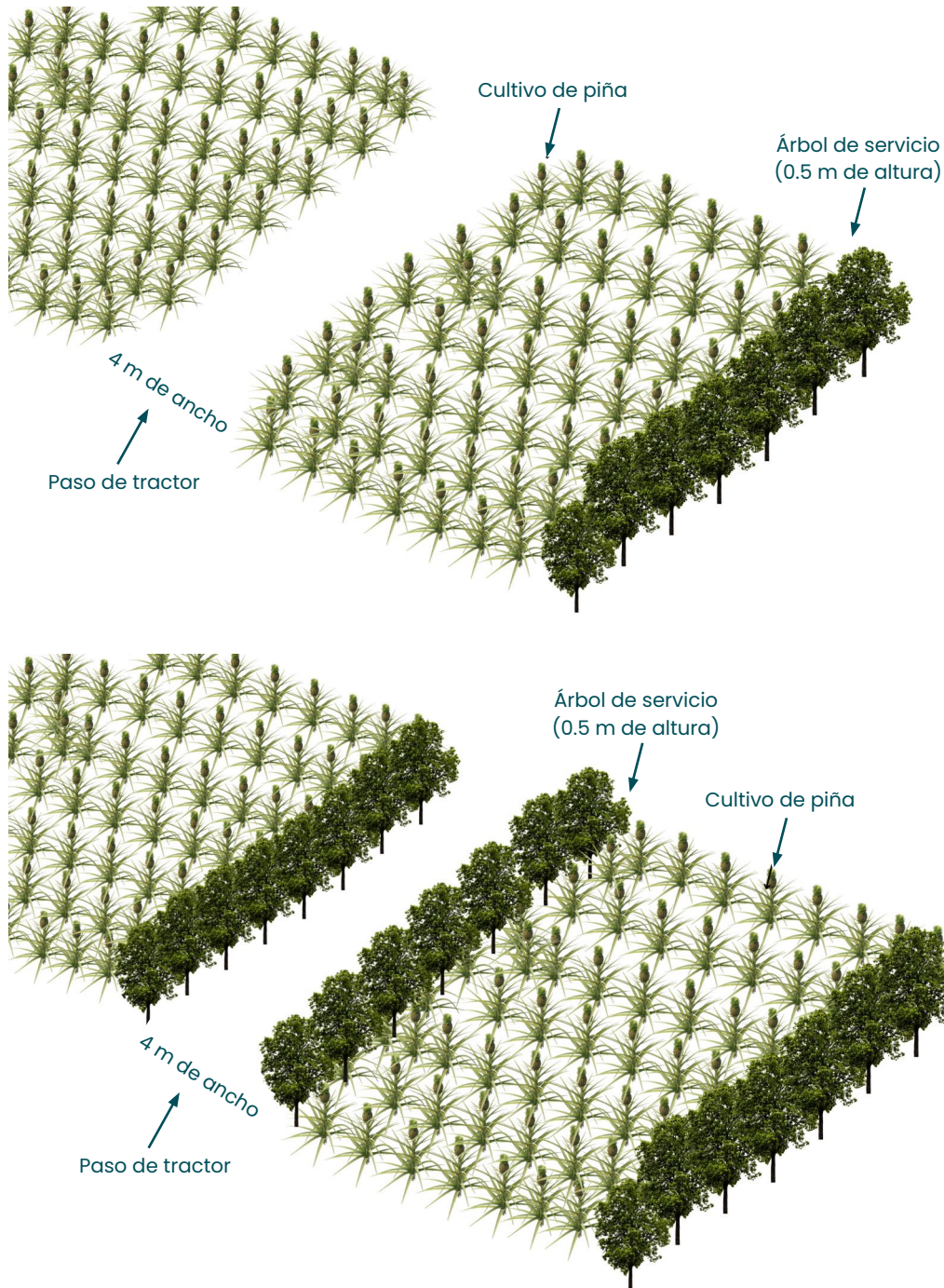
Para este diseño se propone cultivo de piña en callejones de 10 metros de ancho con fila de árboles de servicio. El objetivo principal es lograr un aporte significativo de biomasa y fijación de nitrógeno al suelo y favorecer la producción. Los árboles de

servicio (principalmente *Gliricidia*, *Erythrina*,) y arbustos como la *Flemingia*, podría estar ubicados en filas (cortas distancias entre árboles y/o arbustos) a ambos lados de los caminos internos dentro del cultivo de piña, y manejadas a muy baja altura

(0,5 m) con podas para garantizar mayor entrada de luz y al mismo tiempo el uso de tractores con brazos extensores para aplicación de productos. Con filas opuestas a los caminos con árboles de servicio manejados a 2 a 4 metros de altura.

FIGURA 17

Sistemas de cultivo en callejones de árboles leguminosos de servicio.



Sistema de cultivo de piña en callejones con fila de árboles de servicio y maderables

Muy similar a lo propuesto anteriormente, este diseño propone la implementación de árboles de servicio y árboles maderables, estos últimos con la función de proporcionar diversificación productiva y servicios ambientales a largo plazo.

8

Sistemas agroforestales biodiversos/ integrados al área de cultivo (solo árboles de servicio y/o árboles de servicio con frutales y maderables).

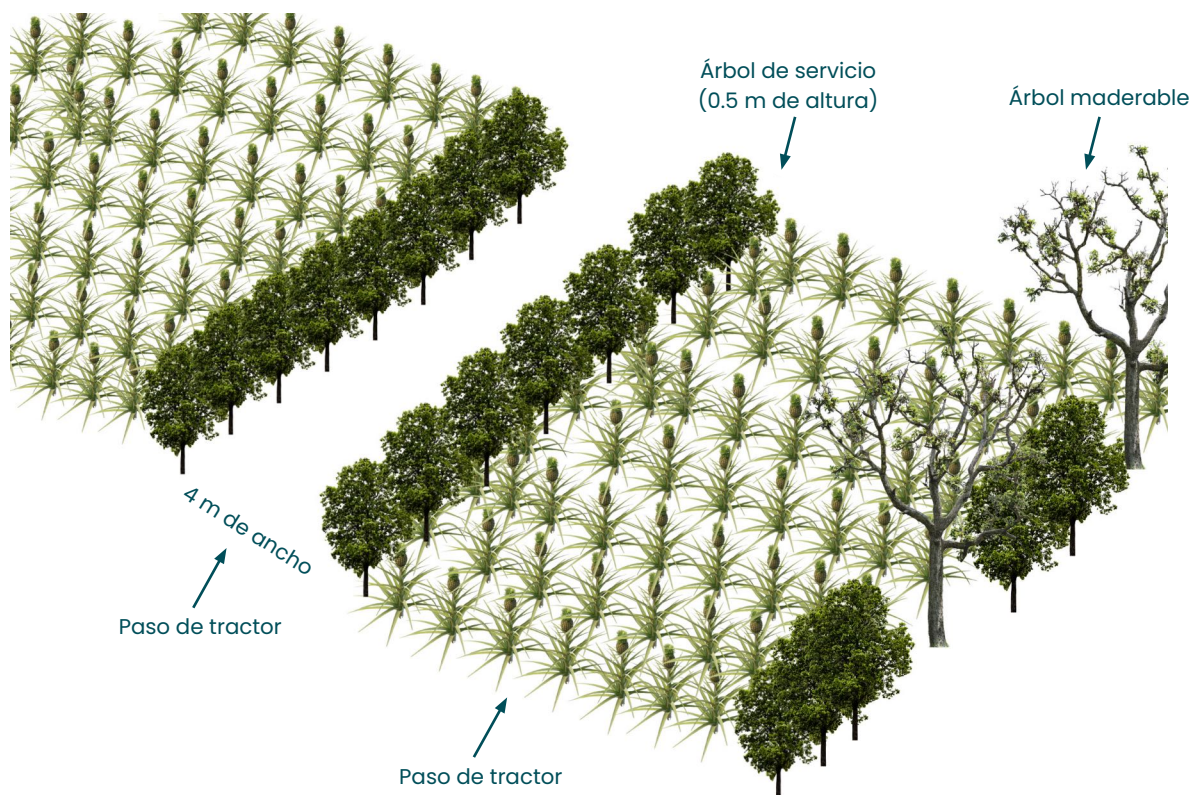
El cultivo de la piña está asociado con árboles en todo el paisaje, con especies maderables, de servicio y/o frutales con características deseadas a distancias compatibles con la entrada de luz para el cultivo de la piña. Los árboles de servicio deben estar presentes preferiblemente con manejo

y diseños que permitan la regulación continua de entras de luz y biomasa aéreas. Este diseño permitiría contar con un verdadero bosque con piña, intercalando a bajas densidades árboles de maderables, frutales con árboles de servicio en moderada o alta densidad bajo manejo controlado de la copa. En este caso, la mecanización de las labores sería más limitada, aunque siempre posible si hay adecuaciones en el diseño y en el uso de equipos, por ejemplo, para las atomizaciones podrían ser realizadas con bombas de espaldas a motor y/o drones. Para la preparación del terreno con maquinaria agrícola habría que combinar equipos pequeños (tractores agrícolas) con un diseño de agroforestal que permita el paso adecuado del equipo.

Una variación de este diseño sería tener la piña en densidades menores, asociados con otros cultivos, además de los árboles de servicio, maderables y frutales (Figura 19).

FIGURA 18

Sistemas de cultivo en callejones de árboles de servicio y árboles maderables.



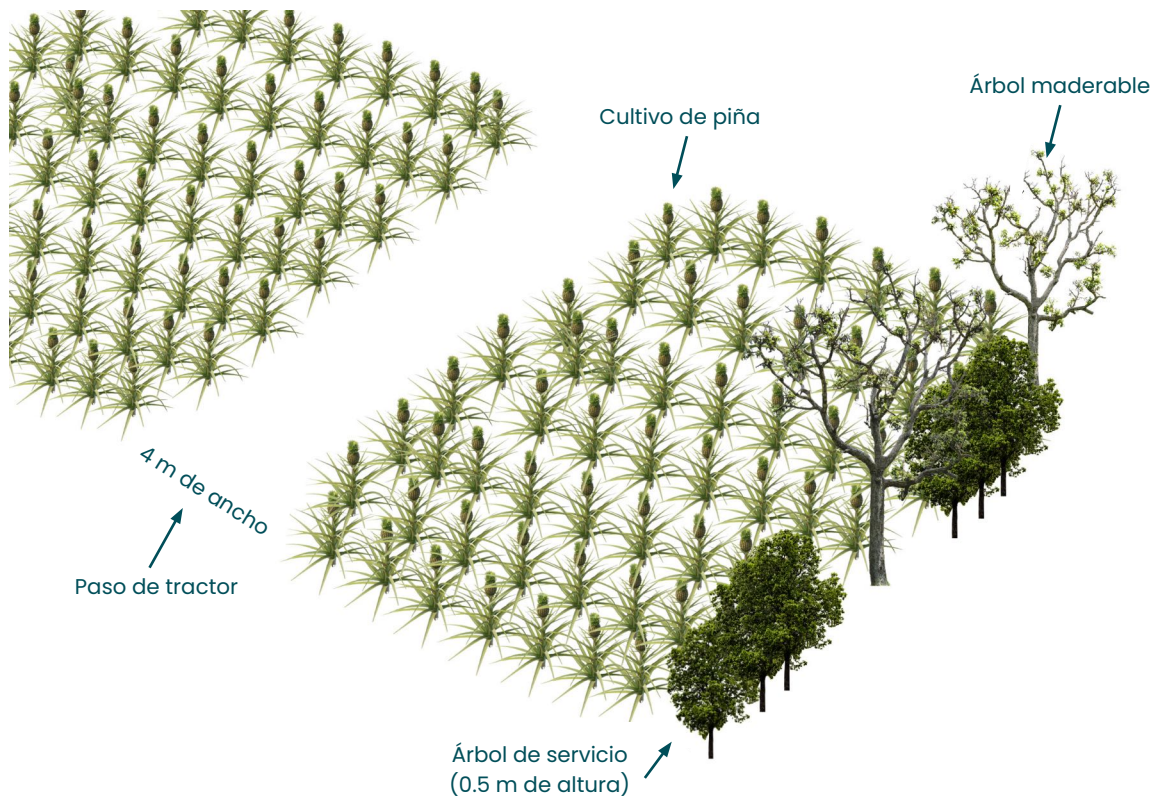


FIGURA 19

Sistema agroforestal Piña, café, banano y árbol de servicio *Gliricidia*.
(Foto: E. de M. Virginio Filho).



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A; Carrera, B; Pilaloo, W; Carrera. 2020. Desarrollo comparativo de dos especies Inga en base a su potencial agroforestal. Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria 4(12):186-199. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2664-09022020000300002&script=sci_arttext
- Amazon Conservation Team, The Nature Conservancy. 2020. Guía práctica para la implementación de la meliponicultura en el noroccidente amazónico. Colombia. Disponible en <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-estatal-de-quevedo/agronomia/modelos-agroforestales-y-sisenos-de-agroforesteria-dinamica/26838177>
- CATIE, P. P., & de Uso, P. C. D. A. (1991). El madreado (*Gliricidia sepium*): uso y manejo en cercas vivas. CATIE. Turrialba Costa Rica. 5 p.
- Farfan, F. 2014. Mantenimiento del componente arbóreo en sistemas agroforestales con café. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Manizales, Caldas, Colombia. Disponible en <avt0440.pdf> (cenicafe.org)
- Fernandez-Hilario, R. 2010. Importancia y ventajas de *Erythrina* sp. en sistemas agroforestales. Revista Xilema. 23(1):54-55. Disponible en <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/xiu/article/view/690>
- Gassner, A; Dobie, P. 2022. Agroforestry: A primer. Design and management principles for people and the environment. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR) and Nairobi: World Agroforestry (ICRAF). Disponible en <https://doi.org/10.5716/cifor-icraf/BK.25114>
- Jiménez, F; Muschler, R; Köpsell, E. 2001. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales (No. 6). CATIE. Turrialba, Costa Rica. 187 p.
- Martín-Alonso, G; Bustamante-González, C; Varela-Nualles, M; Pérez-Díaz, A; Viñals-Núñez, R; Delgado-Álvarez, A; Fundora-Sánchez, L. 2021. Cuantificación de la fijación biológica del nitrógeno en árboles de sombra de dos cafetales de Cuba. Cultivos Tropicales 42(2). Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000200005
- Montagnini, F. 2015. Función de los sistemas agroforestales en la adaptación y mitigación del cambio climático. Sistemas agroforestales funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Editorial CIPAV, Cali, Colombia, 269-297. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/340678837_FUNCION_DE_LOS_SISTEMAS_AGROFORESTALES_EN_LA_ADAPTACION_Y_MITIGACION_DEL_CAMBIO_CLIMATICO
- Montenegro, E. 2005. Efecto del aporte de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional. Disponible en Efecto del aporte de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional (catie.ac.cr)
- Patiño, S; Suarez, L; Andrade-C, H; Segura, M. 2018. Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia. Revista de investigación agraria y ambiental 9(2):121-134. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6512374>
- Proyecto de Manejo Sostenible de Recursos Naturales. 2007. Manual de agroforestería. San Lorenz, Paraguay. 47 p.
- Rojas, J; Caicedo, V; Jaimes, Y. 2017. Biomass decomposition dynamic in agroforestry systems with *Theobroma cacao* L. in Rionegro, Santander Colombia. Agronomía Colombiana 35(2):182-189. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-99652017000200182
- Romero, S. A. 2006. Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* var. Caturra), con tres niveles de manejo. Tesis Ms. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Disponible en <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/434>
- Vasconcelos, J. 2007. Cultivo de fruteiras em sistemas agroflorestais. In I Encontro de Frutas Nativas do Norte e Nordeste do Brasil Embrapa. 2007. São Luis, Brasil.

ANEXO 1

Lista de algunas especies arbóreas leguminosas (árboles de servicio), maderables y frutales aptos para sistemas agroforestales en asocio con piña.

Árboles de servicio*		Árboles maderables		Árboles frutales	
Nombres comunes	Nombres científicos	Nombres comunes	Nombres científicos	Nombres comunes	Nombres científicos
Poró, poró gigante, pito extranjero	<i>Erythrina poeppigiana</i>	Aceituno	<i>Simarouba glauca</i>	Aguacate, Palta	<i>Persea americana</i>
Poró, elequeme	<i>Erythrina fusca</i>	Botarrama	<i>Vochysia ferruginea</i>	Cas	<i>Psidium friedrichsthalianum</i>
Poró, pito, pitón	<i>Erythrina berteroaana</i>	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	Guayaba	<i>Psidium guajava</i>
Guaba, guamo, inga	<i>Inga edulis</i>	Cebo, chanco colorado	<i>Vochysia guatemalensis</i>	Guanábana	<i>Annona muricata</i>
Guaba, guamo, inga	<i>Inga oerstediana</i>	Cedro, cedro amargo, cedro real	<i>Cedrela odorata</i>	Naranjas, mandarinas, limones	<i>Citrus sp</i>
Guaba, cuajinicuil, guamo, inga, paterno	<i>Inga jinicuil</i>	Cenizaro	<i>Samanea saman</i>	Mamón chino	<i>Nephelium lappaceum</i>
Guaba, cuje, guamo, inga, pepeto, shalum	<i>Inga vera</i>	Cortez amarillo, corteza	<i>Tabebuia ochracea</i>	Pejibaye	<i>Bactris gasipaes</i>
Madero negro, madre cacao, madreado, mata ratón.	<i>Gliricidia sepium</i>	Gallinazo, copté, plumajillo, zorra	<i>Schizolobium parahyba</i>	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>

* Aporte de biomasa de calidad por podas y fijación de nitrógeno al suelo



Capítulo 8.

Propuesta de validación en
diseño y manejo de sistemas
agroforestales regenerativos
para *Ananas comosus*



Tomando como referencia la sistematización de documentos técnicos científicos y evaluaciones de campo se ha estructurado varios diseños de sistemas agroforestales para fincas piñeras buscando contribuir con los enfoques de sostenibilidad y agricultura regenerativa con resiliencia climática. En este capítulo, se propone la validación en fincas de diseños de sistemas agroforestales para piña considerando que los modelos deben ser ajustados a cada contexto y propósito antes de ser utilizados de manera más amplia.

FIGURA 20

Principios básicos para la validación de sistemas regenerativos de piña.



Para llevar a cabo la validación de estos sistemas nos basaremos en cuatro principios básicos:

1 Adaptación: los diseños deben estar acordes a las condiciones locales (agroecológicas, económicas, y social) y contar con potencial productivo con resiliencia climática. Entre los aspectos a considerar se encuentran: incidencia de vientos, altas temperaturas, niveles extremos de radiación, lluvias extremas, protección del recurso hídrico entre otros.

2 Equilibrio de funciones: si bien se conoce que la producción piñera ha tenido grandes avances tecnológicos y productivos y de los cuales se deriva su alta rentabilidad, se pretende que las medidas aplicadas no comprometan el alcance obtenido de la cadena productiva, es decir, se genere un

equilibrio entre los aspectos de rentabilidad (eje económico), bienestar del productor y sus asociados (eje social) y ecología del paisaje (eje ambiental).

3 Regeneración: los modelos y prácticas establecidas están claramente orientadas a restaurar el potencial físico, químico y biológico del suelo. Contribuir a la conectividad de biodiversidad de fauna y flora en el ambiente agrícola y en la propiedad. Se debe asegurar que el diseño o las medidas regenerativas que se adopten respondan a una adaptación eficaz y sostenible de la unidad.

4 Impacto: corresponde la verificación de impactos positivos de las medidas y/o prácticas implementadas en la unidad productiva. Dicho impacto debe expresarse en valores medibles de variables productivas, biofísicas (suelo, agua, microclima, biodiversidad, conectividad, plagas/enfermedades, controladores naturales, entre otros), económicas y sociales de interés. Para poder verificar impacto las variables priorizadas para monitoreo deben ser evaluadas a partir de una línea de base antes del establecimiento de los diseños y prácticas regenerativas.

PROCESO DE VALIDACIÓN

Para lograr la implementación efectiva de sistemas regenerativos para Ananas comosus se recomienda seguir los pasos ilustrados en la figura 21.

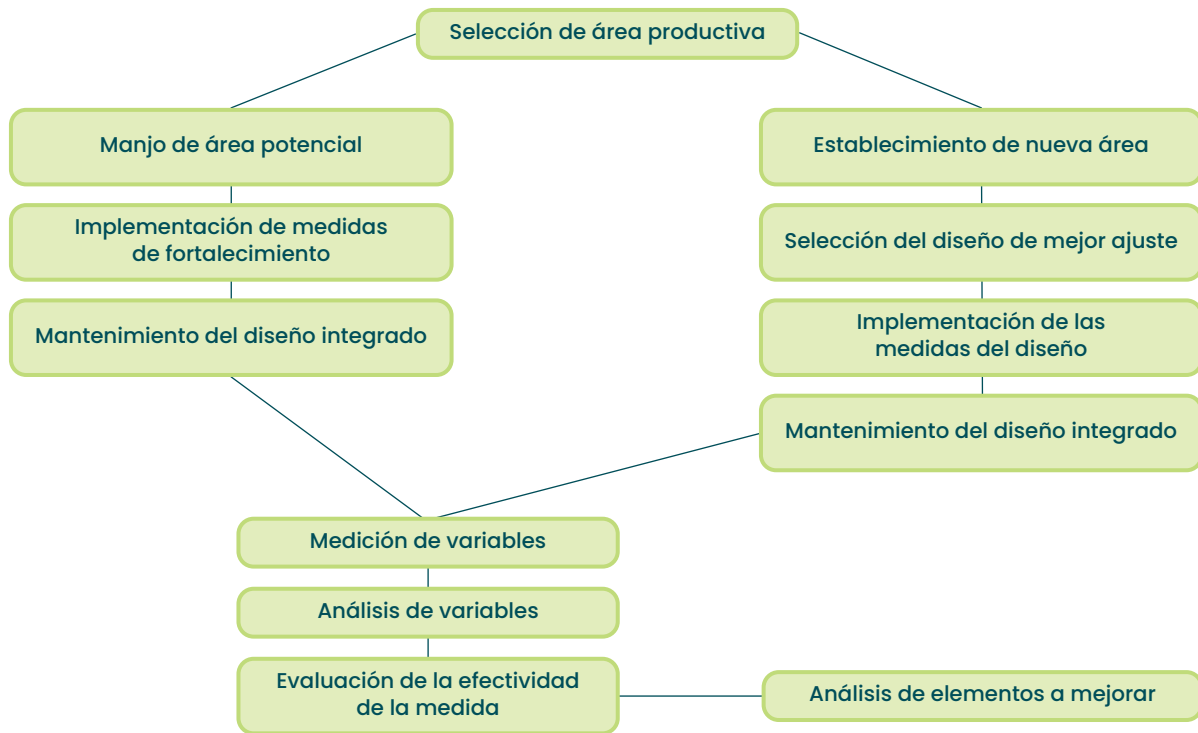
1. SELECCIÓN DE ÁREA

Es importante antes de implementar o seleccionar el diseño regenerativo, evaluar las áreas potenciales para dicha implementación. El objetivo es sacar el máximo provecho de la unidad productiva y poder crear una red de sistemas integrales regenerativos. Para este paso, se recomienda mapear las zonas que ya poseen bases para la creación de sistemas agroforestales:

- Cercas vivas
- Parches de áreas no aptas para el cultivo
- Parches de bosque cercanos a cuerpos de agua
- Las áreas de cultivo que están a plena exposición solar con alta radiación
- Otros espacios con potencial de implementación fuera del cultivo

FIGURA 21

Pasos por seguir para la validación de diseños agroforestales regenerativos para el cultivo de *Ananas comosus*.



Se recomienda la identificación de estas áreas ya sea por Sistemas de Información Geográfica y por medio de mapas físicos legibles, y/o de recorridos en la unidad productiva.

Ahora bien, para crear diseños de sistemas agroforestales asociados al cultivo de piña, se recomienda considerar los siguientes aspectos:

- Mecanización (sistemas de riegos y aplicación de agroquímicos): se debe considerar la maquinaria a utilizar, el tamaño de esta y las zonas por donde pasará dicha maquinaria.
- Tamaño del área de cultivo: se recomienda, de manera inicial, utilizar un área de menor tamaño para la validación, para luego pensar en escalar a un área mayor según los resultados obtenidos. Al inicio probar sistemas más sencillos de diseñar y manejar, para luego con más experiencia ir ampliando los diseños y establecimiento de sistemas más complejos y de mayor potencial regenerativo.
- Los recursos económicos y mano de obra disponible en la unidad productiva.

- Las opciones de ingresos por comercialización de los productos de los sistemas agroforestales. Posibles incentivos, acceso a pago por servicios ambientales y precios diferenciales vinculados a los productos de los sistemas agroforestales regenerativos.

2. SELECCIÓN DE DISEÑO(S) AGROFORESTAL(ES) A IMPLEMENTAR

Con los objetivos productivos y de servicios ambientales acordado para la unidad productiva, bien como con los insumos de la fase anterior, se debe definir el o los diseños agroforestales regenerativos más apropiados y adecuados. Puede ser muy útil cuando, se está iniciando y hay mucho que hacer, priorizar áreas escalonar el esfuerzo de implementación de los sistemas agroforestales.

Con la selección del (as) área(s) y diseño (s) agroforestal(es) definidos se debe planificar y ejecutar el levantamiento de línea de base de las variables que permitirán evaluar los impactos a lo largo del tiempo.

3. IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS

Una vez seleccionado el área y su potencialidad, así como definido el (los) diseño (s) de mejor ajuste a la unidad productiva se elabora y se ejecuta el plan de implementación de sistemas agroforestales regenerativos con su plan de manejo.

4. MANTENIMIENTO DEL DISEÑO

Dependiendo del (los) diseño (s) seleccionado (s) e implementado (s), se debe dar un seguimiento oportuno y eficaz al manejo del (los) sistema (s) establecido (s). Parte del seguimiento incluye:

- Podas de formación de árboles
- Podas para entrada de luz (control dinámico de radiación) a cada ciclo productivo de la piña
- Podas de control de altura, en especial de los árboles de servicio que deben estar a baja altura para facilitar el manejo dinámico de los mismos en el ciclo productivo.
- Abono y fertilización de los árboles forestales, frutales. Cuando los sistemas incluyen mezclas con árboles leguminosos de servicio bajo manejo, se puede prescindir de la fertilización de los maderables y frutales cuando los recursos económicos estén limitados.
- Manejo integrado/holístico de plagas y enfermedades de las especies implementadas (cultivo de la piña, maderables y frutales y/o otros cultivos asociados)

- Otras prácticas agroecológicas regenerativas en especial con apoyo de bio insumos

Los objetivos definidos para la implementación de los sistemas agroforestales regenerativos deben ser tomados en cuenta en todo momento del manejo y debe ser de conocimiento de los colaboradores involucrados en las labores de la finca.

5. MEDICIÓN DE VARIABLES DE MONITOREO DE LOS SISTEMAS

La efectividad de nuestros diseños agroforestales regenerativos depende de avances en diferentes aspectos, en este sentido la medición de variables de verificación de la evolución productiva/regenerativas es una labor importante. Para ello, recomendamos tomar en cuenta mínimamente las siguientes variables:

a. Productividad de piña y productos asociados

Para esta variable se recomienda seguir el protocolo de "Modelo de valoración de la gestión productiva de la piña" propuesto por Bonilla, 2011. La figura 22 muestra la estructura de este modelo de valoración.

b. Costos e ingresos de piña y productos asociados

Para apoyar la toma de decisión y orientar el establecimiento de los diferentes modelos agroforestales de interés es muy importante en la fase de validación de sistemas seleccionados generar

FIGURA 22

Modelo de valoración de la gestión productiva de la piña. (Fuente: Bonilla, 2011).



datos de cultivos y árboles de manera integrada. A título de ejemplo y referencia, en Costa Rica la siembra de árboles en barreras rompevientos puede tener un costo de 22,15 dólares/ha, mientras que la siembra de árboles asociados en sistemas agroforestales puede costar aproximadamente 210,65 dólares/ha. Por su parte, podas anuales de árboles de servicio tendría un valor de 32,3 dólares/ha. Lo anterior a partir información elaborada con datos de costos de años 2020-2021 del ICAFE.

c. Fertilidad de suelos (análisis químico completo: pH, Acidez, Ca, Mg, K, P, Cu, Zn, Mn, Fe, N y Carbono)

d. Microbiología de suelo (Al menos bacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias solubilizantes

de fósforo, bacterias totales y recuento de hongos específicos como trichoderma y metarhizium, entre otros)

e. Macrofauna benéfica del suelo (en especial lombrices)

f. Plagas/ enfermedades e la piña

g. Biodiversidad de flora y fauna

h. Ciclaje de nutrientes árboles de servicio y cultivos de mejoradores de suelo

i. Cobertura de sombra de los árboles asociados adecuada para producción y productividad de la piña

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

11 Regenerative agriculture – the soil is the base - ScienceDirect

Bonilla, F. L. (2011). Modelo de valoración de la gestión productiva de la piña, para su certificación. Revista Nacional de Administración, 2(2), 129-144.

Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. 1991. Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Costa Rica. 560 p.

