



Valle con labrador visto desde arriba (1889). *Vicent Van Gogh.*

Para el diseño de agroecosistemas sostenibles se necesita desarrollar un marco conceptual y metodológico adaptado al territorio, integrando conceptos, métodos, sistemas y manejos relacionados con los criterios agroecológicos, la gestión de la transición y las ciencias. Debe tener una mirada holística, que considere las interacciones dentro y entre los subsistemas a establecer con las conexiones biológicas y sociales del territorio.



Capítulo 6

Diseño de sistemas productivos agroecológicos

Agustín Infante L.¹

La agroecología se basa en la comprensión de los aspectos biofísicos y contextos socioeconómicos para planificar y diseñar los sistemas productivos. Se requiere también flexibilidad para diseñar una realidad dinámica, en lugar de un sistema en un estado estacionario. Lo anterior implica comprender la particular heterogeneidad que tienen los sistemas productivos, tanto en el tiempo como en el espacio, especialmente cuando la planificación tiene un horizonte de muchos años.

La agricultura convencional es un sistema productivo basado en el consumo de insumos externos (energía fósil, herbicidas, pesticidas y abonos químicos sintéticos) y se sustenta en la transferencia de tecnologías generadas bajo condiciones agroambientales habitualmente diferentes a las que existen en los sitios donde se implementarán. Por el contrario, la agroecología es una ciencia basada en un nuevo paradigma, cuyo objetivo es rediseñar los sistemas agrícolas e implementar sus principios (ver capítulo 5), comprometiendo a los/as agricultores/as a una transformación radical de sus prácticas, su forma de razonar y su participación en procesos de producción e innovación de conocimiento local (Lacombe *et al.*, 2018), todo lo anterior con el fin de lograr mínimo deterioro y máxima eficiencia de uso de los recursos naturales, a la vez que productos de excelente calidad.

La agroecología se basa en el conocimiento local, investigación-acción participativa y educación; en agricultores/as y otros actores rurales con conocimiento local y acceso a semillas, residuos de plantas, animales y recursos naturales diversos; la agroecología tiene el deber de ampliar la gama de organismos presentes en el agroecosistema, incrementando la biodiversidad, como también de las tecnologías disponibles y proporcionar apoyo para el desarrollo de conocimientos y respuestas adaptativas a los rápidos cambios de la actualidad (Snapp, 2017).

¹ Director Centro de Educación y Tecnología, Programa Biobío. cetbiobio@gmail.com

Considerar lo que los/as agricultores/as quieren, tienen y saben

Para realizar un diseño de un agroecosistema real es imprescindible la participación de los/as agricultores/as, involucrarlos y ganar su confianza. Partir con un primer acercamiento que permita tejer los primeros lazos de amistad y confianza, puede lograrse realizando un primer gran evento comunitario como es el diagnóstico rural participativo.

Se realiza una primera reunión con la participación de mujeres, hombres, jóvenes y niños. Se explica la metodología y después se realiza una distribución de trabajos. Algunos hacen un transecto de identificación recorriendo los terrenos, lomas, vegas, identifican la vegetación prevalente, de qué se dispone y cuáles son las necesidades. Otros integrantes realizan un mapa social de la comunidad, con todas las instituciones presentes y redes sociales, mientras que los/las mayores trabajan en dibujar y describir la historia de la comunidad. El trabajo debe estar bien organizado y asegurar que sea comunitario. Luego, todos/as se reúnen a contar las experiencias y presentar los trabajos grupales, todos/as participan en un ambiente de atención y entusiasmo (Infante, 2015).

De manera grupal se identifican los problemas y oportunidades, los recursos disponibles y aquellos limitantes, los hechos relevantes, las tragedias y las alegrías vividas. Las conclusiones de este trabajo son consensuadas por todos/as. Días más tarde se presentan los resultados, se validan las conclusiones y se realiza un plan de trabajo anual (Infante, 2015).

El diagnóstico participativo realizado con la comunidad logra resaltar las principales necesidades, oportunidades y las virtudes observadas. Con esta información se elabora un diseño acorde al sentir de la comunidad. Así por ejemplo, para familias del secano en Biobío, el objetivo será el mejoramiento de la alimentación, en donde son estrategias muy solicitadas: la producción para el autoconsumo, el establecimiento de huertos orgánicos, el mejoramiento de frutales, la crianza de animales menores, conservación de alimentos y tecnologías apropiadas.

El énfasis se encuentra en el rescate de los conocimientos locales mezclándolos con algunas técnicas agroecológicas, limitando la entrada de nuevas tecnologías. En el Cuadro 6.1. se detalla esa sinergia entre lo que la comunidad diagnosticó y los aportes agroecológicos incorporados en el diseño del agroecosistema para el secano de la Región del Biobío.

Cuadro 6.1. Conocimiento aportado por los/as agricultores/as de sistemas productivos presentes en un diseño predial.

Tema y objetivos	Conocimientos y prácticas locales	Técnicas agroecológicas incorporadas en el diseño predial
Diseño predial y servicios ecológicos: diversificar los rubros para el bienestar y la estabilidad del ingreso familiar.	<ul style="list-style-type: none"> ● Establecimiento de sectores específicos: <ul style="list-style-type: none"> ● La casa y su entorno. ● Zona de cultivos, frutales. ● Sector animal. ● Sector forestal. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cocina bruja, cocina solar. ● Secador solar.
Producción de hortalizas: aumentar la cantidad, calidad, cosecha durante todo el año (en especial en invierno) y la diversidad de hortalizas para consumo familiar	<ul style="list-style-type: none"> ● Uso de guanos frescos y abonos líquidos. ● Semillas locales. ● Siembras en asociación o policultivos. ● Recetas locales de biocidas. ● Uso de plantas repelentes y flores. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Compostaje. ● Lombricompostaje. ● Elaboración de Bokashi. ● Elaboración de tés. ● Biopreparados para el manejo de plagas y enfermedades.
Producción de cereales y legumbres: disponer de alimentos para el autoconsumo y nutrición balanceada (energía y proteínas).	<ul style="list-style-type: none"> ● Cultivo en secuencia con años de descanso. ● Siembra asociada. ● Uso de semilla local. ● Control cultural de malezas. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Rotaciones de cultivos. ● Policultivos. ● Cultivos asociados. ● Uso de mulch. ● Manejo eficiente del agua. ● Manejo de la fertilidad del suelo. ● Manejo ecológico de plagas y enfermedades.
Producción de frutas: aumentar la cantidad, calidad y diversidad de fruta para consumo familiar y venta de excedentes.	<ul style="list-style-type: none"> ● Producción polifrutal en el entorno de la casa. ● Algunas recetas de preparados biocidas. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Policultivos frutal. ● Manejo eficiente del agua. ● Poda. ● Manejo de la fertilidad del suelo. ● Manejo ecológico de plagas y enfermedades.
Crianza de animales menores: aumentar la disponibilidad de proteína animal a bajo costo.	<ul style="list-style-type: none"> ● Sistemas de reproducción. ● Alimentación con recursos prediales. ● Uso de razas criollas. ● Infraestructura de bajo costo. ● Sistemas de corrales y pastoreo dirigido. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Gallinero móvil. ● Mejoramiento de razas por selección.
Sistemas agroforestales: aumentar la disponibilidad de leña, madera y servicios ecológicos.	<ul style="list-style-type: none"> ● Plantación de árboles nativos y exóticos. ● Uso de bosquetes y cortinas cortavientos. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sistemas silvopastorales. ● Sistemas agrosilvicultural. ● Sistemas agrosilvopastorales.

Fuente: Adaptado de Infante, 2015.

Es necesario compartir el liderazgo del proyecto con los/as agricultores/as y organizar el diseño localmente y en forma conjunta para cerrar mejor la brecha entre el pensar y el hacer. Con la metodología descrita se logra una mejor cuantificación de las singularidades de la situación de los/as agricultores/as y del sistema productivo local que se espera transformar.

Los/as extensionistas, cuando organizan proyectos participativos para apoyar el desarrollo de sistemas agroecológicos, deben elegir las metodologías participativas considerando cuáles son los objetivos a transformar (Lacombe *et al.*, 2018).

Considerar lo que ocurre en la naturaleza

Tal como lo han hecho los/as campesinos/as, indígenas y agricultores/as tradicionales, las sucesiones naturales siguen siendo usadas como modelos para el diseño de agroecosistemas, ya que presentan variadas características valiosas para la agricultura: (1) elevada resistencia a la invasión y al ataque de plagas, (2) gran retención de nutrientes del suelo, (3) agrobiodiversidad abundante y (4) un nivel razonable de productividad (Ewel, 1986). Gliessman (2002) afirma que el mayor reto consiste en diseñar agroecosistemas que aprovechen los atributos beneficiosos de la sucesión natural.

En el Cuadro 6.2. se presentan las características ecológicas deseables de las sucesiones naturales en los ecosistemas.

Cuadro 6.2. Características ecológicas deseables de la sucesión natural de los ecosistemas.

Característica	Beneficio para el ecosistema de la sucesión natural
Alta diversidad de especies.	Menor riesgo de pérdida catastrófica de la cosecha por sequía, incendios, inundaciones y otros problemas ambientales.
Alta biomasa total.	Una mayor fuente de materia orgánica en el suelo y un suelo más protegido.
Alta productividad primaria neta.	Mayor potencial para la producción de biomasa a cosechar.
Complejidad de las interacciones entre especies.	Mayor potencial de control natural.
Ciclaje eficiente de nutrientes.	Menor necesidad de insumos externos.
Interferencia mutualista.	Mayor estabilidad; menor necesidad de insumos externos.

Fuente: Adaptado de Gliessman, 2002.

A partir de estas características de los ecosistemas naturales, en Chile se puede estudiar el bosque esclerófilo de la cordillera de la costa o del bosque valdiviano, en donde se definen una serie de principios ecológicos que son de gran utilidad para diseñar el predio y determinar los sistemas agroecológicos a implementar.

Considerar el conocimiento científico y el ejemplo de la naturaleza para definir el diseño agroecológico

Los principios ecológicos necesarios que se deben considerar en el diseño de un sistema agroecológico son los siguientes (Altieri y Nicholls, 2004):

- Aumentar la diversidad de especies. El diseño y el manejo a través de los años debe permitir el aumento de la biodiversidad funcional. Huertos hortícolas intensivos, rotaciones de cultivos, sistemas agroforestales, huertos polifrutales, huertos de hierbas medicinales, plantas trampa, cercos vivos y corredores biológicos, son parte de las estrategias para el aumento de la diversidad. Además, es importante incrementar la diversidad intrapredial, en donde el predio debe ser un mosaico de sectores agrodiversos. En estos se pueden incluir especies locales y utilizar prácticas tradicionales.
- Aumentar la longevidad. A pesar de las dificultades ambientales es posible establecer varias especies que den larga vida a los ecosistemas, como especies forestales (nativas y exóticas), frutales (mayores y menores), arbustos (trepadores y no trepadores), o praderas permanentes como falaris, ballicas perennes, entre otros.
- Restablecer praderas naturales. Para mejorar la fertilidad, especialmente en suelos degradados, es posible restablecer praderas naturales (barbechos cubiertos), con leguminosas y gramíneas naturalizadas, las cuales se mantienen en las rotaciones largas.
- Incorporar más materia orgánica. Es fundamental reciclar todos los residuos vegetales y animales del predio, sean ellos provenientes de la cocina, rastrojos de cultivos, restos de podas, restos forestales, cortes de pastos y malezas, etc.
- Aumentar la diversidad de los sistemas intraprediales. El predio debe establecerse con un mosaico de sectores agrodiversos. Se pueden establecer sistemas agroforestales y rotaciones de cultivos, con especies locales y siguiendo prácticas tradicionales.
- Establecer mecanismos de conservación y regeneración de suelos. Se pueden establecer una serie de técnicas y prácticas que permitan reducir la erosión, mejoren las condiciones físicas, biológicas y químicas del suelo, las que han sido revisadas en profundidad en el capítulo 5.

Existen diversas técnicas y prácticas que consideran los principios básicos del diseño de predios agroecológicos (Cuadro 6.3.).

Cuadro 6.3. Aporte de diversas prácticas a los principios agroecológicos.

	Huerto familiar	Abonos orgánicos	Rotaciones	Agroforestería	Corredores biológicos	Huerto polifrutal	Policultivos	Forestación	Integración animal
Aumentar la diversidad de especies	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aumentar la longevidad				X	X	X		X	
Restablecer praderas naturales			X	X		X			X
Incorporar materia orgánica	X	X	X	X		X	X	X	X
Aumentar la diversidad de sistemas intraprediales	X		X	X	X	X		X	X
Establecer prácticas de conservación de suelos			X	X	X	X	X	X	

Fuente: Adaptado de Altieri y Nicholls, 2004.

Al entender el funcionamiento de la naturaleza, las necesidades de los/as habitantes del territorio y los principios agroecológicos de diseño, se pueden identificar algunos elementos a tomar en cuenta para diseñar un sistema agroecológico en áreas de cultivos (García, 1996):

- Estudio físico del predio (suelo, topografía, disponibilidad de agua, etc.).
- Definir áreas para cultivos anuales y las de tipo permanente como frutales, forestales, praderas.
- Parcelar el área agrícola para establecer la rotación.
- Establecer los cultivos a producir.
- Establecer qué superficie se dedicará a forrajes y praderas permanentes (ganadería) o cultivos de ciclos largos.
- Ordenar los cultivos en la rotación, teniendo en cuenta sus características. Más adelante se detallarán los elementos a considerar para planificar las rotaciones.
- Introducir en los cultivos principales la mayor cantidad de policultivos posibles, siempre que sean beneficiosos.
- Confeccionar una estrategia de uso de suelo para reducir al máximo el laboreo, como por ejemplo cultivos de mínima labranza, cultivos de relevo o en secuencia, para mantener el suelo siempre cubierto y produciendo.

- Establecer una estrategia de fertilización orgánica que considere cuándo introducir un abono verde, dónde situar el abono orgánico disponible, cómo manejar los residuos de cosecha, cómo mejorar los residuos orgánicos del predio, el uso de abonos foliares fermentados, entre otras prácticas.
- Establecer una estrategia de arborización del sistema.
- Calcular el volumen de alimentos que necesitan los animales y la cantidad de animales que el sistema puede soportar.

Subsistemas productivos a considerar para el diseño con criterio agroecológico

Considerando los principios y aspectos generales mencionados anteriormente, se deben definir cuáles son los sistemas y subsistemas que son posibles de incorporar en el diseño, planificación y manejo en un predio agroecológico, conectando lo anterior con el territorio donde se va a ubicar. Una forma de ordenar los posibles sistemas de implementar, es de acuerdo con las zonas del predio, su frecuencia de visitas, su necesidad de cuidados y su objetivo principal.

Subsistema la casa y su entorno

Ubicado alrededor de la casa, es el sector más visitado y observado por los miembros de la familia y, en general, en él están implementadas las secciones que más tiempo requieren para su mantención. Cumple el objetivo principal de producir, proveer y procesar alimentos para la familia. También permite facilitar las labores domésticas y contribuye a mantener el cuidado y orden de todos los elementos necesarios en el predio. Entre sus componentes se encuentran:

- Casa, cocina, baños.
- Reciclaje y separador de basuras.
- Huerto familiar, que cuenta con producción de hortalizas en camas altas, bajo plástico (túnel o invernadero) o a la intemperie, sector con hierbas medicinales, flores, un pequeño huerto frutal y algunas almacigueras.
- Tecnologías apropiadas como horno y cocina de barro, secador solar, cocinas solares.
- Paneles solares, que permiten el aprovechamiento y transformación de luz solar en electricidad usando inversores. Un Inversor *off-grid* permite el uso de la electricidad para herramientas, lámparas, cargadores o electrodomésticos.
- Cercos perimetrales construidos con mallas y complementados por plantas, flores, especies ornamentales y frutales.

El destino de la producción es principalmente de autoconsumo, sin embargo, en reiteradas ocasiones el volumen producido sobrepasa la demanda de la familia, lo cual permite la venta de excedentes a vecinos/as o en la feria semanal (Figura 6.1¹).



Figura 6.1. La casa y su entorno: 1. Casa. 2. Huerto familiar intensivo (camas altas, mini invernadero, frutales, flores, hierbas medicinales). 3. Reciclador de residuos orgánicos. 4. Cerco perimetral. 5. Tecnologías apropiadas (horno de barro y secador solar). 7. Uso de energías renovables no convencionales (panel fotovoltaico y sistema térmico para agua caliente). 8. Animales menores. Fuente propia.

Subsistema de producción de animales menores

El subsistema animal se compone de cerdos, gallinas y un colmenar. Está anexo al primer subsistema y diariamente es visitado varias veces, pues los animales requieren de alimentación, atención y cuidado. Además, es un espacio en donde se obtienen desechos animales clave para la producción de abonos, como los estiércoles y guanos. Al integrar animales menores en el diseño predial debieran considerarse al menos los siguientes aspectos:

¹ Las figuras 6.1, 6.2, y 6.3 fueron elaboradas con material pedagógico que se utiliza en capacitaciones a productores/as, técnicos/as y estudiantes en diseño predial.

- En las propuestas para el trabajo con animales se debe analizar los recursos con los que la familia dispone (infraestructura, genética local, cultura campesina, recursos alimenticios locales). El reordenamiento que se pueda plantear debe aprovechar la cultura productiva de los/as agricultores/as.
- Analizar las fortalezas del actual sistema productivo y de manejo, identificando las deficiencias que presenta y de esta forma rediseñar el manejo de los animales dentro del predio.
- Se deben respetar los objetivos productivos definidos por las familias. Es decir, si sus intereses se refieren a la diversidad de productos, a funciones que pueda obtener con los animales (leche, carne, huevos, manteca, lana, abono, pieles, tracción), o ambas.
- Los animales menores son parte del sistema de producción pecuaria que manejan los/as agricultores/as y por lo tanto cualquier modificación puede alterar positiva o negativamente el sistema.
- Otro aspecto importante a considerar es el alto compromiso de la mujer y los/as niños/as en este sistema productivo, ya que además está muy relacionado con el entorno de la vivienda.
- La alimentación de los animales se basa fuertemente en el consumo de granos o subproductos de estos, los cuales pueden ser también parte de la alimentación humana, por lo que deben ser aprovechados racionalmente.
- En condiciones de escasez de alimentos y nutrientes para los animales, especialmente en algunas épocas del año, pueden producirse una serie de trastornos (consumo o destrozo de cultivos, desgaste de animales en búsqueda del alimento y sobretalajeo) dentro y fuera del predio. Para lograr el desarrollo del sector, no solo se trata de abordar los aspectos estrictos relacionados con el animal sino que deberá considerar soluciones globales y complementarias al sistema de producción predial, tomando en cuenta, por ejemplo, aspectos como la conservación del suelo, el mejoramiento en la producción vegetal, forestería, cosecha de agua, entre otros.
- Se debe resaltar la importancia del reciclaje de nutrientes dentro del sistema productivo, considerando el guano o estiércol, ya sea fresco o maduro, la cama animal, los residuos de cosecha para alimentación animal, entre otros.
- Igualmente, el manejo de estos sistemas productivos genera alternativas de labores organizadas a nivel de comunidades agrícolas. Tal es el caso del manejo sanitario comunitario, preparación de alimentos, uso de verraco comunitario, etc. (Venegas, 1996).

Subsistema de producción intensiva mayor

Es un sistema que se ubica en una zona más distante a la producción de autoconsumo, ya que requiere de trabajos específicos y temporales. Existen momentos que demanda mayor tiempo, en especial en primavera y verano, debido al manejo del riego, control de malezas y cosecha. Puede estar constituido por un huerto frutal, un colmenar, una rotación de cultivos y/o invernaderos con producción hortícola. Todos estos sistemas productivos tienen una orientación al mercado.

Invernaderos comerciales: la producción de hortalizas y flores bajo plástico es una tecnología de alta relevancia en el país y tiene grandes posibilidades para la agricultura familiar campesina, puesto que les permite mejorar la dieta familiar, generar nuevos ingresos, dar un uso más intensivo a la mano de obra familiar y usar eficientemente los recursos locales. Además, desde el punto de vista ecológico es positivo, ya que disminuye la presión sobre los suelos marginales y susceptibles de erosión, aumenta significativamente la rentabilidad por unidad de superficie en forma permanente y puede producir algunas especies que sería imposible obtener al aire libre.

Consiste en un invernadero con una dimensión de 8 m de ancho por 30 m de largo o más, y 3,4 m de altura en su parte más alta. El invernadero debe contar con un buen sistema de ventilación, ya sea mediante el uso de ventilación lateral o la construcción de una lucarna en el techo. Algunos diseños permiten retirar completamente el plástico en verano o enrollarlo en los laterales de la estructura para que dure más años. En su interior se establecen policultivos, sucesiones o cultivos asociados, los que incluyen flores, plantas repelentes y trampas (Infante y San Martín, 2016).

Apicultura: en la implementación y diseño del colmenar es clave determinar un lugar apropiado para su establecimiento dentro del predio, en donde exista una flora abundante, lejos de carreteras y de fuentes contaminantes. El sitio debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Cercano a fuentes de polen y néctar.
- Cercano a fuentes de agua limpia.
- No muy lejos ni muy cerca de la casa.
- Protegido de los vientos fuertes predominantes.
- Soleado por las mañanas.
- Suelo con buen drenaje.

Para que el apiario funcione en forma conveniente es necesario que esté protegido del exceso de sol. Esto se consigue instalándolo bajo árboles de hojas caducas, colocando ramas sobre los techos de las colmenas o haciendo una ramada que cubra el apiario.

También se debe proteger de los vientos fuertes, eligiendo un lugar protegido con árboles o arbustos o bien construir un cortaviento (especie de cerco alto y tupido hecho con ramas y tablas). Para evitar el daño provocado por animales, se debe rodear el apiario con un cerco perimetral adecuado (alambre, coligüe o cerco vivo) (Infante y San Martín, 2016).

Rotación de cultivos: como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, la rotación obedece al ordenamiento de los cultivos en una secuencia temporal y espacial que permite restaurar los niveles de nutrientes, romper ciclos biológicos de plagas y enfermedades y mejorar las condiciones físicas y biológicas del suelo. Para diseñar la rotación deben considerarse aspectos técnicos como la topografía, el clima y los tipos de suelo; asimismo aspectos socioeconómicos como las necesidades de la familia y el mercado, además de los insumos necesarios y las estructuras o espacios permanentes como cercos o potreros. En lo posible se debe potenciar la diversidad de especies utilizando cultivos asociados y policultivos, incorporando gramíneas, leguminosas y praderas.

El esquema de rotación ideal mantiene para cada año superficies similares por grupo de cultivos (chacras, cereales y praderas). Esto significa que si el esquema de rotación es de seis años, el número de potreros en rotación deberá también poseer seis unidades productivas. La planificación de la rotación debe identificar las etapas para definir qué cultivos son factibles de ser producidos, decidir cuáles de ellos se van a producir y la duración de la rotación (Infante y San Martín, 2016).

Huerto frutícola: dentro de los aspectos relevantes a considerar para la producción frutal con criterios agroecológicos, se encuentran diversas prácticas agronómicas entre las que destacan: la biodiversidad funcional, el manejo nutricional, el establecimiento de cultivos de cobertura, la prevención y control de plagas y enfermedades y la elaboración de biopreparados tanto para la protección sanitaria de los frutales como para el manejo de la fertilidad del suelo. La biodiversidad funcional es uno de los factores más importantes a considerar dentro de un huerto frutal ecológico, debido a que, a través de su gestión, se puede brindar un respaldo biótico al sistema, permitiendo mayor sostenibilidad en el tiempo, siendo por ello necesario planificar el diseño y manejo de la diversidad vegetal.

Esta planificación incluye incorporar elementos que estimulen la diversificación, como corredores biológicos, cercos vivos y/o cortinas cortavientos, zonas con vegetación intensiva, refugios artificiales y cultivos de cobertura, de manera de terminar con el monocultivo y emular lo más posible a un sistema natural, pero con orientación a la producción comercial (Infante y San Martín, 2016).

Ganadería: para optimizar el rendimiento del ganado es muy importante orientar el diseño predial al incremento de la red de organismos vivos y de sus interacciones dentro del sistema de producción (clima, suelo y vida del suelo, vegetación y ganado), como también potenciar la

producción del sistema, en especial del suelo, ya que muchas veces la ganadería está ligada a ecosistemas de mayor fragilidad, como son zonas de secano y alto andinas. Este tipo de terrenos tienen pendiente, por lo que son fácilmente erosionables.

Para el diseño se debe considerar la conservación del medio y del entorno natural, ya que los animales se alimentan con recursos locales, a través del pastoreo directo establecido en una rotación de los potreros. Es decir, el diseño debe lograr adaptar las praderas a las condiciones edafoclimáticas del lugar, mejorando el suelo y adaptando el tipo de ganado a los pastos disponibles. Esto también significa incrementar la disponibilidad de agua para el crecimiento de las plantas.

El diseño de los potreros, su rotación y el entorno debe considerar el mayor bienestar de los animales, lo que incluye necesariamente plantar árboles para su resguardo, establecer una adecuada rotación de pastoreo e integrar las leguminosas como forraje (Primavesi, 2002) (Figura 6.2.). Los refugios deben ser construidos de materiales no tóxicos, amplios, ventilados, con área de reposo para evitar el estrés de los animales (Venegas, 1996).



Figura 6.2. Esquema de los sistemas productivos más la casa y su entorno: 9. Invernaderos hortícolas comerciales. 10. Colmenar. 11. Rotación de cultivos. 12. Huerto frutal. 13. Compost. 14. Infraestructura (bodega). Fuente propia.

Subsistemas forestales/agroforestales

En el capítulo 8 se aborda este aspecto con mayor detalle, pero a manera de resumen se presentan algunos conceptos introductorios.

Los sistemas que incluyen especies arbóreas se ubican en un sector más alejado de la casa y solo requieren visitas semanales. En caso de incluir animales puede ser necesaria una mayor periodicidad.

La agroforestería: es un sistema sostenible de manejo de cultivos y de suelos que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de especies forestales arbolados (que abarcan frutales y otros cultivos arbóreos) con cultivos herbáceos en rotación y/o animales, de manera simultánea o secuencial sobre la misma unidad de suelo, aplicando además prácticas de manejo compatibles con las prácticas culturales de la población local (Farrell y Altieri, 1999).

Al ordenar las especies vegetales en el tiempo y el espacio, se deben considerar algunos factores relevantes, como el manejo cultural de las especies que crecen juntas, su fenología y forma de crecimiento (sobre y bajo el suelo), las necesidades de manejo para todo el sistema y de acciones adicionales como la conservación del suelo o el mejoramiento del microclima. Es por esto que los arreglos para el ordenamiento tienen propiedades específicas que según Nair (1984) comprenden los siguientes aspectos:

- Cultivar especies arbóreas y cultivos agrícolas anuales en forma intercalada, manteniendo ambos en forma simultánea (o durante la misma temporada).
- Limpiar las franjas de un metro de ancho en bosques primarios o secundarios a intervalos convenientes y establecer especies agrícolas perennes que toleren la sombra. Luego, cuando las especies agrícolas estén de mayor tamaño, las especies forestales se ralean según conveniencia y, dentro de cinco años, se logrará un dosel de 2 o 3 capas, que estará compuesto por las especies agrícolas perennes y las forestales elegidas.
- Introducir prácticas de manejo como la poda, con el fin de que penetre más luz en la superficie del terreno entre las especies arbóreas y establecer especies agrícolas entre las hileras de los árboles.
- En áreas inclinadas, las especies arbóreas seleccionadas pueden plantarse en líneas perpendiculares a la pendiente (a lo largo del contorno), con diferentes disposiciones (hileras únicas, dobles, alternadas) y diversas distancias entre las hileras; las praderas pueden establecerse entre los árboles a lo largo del contorno o también se pueden establecer especies agrícolas.

- Plantar árboles de múltiples propósitos, uno al lado de otro, alrededor de los potreros, formando cercos vivos y cortinas cortavientos. Ellos proporcionarán forraje y combustible, y marcarán los límites de los predios agrícolas. El esquema es particularmente apropiado para áreas de uso extensivo.
- Intercalar las áreas agrícolas con árboles, en forma regular o al azar.

Sistemas silvopastorales: se basan en la asociación de árboles forestales y arbustos forrajeros en alta densidad, combinados con praderas naturales o mejoradas, optimizando al máximo el área de producción de alimento y albergue para el ganado. Normalmente los árboles o arbustos forrajeros se caracterizan por tener un alto valor nutricional, principalmente proteínas, vitaminas y minerales. Para su diseño se deben considerar los siguientes aspectos:

- La capacidad de carga del sistema.
- El espaciamiento adecuado de los árboles.
- El efecto de la edad de los árboles sobre la producción de los forrajes.
- La determinación de especies forrajeras.
- La influencia del clima.
- La selección de especies forrajeras y árboles más eficaces en el uso de la luz y en el consumo de agua y nutrientes.
- La selección de forrajes resistentes a la competencia por el agua.
- El posible efecto de aleloquímico de los árboles.
- La influencia de la dirección de las líneas de árboles sobre el sotobosque.

Bosquetes: son sectores naturales que se han aislado y dejado crecer sin mayor intervención, cuya función principal es proveer de servicios ambientales, tales como el control de erosión, la captura de aguas, el aumento de biodiversidad y la formación de nichos ecológicos para insectos benéficos y fauna silvestre.

Plantaciones forestales: son sistemas de producción forestal de multipropósito donde las especies forestales se regeneran y manejan para producir no solo madera sino también hojas, frutas, hongos u otros productos forestales no madereros que son apropiados para alimento y/o forraje.

Subsistemas de apoyo predial para el manejo con criterios agroecológicos

Sistemas para la disponibilidad de agua: el manejo sustentable del agua involucra mejorar las condiciones del suelo, usar eficazmente el agua, así como la captación y cosecha de agua desde diversas fuentes. Existen técnicas que pueden incorporarse en forma integral al diseño

predial para lograr procesos que disminuyan los problemas hídricos (Infante y San Martín, 2016), entre ellas:

Mejora de las condiciones del suelo:

- Disminuir la erosión de suelo: mantener cobertura vegetal, formación de terrazas, construir curvas de nivel, de escurrimiento, zanjas de infiltración e implementar sistemas agroforestales y silvopastorales.
- Aumentar el contenido de materia orgánica: aplicar abonos orgánicos, reciclar los rastrojos, incorporar abonos verdes y disminuir la labranza de suelo.

Uso eficiente del agua:

- Disminuir la evaporación: usar coberturas vegetales (mulch), sombreaderos, establecer cortinas cortavientos y policultivos.
- Aumentar la diversidad, realizar un mejor uso de los espacios (uso de zonas altas, vegas de acuerdo con la estación del año), establecimiento de especies y variedades más eficientes en el uso de agua, resistentes a la sequía y de rápido crecimiento, así como la construcción de camas altas, camellones y un manejo adecuado de malezas.
- Incorporar sistemas de reciclaje de aguas, biopurificadores, etc.
- Usar sistemas de riego eficientes: por goteo, localizado y cubrir los canales de riego.

Captación, extracción y cosecha de agua en sus diversas formas:

- de lluvia, por medio de pozos cisternas, desde los techos, minirrepresas y tranques de acumulación.
- de vertientes, a través de tuberías, canaletas y acumuladores.
- de napas freáticas, mediante construcción de punteras y pozos profundos.
- de neblinas, usando mallas neblineras y bosquetes naturales.

Sistemas de conservación de suelo: un programa de fertilización adecuado debe ir acompañado de un plan de conservación de suelo, a largo plazo. Este plan debe evitar el arrastre y pérdida de suelo por efecto del viento o del agua, fenómeno que se conoce como erosión. Existen variadas técnicas para proteger el suelo de la erosión, como por ejemplo el establecimiento de cultivos de cobertura, la instalación de barreras vivas, la planificación con curvas a nivel, el cultivo en terrazas, las curvas de escurrimiento o zanjas de infiltración y el control de cárcavas.

Antes de aplicar alguna de estas técnicas es importante analizar bien el origen del problema de erosión, analizar su grado de avance, la textura del suelo, el ángulo de la pendiente, la intensidad y frecuencia de las lluvias, entre otros aspectos, para determinar cuáles de las mencionadas técnicas son las más adecuadas. En general no bastará con implementar solo una técnica, sino que deben complementarse varias para que el impacto mitigador sea óptimo. Así, por ejemplo, si se construyen curvas de nivel, habrá que agregar prácticas

agrícolas como el establecimiento de cubiertas vegetales, incorporación progresiva de materia orgánica, asociación de cultivos, etc.

Cultivos de cobertura: los cultivos de cobertura además de proteger el suelo de los efectos de la erosión, ayudan a manejar poblaciones de malezas, a aumentar la biodiversidad y a mejorar las características físico-químicas y biológicas del suelo. Los cultivos de cobertura crean condiciones favorables para el control y manejo biológico de plagas y enfermedades al incrementar la biodiversidad dentro del sistema, aportan fuentes alternativas de alimentación para enemigos naturales y plagas, y constituyen áreas de refugio y hábitat para los enemigos naturales, mejorando de esta forma la permanencia y recolonización de los mismos.

Corredores biológicos: los mejores ejemplos de corredores biológicos los ofrece la naturaleza. Se pueden observar en la vegetación espontánea existente en cada localidad, a orillas de caminos rurales, carreteras, etc., donde es posible identificar especies adaptadas a las características agroecológicas de cada territorio. Resulta fundamental en su diseño que los corredores estén conectados a parches de bosque nativo, quebradas u otros sectores ricos en diversidad, ya que su funcionalidad está directamente relacionada con esta característica, así, mientras más complejo es el sistema, mayor efectividad tendrá en términos de sanidad vegetal. Al momento de elegir las especies a establecer en estos corredores se privilegian las propias del lugar, aunque también pueden utilizarse especies exóticas, siempre y cuando no compitan o destruyan los ecosistemas naturales establecidos con anterioridad. Se pueden incorporar especies aromáticas y nativas, contemplando la presencia de al menos los tres estratos principales (arbóreo, arbustivo y herbáceo).

Al momento de diseñar los corredores es importante considerar la funcionalidad y fechas de floración de las especies incluidas. Es necesario contemplar la introducción de elementos anexos, como piedras, abrevaderos, etc., de manera de mejorar la calidad del hábitat para organismos benéficos en el corredor. Además, se debe considerar un sistema de riego y un plan de mantenimiento.

Cercos vivos: son franjas de bosquecillos y matorrales compuestos por arbustos, árboles y franjas de pasto de un ancho mínimo de 3 metros, los cuales cumplen una serie de funciones dentro del agroecosistema: ahorro de agua, protección contra la erosión hídrica y las inundaciones, y regulación térmica (microclima) ya que actúan atenuando las temperaturas extremas.

Cortinas cortavientos: se establecen para reducir la velocidad del viento, disminuir la pérdida de agua del suelo y de los cultivos, por efecto de la evapotranspiración. Se plantan líneas de árboles en posición perpendicular al viento, en forma de trapecio; al centro se plantan los árboles más altos y afuera los arbustos o árboles más pequeños. La elección de

las especies es un aspecto muy importante, pues ello puede garantizar el efecto protector que se requiere (González, 2013).

Biofábrica: como una forma sistemática, económica, sanitaria y productiva, es necesario considerar dentro del diseño predial el establecimiento de una biofábrica que permita la elaboración y almacenaje de diferentes biopreparados, tanto abonos orgánicos como preparados, para el manejo de plagas y enfermedades (infusiones, decocciones, extractos de plantas y preparados minerales). Los principales abonos orgánicos que se deben elaborar en el predio son compost, bokashi, vermicompost, guano compostado, fermentados de microorganismos, biofertilizantes líquidos (supermagro, té de compost y té de guano, té de ortiga, purines, fermentado de algas).

Para su elaboración se requieren algunos insumos, como son los residuos de la actividad ganadera (estiércol, orines, pelos, plumas, huesos y sangre), residuos de la actividad agrícola (rastros de cultivos, hojas en otoño, podas y malezas) y residuos de la actividad forestal (aserrín, hojas, ramas y cenizas). Algunas plantas que se utilizan en los biopreparados son difíciles de encontrar, por eso es recomendable que el/la agricultor/a las cultive en su predio, lo que contribuirá además a aumentar la diversidad del sistema y permitirá disponer de ellas cuando se necesiten. Estas especies se pueden plantar en los bordes del huerto, en cercos o en las cabeceras de los cultivos.

Minivivero: consiste en un área destinada a la multiplicación de especies, frutales, forestales y ornamentales, con el objetivo proveer de plantas para el establecimiento de cercos vivos, cortinas cortavientos, corredores biológicos, jardines, macizos florales u otros.

Para su buen funcionamiento se requiere un invernadero, sistema de riego, estructuras para el almacenaje de sustratos (compost, tierra, arena), bandejas, cajones, herramientas, harneros y semillas.

Energía solar fotovoltaica: la energía solar fotovoltaica permite convertir la radiación solar en electricidad utilizando celdas o paneles fotovoltaicos. Esta energía puede ser utilizada con diversos fines productivos, entre ellos:

- Sistema de bombeo solar: constituye una solución responsable con el medioambiente y tiene una gran ventaja económica frente a los sistemas convencionales de extracción de agua. Para la agricultura es una excelente opción, ya que la demanda de agua para riego coincide perfectamente con la temporada de oferta de radiación solar más abundante.
- Cerco eléctrico solar móvil: permite hacer un uso más eficiente de la pradera al contener el ganado en un área específica del potrero, de modo que el consumo de la misma se realice

en forma ordenada. El cerco eléctrico solar móvil tiene la particularidad de utilizar energía solar para su funcionamiento, en forma autónoma, evitando el uso de cables y consumo eléctrico. Al ser un sistema móvil permite ubicarlo y moverlo de acuerdo a las necesidades, en cualquier lugar donde se disponga de radiación solar.

Infraestructura predial: bodegas, caminos, galpones, oficinas, constituyen la infraestructura básica de cualquier predio, indispensable para su funcionamiento.

Maquinaria: debe ser la adecuada para apoyar los procesos biológicos que se están generando con el diseño predial. Entre otros, debe contemplar el uso de arados de labranza conservacionista, máquinas para triturar rastrojos y residuos, revolvedores y aplicadores de abonos orgánicos, cortadoras de pasto. Además, usar tracción animal para disminuir la contaminación y consumo excesivo de combustibles fósiles, evitar la dependencia de insumos externos, reducir los costos y aprovechar la acción de los animales que permiten funcionar en sistemas de economía circular, gracias al reciclaje de sus subproductos y conversión en biopreparados (Figura 6.3.).



Figura 6.3. Diseño final del predio: 15. Incremento de la biodiversidad (agroforestería, cercos vivos, corredores biológicos). 16. Sistemas silvopastoriles. 17. Cosecha de agua. 18. Conservación de suelos. 19. Cortinas cortaviento. Fuente propia.

Comentarios finales

Es importante mencionar que para todo proceso de diseño de agroecosistemas sostenibles a nivel territorial o comunitario, se necesita desarrollar un marco conceptual y metodológico adaptado al territorio, con el objetivo de ayudar a las partes locales interesadas a diseñar el entorno y guiar su transición hacia una agricultura basada en criterios agroecológicos. Deberá integrar conceptos, métodos, sistemas y manejos relacionados con los criterios agroecológicos y la gestión de la transición, el diseño y las ciencias que son las fundaciones de la sostenibilidad. Es así como debe estar enmarcado para trabajar con una fuerte participación de las partes interesadas a lo largo del proceso de diseño. Debe contemplar un enfoque transdisciplinario para integrar el conocimiento de los asesores y partes interesadas, siempre con una mirada holística, que considere las interacciones dentro y entre los subsistemas a establecer, de las conexiones sociales y biológicas en el territorio (Duru *et al.*, 2015).

Referencias

- Altieri, M., Nicholls, C. (2004).** Una base agroecológica para el diseño de sistemas diversificados de cultivo en el Trópico. *Foro de Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (MIPA) (73)*, 8-20. CATIE, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6873/A1899e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Duru, M., Therond, O., and Fares, M. (2015).** Designing agroecological transitions; a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1237–1257. <https://doi:10.1007/s13593-015-0318-x>
- Ewel, J. J. (1986).** Designing Agricultural Ecosystems for the Humid Tropics. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17(1), 245–271. <https://doi:10.1146/annurev.es.17.110186>
- Farrell, J. y Altieri, M. (1999).** Sistemas agroforestales en Agroecología. En: Altieri, M. (Ed.), *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. (capítulo 12) Editorial Nordan–Comunidad. Chile.
- García Trujillo, R. (1996).** *Los animales en los sistemas agroecológicos*. ACAO. La Habana, Cuba. 100 p.
- Gliessman, S.R. (2002).** *Agroecología. Procesos ecológicos en Agricultura Sostenible* (Ed. español, 359 p). LITOCAT, Turrialba, Costa Rica.
- González, A. 2013.** *Agroecología y agroforestería: Prácticas para una Agricultura Ecológica*. Otros Mundos. Amigos de la Tierra Internacional. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. 56p.
- Infante, A. (2015).** Faros Agroecológicos definición y caracterización a partir de una experiencia de reconstrucción rural en el secano de Chile Central. *Agroecología*, 10(1), 73-78. <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/53886/1/300751-1030571-1-SM.pdf>.
- Infante, A. y San Martín, K. (2016).** *Manual de producción agroecológica*. Series Manual y Cursos N° 8, 200p. INDAP Centro de Educación y Tecnología (CET).
- Lacombe, C., Couix, N., and Hazard, L. (2018).** Designing agroecological farming systems with farmers: A review. *Agricultural Systems*, 165(2018), 208–220. doi:10.1016/j.agsy.2018.06.014.

Nair, P K.R. (1984). *Soil productivity aspects of agroforestry*. Kenya. 92p.

Primavesi, A. (2002). Optimizando las interacciones entre el clima, el suelo, los pastos y el ganado. *LEISA Revista de Agroecología* 18(1):15-16.

Snapp, S. (2017). *Agroecology: Principles and practice. Agricultural Systems* (Second edition, Chapter 2) p: 33-72. doi:10.1016/b978-0-12-802070-8.00002-5

Venegas, R. 1996. El rol de los animales en los sistemas de producción en CET y CLADES (Eds.) Curso de autoformación a distancia. Desarrollo Rural Humano y Agroecológico. (Módulo II, p: 219-233). Centro de Educación y Tecnología, Consorcio Latinoamericano de Agroecología y Desarrollo.