

Sistemas de policultivos

Matt Liebman

En muchos lugares del mundo, especialmente en los países en desarrollo, los agricultores realizan sus siembras en combinaciones (policultivos o cultivos intercalados) más que en cultivos de una sola especie (monocultivos o cultivos aislados). Hasta hace unos veinte años, los investigadores agrícolas, en general, ignoraban las características que caracterizaban a los policultivos. Sin embargo, recientemente, la investigación del policultivo ha aumentado y muchos de los beneficios potenciales de estos sistemas se han hecho más evidentes.

La enorme variedad de policultivos existentes refleja la gran diversidad de cosechas y prácticas de manejo que usan los agricultores en todo el mundo para suplir las necesidades de comida, vestido, combustible, medicamentos, materiales de construcción, forraje y dinero. Los policultivos pueden comprender combinaciones de cultivos anuales con otros anuales, anuales con perennes o perennes con perennes. Los cereales pueden cultivarse asociados a leguminosas y los cultivos de raíces asociados a frutales. Los policultivos se pueden sembrar en forma espaciada, desde la combinación simple de dos cultivos en hileras intercaladas hasta asociaciones complejas de doce o más siembras entremezcladas. Los componentes de un policultivo pueden sembrarse en la misma fecha o en otra diferente (cultivos de relevo); la cosecha de los distintos cultivos puede ser simultánea o a intervalos. Las descripciones de los diferentes sistemas de policultivos se encuentran en Papendick et al. (1976), Kass (1978), ICRISAT (1984), Beets (1982), Gómez y Gómez (1985), Steiner (1984), Francis (1986), y otros.

La prevalencia de los policultivos en el mundo

Los sistemas de siembra en policultivos representan una parte importante del paisaje agrícola en muchos lugares del mundo. Constituyen alrededor del 80% del área cultivada en Africa occidental (Steiner 1984) y predominan también en otras áreas de este continente (Okigbo y Greenland 1976). Gran parte de la producción de los cultivos básicos de las zonas tropicales latinoamericanas proviene de un sistema de policultivos: más del 40% de la yuca, 60% del maíz y 80% de los frijoles de aquellas regiones se cultivan combinados entre sí o con otros cultivos (Francis et al. 1976, Leihner 1983).

Los policultivos son muy comunes en áreas de Asia donde los principales cultivos son el sorgo, el mijo, el maíz, el arroz de secano y el trigo de secano (Aiyer 1949, Harwood y Price 1976, Harwood 1979a, Jodha 1981). El arroz de inundación generalmente se siembra en forma de monocultivo; sin embargo, en algunos lugares de Asia sudoccidental, los agricultores construyen camas elevadas para producir cultivos de secano entre las franjas de arroz (Suryatna 1979, Beets 1982).

Aunque los policultivos son frecuentes en áreas tropicales, donde los predios son pequeños y los agricultores carecen de capital o créditos para comprar fertilizantes sintéticos, plaguicidas y maquinarias agrícolas, su uso no se restringe a estas zonas. Los policultivos también se pueden encontrar en zonas templadas, en los predios más o menos extensos altamente mecanizados, con disponibilidad de capital. Algunos ejemplos: los pastos forrajeros y leguminosas que se siembran asociados a cultivos de maíz, soya, cebada, avena o trigo (Stewart et al. 1980, Vrabel et al. 1980, Hofstetter 1984, Scott et al. 1987, Hartl 1989, Samson et al. 1990, Power et al. 1991, Wall et al. 1991, Hesterman et al. 1992, Kunelius et al. 1992); la soya que se entresiembró con un cultivo de trigo en crecimiento (Reinbott et al. 1987); las arvejas de campo sembradas en combinaciones con granos pequeños para la producción de forraje o semillas (Johnston et al. 1978, Murray and Swenson 1985, Izaurralde et al. 1990, Chapko et al. 1991, Hall y Kephart 1991); la soya cultivada en hileras con maíz o girasoles (Radke and Hagstrom 1976, Francis et al. 1986); pastos y leguminosas sembradas como vegetación de cobertura en huertos de nueces y frutas (Altieri y Schmidt 1985, Bugg and Dutcher 1989, Bugg et al. 1990); y por último combinaciones de pastos/leguminosas para la producción de forraje (Heath et al. 1985).

Ventajas en la producción

Una de las principales razones por la cual los agricultores a nivel mundial adoptan policultivos, es que frecuentemente se puede obtener un mayor rendimiento en la siembra de una determinada área sembrada como policultivo que de un área equivalente, pero sembrada en forma de monocultivo o aislada. Este aumento en el aprovechamiento de la tierra es especialmente importante en aquellos lugares del mundo donde los predios son pequeños debido a las condiciones socioeconómicas y donde la producción de los distintos cultivos está sujeta a la cantidad de tierra que se pueda limpiar, preparar y desmalezar (generalmente en forma manual) en un tiempo limitado.

El mayor aprovechamiento en el uso de la tierra de un policultivo común en India, sorgo con guandul, se ilustra mediante los datos obtenidos a partir de los experimentos realizados por Natarajan y Willey (1981). Los investigadores encontraron que 0.94 hectáreas de monocultivo de sorgo y 0.68 hectáreas de monocultivo de guandul fueron necesarias para producir las mismas cantidades de sorgo y guandul que se cosecharon en un policultivo de 1.0 hectárea. El coeficiente de tierra equivalente (LER) del policultivo fue entonces $0.94 + 0.68 = 1.62$ (para mayor información acerca del concepto LER, vea Mead and Willey 1980). En este caso, el rendimiento de cada especie cultivada en la combinación, se redujo por competencia del cultivo asociado; pero el rendimiento total del policultivo, por unidad de superficie, fue un 62% mayor comparado con el de los monocultivos.

Siempre que $LER > 1$, un policultivo tiene un rendimiento mayor en un área determinada que el que se puede obtener de distintos monocultivos. Los valores de LER, obtenidos de ensayos realizados con una gran variedad de sistemas de policultivos, señalan que se pueden lograr considerables aumentos en la eficacia del uso de la tierra: 1.26 para mijo/maní (Reddy y Willey 1981), 1.38 para maíz/frijol (Willey y Osiru 1972), 1.53 para mijo/sorgo (Andrews 1972), 1.67 para maíz/guandul (Dalal 1974), 1.85 para cebada/haba (Martin y Snaydon 1982), 2.08 para maíz/ñame/camote (Unamma et al. 1985), y > 2.51 para yuca/maíz/maní (Zuofa et al. 1992). En el último caso se calculó solamente el valor LER para el maíz y la yuca; la producción

del cultivo intercalado del maní fue adicional. De este modo se necesitaron > 2.51 hectáreas de monocultivos para producir la misma cantidad de alimento que produjo el policultivo en 1,0 hectárea.

Aunque los agricultores a menudo trabajan con policultivos sin utilizar fertilizantes o plaguicidas, las ventajas en el rendimiento de los policultivos no están sujetas a una condición de bajos insumos. Se han dado a conocer altos valores de LER cuando se han usado grandes cantidades de fertilizantes y plaguicidas (Osiru y Willey 1972, Willey y Osiru 1972, Bantilan et al. 1974, Cordero y McCollum 1979). Esto es importante porque sugiere que los agricultores pueden seguir aprovechando mejor la eficacia de la tierra que otorgan los policultivos, mientras mejora la productividad de sus sistemas agrícolas.

Algunos investigadores sostienen que los altos valores de equivalencia de la tierra para combinaciones de cultivos con diferentes períodos de madurez, sobreestiman la aparente eficacia del uso de los policultivos, dado que varias siembras de corta duración se podrían cultivar secuencialmente con el mismo período de duración de un policultivo. Al parecer estas críticas no están del todo justificadas dado que los agricultores a menudo necesitan producir cultivos de larga y corta estación, que sólo pueden crecer normalmente, aun con riego en ciertas épocas del año (Balasubramanian y Sekayange 1990). Es más, los rendimientos de los policultivos, evaluados en términos de eficacia espacial y temporal, aún pueden mostrar, mayores ventajas sobre los monocultivos (como frijol/yuca, Leihner 1983; maíz/yuca, Wade y Sánchez 1984; maíz/guandul, Dalal 1974, Ofori y Stern 1987; maíz/soya, Dalal 1974, Ofori y Stern 1987; maíz/camote/frijol, Balasubramanian y Sekayange 1990).

En el futuro, la evaluación de las características de los policultivos puede incluir diferentes criterios, como la producción diaria por hectáreas de proteínas y calorías (Wade y Sánchez 1984). Estos indicadores se acercan mucho más al criterio usado por los agricultores para elegir los mejores sistemas de cultivo capaces de proporcionar diversos productos de alto régimen dietético para comerciar. También es importante señalar que los agricultores en muchos casos ponen más atención al rendimiento del cultivo principal, al cual han incorporado otras especies, para asegurarse que no fracase, controlar la erosión, mejorar la fertilidad de los suelos y controlar las malezas. En esta situación, la ventaja en el rendimiento del policultivo se muestra claramente al ser la producción del cultivo principal de la mezcla, igual o mayor al compararlo con el monocultivo. Por ejemplo, Obiefuna (1989) informó que al entresembrar el melón egusi en una plantación de banano se podrían aumentar las cosechas bananeras hasta en un 26%. Abraham y Singh (1984) notaron que al intercalar semilla de caupí con sorgo, aumentaba el rendimiento del sorgo en un 95%, como promedio.

La rentabilidad económica neta de los policultivos puede ser mayor que la de los monocultivos que crecen en áreas equivalentes. Norman (1977) estudió los sistemas de cultivos en el norte de Nigeria y encontró que cuando tomaba en cuenta en sus análisis el costo de mano de obra, la utilidad era de un 42% a un 149% mayor para los policultivos que para los monocultivos. Leihner (1983) notó que en Colombia se necesitaba más mano de obra para policultivos de yuca/frijol que para un cultivo aislado de yuca, pero que el ingreso neto de los policultivos era mayor. En experimentos llevados a cabo en Inglaterra, Salter et al. (1985) encontraron que al sembrar intercaladamente col de bruselas con repollos se podían obtener mayores márgenes y menores costos en insumos por unidad de producción, al compararlos con los respectivos monocultivos.

Se debería señalar que las utilidades de los sistemas de cultivos pueden variar considerablemente de un año a otro. Sanders y Johnson (1982) informaron que, en un año, el cultivo de frijol como monocultivo proporcionó mayores ganancias que el policultivo de maíz/frijol; sin embargo al año siguiente, cuando cambiaron los precios de ambos cultivos, las utilidades relativas de los dos sistemas se invirtieron. De esta forma, el rendimiento económico de los sistemas de policultivos necesita una mayor investigación, más que sólo unas pocas temporadas de cultivos.

La estabilidad de la producción

En sistemas agrícolas donde la subsistencia es el objetivo principal, reducir el riesgo de perder totalmente la cosecha parece ser tan importante como aumentar el potencial nutricional y las ganancias económicas (Lynam et al. 1986). La variabilidad en la producción de policultivos de cereales/leguminosas puede ser menor que la de sus componentes como monocultivos, tal como se descubrió en Grecia para combinaciones de trigo/leguminosa y avena/leguminosa (Papadakis 1941) y en India para combinaciones de sorgo/guandul (Rao y Willey 1980). Por consiguiente, la probabilidad de no tener nada para comer o vender es aparentemente menor cuando se utilizan combinaciones de cultivos. De hecho, Trenbath (1983) ha demostrado que para una determinada área de tierra, la probabilidad de que una familia deje de producir las calorías suficientes para subsistir es menor cuando esta área se encuentra sembrada con un policultivo de sorgo/guandul que cuando lo está con los mismos componentes, pero éstos como monocultivo. Francis y Sanders (1978), trabajando con maíz y frijoles, y Rao y Willey (1980), con sorgo y guandul, descubrieron que la probabilidad de exceder un «nivel específico de desastre en los ingresos» era mayor para los policultivos que para los monocultivos.

Trenbath (1976) y Burdon (1987) han sugerido que puede haber una compensación productiva entre los componentes del policultivo, de manera que si uno de éstos falla debido a una sequía, plaga u otro factor, se podría compensar al aumentar la productividad del otro componente(s). Kass (1978) cita un estudio realizado por Gliemeroth (1950) que ilustra este principio. Cuando los cultivos de avena se redujeron a causa de un ataque del gusano alambre, la producción de las arvejas sembradas con avena era mayor que la baja en la producción de avena; ésta última bajó hasta la mitad, mientras que la producción de arvejas aumentó cuatro veces. Existe una carencia general de datos que demuestre en forma concluyente este fenómeno de tipo compensatorio (Harwood 1979b, Burdon 1987). Se necesita mucha más investigación antes de asumir que la estabilidad creciente de la cosecha es una característica general de los policultivos; en aquellos casos, donde la estabilidad realmente aumenta, se requiere más investigación para entender el (los) mecanismo(s) de causa.

El uso de recursos

A medida que los investigadores dirigen sus investigaciones hacia los mecanismos de uso de recursos en poli y monocultivos, se hace más evidente que las ventajas de producción de los policultivos están a menudo asociadas con el uso de una mayor proporción de luz, agua y nutrientes disponibles (captación mayor de recursos) o con el uso más eficaz de una determinada unidad de recursos (mayor eficacia de conversión de recursos) (Willey 1990). Estas formas de mejorar la utilización de recursos

reflejan tres fenómenos: complementación en el uso de ellos, como también la facilitación entre especies y cambios en la partición de recursos.

Si las siembras se realizan con monocultivos que usan los recursos ambientales de distintas maneras, cuando se siembran juntas, pueden «complementarse» entre sí y hacer un mejor uso combinado de los recursos que por sí solas (Vandermeer 1989, Willey 1990). En términos ecológicos, la complementación minimiza el traslape de nichos entre las especies asociadas y, de tal forma, disminuye al mínimo la competencia por recursos. La complementación puede considerarse como *temporal* cuando las mayores demandas de recursos de los cultivos se producen en períodos diferentes; *espacial* cuando los doseles o raíces captan recursos en diferentes zonas; *fisiológica* cuando existen diferencias bioquímicas entre los cultivos en cuanto a sus respuestas frente a los recursos del medio ambiente.

Cuando la densidad total de la siembra es mayor en los policultivos que en los monocultivos, los primeros pueden interceptar más luz en las primeras etapas del desarrollo. Este fenómeno se ha observado en combinaciones de maíz con frijol mungo, maní o camote (Bantilan et al. 1974) en combinaciones de sorgo con caupí, frijol mungo, maní o soya (Abraham y Singh 1984). Los policultivos compuestos por cultivos con patrones no sincrónicos de crecimiento de doseles y diferentes períodos de maduración (como las combinaciones de sorgo/guandul estudiadas por Natarajan y Willey 1980), pueden proporcionar una mayor superficie de hojas a medida que transcurre la temporada del cultivo e interceptar más energía luminosa que los monocultivos.

La mayor cantidad de cobertura por doseles que producen los policultivos, puede disminuir la luz solar que alcanza la superficie del suelo, de manera que una mayor cantidad de agua útil para el suelo se canaliza como transpiración a través de los cultivos antes de perderse como evaporación proveniente del suelo; Reddy y Willey (1981) observaron este hecho en combinaciones de mijo/maní. El aumento de la cobertura del dosel producida por los policultivos, también puede aumentar la infiltración del agua de lluvia en el suelo y disminuir la erosión reduciendo el impacto de las gotas de lluvia en la superficie del suelo, como cuando se realizan combinaciones de maíz/yuca (Lal 1980) y de maíz/trébol rosado (Wall et al. 1991).

Los policultivos compuestos de especies con patrones de raíces espaciales complementarias pueden explotar un mayor volumen de suelo y tener un mayor acceso a nutrientes relativamente inmóviles como el fósforo (O'Brien et al. 1967, Whittington y O'Brien 1968). Los policultivos compuestos por especies que tienen patrones complementarios y temporales de crecimiento radicular y absorción de nutrientes, pueden capturar más nutrientes si éstos están continuamente disponibles gracias a la mineralización. Natarajan y Willey (1980) observaron este fenómeno en combinaciones de sorgo/guandul tal como lo hicieron Reddy y Willey en la mezcla de mijo/maní.

La complementación fisiológica puede manifestarse en policultivos compuestos de especies que utilizan procesos fotosintéticos C^4 y C^3 . El primer tipo de especies se adapta, a menudo, mucho mejor a los ambientes bien soleados, como por ejemplo la parte superior de los doseles en combinación, mientras que las últimas se adaptan mejor a condiciones más sombreadas (Willey 1990). Las combinaciones comunes de C^4/C^3 incluyen maíz/frijol, sorgo/guandul y mijo/maní. Esta complementación fisiológica también se observa respecto a la nutrición de nitrógeno. La fijación de nitrógeno atmosférico dado por los componentes leguminosos de los policultivos para

satisfacer sus propias necesidades, pueden dejar reservas de nitrógeno disponibles en el suelo para uso de los componentes no leguminosos asociados (deWit et al. 1966, Martin y Snaydon 1982, Ofori y Stern 1987). Aunque las ventajas en rendimiento de los policultivos son más notorias bajo condiciones de una menor disponibilidad nitrogenada del suelo (Hiebsch y McCollum 1987), éstas no necesariamente desaparecen cuando aumenta la fertilidad del nitrógeno. Las mayores ventajas en rendimiento de los policultivos se obtuvieron cuando el nitrógeno, como fertilizante, se aplicó en dosis consideradas como adecuadas para satisfacer completamente las demandas del policultivo (Osiru y Willey 1972, Willey y Osiru 1972).

La facilitación interespecífica se hace presente cuando especies que crecen en policultivo tienen acceso a recursos que no se encuentran en monocultivos, o cuando gozan de mejores condiciones en un hábitat teniendo como resultado una conversión de recursos más eficaz (Vandermeer 1989). Si una de las especies componentes de un policultivo es una leguminosa que porta la bacteria que fija el nitrógeno en sus raíces, el nitrógeno atmosférico puede transferirse a las no leguminosas asociadas e incrementar considerablemente su rendimiento (Ofori y Stern 1987). Agboola y Fayemi (1972) observaron este fenómeno en combinaciones de maíz/frijol mungo como también lo hicieron Kapoor y Ramakrishnan (1975) en combinaciones de trigo/*Trigonella polycerata* y Eaglesham et al. (1981) con maíz/caupí. El mejor aprovechamiento del uso del agua (valorada como CO₂ obtenido mediante la fotosíntesis /H₂O pérdida como transpiración) se ha notado en siembras de crecimiento lento cultivadas bajo el alero de cultivos superiores que actúan como cortavientos (Radke y Hagstrom 1976).

La facilitación entre especies es un rasgo característico importante de ciertos sistemas de cultivos en callejón, en los cuales las siembras anuales se intercalan entre hileras de perennes leñosas; siendo típico de la vegetación perenne el podarla para ser usada como mulch, forraje, materiales de construcción o leña. Se descubrió que el uso de una especie leguminosa arbórea, el *Gliricidium sepium*, como fuente de mulch y sistema vivo de sostén para ñames, aumentaba el rendimiento de los ñames al doble en Nigeria (Budelman 1990a, 1990b). Palada et al. (1992) informó de aumentos en la condición nutricional y productiva de los cultivos de cuatro hortalizas (*Amaranthus cruentus*, *Celosia argentea*, quimbobó y tomate) sembradas entre franjas de *Leucaena leucocephala*, otra especie leguminosa arbórea; los setos en hilera de *Leucaena* se usaron como mulch. Los cultivos anuales en asociación con árboles, pueden ser benéficos cuando las hojas de los árboles de raíces más profundas caen y se descomponen, liberando nutrientes, como ocurre con el mijo sembrado junto a árboles de *Acacia albida* (Charreau y Vidal 1965).

En los policultivos se pueden manifestar cambios en la partición de los recursos de manera tal que los mayores porcentajes del total de nutrientes y materia seca se fijan en la parte cosechable de los cultivos cuando éstos se encuentran combinados que cuando crecen separadamente (Willey 1990). Cuando esto ocurre, cada unidad de material obtenido a través de la fotosíntesis o de la absorción radicular produce para el agricultor un beneficio mayor en policultivos que en monocultivos. Por ejemplo, Natarajan y Willey (1981) observaron que las semillas constituían el 19% de la biomasa aérea del guandul cuando éste se sembraba en monocultivo; y 32% de su biomasa cuando se cultivaba en combinación con el sorgo. La mayor presencia de carbono y nutrientes en las semillas significó un mayor rendimiento en las plantas de guandul cultivadas intercaladamente, aun cuando su tamaño total se redujo por su

asociación con el sorgo. Los resultados obtenidos por Natarajan y Willey (1986) tienen un particular interés. Los investigadores descubrieron que los aumentos porcentuales de distribución en el sorgo, mijo y maní ocurridos al crecer en policultivos tenían una mayor connotación bajo condiciones de sequía. Los policultivos resultaron ser provechosos para el rendimiento de semillas cuando la escasez de agua influía con mayor rigurosidad sobre la productividad total de la planta.

Influencias de los policultivos

Efectos de los policultivos sobre los insectos plagas

Frecuentemente las plagas de insectos son menos abundantes en policultivos que en monocultivos. Andow (1991a) revisó 209 publicaciones de estudios agrícolas hechos sobre 287 especies artrópodos herbívoras y descubrió que el 52% de las especies de plagas estudiadas eran menos abundantes en los policultivos, el 13% no mostraba diferencias, el 15% era más abundante y el 20% mostraba una respuesta variable. Además señaló que el 53% de las especies de depredadores y parasitoides, que actúan como enemigos naturales de las plagas de insectos, eran más numerosas en policultivos que en monocultivos; el 9% de los enemigos naturales eran menos habituales, el 13% no mostraba diferencia y el 26% señalaba una respuesta variable en policultivos. Por lo tanto, el uso de los sistemas de producción en policultivos puede aumentar la importancia de parasitoides y depredadores como controles naturales de las poblaciones de plagas de insectos. Root (1973) calificó esta explicación acerca de la baja población de plagas de insectos en los policultivos como la «hipótesis de los enemigos» (*enemies hypothesis*).

¿Por qué habría mayor posibilidad de que existan más enemigos naturales de plagas de insectos en policultivos que en monocultivos? Andow (1991a) describe un número de posibles razones que incluyen: incrementos en la variedad y cantidad de fuentes disponibles de alimento, mejores condiciones del microhábitat, cambios en señales químicas que afectan la ubicación de las especies de plagas de insectos e incrementos en la estabilidad dinámica de poblaciones de depredador-presa y parasitoide-huésped (ver los ejemplos del capítulo 13). Estos factores pueden ayudar a mejorar el éxito en la reproducción, sobrevivencia y eficacia de los enemigos naturales.

Una segunda explicación respecto a la menor cantidad de plagas de insectos en policultivos que en monocultivos es la «hipótesis de concentración de recursos» de Root (1973): las plagas de insectos, especialmente las especies con un limitado índice de huéspedes, tienen mayor dificultad para ubicar y permanecer en las plantas huéspedes en sembrados pequeños y dispersos que para hacerlo en cultivos grandes y densos. Estos cambios en el comportamiento se deben quizás a la gran interferencia química y visual que existe con las señales usadas para la ubicación de la planta huésped o a las modificaciones del microhábitat y de la calidad de esta planta huésped (Andow 1991a). Los resultados de los estudios que sustentan la hipótesis de concentración de recursos, se describen en el Capítulo 13.

Pese al gran número de estudios que evidencian la menor abundancia de especies de plagas de insectos en policultivos, relativamente pocos han investigado si existe una correlación entre las poblaciones reducidas de plagas y la mayor productividad del cultivo. Andow (1991b) al revisar 6 estudios le permitió realizar 41 comparaciones entre las poblaciones de plagas y la productividad de los policultivos y monocul-

tivos, concluyendo que la disminución de estas poblaciones en los policultivos por lo general, pero no siempre, estaba correlacionada con el mayor rendimiento del cultivo. Es necesario que se investigue más para entender mejor los mecanismos ecológicos que afectan las poblaciones de plagas de insectos y su relación efecto/rendimiento sobre los sistemas de policultivos productivos.

Efectos de los policultivos sobre los agentes patógenos de las plantas

Aún se ha investigado poco acerca de la ecología y el manejo de los agentes patógenos de las plantas en los policultivos (Sumner et al. 1981). En algunos casos, la incidencia de las enfermedades demostró ser mayor en cultivos que se siembran en policultivos que en monocultivos; en otros casos ocurre lo contrario. Por ejemplo, en experimentos realizados en Costa Rica, Moreno (1975) descubrió que al comparar un monocultivo de yuca, la gravedad de la necrosis de la yuca era mayor cuando ésta se cultivaba con maíz, pero menor al cultivarla con frijoles o camotes. Moreno (1979) también encontró que la gravedad de la alternariosis angular en los frijoles era mayor cuando se asociaban con el maíz, pero menor con la yuca o el camote en comparación con un monocultivo de frijoles.

Sólo ahora los investigadores empiezan a comprender los mecanismos subyacentes que producen las enfermedades en diferentes sistemas de cultivos. Los siguientes aspectos de los policultivos pueden ser importantes para mejorar la salud de las plantas:

1. Las plantas de especies susceptibles se pueden cultivar con una menor densidad en policultivos que en monocultivos, pues el espacio entre ellas se puede ocupar con especies de plantas resistentes que son de gran valor para el agricultor. Esta menor densidad de las plantas susceptibles puede aminorar la propagación de enfermedades al disminuir la cantidad de tejido infectado y que posteriormente sirve como una nueva fuente de inoculación. En algunas enfermedades el sólo hecho de aumentar la distancia entre las plantas susceptibles mediante una reducción de su densidad, puede también disminuir la propagación del inóculo. Esto se advirtió en monocultivos y combinaciones de cebada y trigo expuestos a la necrosis de la cebada (Burdon y Whitbread 1979).

2. Las plantas resistentes diseminadas entre plantas susceptibles, pueden interceptar la diseminación del inóculo por el viento o el agua e impedir que las plantas susceptibles se infecten el efecto mosquitero. Moreno (1979) señaló este hecho como un mecanismo para explicar la menor incidencia del *Ascochyta phaseolorum* en caupí cuando este cultivo se sembraba asociado con maíz.

3. El microclima de los policultivos puede que sea menos favorable para el desarrollo de enfermedades. Se ha observado que varias enfermedades de la arveja han disminuido en su gravedad cuando las enredaderas están asociadas con cereales, que cuando permanecen enredadas en el suelo (Johnston et al. 1978). Al cultivar intercaladamente las arvejas con los cereales, se mejora la circulación del aire y se reduce la humedad. En otras combinaciones de cultivos, una cobertura más densa de doseles puede aumentar la humedad y reducir la penetración de la luz, lo que favorece a algunas enfermedades fungales y bacteriales (Palti 1981). Esto puede requerir el uso de disposiciones espaciales que fomenten una configuración más raleada entre los doseles de los policultivos.

4. Los microbios o excreciones de las raíces de una de las especies cultivadas pueden afectar a los organismos patógenos del suelo que afectan las raíces de otra especie asociada al cultivo. Este parece ser el mecanismo responsable de la baja

incidencia de *Fusarium udum* que causa la marchitez del guandul cuando éste se sembró con sorgo (ICRISAT 1984).

Poco se ha investigado acerca de los efectos de los policultivos en las poblaciones de nemátodos fitoparásitos. Sin embargo, es claro que los nemátodos prefieren determinadas especies de cultivo (Palti 1981) y que ciertas plantas, como las caléndulas (*Tagetes* spp.), excretan sustancias que son tóxicas para ellos (Cook y Baker 1983). Estos efectos dan a entender que sería posible atraer, atrapar o exterminar a los nemátodos al entresembrar algunas especies junto con cultivos que necesitan ser protegidos. Visser y Vythilingam (1959) informaron que el cultivo de caléndulas entre arbustos de té, reducía las poblaciones de nemátodos en el suelo y en la raíces de éste. Cuando la leguminosa *Crotalaria spectabilis* se usó como cultivo de cobertura en huertos de duraznos, los nemátodos atacaron las leguminosas en vez de los árboles, lo que aumentó la producción de frutas (Cook y Baker 1983). Otros ejemplos de los efectos de los policultivos sobre las bacterias patógenas, hongos, virus y nemátodos se describen en el capítulo 13.

En una situación análoga a la de los insectos plaga en policultivos, poco se sabe de la manera cómo afectan el rendimiento los patógenos en los policultivos respecto a su productividad. Burdon (1987) observó que sin modelos experimentales apropiados es imposible decir si una mejor eficiencia en el uso de los recursos o una menor incidencia en los síntomas de enfermedades, son responsables de una mayor producción en los policultivos. Es necesario investigar más acerca de la ecología y manejo de los patógenos en los policultivos.

Los efectos de los policultivos sobre las malezas

El control de malezas es una de las labores agrícolas que más necesita del uso de mano de obra en áreas tropicales y que más requiere de productos químicos en las zonas templadas. Comparados con los sistemas de siembra en monocultivos, los policultivos parecen ofrecer muchas más opciones para mejorar el control de malezas con un menor uso de mano de obra, menos productos químicos y bajos costos.

Un análisis de la literatura sobre policultivos/malezas llevado a cabo por Liebman y Dyck (1993), comparó el crecimiento de malezas en policultivos con los monocultivos en lo referente a las especies componentes. Se revisaron dos tipos de sistemas de policultivos: sistemas en los cuales el agricultor se interesa primordialmente en el rendimiento de una especie principal, entresembrando un cultivo más suave para controlar malezas, erosión, para aumentar la fertilidad del suelo y obtener una pequeña cantidad productiva adicional del cultivo asociado; y sistemas en los cuales el agricultor está interesado en el rendimiento de todas las especies componentes, de las cuales ninguna se siembra específicamente para el control de malezas. En la primera situación, el crecimiento de malezas en el policultivo fue menor en 47 casos y mayor en 4 en comparación con la siembra principal. En la segunda situación, en 12 casos el crecimiento de malezas en el policultivo fue menor que en todos los monocultivos componentes, en 10 casos normal entre monocultivos componentes y en 2 casos mayor que en los monocultivos de todos los componentes.

A través de una cantidad considerable de investigaciones se ha probado la utilidad de los policultivos para controlar las malezas en Nigeria. Akobundu (1980) informó que en cuanto al rendimiento de cultivos y al de la supresión de malezas, cultivos tales como el melón egusi y camote podrían reemplazar 3 desmalezajes manuales cuando se cultivaban con siembras de ñame y maíz, solamente, y en combinaciones

de policultivos con ñame, maíz y yuca. Los cultivos de protección no sólo sirvieron como un medio para ahorrar mano de obra en el control de malezas, sino que también ayudaron a controlar la erosión debido a su mayor cobertura de suelo. Zuofa et al. (1992) descubrieron que un cultivo intercalado de maní, caupí o melón con un cultivo principal de yuca/maíz, daba como resultado un control superior de malezas, aumentaba los rendimientos totales y elevaba los coeficientes equivalentes de la tierra. Se descubrió que el maíz intercalado con cultivos de protección tales como camote, caupí, maní o melón más un desmalezaje manual, entregaba un mayor ingreso neto que el maíz en un monocultivo desmalezado manualmente tres veces o aplicando herbicidas (Zuofa y Tariah 1992). Obiefuna (1989) informó que al cultivar melones entre plátanos, se reducía el crecimiento de malezas de manera que el desmalezaje se podía atrasar hasta siete meses después de la siembra.

En experimentos realizados en India, Shetty y Roo (1981) descubrieron que al añadir cultivos de caupí o frijol mungo a cultivos principales de sorgo o guandul, la maleza crecía menos en la primera temporada y disminuía de dos a uno el número de desmalezajes manuales necesarios para lograr altas producciones. Estos cultivos no tuvieron ningún efecto en el rendimiento de las especies principales y aún más, proporcionaron una producción adicional por sí solos. Abraham y Singh (1984) midieron la producción de un cultivo y los efectos supresivos de las malezas al añadir caupí, maní, soya o frijol mungo al sorgo. Al sembrar de manera intercalada cualquiera de las cuatro leguminosas anuales, aumentaba la cosecha y el contenido de nitrógeno en el sorgo y disminuía en gran cantidad el crecimiento de malezas. La cosecha de las semillas o el forraje de las leguminosas fue un beneficio extra. Resultados similares obtuvieron Tripathi y Singh (1983) cuando añadieron soya al maíz. Sengupta et al. (1985) demostraron que al sembrar entre surcos garbanzo negro en un cultivo de arroz (21 días después de haber sembrado el arroz) suprimía eficazmente el nivel de crecimiento de malezas, eliminaba la necesidad de un desmalezaje manual e incrementaba el ingreso y la producción total del cultivo en comparación con el arroz sembrado como monocultivo. Ali (1988) informó que el rendimiento total de semillas de los cultivos intercalados de guandul/frijol mungo sin ningún desmalezaje manual, se acercaba mucho al nivel de rendimiento obtenido del guandul en un monocultivo que se había desmalezado. El crecimiento de maleza en policultivos era de un 22% a un 38% menor que en el guandul en un monocultivo no desmalezado; la cosecha adicional obtenida del cultivo de protección de frijol mungo, compensó la pérdida de rendimiento del guandul debido a la acción de la maleza.

En climas templados, la entresiembrado de leguminosas como abono verde en cultivos de cereales y leguminosas en granos puede controlar más eficientemente la maleza en los cultivos principales, proporcionar una cubierta vegetal de baja altura para el control de erosión durante el otoño y el invierno y, además, aumentar la fertilidad del suelo. Harwood (1984) informó que en Pensilvania, cuando se cultivaba intercaladamente trébol rosado o algarroba con maíz o soya (sembrado 35 días antes y cosechada una sola vez) no afectaba los rendimientos de los cultivos asociados de granos, reducía en gran escala el crecimiento de malezas, formaba casi completamente una cubierta del suelo y reducía el requerimiento de fertilizantes nitrogenados en cultivos subsiguientes. En experimentos realizados en Gran Bretaña, al añadir reygrass italiano o trébol rosado a la cebada o habas, se obtuvo una disminución en el crecimiento de malezas perennes *Agropyron repens* que provenían de las semillas o

de los fragmentos de rizoma que permanecían en el suelo (Dyke y Barnard 1976). En Nueva Jersey (EE.UU), el maíz sembrado sin labranza o herbicidas en un trébol subterráneo establecido, produjo tanta o más biomasa y grano como el maíz de monocultivo sembrado con herbicidas ya sea con o sin labranza (Enache y Ilnicki 1990). El trébol subterráneo se comportó como una planta anual de invierno la que creció especialmente en los meses de primavera y otoño, y permaneció como mulch muerto entre las hileras del maíz durante el verano. En Texas (EE.UU), al sembrar de manera intercalada un trébol subterráneo o uno de hoja de flecha en praderas con bermuda o bahía, se eliminaron drásticamente las malezas de éstas; la entresiembrá proporcionó un control sobre las malezas igual o mejor al que se obtiene aplicando herbicidas (Evers 1983).

Algunos investigadores han dado a entender que los policultivos pueden suprimir el crecimiento de malezas más eficazmente que los monocultivos debido a un uso mayor de los recursos prioritarios, dado que muchos policultivos explotan en proporción superior los recursos disponibles de agua, nutrientes y luz en comparación a los monocultivos. Sin embargo, a través de un análisis de datos que se disponen acerca de los patrones del uso de recursos, de productividad de cultivo y el enmalezamiento de policultivos, se demuestra que la hipótesis de dar prioridad a los recursos puede ser verdadera sólo en algunos casos (Liebman y Dick 1993). Con el objeto de comprender los mecanismos utilización de recursos en la interacción policultivo-maleza, se requerirá una mayor investigación en lo que respecta a la disponibilidad de recursos y utilización de éstos por parte de los cultivos y malezas durante la temporada de crecimiento.

Se ha demostrado que la densidad del cultivo, la elección de las especies y variedades, la disposición espacial y el régimen de fertilizaciones afectan las interacciones policultivo-maleza (Moody y Shetty 1981, Liebman 1988, Liebman y Dick 1993). En general, el aumento en la densidad del cultivo dá por resultado una mayor supresión del crecimiento de maleza (ver, Shetty y Roo 1981, Mohler y Liebman 1987). Los policultivos que comprenden especies y variedades que tienen un follaje que se forma rápida, vigorosa, densa y prematuramente sobre la superficie del suelo, son particularmente eficaces para reducir el crecimiento de malezas (Bantilan et al. 1974, Abraham y Singh 1984, Liebman 1989, Samson et al. 1990).

Los efectos de las disposiciones espaciales de un cultivo y los regímenes de fertilización parecen ser más variables. Por ejemplo, Prasad et al. (1985) informaron de un crecimiento menor de malezas en policultivos de guandul/sorgo cuando el guandul se sembraba en hileras pareadas que cuando se cultivaba en hileras mono espaciadas; sin embargo, Ali (1988), por el contrario descubrió que al sembrar los policultivos de frijol urdo, frijol mungo, soya, caupí o sorgo con guandul en una disposición de hileras uniformes, disminuía, con mayor eficacia, el crecimiento de malezas que cuando los policultivos de sorgo eran sembrados en hileras pareadas. Bantilan et al.(1974) observaron que la fertilización nitrogenada aumentaba la supresión competitiva de la maleza con policultivos de maíz/frijol mungo, pero que aminoraba o no tenía efecto en la supresión de ésta en policultivos de maíz/maní o maíz/camote. Esta variabilidad de resultados indica que antes de hacer cualquier generalización o predicción acerca de los efectos de las disposiciones espaciales del cultivo, los regímenes de fertilización y otros factores en las interacciones policultivo/maleza, es necesario entender mejor los mecanismos eco-fisiológicos que controlan estas interacciones.

Orientaciones futuras

El hecho de aumentar la diversidad de la vegetación mediante el uso de los policultivos no es la panacea para resolver los problemas de producción y protección de cultivos, pero puede ofrecer a los agricultores opciones potencialmente útiles para disminuir la dependencia de insumos externos, reducir al mínimo la exposición a los productos agroquímicos, aminorar el riesgo económico, la vulnerabilidad nutricional y proteger la base necesaria de los recursos naturales para la sustentación agrícola. La tarea para el futuro es poder entender mejor la dinámica y complejidad de los policultivos para que este sistema pueda refinarse, transferirse y adaptarse de manera que se obtengan beneficios predecibles. Vandermeer (1989) ha indicado muchas áreas donde la aplicación de la teoría ecológica bien puede ayudar al diseño y manejo de los sistemas de policultivos.

La prevalencia de los policultivos en países en desarrollo sugiere que muchos agricultores están muy conscientes de los beneficios de estos sistemas. Parece ser extremadamente contraproducente tratar de convencerlos para que abandonen el uso de los policultivos cuando sabemos cómo y cuándo obtener beneficios. Más bien, los investigadores que trabajan en los países en desarrollo deberían crear variedades de cultivos y prácticas de manejo (por ejemplo, la determinación de disposiciones óptimas de espacio, las densidades, etc.) que sean compatibles con los sistemas del policultivo y que mejoren el rendimiento de éstos (Francis et al. 1976, Krantz 1981). Un ejemplo de una tecnología apropiada para los policultivos es el diseño y producción de sembradoras y cultivadoras de tracción animal que tengan un bajo costo y que sirvan, específicamente, para combinaciones de cultivos (Anderson 1981). Los aspectos del control de plagas y del manejo de la fertilidad del suelo en los sistemas de policultivos requieren de mucha más atención en países en desarrollo donde se ve limitado el acceso a fertilizantes y plaguicidas sintéticos, debido a las condiciones socioeconómicas y a la preocupación por la salud del hombre y del medio ambiente.

El papel de los policultivos en la agricultura de los países desarrollados se expandirá probablemente en la medida que aumente la percepción de los costos económicos y ambientales de la gran dependencia en los productos agroquímicos (Horwith 1985). Pese a que la agricultura de estos países es muy mecanizada, los sistemas de policultivos pueden ser compatibles con la mecanización (por ejemplo, las leguminosas para abono verde sembradas en forma intercalada con granos; soya cultivada en relevo con trigo; cultivos de cobertura para el suelo de los huertos). Al igual que en los países en desarrollo se necesitan variedades de cultivos y prácticas de manejo que mejoren los beneficios de los sistemas existentes.

La atención puesta en el diseño de máquinas que faciliten el manejo de combinaciones de cultivos, podría permitir que los agricultores alcancen los beneficios biológicos potenciales de estos sistemas de una manera práctica. Cordero y McCollum (1979) hicieron notar que cualquier sociedad que puede llevar y traer gente a la luna de manera segura, debería ser capaz de diseñar la maquinaria adecuada para sembrar, mantener y cosechar policultivos.