

## ESTABLECIMIENTO DE SISTEMAS AGROFORESTALES DENTRO DE LOS MODELOS DE FINCAS INTEGRALES

M.Sc. William Gómez Solís<sup>1</sup>  
M.Sc. Adolfo Salinas Acosta<sup>2</sup>

- 
- 1 Ingeniero en Ciencias Forestales por la Universidad Nacional de Costa Rica. Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de producción en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Licenciado en Manejo Forestal. Actualmente, labora en el Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible del Trópico Seco (CEMEDE), Universidad Nacional, Sede Regional Chorotega. [william.gomez.solis@una.cr](mailto:william.gomez.solis@una.cr)
  - 2 Ingeniero Agrícola por el Instituto Tecnológico de Costa Rica, I.T.C.R., Cartago. (2000). Máster en Desarrollo Integrado de Regiones Bajo Riego por la Universidad de Costa Rica, U.C.R (2007). Licenciado en Ciencias de la Educación con Énfasis en Docencia, Universidad de San José, Nicoya, Guanacaste (2017). Actualmente es profesor en la carrera de Ingeniería Hidrológica en la Universidad Nacional de Costa Rica, Sede Liberia, Guanacaste. [adolfo.salinas.acosta@una.cr](mailto:adolfo.salinas.acosta@una.cr)



## Resumen

El Pacífico Norte costarricense presenta condiciones climáticas muy particulares, en las que la estacionalidad de la época lluviosa y la seca están muy bien marcadas, además, esta región se ve seriamente afectada por los efectos negativos de las condiciones de sequía y los posibles efectos adversos que se pueden presentar por el cambio climático. El Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible del Trópico Seco (CEMEDE), de la Universidad Nacional de Costa Rica, ha implementado una serie de medidas en busca de mejoras en las condiciones de vida de los pobladores de la región, por medio de la implementación de sistemas y tecnologías sostenibles que apoyen los modelos productivos y al ambiente, por medio de la reducción de vertidos, la reutilización de los recursos y la adaptación a las condiciones de sequía y la poca disponibilidad de agua que podría presentar esta región. Por eso, se muestra la importancia que tiene llevar a cabo sistemas agroforestales dentro de los modelos de fincas integrales, como un mecanismo capaz de aumentar la eficiencia en el uso de los terrenos y una opción viable y, sostenible, para la adaptación y la mitigación de los efectos del Cambio Climático.

**Palabras clave:** Sistemas agroforestales, tecnologías verdes, sostenibilidad, producción, fincas.

## Abstract

The Costa Rican North Pacific has very particular climatic conditions in which the seasonality of the rainy season and the dry season are very well marked, in addition, this region is seriously affected by the negative effects of drought conditions and the possible adverse effects that may occur. They can present for climate change. The Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible del Trópico Seco (CEMEDE) of the Universidad Nacional of Costa Rica has implemented a series of measures in search of improvements in living conditions of the inhabitants of the region, through the implementation of sustainable systems and technologies that support the productive models and the environment, through the reduction of spills, the reuse of resources and the adaptation to drought conditions and poor water availability that this region could present. Therefore, it shows the importance of the implementation of agroforestry systems within the models of integral farms as a mechanism capable of increasing the efficiency in the use of the land and a viable, sustainable option for the adaptation and mitigation of the effects of Climate Change.

**Key words:** Agroforestry systems, green technologies, sustainability, production, farms

## 1. Introducción

Durante las últimas tres décadas, los cambios atmosféricos han dejado una huella indeleble en la naturaleza y el medio ambiente, sin embargo, uno de los sectores más afectados han sido los sistemas agroforestales. Véase que, por eventos hidrometeorológicos para el período 1996-2001, se estimó una pérdida en cultivos promedio anual de 1,1% del PIB agrícola. En este particular, el istmo centroamericano no ha sido una excepción, ya que, de acuerdo con Ordaz y colaboradores (2010):

Centroamérica es altamente vulnerable a los fenómenos climáticos y meteorológicos dadas su extensión y ubicación geográfica. Sobre esta región los efectos del cambio climático han sido visibles, las sequías y los huracanes que se han presentado han traído importantes costos económicos y sociales. A nivel científico, se ha determinado que el cambio climático tendrá importantes consecuencias en el bienestar humano y el desarrollo de las actividades económicas. Los efectos del calentamiento global se han reflejado en mayores inundaciones, sequías, huracanes, entre otros fenómenos. ( p. 5)

Ciertamente, el Pacífico Norte de Costa Rica se caracteriza por poseer una época seca y una lluviosa bien definidas, sin embargo, en los últimos años, debido al cambio climático, el periodo de lluvia en todo el país (principalmente en esta región) ha ido en detrimento, esto ha causado estragos en el sector agropecuario, dada la limitada disponibilidad de agua e incluso en algunos cantones, el acceso del agua potable comienza a presentar problemas. Por ello, para mitigar o disminuir el efecto que el cambio climático provoque en la región, diferentes instituciones han implementado diversos programas a fin de garantizar la continua producción agropecuaria, así como la seguridad alimentaria.

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) incorporó en la *Política de Estado para el Sector Agroalimentario y el Desarrollo Rural Costarricense 2010-2021*, un pilar de trabajo denominado *Gestión de Territorios Rurales y Agricultura Familiar*, del que se deriva el Plan sectorial de agricultura familiar 2011-2014. En este proyecto, se definió un eje transversal de cambio climático dirigido al fomento de los sistemas alternativos de producción, tales como la agricultura orgánica, el manejo integrado de cultivos, los sistemas silvopastoriles y la producción sostenible (IICA, 2017).

En el marco del cambio climático, concretamente en Costa Rica, la temperatura aumentará más en las provincias de Guanacaste, Alajuela y Puntarenas, mientras que en el resto del país se esperan cambios menores (IMN, 2012). Este incremento de la temperatura media anual estará acompañado de cambios en las lluvias (Bouroncle, 2015), por lo tanto, se prevé que a futuro los impactos en las zonas rurales más importantes ocurrirán a corto plazo y, posteriormente, en relación con la disponibilidad y el suministro de agua, la seguridad alimentaria y los ingresos agrícolas, sufrirán cambios, especialmente, en las zonas de producción de cultivos alimentarios y no alimentarios en todo el mundo (IPCC, 2014). De modo que, la adaptación al cambio climático es un gran reto, y también, una buena oportunidad, para sumar los conocimientos tradicionales y científicos de los agentes involucrados

comprometidos, en encontrar un modelo productivo, capaz de satisfacer las necesidades de mercado sin comprometer la salud de los ecosistemas.

Debido a la degradación de los recursos naturales, como el suelo, el agua y la biodiversidad, muchos terrenos y los mismos productores han perdido la capacidad de adaptarse a las condiciones ambientales y económicas actuales. Por ende, conviene realizar nuevos enfoques en el manejo de las fincas, donde se protejan los recursos naturales y los ecosistemas y se rescaten prácticas que favorezcan la producción agrícola, como pueden ser la polinización, la supresión de plagas, la fijación de carbono, la regulación de los ciclos de nutrientes y el recurso del agua. Ante esta realidad, el manejo integrado de fincas pecuarias es una forma de producción sostenible que contempla el uso de tecnologías alternativas limpias, sencillas y de bajo costo; ya que, este proceso siempre trata de cerrar e internalizar ciclos y flujos de nutrientes, además permite mantener un sistema de producción dinámico, donde los excedentes vuelven al sistema en forma de ingresos económicos para el sujeto productor y su familia.

## 2. Marco conceptual

A continuación, se presentan conceptos relacionados con los elementos integradores de la temática desarrollada.

### **a. Cambio climático:**

Es una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o, incluso, más). El cambio climático, se debe a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien, a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras. Se debe tener en cuenta que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), en su Artículo 1, define *cambio climático* como <sup>3</sup> : “Un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”(Naciones Unidas, 1992,p.3). Un dato importante es que de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014), la CMCC distingue entre el cambio climático atribuido a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y, la variabilidad climática atribuida a causas naturales.

En este particular, las proyecciones en lo referente al cambio climático, durante el siglo XXI, indican que se reducirán los recursos renovables de aguas superficiales y aguas subterráneas de forma sustancial en la mayoría de las regiones secas subtropicales. En las regiones secas actuales, es probable que la frecuencia de las sequías aumente al final del siglo XXI (IPCC, 2014). Las proyecciones apuntan a que el cambio climático hará que disminuya la calidad del

---

3 Véase el texto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio (CMCC) en su Artículo 1. Página 2-5 19-09-18 04:05 p. m. Sistema de Información Académica Formulación de Proyecto Académico Climático (CMCC). Así mismo, el tratado de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio (1992, p.3). Recuperado de: <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2009/6907.pdf>

agua bruta y, generará riesgos para la calidad del agua potable, incluso con el tratamiento convencional, debido a los factores que interactúan: aumento de la temperatura; incremento de las cargas de sedimentos, nutrientes y contaminantes debido a las fuertes lluvias; mayor concentración de contaminantes durante las sequías; e interrupción del funcionamiento de las instalaciones de tratamiento durante las crecidas.

### **b. Uso del agua:**

Costa Rica posee una abundante oferta hídrica, de cerca de 24.784 m<sup>3</sup> por persona al año; más de tres veces el promedio mundial (7.000 m<sup>3</sup>) y las extracciones anuales totales para los distintos sectores se estiman en 24,5 km<sup>3</sup>. Las extracciones de agua para generación hidroeléctrica representaban el 80% del total, seguido por la agricultura, con un 16 %. El uso para consumo humano, turismo, industria y agroindustria representaban menos del 4 % de la extracción total, mientras que el uso de agua para generación térmica y usos comerciales es prácticamente nulo. (MINAE *et al.*, 2013)

Entre los usos consuntivos el riego agrícola es el mayor usuario con un 66% de las extracciones, equivalente a cerca de 3.2 km<sup>3</sup>, seguido por el uso agropecuario (18%) y el uso de agua para consumo humano (9%). El uso agrícola representa el mayor porcentaje de las extracciones de agua a nivel nacional y, al mismo tiempo, más del 83% del riego se aplica por gravedad, lo que supone entonces un importante margen para hacer más eficiente el uso del recurso (MINAE *et al.*, 2013).

### **c. Cosecha de agua de lluvia:**

El agua es un recurso indispensable para todos los seres vivos. Para los humanos, es necesaria como fuente de vida y como medio para las actividades domésticas, industriales, la generación de energía, las actividades agrícolas, pecuarias, acuícolas, medicinales, recreativas y turísticas, entre otras. Ciertamente, producir fuentes que generen agua es un término poco familiar por tratarse de un recurso que, hasta hace poco tiempo, era de fácil acceso, pero su escasez como problema global obliga a comprender que corre el riesgo de inminente agotamiento. Producir agua debe entenderse como las acciones encaminadas a proteger y recuperar las áreas vitales para su existencia, como son las zonas de filtración, de áreas de recarga acuífera, las nacientes, los ríos y las quebradas. (Salinas, 2010)

La cosecha de agua de lluvia es definida como la recolección y concentración de agua de escorrentía, para usos productivos de cultivos, pastos, árboles frutales y maderables, animales, acuicultura, recarga acuífera, belleza escénica y para usos domésticos. Para fines agrícolas, se define como un método para inducir, recolectar, almacenar y conservar el agua de escorrentía. Esta es una práctica muy artesanal y aún forma parte de muchos sistemas productivos en todo el mundo (Ibraimo y Munguambe, 2007). Ahora, de acuerdo con la disposición de la Comisión de Calidad Ambiental de Texas (por sus siglas en inglés TCEQ, *Texas Commission on Environmental Quality*) la cosecha de agua se define como la práctica de recolectar el agua, producto de la lluvia, antes de que tenga la oportunidad de trasladarse a los ríos o las quebradas o de infiltrarse en el suelo y convertirse en agua subterránea. (TCEQ, 2007)

#### **d. Aguas residuales:**

El tratamiento de las aguas residuales en Costa Rica es un tema sin resolver tanto en el ámbito normativo, como en su práctica y en su supervisión. La falta de tratamiento de las aguas residuales, sigue siendo el reto más importante, para administrar el riesgo de contaminación de los cuerpos de agua, por lo que urge posicionar el tema como un problema medular de la salud pública y el ambiente. En este particular, el informe de la Contraloría General de la República (2013) estimó que: “sólo el 5% del total aproximado de 6,279 litros por segundo de aguas residuales ordinarias que se vierten en los cuerpos receptores del país, recibe algún tipo de tratamiento previo” (p.5). Entre otros aspectos, dicho informe también señala que:

- En el país, el 19,8 % de la población dispone sus aguas residuales en el alcantarillado sanitario; y de esta población apenas el 15.19 % cuenta con tratamiento (p. 6).
- Se determinó que los cuerpos de agua están altamente presionados a causa de las diferentes fuentes de contaminación. Solamente el 5 % del total de vertidos domésticos a cuerpos de agua recibe tratamiento previo, debido a insuficientes sistemas de tratamiento por parte del AyA, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia y las municipalidades (i).
- Riesgo de contaminación por uso generalizado de tanques sépticos. En el país, aproximadamente, el 75,5 % de la población utiliza tanque séptico, según datos del INEC. Estimaciones realizadas por la Contraloría General, el Ministerio de Salud y el AyA, revelan que, aproximadamente, el 65 % de esa población dispone sus excretas (aguas negras) en el tanque séptico y el resto de las aguas residuales (ducha, cocina o lavamanos) están conectadas al alcantarillado pluvial, vertiéndose sin tratamiento alguno en ríos y otros cuerpos de agua (p.11).
- Se encontró que las áreas de protección de los ríos Tempisque, Tárcoles, Térraba y Reventazón, seleccionados por su representatividad para el país, cuentan con cobertura forestal únicamente en un 54%. Asimismo, en el caso de 92 nacientes permanentes utilizadas para consumo humano, la cobertura forestal es del 59%. En ambos casos lo que corresponde es el 100% de cobertura forestal, conforme a las regulaciones del país (i). (Contraloría General de la República, 2013)

En la provincia de Guanacaste, solamente se cuenta con cuatro plantas de tratamiento que son administradas por el AyA ubicadas en Liberia, Cañas, Nicoya, y Santa Cruz, y solamente abarca una parte del área urbana de la cabecera del distrito primero de cada cantón. Todas estas plantas fueron construidas en 1974 bajo el tipo de laguna facultativa. En la actualidad, solamente, la laguna de Santa Cruz cuenta con disponibilidad para recibir nuevos proyectos urbanísticos (Zúñiga, 2015). El uso más frecuente de tratamiento de aguas residuales aplicado en Guanacaste es el de fosa séptica que de acuerdo con el censo 2011 en toda la provincia el 91,7 % del total de 92.584 viviendas cuenta con servicio sanitario conectado a un alcantarillado sanitario o a un tanque séptico.

### ***e. Biodigestores:***

Son estructuras cerradas herméticamente, por donde pasan los desechos orgánicos para la generación de biogás por medio de la fermentación. Este sistema en instalaciones ganaderas permite la descontaminación de un 80 % de las excretas y aguas residuales de los animales (Botero y Preston, 1987). Además, el efluente líquido excedente del proceso de fermentación en el biodigestor, puede ser utilizado para la fertilización de pasturas y forrajes de corte.

### ***f. Fincas Integrales:***

Forma de producción sostenible que contempla el uso de tecnologías alternativas limpias, sencillas y de bajo costo; siempre trata de cerrar e internalizar ciclos y flujos de nutrientes y permite mantener un sistema de producción dinámico, donde los excedentes vuelven al sistema en forma de ingresos económicos para el sujeto productor y su familia. Trabaja con base en el aprovechamiento de los recursos naturales y el balance de las funciones del agroecosistema, introduciendo prácticas ambientalmente coherentes y más saludables para las familias productoras, así como para la comunidad. La finca integral combina la conservación del suelo y de la biodiversidad, el ciclaje de los nutrientes y la regulación de plagas, la producción de alimentos y el tratamiento de desechos en esferas que interactúan y hasta cierto punto, se superponen, reconociendo que la producción agropecuaria integral está incorporada al paisaje y, como este, tiene múltiples funciones diversas y complejas (Navarro, 2014).

Dentro de las principales alternativas con las que se cuenta para el manejo de fincas integradas pecuarias, conviene mencionar la cosecha y el almacenamiento de agua de lluvia en reservorios, biodigestores para el manejo de excretas y aguas residuales, bancos forrajeros y ensilajes para la suplementación animal en épocas críticas, silvopasturas para la reducción del estrés calórico de los animales y abonos orgánicos para la fertilización de pasturas. Dichas tecnologías alternativas ecoeficientes contribuyen, en gran medida, a reducir la presión de la ganadería sobre los humedales, al contar los sectores ganaderos con las fuentes de alimentación e hidratación para sus animales dentro de sus propias fincas. (Botero y Preston, 1987)

### ***g. Sistemas agroforestales (SAF):***

Son actividades que implican la combinación de especies forestales, en tiempo y espacio, con especies agronómicas y pastos para producción animal, en procura de la sostenibilidad del sistema. Estos modelos producen madera, son rentables, diversifican la producción de las fincas y prestan servicios ambientales que colaboran con la reducción del cambio climático. Al establecer un SAF, se deben aplicar técnicas de manejo de uso del suelo, combinando árboles de uso múltiple y maderables con cultivos agrícolas perennes y producción animal en el mismo sistema, lo cual se logra mediante el uso de un “arreglo” o una secuencia temporal de cultivo, según las prioridades del productor.

### 3. Metodología

Diferentes instituciones concuerdan con la necesidad de promover un manejo más técnico de los sistemas de producción agrícola que considere los pronósticos climáticos, para la toma de decisiones relacionadas con la siembra y, el posterior manejo de los cultivos. Esto tiene como propósito, mejorar el sistema de seguros de cosechas y las posibilidades de financiamiento, para implementar nuevas tecnologías y utilización de variedades mejoradas a las nuevas condiciones climáticas. (MINAET, 2009). Por ejemplo:

Un ejemplo de lo que se puede realizar con estos sistemas, se observó mediante una experiencia desarrollada en dos cantones de Guanacaste. En el lugar, se instalaron cuatro reservorios que cumplieron dos funciones básicas; entre los meses de julio a diciembre, con época lluviosa, el agua cosechada permitió desarrollar la producción de Tilapia, y, en los meses entre diciembre y abril, el agua almacenada fue utilizada para riego por medio de la gravedad, utilizando riego por goteo y microaspersión para la producción de hortalizas y algunos granos básicos. (Programa de Regionalización Interuniversitaria, Informe final 2011). Cada estructura tiene entrada de agua de soporte, abastecida por ojos de agua cercanos para evitar que en la época seca queden totalmente sin ella. En algunos casos cuentan con una capa vegetativa en el talud que genera soporte y proporciona amarre al dique.

El tamaño de los reservorios varía desde los 250 m<sup>2</sup> hasta los 500 m<sup>2</sup>, alcanzando una capacidad de almacenamiento entre los 600 y 1000m<sup>3</sup>, de manera que se estima una vida útil de 25 años por el uso de la geomembrana y el geotextil. Los usos oscilan, desde el abastecimiento de abrevaderos de agua para ganado hasta la producción de tilapias, con la capacidad para producir entre 2000 y 3500 peces durante el ciclo productivo. (Programa de Regionalización Interuniversitaria, 2011). En este caso, el talud se ha sembrado con pasto de corta, como estrategia de protección; este tipo de forraje, se utiliza como alimento para cerdos y ganado vacuno. En el caso de los reservorios que son utilizados en riego de cultivos, se implementan sistemas por goteo, principalmente para el riego de hortalizas como: apio, culantro, lechugas (cinco variedades), repollo, perejil, arúgula, zanahoria, chile, tomate y eneldo.

Los mismos productores reconocen la necesidad de incorporar sistemas de almacenamiento de agua, para ayudarse en la estación seca. La experiencia obtenida, en este proyecto, demuestra que la incorporación de tecnologías para cosechar agua de lluvia, lleva a un cambio de actitud por parte de los involucrados con respecto al uso eficiente del agua, además, ha sido una manera de mantener una producción diversificada y constante, elemento que, por las condiciones climáticas, en la época seca, afecta seriamente la producción agrícola en la región Chorotega. Lo mismo ocurre con la utilización de Biodigestores y Biojardineras, ya que, cada experiencia ofrece una gran variedad en las prácticas de manejo en la finca en donde se incorporan; de ahí que, aprovechar el componente de tratamiento de aguas residuales para ser reutilizadas, ya sea, en riego o en fertilización de cultivos, evidencian que estas tecnologías, dentro de los proyectos ejecutados por el CEMEDE, han demostrado que son efectivas y funcionales en sus respectivos sitios y, a pesar de involucrar mantenimiento constante, presentan opciones viables para el tratamiento de aguas residuales.

Merece mencionar que la deforestación alcanzó su valor máximo en Costa Rica en la década de 1980 y, desde entonces, se ha revertido, con un aumento de la superficie forestal que abarca desde el mínimo alcanzado en el año 2000, hasta llegar aproximadamente al 54% de la superficie del país en el 2015. La implementación de cultivos de productos básicos, para la exportación constituyó un importante factor de la deforestación, pero esta presión se ha reducido, dado los cambios estructurales realizados en la economía y la prioridad otorgada a la conservación y a la gestión sostenible de los bosques. La reducción del número de cabezas de ganado también provocó el abandono de algunas tierras y la consiguiente regeneración de bosques secundarios; y, aunque la superficie de bosques secundarios está aumentando, la tala ilegal con fines agrícolas continúa. Además, algunos agricultores evitan la regeneración del bosque porque no desean perder la oportunidad de utilizar la tierra para la agricultura (la ley forestal prohíbe el cambio del bosque natural a otros usos de la tierra, excepto en circunstancias especiales). (Stark *et al.*, 2016)

En virtud de lo anterior, las instituciones relacionadas con el ambiente y la producción agrícola y pecuaria, implementaron una estrategia que consiste en poner en funcionamiento sistemas agroforestales, dentro de los modelos, esto tiene como propósito sustituir los sistemas productivos tradicionales por modelos adaptativos de fincas. Evidentemente, en Costa Rica se han realizado diversos esfuerzos para reducir la deforestación, manejar y conservar los bosques, reforestar y establecer sistemas agroforestales (SAF) (ONF, 2013). Estas acciones han posicionado al país como una de las regiones latinoamericanas, que ha recuperado su cobertura forestal de manera satisfactoria. Estos esfuerzos han logrado promover el desarrollo sostenible y equitativo en las zonas rurales, a fin de contribuir con las políticas planteadas por el gobierno respecto al Cambio Climático y al Carbono Neutralidad.

De esta manera, pequeños y medianos productores han cumplido un papel fundamental en este logro nacional, pues las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales son actividades que producen madera, son rentables, diversifican la producción en las fincas y prestan servicios ambientales que colaboran en la reducción del cambio climático. Asimismo, protegen la biodiversidad, el agua y generan belleza escénica, sin embargo, también se deben considerar los factores externos como el clima, la temperatura, los suelos y la topografía. La principal categorización de los Sistemas agroforestales (SAF) son:

- a. El sistema agrosilvicultural: es un sistema con el que se combinan árboles con cultivos agrícolas en el mismo sitio. Es posible asociar cultivos agrícolas, en forma de callejones, entre las hileras de los árboles o estableciéndolos en la colindancia de los bloques de producción de árboles maderables.
- b. El sistema agrosilvopastoril: es un sistema con el que se combinan árboles con cultivos agrícolas y pastos para producción animal, de forma simultánea o secuencial. Se puede combinar con el uso de cortinas rompevientos, árboles en hileras o cercas vivas.
- c. El sistema silvopastoril: es un sistema con el que se integran pastos para ganado en una misma unidad de tierra, en asociación con árboles para leña, madera, frutos y forraje. El sistema es una producción combinada que busca proporcionar un mayor beneficio al productor. Se emplean prácticas de conservación de suelos, al rotar el ganado. (Los animales a la sombra, rinden mejor).

Ahora bien, existen diferentes opciones dentro de las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales, los cuales se pueden implementar de acuerdo con los objetivos del productor. Entre estas se encuentran:

- La plantación en bloque: pretende desarrollar plantaciones forestales en bloques o segmentos de la finca para la producción de madera de alto valor comercial, utilizando especies de rápido y mediano crecimiento.
- La plantación en hileras con cultivos: esta práctica optimiza el uso del suelo dentro de la finca, ya que se establecen plantaciones forestales en hileras en asociación con cultivos agrícolas y con la cual ingresan los ingresos económicos del productor. Esta combinación se realiza con especies forestales de rápido y mediano crecimiento con cultivos estacionales o anuales que generan ingresos constantemente, mientras se desarrollan los árboles para su posterior aprovechamiento.
- Los sistemas silvopastoriles en hileras: consiste en establecer hileras de árboles en los linderos o cercas, empleando especies de rápido crecimiento, asociada a ganadería de doble propósito para la producción de madera, leche y carne. Esta práctica mejora las condiciones del ganado, pues al aumentar la productividad por medio de la sombra proporcionada por los árboles, se propicia la captura de carbono.
- El sistema silvopastoril en franjas: esta práctica establece franjas de especies forestales de mediano y rápido crecimiento dentro de las áreas para pastoreo o que se pueden distribuir, generalmente, entre un 20% de área para la silvicultura y un 80% para la ganadería.

Entre los beneficios que se han reportado a partir de la implementación de los Sistemas agroforestales (SAF), se destacan los siguientes:

- Aprovechamiento óptimo del espacio físico.
- Aumento de los niveles de materia orgánica del suelo.
- Captura de dióxido de carbono.
- Conservación de la biodiversidad.
- Conservación del agua.
- Control de malezas.
- Mejoramiento del microclima.
- Protección de los suelos contra la erosión y la degradación.
- Reciclaje de nutrientes.
- Diversificación de la producción.
- Sostenibilidad de los componentes agrícolas y forestales.
- Producción de madera.
- Promoción de una mayor estabilidad socioeconómica.

Para el establecimiento del sistema agroforestal, la selección de los componentes según los diferentes objetivos y sitios debe ser considerada por el productor, dado que la persona determinará la disponibilidad de espacio con la que cuenta, según sus expectativas financieras. Determinar cuál sistema agroforestal establecer dependerá de los objetivos del productor, las características del sitio (suelo, clima, etcétera), las condiciones socioeconómicas (disponibilidad de mano de obra, cantidad de terreno efectivo), las características de las especies involucradas (árboles y cultivos) y del manejo de los componentes. Del mismo modo, el sistema agroforestal está relacionado directamente con los productos que se espera conseguir (ONF, 2013).

En la práctica, existe gran diversidad de sistemas que han sido desarrollados en respuesta a las condiciones particulares de cada sitio. Por lo tanto, no existe un procedimiento específico, lo recomendable es conocer las condiciones particulares de la finca y, luego, adaptar los sistemas de interés según las condiciones propias del área como la luminosidad, la velocidad y la dirección de los vientos, la temperatura y la precipitación. En este caso, la Oficina Nacional Forestal (2013) propone los siguientes criterios, para la selección de cultivos asociados con árboles maderables. De acuerdo con esta entidad, se debe escoger, principalmente, aquellos cultivos que sean compatibles con las especies maderables por elegir y que, cumplan con las siguientes características:

- No brindar sombra densa antes de que los árboles estén bien establecidos.
- No incluir especies trepadoras durante los primeros años de crecimiento de los árboles.
- No deben competir fuertemente por nutrientes y agua con los árboles recién plantados. (Debe tomarse en cuenta cuando se asocian con pastos, especialmente si estos son mejorados).
- No deben agotar los nutrientes del suelo hasta un nivel que pudiese afectar la calidad del sitio; en este caso se deben aplicar fertilizantes para reemplazar los nutrientes perdidos. (Debe tomarse en cuenta cuando se asocian con cultivos de plátano y caña).
- Cultivos de raíces y tubérculos, que tienen una gran extensión horizontal de sus raíces (por ejemplo, la yuca), se deben plantar lejos del árbol para evitar daños a sus raíces en el momento de cosechar el cultivo agrícola.
- No deben causar daños físicos a los árboles recién plantados. (Debe considerarse la caída del plátano y otras especies agrícolas).
- En sistemas agroforestales permanentes, los cultivos deben ser tolerantes a la sombra o, aún mejor, necesitar algo de ella; por ejemplo, el cultivo de cacao y café.
- Deben tener potencial económico con mercados locales e internacionales.
- Debe existir experiencia con el cultivo de la(s) especie(s) en la zona.

Para la selección de las especies forestales por utilizar, se debe tener presente que esta requiere de ciertos factores climáticos, fisiográficos y de suelo, los cuales se deben conocer de antemano, para elegir aquella(s) que se adapten mejor al sitio disponible. En el caso de

sistemas silvopastoriles en hileras, se recomienda la utilización de especies forestales de rápido crecimiento y alto valor en el mercado, como la Teca o la Melina, que entre los 8 o 16 años se puede obtener aprovechamiento de estas maderas con buenas rentabilidades, dependiendo del material genético. En el caso de sistemas silvopastoriles en franjas, se recomiendan especies de valor comercial, pero, principalmente, de rápido crecimiento, como teca, melina, jaúl, indio desnudo o poró, entre otras.

También, se recomienda emplear especies de copa pequeña o poco densa para minimizar la competencia por luz con los cultivos asociados; así, al cortar los árboles, el trabajo es menos costoso y habrá menor riesgo de dañar los cultivos. Además, las especies con hojas pequeñas reducen la erosión por golpeteo de gotas de lluvia al suelo y daños al cultivo (ONF, 2013). En el caso de árboles deciduos (aquellos que pierden sus hojas en época seca), asociados a café o cacao en zonas secas, es deseable que, generen rápidamente nuevas hojas para restablecer las condiciones originales de sombra al cultivo asociado (ONF, 2013).

## 4. Prácticas agrícolas

Ciertamente, para garantizar que se desarrollen las plantaciones de manera satisfactoria, se deben aplicar una serie de técnicas y actividades para mejorar el proceso de producción, mediante una serie de lineamientos, tales como:

- a. Fertilidad del suelo: se recomienda realizar el establecimiento de los árboles en buenos suelos o en sistemas agroforestales con cultivos de manejo intensivo, donde hay mayor probabilidad de conseguir resultados satisfactorios en menor tiempo. Es aconsejable que el profesional forestal realice un análisis de laboratorio, para conocer mejor las características químicas y físicas del suelo (fertilidad, contenidos de arcillas, grado de acidez, aluminio, hierro, etcétera) que puedan afectar el desarrollo de los árboles. En el caso de especies de alto valor comercial, se recomienda una fertilización el día del trasplante del árbol en el terreno o en los días próximos, especialmente a inicios de la época lluviosa. Se debe realizar una correcta fertilización, según las características del sitio y el requerimiento nutricional de la(s) especie(s). Además, cuando sea necesario, se debe realizar un manejo de la acidez y del encalado del suelo.
- b. Limpieza del terreno: la eliminación de la maleza se realiza para facilitar el establecimiento de los árboles, asegurar su crecimiento y disminuir la competencia. Puede hacerse de forma manual, química, mecanizada o combinada, dependiendo de los recursos disponibles y de las condiciones del terreno (topografía, suelo y vegetación existente, entre otros).
- c. Espaciamiento entre árboles: la distancia entre los árboles influye directamente en su crecimiento. El espaciamiento dependerá del sistema agroforestal escogido, a partir de la arquitectura de los árboles, así como de la interacción de sus componentes. En los SAF, generalmente se planta una cantidad inicial de árboles lo más cercana a la densidad final deseada; caso contrario a las plantaciones maderables, donde al inicio se establece mayor número de árboles,

con la intención de hacer una selección de los mejores, mediante la aplicación de raleos sanitarios y comerciales. Por lo tanto, en los SAF se necesita lograr un alto porcentaje de supervivencia y un crecimiento inicial rápido; en el caso de los maderables, una buena forma del fuste para todos los árboles plantados. El espaciamiento inicial de los árboles depende fundamentalmente de los objetivos del SAF, el hábito de crecimiento de la especie, la calidad del sitio y el manejo. Para bloques forestales, se recomiendan densidades altas que garanticen la sobrevivencia de la mayor cantidad de individuos, y, que estos, no se interrumpen el crecimiento entre ellos, por lo que una de las densidades de siembra más utilizada es la de 3x3 metros o de 4x4 m dependiendo de las especies utilizadas. En el caso de sistemas de siembra por hileras, es posible establecer distanciamientos de 1,20 m x 1 m ó 12x0,50 metros según la cantidad de hileras y el cultivo por plantar al lado de la hilera. En el caso de especies como la teca o la melina, se deben respetar los distanciamientos de 3x3 m o 4x4 metros. En la siembra entre hileras silvopastoriles, los árboles deben estar distanciados uno de otro por 3 ó 4 metros para garantizar el óptimo desarrollo de la copa o, en sistemas como el tresbolillo y la pata de gallo, se pueden usar distancias de 3x3 m y de 2,5x4 m.

- d. Rodajea: tiene como finalidad evitar la competencia con malezas, pastos y arbustos durante las primeras semanas y asegurar un crecimiento más rápido de los árboles. Esta práctica consiste en eliminar la maleza y los pastos a nivel del suelo, en al menos 50 centímetros alrededor del lugar donde será plantado el árbol. También, se puede realizar una limpieza total de las líneas de plantado. Esta actividad debe efectuarse periódicamente, hasta que la altura del árbol sea suficiente para librar la competencia, especialmente por luz.
- e. Siembra: una siembra adecuada es clave para el éxito de la plantación; por lo tanto, es importante capacitar a las personas que llevarán a cabo esta labor. En este caso, se recomienda plantar al inicio de la época lluviosa, para que los árboles puedan desarrollar bien sus raíces al llegar a la época seca.
- f. Resiembra: en algunos SAF, donde se emplean árboles en cortinas rompevientos, el replantar es mucho más importante que en plantaciones puras. Es fundamental lograr una alta supervivencia de todos los árboles durante el primer año, dado que espacios vacíos en la línea implicarán zonas de turbulencia, sujeción a vuelcos, y baja efectividad de la cortina. Las replantaciones deben hacerse máximo un mes después del establecimiento de la plantación inicial (especialmente en zonas con estación seca marcada); para ello, se debe hacer el recuento de los árboles muertos y realizar la resiembra.
- g. Protección y mantenimiento de los árboles: la protección y el cuidado de los árboles jóvenes es un rubro importante en cuanto a costos de mantenimiento, pues invertir en él permitirá alcanzar los objetivos propuestos y obtener árboles de buena calidad. El mantenimiento evita la competencia de los árboles por agua, luz y nutrientes, así como daños o su muerte.

- h. Raleos: los raleos son una práctica que favorece el desarrollo de los mejores árboles y es una oportunidad para sacar productos maderables. Al considerar los árboles por raleo, se debe tomar en cuenta su densidad, ubicación, forma y sanidad, eliminando los enfermos, torcidos o bifurcados.

En plantaciones en bloque con densidades equivalentes entre 625 y 1111 árboles por hectárea, conforme crece la plantación, se produce competencia, tanto entre las copas como entre las raíces, lo que conlleva a una disminución del crecimiento de los árboles. Con la reducción del número de árboles, aumenta el espacio para el crecimiento de los restantes y se reduce su competencia, a fin de poner a su disposición mayores recursos como luz, agua y nutrientes.

## 5. Cercas vivas

Las cercas vivas es una práctica común dentro de un sistema agroforestal, que consiste en sembrar hileras de árboles y arbustos, para delimitar los bordes de una propiedad o sus divisiones internas. Esta técnica promueve la siembra de una o más hileras de árboles plantados de forma paralela a lo largo de una cerca o de un lindero de la propiedad. Este diseño permite aprovechar el espacio en áreas de pasturas, sin perjudicar sustancialmente la producción de pastos. Además, en el caso de las cercas, los troncos de los árboles funcionan como soporte para fijar varios hilos de alambre de púas o lisos. Los tipos de cercas vivas que existen son las siguientes:

- a. Cercas *forrajeras*: su objetivo es la producción de hojas, ramas y flores para la alimentación animal. Se constituyen básicamente en especies arbustivas forrajeras como madero negro y poró, entre otras. Las anteriores especies, presentan una altura baja entre dos y cuatro metros, requieren de poda frecuente (cada tres o cuatro meses) y la disposición de luz solar es de media a alta.
- b. Cercas para *producción de leña*: su objetivo es la producción de leña (ramas y troncos). Se conforman por especies arbustivas y arbóreas como guabas, madero negro o gabilán, entre otras. Esas especies requieren de disposición solar de media a alta, presentan una altura entre cinco y siete metros y los raleos se pueden realizar entre tres y siete años.
- c. Cercas *Maderables*: su objetivo es la producción de madera rolliza, de aserrín, construcción o para la elaboración de muebles. Se conforman principalmente por especies de lento a rápido crecimiento como melina, cebo, teca, gabilán, cedro y laurel, cuya disposición solar debe ser de media a alta; presentan una altura de siete hasta quince metros; el raleo y el aprovechamiento final de la madera, se realizan según las recomendaciones para la especie utilizada.
- d. Las cercas vivas pueden ser simples (una sola especie) o mixtas (varias especies). Para el establecimiento de cercas con especies forestales, se recomienda obtener plantas en viveros comerciales, ya que establecer un vivero en la finca demanda mayor tiempo y cuidado. En el caso de cercas con especies de uso múltiple, es preferible que la especie pueda ser reproducida por estacas.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

Diferentes instituciones concuerdan en la necesidad de promover un manejo más técnico de los sistemas de producción agrícola que tome en consideración los pronósticos climáticos, para la toma de decisiones relacionadas con la siembra y el posterior manejo de los cultivos, a fin de mejorar el sistema de seguros de las cosechas y las posibilidades de financiamiento para implementar nuevas tecnologías y usar variedades mejoradas ante las nuevas condiciones climáticas. (MINAET, 2009).

En virtud de lo anterior, es importante tratar de incluir no solo al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) como apoyo para el proyecto, sino también instituciones como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y al Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA) para que la implementación de modelos de fincas integrales pueda ser desarrollado, en aras de mejorar la productividad y la sostenibilidad.

La aplicación de tecnologías como los sistemas de cosecha de agua de lluvia, los Biodigestores y las Biojardineras, en los diferentes proyectos implementados por el CEMEDE en la provincia de Guanacaste, han demostrado que su uso como medidas es un aporte mediante el cual, no solo se mejoran las fincas, sino las condiciones ambientales y económicas de los beneficiados, al adoptar estas tecnologías como parte de sus modelos productivos, así como, dentro de sus estilos de vida. Nótese que, según datos del MINAE y el FONAFIFO (2016), los diferentes modelos de sistemas agroforestales adecuados a las condiciones de las fincas, pueden aumentar la rentabilidad entre dos a diez millones de colones, según el modelo de sistema agroforestal que se implemente.

Para la región del Pacífico Norte del país, los modelos de fincas integrales son una excelente medida de adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático. Esto se debe, a que una de las principales actividades generadas en la zona es la ganadería y, los sistemas agroforestales proporcionan la captura de carbono y ayudan a mitigar y compensar las emisiones de gas metano (CH<sub>4</sub>) generadas por la actividad. Además, la sombra proporcionada por los árboles mejora la productividad, ya que reduce el estrés calórico en los animales.

En síntesis, la aplicación de los Sistemas Agroforestales responde a las necesidades del productor, a la disponibilidad de terreno con la que cuente y a los objetivos productivos que desee establecer. Sin duda, una buena selección de un modelo, puede asegurar una rentabilidad y no un gasto extra en las actividades productivas desarrolladas.

## 7. Bibliografía

Álvarado, L.F., Contreras, W., Alfaro, M. y Jiménez, E. (2012) *Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica*. Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional (IMN).  
Recuperado de: <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/EscenariosCambioClimatico/escenariosCCRegionalizados2012.pdf>

- Botero, R., Preston, T. (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Cali, Colombia: Centro Para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria- CIPAV. Recuperado de: <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/biodigestor.pdf>
- Bouroncle C., Imbach P., Läderach P., Rodríguez B., Medellín, C., Fung E., Martínez, M.R. y Donatti, C. (2015). *La agricultura de Costa Rica y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación?* Copenhague, Dinamarca: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Camacho, A. y Solano, V. (2010). *Un modo de cooperación técnica sobre los servicios ambientales en Costa Rica*. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Recuperado de: <http://repiica.iica.int/docs/B1685e/B1685e.pdf>
- Costa Rica. Contraloría General de la República. (2013). *Informe acerca de la eficacia del Estado para garantizarla calidad del agua en sus diferentes usos* (Informe No. DFOE-AE-IF-01-2013 15 de febrero, 2013). San José, Costa Rica. Recuperado de: [https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/jaguar/sad\\_docs/2013/DFOE-AE-IF-01-2013.pdf](https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/jaguar/sad_docs/2013/DFOE-AE-IF-01-2013.pdf)
- Costa Rica. MINAE, SENARA, Dirección de Aguas, AyA, MIDEPLAN, Presidencia de la República. M. Ballesterero (coord.). (2013). *Agenda del agua de Costa Rica*. San José. Recuperado de: [http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Agenda\\_del\\_Agua.pdf](http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Agenda_del_Agua.pdf)
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014). *Cambio Climático 2014. Impacto, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas*. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, ... y L.L. White (eds.)]. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5\\_wgII\\_spm\\_es-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf)
- Ibraimo, N. y Munguambe, P. (2007). *Rainwater Harvesting Technologies for small scale rain-fed agriculture in arid and semi-arid areas*. Maputo, Mozambique: University Eduardo Mondlane.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2017). *La agricultura tropical frente al cambio climático, Costa Rica Carbono Neutral 2021*. Recuperado de: [http://www.infoagro.net/programas/regatta/pages/actividades/Compendio\\_Es.pdf](http://www.infoagro.net/programas/regatta/pages/actividades/Compendio_Es.pdf)
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET). (2009). *Estrategia Nacional de Cambio Climático* (1a ed.) San José: Editorial Calderón y Alvarado S.A.
- Oficina Nacional Forestal (ONF). 2013. *Guía Técnica SAF para la implementación de Sistemas Agroforestales (SAF) con árboles maderables*. San José: MINAE, FONAFIFO.

- Ordas, J.L., Ramírez, D., Mora, J., Acosta, A. Serna, B. (2010). *Costa Rica: efectos del cambio climático sobre la agricultura*. Recuperado de: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25921/lcmexl972.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Objetivos de Desarrollo del Milenio: Región logró la meta del hambre*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i4018s.pdf>
- Programa de Regionalización Interuniversitaria CONARE. (2011). *Fortalecimiento de la seguridad alimentaria mediante el desarrollo y fomento de reservorios artificiales de aguas precipitadas, para la utilización en agricultura sostenible, en la Región Chorotega de Costa Rica* (I Informe de avance, enero – junio 2011). San José.
- Salinas, A., Arrieta, J., Medina, R. (2012) [*Programa de Regionalización Interuniversitaria CONARE*] *Reservorios artificiales para captura de agua, para la producción agropecuaria en la Región Chorotega*. San José.
- Stark, F., Moulin, C., Cangiano, C., Vigne, M., Vayssières, J., González-García, E. (2016). Metodologías para la evaluación de sistemas agropecuarios. Parte II. Eficiencia Energética (EMERGY), Trayectoria de Sistemas y ejemplo de un modelo de análisis integral de fincas (GAMEDE). *En Pastos y forrajes*, 39(2), 81-88.
- Zúñiga, S. (2015). *Proyecto mejoramiento en el tratamiento de aguas residuales a través de biojardineras*. Formulación de proyecto académico. Guanacaste: Sistema de Información Académica (SIA). Sede Regional Chorotega, Universidad Nacional.