

MIAF: UNA TECNOLOGIA MULTIOBJETIVO SUSTENTABLE PARA LA AGRICULTURA TRADICIONAL

JOSÉ ISABEL CORTÉS FLORES*
ANTONIO TURRENT FERNÁNDEZ**

En México la agricultura tradicional representa al 71.6% de las unidades de producción, las cuales poseen menos de cinco hectáreas (Robles, 2012) dedicadas fundamentalmente a la producción de granos básicos. Están ubicadas en cuencas bajas cuya tierra de labor tiene pendientes menores de 20%, y en cuencas altas en laderas con pendientes de 20% a 40% o mayores (Cortés, 2017). En las cuencas bajas se produce maíz, frijol y otros productos en general, bajo el sistema de cultivo simple, manejado con tecnología mejorada; mientras que en las cuencas altas se produce bajo el sistema de milpa, manejado de manera tradicional, ya sea sedentarizada o en roza-tumba-quema (Cortés *et al.*, 2005a y b) debido al escaso acceso a tecnología e insumos modernos por falta de investigación agronómica en agricultura de ladera. En las cuencas bajas la producción de maíz puede ser sostenida para satisfacer las necesidades alimenticias de una familia de cinco miembros durante todo el año. Sin embargo, esto no significa que la seguridad alimentaria esté garantizada, puesto que el ingreso neto de un pequeño agricultor de maíz es tan bajo que no lo estimula a continuar con el cultivo de maíz. Estudios en el valle de Puebla indican que una Pequeña Unidad de Producción (PUP) que cultive cuatro hectáreas con maíz y obtenga un rendimiento de cinco toneladas por hectárea a la venta de la producción, incluyendo el rastrojo, recibiría un ingreso neto por día de una fracción de un salario mínimo, el cual es insuficiente para sostener a la familia (Cortés *et al.*, 2007). En las cuencas altas (agricultura de ladera) la situación es más crítica. El rendimiento de maíz varía de 400 a 700 kg/ha, que solamente cubre las necesidades alimenticias de la familia para seis meses. Por lo tanto, las familias padecen

* Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México.

** Programa de Maíz, Campo Experimental Valle de México, CIRCE-INIFAP.

inseguridad alimentaria y no es raro que obtengan ingresos negativos de su trabajo agrícola. Además, el suelo ha sufrido una degradación severa debido a la erosión hídrica, asociada a las prácticas de manejo tradicionales que desde hace varios años han dejado de ser apropiadas ante la presión sobre la tierra, cada vez mayor por una población creciente. Es obvio, las PUP viven en una crisis económica y ecológica crónica (Cortés *et al.*, 2005a). Esto ocurre no obstante los programas de apoyo implementados a través del tiempo para que los pequeños agricultores adopten innovaciones tecnológicas que les permitan el uso eficiente de sus recursos limitados de tierra y agua, y mejoren la productividad agrícola. La experiencia indica que el grado de adopción de las tecnologías recomendadas, tales como la agricultura de conservación, cultivo en callejones, terrazas de formación sucesiva, terraza de muro vivo, entre otras, es bajo debido fundamentalmente al bajo impacto en el ingreso neto familiar; por lo tanto, el beneficio en el bienestar de la familia es despreciable (Cortés *et al.*, 2007). Además, el pequeño agricultor maneja su unidad de producción como un sistema, más que como un enfoque netamente disciplinario, razón por la cual, él estaría más dispuesto a adoptar sistemas agrícolas alternativos acordes con su situación socioeconómica y entorno ecológico. Está reconocido que un sistema agrícola es exitoso si éste es productivo, rentable, aceptable y sostenible.

Por lo anterior, el presente capítulo incluye la reseña analítica del origen, diseño, establecimiento, manejo e impacto del sistema “Milpa intercalada con árboles frutales (MIAF)”, como una tecnología multiobjetivo sustentable para la agricultura tradicional.

LA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES (MIAF)

Este sistema de milpa es de manejo intensivo de la tierra, que optimiza los beneficios de las interacciones biológicas creadas cuando los árboles frutales son combinados deliberadamente con el maíz, el frijol u otra leguminosa comestible de porte bajo. El sistema MIAF busca robustecer al cultivo del maíz a través de: *a*) mejorar el rendimiento del maíz de manera sustantiva sin el incremento paralelo de insumos; *b*) complementar el ingreso neto familiar que proviene del maíz con otro que deriva del cultivo de árboles frutales en interacción con la milpa; *c*) controlar la erosión hídrica con los árboles frutales como muro vivo, y *d*) capturar CO₂ como en un bosque. El diseño y manejo del sistema MIAF está de acuerdo con el concepto de sostenibilidad agrícola, cuyos elementos clave son: el capital natural, el capital social y el capital humano (Pretty, 2008), no solamente de la productividad de la tierra sino de todo el sistema de producción en beneficio para el país,

la sociedad, pero particularmente para los agricultores. Estos elementos son fundamentales para que una tecnología alternativa sea realmente adoptada por los pequeños agricultores.

ORIGEN DEL SISTEMA MIAF

Una de las primeras lecciones aprendidas del trabajo de investigación agronómica en el Plan Puebla, fue que los pequeños agricultores con frecuencia manejan sus predios bajo el sistema de cultivos intercalados (CIMMYT, 1974). En suelos con humedad residual, el maíz en cultivo simple o mixto con frijol, calabaza y otras especies (milpa), se siembra en tiras de surcos entre hileras de árboles frutales caducifolios de diferentes especies (ciruelo, peral, chabacano, manzano, duraznero, tejocote) y materiales dentro de especies (precoces, intermedios y tardíos). Con esta estrategia, el pequeño agricultor disminuye los riesgos del clima (sequía, heladas, granizo) y mercado (fluctuación de precios), tiene más oportunidad de empleo en la misma unidad de producción y su ingreso neto es menos estacional. La cosecha de frutos empieza a finales del mes de mayo (ciruelo y peral precoces) y termina en el mes de diciembre (tejocote). El maíz es cosechado a finales del mes de octubre. De esta manera, en un año en que las heladas tardías severas (último mes del invierno) ocasionan la pérdida de la cosecha de fruto de los materiales precoces, el ingreso de la familia no es de cero, puesto que le queda la cosecha de los materiales intermedios y tardíos; asimismo, en un año con una sequía que restrinja la producción de maíz y/o frijol, el ingreso tampoco será cero, pues le queda la cosecha de frutos para el consumo familiar y la comercialización (Cortés y Turrent, 2012). El pequeño productor no “pone todos los huevos en una sola canasta”, sino que los distribuye en varias canastas, lo cual está de acuerdo con los principios de un buen inversionista. La oportunidad de empleo en la misma pequeña unidad de producción es mayor durante el año, en comparación con trabajar solamente con maíz y/o frijol. También se aprendió que se trataba de un sistema en el cual los árboles frutales recibían poco manejo hortícola, debido a la falta de acceso a conocimiento tecnológico, a diferencia del maíz o la milpa, cuyo manejo es dominado por los campesinos. Por lo tanto, la productividad del sistema de cultivo intercalado (“maíz o milpa-árboles frutales”) no coincidía con el potencial ecológico de la región —suelos profundos con humedad residual y precipitación media anual de 840 mm con una buena distribución (CIMMYT, 1974)—, por lo que había oportunidad de revitalizarlo con los principios de sostenibilidad agrícola.

OBJETIVO

Que las pequeñas unidades de producción agrícola no abandonen el cultivo de maíz por falta de sustentabilidad. Esto es crucial puesto que el maíz es estratégico para la seguridad alimentaria de las familias campesinas. Además, México es centro de origen del maíz, y las pequeñas unidades de producción son depositarias del germoplasma de las 60 razas nativas, valiosas no solamente para México sino para el mundo.

ESTRATEGIA

La estrategia considera incrementar de manera sustantiva y sostenible el rendimiento del maíz sin incrementar paralelamente el uso de insumos agroquímicos, así como el monto del ingreso neto a partir del árbol frutal durante el año mediante: el acceso al cultivo apropiado de árboles frutales de alto valor en el mercado de fruta fresca; controlar la erosión del suelo mediante el desarrollo de terrazas de muro vivo en las que el árbol frutal actúa como agente estabilizador; disminuir la emisión de CO₂ a la atmósfera a través de la captura y secuestro de carbono, como en un bosque (Cortés *et al.*, 2005a). En fin, que el pequeño agricultor practique una agricultura sustentable.

La primera consideración se basa en el uso eficiente de la radiación fotosintéticamente activa (RAFA) por la planta de maíz. En cultivo simple, el acceso del follaje a la RAFA está altamente estratificado. El follaje del tercio superior tiene acceso a 100% de la RAFA, mientras que los tercios medio e inferior solamente logran recibir 24 y 17%, respectivamente; por lo tanto, la eficiencia en el uso de la luz solar (que es un insumo gratuito) es baja y disminuye la cantidad de materia seca producida por unidad de superficie, y la eficiencia relativa de la tierra es 1.0. El necesario complemento del ingreso neto familiar mediante la producción y venta de frutos de alto valor en el mercado es porque el maíz, en pequeñas unidades de producción, tiene capacidad limitada como fuente principal de ingreso neto para la familia, aun manejado con tecnología apropiada; a diferencia de lo que sucede en las unidades de producción grandes, donde el volumen cosechado da un ingreso neto suficiente que satisface las necesidades de la familia. El alto valor de un fruto en el mercado depende de su calidad y época de cosecha, que a la vez dependen de la variedad y prácticas culturales apropiadas y oportunas en el manejo del árbol frutal. En las prácticas de conservación y uso eficiente del suelo y agua, los agentes estabilizadores comúnmente son árboles o arbustos de leguminosas, que además de controlar la erosión hídrica

aportan nitrógeno al suelo a través de la fijación simbiótica y la descomposición de la madera podada (Garrity, 2004). De esta manera, disminuye la cantidad de fertilizante nitrogenado para el cultivo de maíz; sin embargo, también reducen la superficie de tierra de labor para el maíz, y demandan mano de obra para la poda y mantenimiento de setos sin ninguna retribución económica directa; por lo tanto, la familia es poco beneficiada en su ingreso neto. Con el árbol frutal, como agente estabilizador o muro vivo, se busca superar estas limitaciones, es decir, además de controlar la erosión hídrica, el árbol frutal debe jugar el papel crucial de fuente principal de ingreso (motor económico) y, en términos de servicios ambientales, coadyuvar en la captura y secuestro de carbono (Etchevers *et al.*, 2005).

DISEÑO DEL SISTEMA MIAF

Cuencas bajas

El sistema MIAF se empezó a desarrollar en el área del Plan Puebla con base en las experiencias de los pequeños agricultores con su sistema de cultivo intercalado “maíz o milpa-árboles frutales” en franjas. Con un criterio agronómico, fue diseñado el módulo MIAF, el cual consiste en una franja de tierra de labor de 14.4 m de ancho, que equivale a 18 surcos con una anchura del surco de 0.80 m, que es el que practica el pequeño agricultor. El maíz, frijol y árbol frutal ocupan cada uno seis surcos. El árbol frutal ocupa los seis centrales, y el maíz y frijol ocupan los seis surcos que flanquean ambos lados del árbol frutal. El árbol frutal se planta en línea recta o al contorno (terrenos con pendiente), y el maíz y frijol se siembra en tiras de dos surcos alternantes, o en surcos individuales alternantes con microrotación anual. El módulo se extiende a lo largo del terreno y se repite lateralmente. El arreglo espacial de las tres especies significa que cada una de ellas ocupa un tercio de la superficie cultivada (Cortés *et al.*, 2007).

Cuencas altas

En este caso, el módulo MIAF fue diseñado mediante la integración del sistema MIAF de cuencas bajas y la tecnología “terrace de muro vivo” (TMV), la cual fue desarrollada por el INIFAP en la región de los Tuxtlas, Veracruz, como alternativa para el manejo sustentable de laderas cultivadas con maíz. La TMV usa como agente estabilizador o muro vivo de la terraza, a la leguminosa arbórea *Gliricidia sepium*, plantada al contorno (Turrent *et al.*, 1995). La efectividad de la TMV en el control de la erosión hídrica y producción

sostenida de maíz está ampliamente demostrada. Con la tecnología tradicional del pequeño agricultor, por cada kilogramo de maíz producido se pierden 35.5 kilogramos de suelo; mientras que con la TMV la pérdida es de solamente 400 gramos. El rendimiento de grano de maíz/ha/año con la TMV es mayor a cuatro toneladas, que alcanza para satisfacer las necesidades de una familia de cinco miembros durante todo el año. Por lo tanto, su adopción resuelve el problema de seguridad alimentaria y degradación del suelo. No obstante, la adopción por el pequeño agricultor fue baja, aun cuando se hizo trabajo de extensión para demostrar sus ventajas. La experiencia indicó que si bien la TMV es una tecnología sustentable desde el punto de vista ecológico y permitía el acceso al alimento básico de la familia, el cultivo de maíz no era sustentable, puesto que el ingreso neto familiar seguía siendo de una fracción de salario mínimo, por lo que no había un cambio significativo respecto al obtenido con la tecnología tradicional. Es decir, la TMV no era sustentable económica y socialmente para las pequeñas unidades de producción. Sucede lo mismo con las tecnologías “cultivo en callejones”, “agricultura de conservación”, “terrazas de formación sucesiva” y “bordos al contorno”, entre otras. Por lo tanto, en el módulo MIAF para laderas, en primer lugar, el árbol de *Gliricidia sepium* fue sustituido por un árbol frutal que se selecciona por el valor de su fruto en el mercado de fruta fresca, pues de lo contrario, no podría jugar el papel de motor económico. En segundo lugar, debido a las pendientes pronunciadas en las laderas cultivadas con maíz, la anchura del módulo se redujo de 14.40 m a 10.60 m, dividido también en tres franjas, una central de 4.2 m de ancho y dos flanqueadoras de 3.2 m cada una. La franja central está dedicada al árbol frutal, plantado en la parte media del contorno y en las dos flanqueadoras, con cuatro surcos cada una, se siembra el maíz y el frijol de la misma manera que en el módulo MIAF de cuencas bajas. En este caso, el arreglo espacial de las tres especies da una distribución de la tierra cultivada de 40% para el árbol frutal, 30% para el maíz y 30% para el frijol (Cortés *et al.*, 2012).

ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DEL SISTEMA MIAF

Se inicia con la limpia del terreno y preparación del suelo de acuerdo con las prácticas culturales del pequeño agricultor. En seguida se procede al trazo de las hileras para el árbol frutal. Las hileras pueden ser en línea recta o al contorno, dependiendo del grado y uniformidad de la pendiente. Se recomienda que el trazo se realice con el nivel o aparato “A”, cuyo manejo es práctico y fácil de aprender (Cortés *et al.*, 2005a, 2012).

En cuencas bajas, las hileras de árboles frutales quedan espaciadas a 14.4 m con 12 surcos entre ellas para el maíz y frijol. Todas las hileras con árboles frutales deben tener sus seis surcos flanqueadores a ambos lados, de acuerdo al diseño del módulo MIAF. En cuencas altas la separación entre hileras queda de 10.6 m, con ocho surcos entre ellas y, como en el caso anterior, todas deben tener sus cuatro surcos flanqueadores. En el siguiente paso se procede a marcar los puntos donde se plantarán los árboles frutales, a una separación de un metro entre árbol y árbol, lo cual da una densidad de plantación de 694 y 944 árbol/ha en cuencas bajas y altas, respectivamente. En condiciones de riego, la plantación se realiza tan pronto como ha pasado el peligro de daño por heladas tardías, y en temporal en cuanto haya suficiente humedad en el suelo de las primeras lluvias. Los árboles deben ser de buena calidad, con una edad de 18 a 24 meses, injertados en portainjertos apropiados. Para la plantación, el tamaño de la cepa debe permitir acomodar bien el cepellón, de tal manera que las raíces no queden dobladas. No olvidar que el árbol frutal debe ser de una variedad de alta calidad para el mercado de fruta fresca y cosechada en la época de menor oferta en el mercado, para que el pequeño agricultor pueda vender a un mejor precio. El árbol es conducido y podado con un solo eje principal inclinado con un ángulo de 30° respecto al tronco, de manera alterna; por lo tanto, los árboles en la hilera forman una horqueta que se asemeja a la del sistema tipo Tatura modificado. El sistema Tatura fue diseñado para que la luz solar penetre mejor en todo el dosel (uso eficiente de la RAFA) con altas densidades de plantación, tener más madera de fructificación, número de frutos apropiado por árbol y cosechar frutos de alta calidad (Forshey *et al.*, 1992). Asimismo, los árboles frutales plantados en altas densidades de plantación tienden a tener una raíz más profunda, lo cual es deseable en los cultivos intercalados como el sistema MIAF, pues lo que se busca es que las especies componentes exploren diferentes estratos del perfil del suelo para disminuir la competencia en el aprovechamiento del agua y nutrientes disponibles, sobre todo en condiciones de temporal. En el sistema MIAF la raíz del árbol frutal es profunda, la del maíz es intermedia y la del frijol es somera. En cuanto a nutrición, los árboles frutales se fertilizan con oportunidad cada año con nitrógeno, fósforo y potasio a una dosis de acuerdo con la edad del árbol (Cortés *et al.*, 2012). En algunos suelos hay necesidad de aplicar elementos menores, tales como zinc y manganeso. El control de plagas y enfermedades también es clave en la obtención de una buena cosecha de frutos de alta calidad durante toda la vida productiva del árbol frutal. En el caso del maíz y frijol, la siembra en tiras de dos surcos alternantes (dos surcos de maíz seguidos de dos surcos de frijol) permite pasar de un tercio a dos tercios del follaje del maíz con acceso directo a la RAFA, respecto al cultivo simple, y

la siembra en surcos individuales alternantes (uno de maíz seguido de uno de frijol) ayuda a que prácticamente todo el follaje tenga acceso directo a la RAFA, sobre todo en surcos con una orientación este-oeste. De esta manera, se pueden manejar altas densidades de población sin detrimento en la capacidad fotosintética del maíz e incrementar el rendimiento de grano por unidad de superficie, sin un aumento paralelo de la dosis de fertilizante (Turrent, 2006). En cambio, el frijol puede disminuir su rendimiento por efecto del sombreado por el maíz; sin embargo, también puede beneficiarse dado que es una planta C_3 . El maíz y el frijol se deben sembrar usando los mejores genotipos nativos o mejorados, mediante la genética clásica, con la densidad de población y dosis de fertilizante recomendadas.

Otro elemento clave del sistema MIAF en laderas, es el filtro de escurrimientos que se coloca cada año aguas arriba de la hilera del árbol frutal, sostenido por el tronco del mismo árbol frutal (muro vivo). El filtro de escurrimientos es un camellón de un metro de ancho formado con rastrojo de maíz entrelazado. La madera de la poda se usa también para formar el filtro de escurrimientos. El papel del filtro de escurrimientos es restar velocidad al agua de lluvia que escurre entre las hileras de árboles, y de esta manera disminuir la fuerza erosiva y propiciar la sedimentación y acumulación del suelo y nutrientes en solución a lo largo de cada hilera de árbol frutal aguas arriba, lo que forma paulatinamente la terraza (Turrent *et al.*, 1995).

Todo lo anterior demanda tener el cúmulo de conocimientos requerido para el manejo apropiado del sistema MIAF con pequeños agricultores en las diferentes regiones del país, y lograr la productividad de acuerdo con el potencial ecológico de cada región. Asimismo, la presencia de una asistencia técnica calificada y sostenida es imprescindible para lograr los objetivos del sistema MIAF. De acuerdo con los avances del grupo de investigación CP-INIFAP, falta mucho por hacer al respecto.

IMPACTO DEL SISTEMA MIAF

El sistema MIAF está en proceso de desarrollo y aplicación en los estados de Puebla, Veracruz, Oaxaca, Estado de México y Chiapas, mediante un proyecto conjunto del Colegio de Postgraduados-INIFAP. El sistema MIAF, que se ha trabajado más en clima templado, es el que incluye el durazno, debido al acceso a variedades mejoradas cuyo fruto es bien pagado en el mercado de fruta fresca (de 25 a 30 pesos por kilogramo). En el transcurso de los años, se ha ido diversificado con árboles de manzana, chicozapote, agua-

cate, mango, lima persa, rambután, entre otros, de acuerdo al clima de la región (Cortés *et al.*, 2005b; Turrent *et al.*, 2017).

En promedio, los resultados muestran que los rendimientos de grano de maíz, frijol y fruto de durazno por hectárea MIAF —en la cual cada uno de ellos ocupa un tercio de la superficie— son del orden de 2.5, 0.5 y 6.0 toneladas, respectivamente, bajo condiciones de temporal en provincias agronómicas de muy buena y buena productividad (relación precipitación/evaporación > 1, y suelos con una profundidad > 1 m). De acuerdo con los objetivos del sistema MIAF, la pregunta obligada a contestar es si con esta productividad por hectárea se puede lograr que el maíz no deje de ser cultivado y garantizar la seguridad alimentaria de las familias campesinas.

La distribución espacial del maíz, frijol y duraznero en este sistema MIAF, significa que si se tuvieran tres hectáreas MIAF, se tendría una hectárea cultivada con cada especie, pero dispersa en las tres hectáreas con MIAF. Entonces, el rendimiento de grano de maíz, frijol y fruto de durazno sería de 7.5, 1.5 y 18 toneladas por hectárea dispersa, respectivamente. Estos rendimientos son superiores al rendimiento medio nacional de cada especie como cultivos simples, lo que significa que el maíz cultivado bajo el sistema MIAF se vuelve competitivo en las pequeñas unidades de producción.

Bajo condiciones de riego, la investigación en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del INIFAP, usando variedades mejoradas de maíz y frijol, y árboles de durazno variedad Oro México, los rendimientos promedio por hectárea MIAF han sido del orden de 5.43 t de maíz, 0.83 t de frijol y 9.7 t de fruto de durazno, que equivalen a 16.3, 2.5 y 29 t/ha dispersa, respectivamente (Turrent, 2006). El rendimiento de maíz de 16.3 t/ha dispersa supera en 1.3 t al rendimiento máximo de maíz en cultivo simple (hectárea compacta) reportado en valles altos de 15 t/ha. Estos resultados muestran otra vez que el maíz se vuelve competitivo bajo el sistema MIAF. Lo anterior también es válido para el frijol y el duraznero. En el caso de este último, el rendimiento de fruto de durazno en huertos del estado de Aguascalientes, manejados con alta tecnología, son del orden de 22 t/ha, y su meta es alcanzar 35 t/ha que se obtienen en huertos de países desarrollados como Italia (Sánchez, 2008).

Los resultados de investigación en el mismo CEVAMEX, bajo condiciones de temporal, muestran que los rendimientos de grano de maíz y frijol, y de fruto de durazno bajo el sistema MIAF, también son competitivos cuando se comparan con los que se obtienen en cultivo simple (hectárea compacta), aun cuando se trata de un temporal errático. El rendimiento promedio del maíz híbrido H-52E como cultivo simple durante cuatro años fue de 3.52 t/ha/año, mientras que el rendimiento promedio en los mismos

cuatro años (dos años benignos y dos limitativos) bajo el sistema MIAF fue de 6.38 t/ha dispersa/año. El rendimiento promedio de frijol en dos años (uno benigno y uno limitativo) fue de 1.66 t/ha/año en cultivo simple y de 2.11 t/ha dispersa/año bajo el sistema MIAF. En el caso del durazno bajo el sistema MIAF se han tenido rendimientos de fruto superiores a las 15 t/ha dispersa/año (Turrent, 2006). Rendimientos similares han sido obtenidos en el valle de Puebla y en laderas de las regiones Cuicateca, Mazateca y Mixe, en el estado de Oaxaca (Cortés *et al.*, 2005a). La mayor productividad con el sistema MIAF, indica una mayor eficiencia relativa de la tierra, respecto a los cultivos simples. Los rendimientos de maíz y frijol obtenidos en el CEVAMEX-INIFAP, arriba mencionados, muestran que en condiciones de riego, la eficiencia relativa de la tierra (relación rendimiento en cultivo intercalado MIAF/rendimiento en cultivo simple) es de 0.56 y 0.40 respectivamente. Puesto que en este sistema MIAF ambas especies ocupan un tercio (33%) de la superficie, valores de eficiencia relativa de la tierra mayores a 0.33 indican el grado de superioridad sobre el cultivo simple. El uso de la tierra con maíz y frijol bajo el sistema MIAF es más eficiente que bajo cultivo simple, ya que rinden como si ocuparan una superficie adicional de 23% y 7%, respectivamente. Destaca la superioridad del maíz, que es el resultado esperado de acuerdo con las hipótesis de trabajo establecidas en el desarrollo del sistema MIAF. La siembra del maíz que es una planta C_4 (Kimball, 2003), junto con el frijol en franjas alternas, permite que más follaje del maíz reciba luz solar directamente, lo que ocasiona que sea más prolífica con mazorcas de mayor tamaño. Esta respuesta es la que se observa en las plantas de maíz que crecen en los surcos de orilla de las siembras de los campesinos.

Con árboles de durazno bajo el sistema MIAF, los resultados de trabajos de investigación en el valle de Puebla bajo condiciones de temporal en suelos con humedad residual, muestran que la eficiencia relativa de la tierra con la variedad Diamante (que ocupa un tercio del terreno) varía de 0.52 (6.76/12.89) a 0.67 (5.63/8.42), y con la variedad Oro México de 0.50 (4.7/9.36) a 0.74 (5.86/7.96), en años sin daños severos por heladas tardías. Estos resultados demuestran también que el uso de la tierra con árboles frutales como el durazno bajo el sistema MIAF, es más eficiente que el cultivo simple.

La eficiencia relativa de la tierra total de los cultivos intercalados, como es el sistema MIAF, es la suma de las eficiencias relativas de las especies componentes; en este caso maíz, frijol y durazno. Una eficiencia relativa de la tierra menor de 1 indica que el sistema propuesto es inferior al cultivo simple; si resulta igual a 1 no hay diferencia entre ellos, y si es mayor que 1, el sistema MIAF es mejor que el cultivo simple. Mientras más alta sea la eficien-

cia relativa de la tierra del sistema MIAF, la probabilidad de adopción por los pequeños productores será mayor. En países asiáticos donde se lleva a cabo trabajo sobre policultivos desde hace varias décadas, es común encontrar valores de eficiencia relativa de la tierra que varían de 1.6 a 2.0 o aún mayores. Con el sistema MIAF se ha logrado una eficiencia relativa de la tierra de 1.3 a 1.5. Las experiencias en diferentes regiones del país muestran que técnicamente es posible incrementarla de acuerdo con el potencial ecológico de la región, mediante investigación agronómica (Camas, 2011).

El análisis financiero *ex ante* de la aplicación del sistema MIAF por hectárea en una microcuenca de la Sierra Mazateca. Oaxaca indica los siguientes parámetros: Valor Actual Neto (VAN) igual a 53 714 (pesos constantes de 2004), Tasa Interna de Retorno (TIR) igual a 20.68% y Relación Beneficio Neto R (B/C) igual a 1.49. Estos parámetros fueron calculados a partir de costos e ingresos del sistema MIAF adicionales a los de la milpa tradicional. La partida más costosa del sistema MIAF fue la compra de mil arbolitos injertados de durazno, igual a 30 mil pesos. Sin embargo, esta inversión pudo ser sustituida en gran parte por mano de obra familiar y tiempo. El costo de los mismos mil arbolitos fue de 5 080 pesos autopropagándolos en minicépellones e injertándolos un año después en el campo (Turrent *et al.*, 2017).

La fortaleza del sistema MIAF para incrementar el ingreso, se sustenta en que el precio de venta de un kilogramo de materia seca de un fruto para el pequeño agricultor es al menos cuatro veces el precio de venta del grano de maíz. Además, la diferencia entre el precio de venta para el productor y el consumidor indica que hay posibilidad de incrementar aún más el ingreso de la familia rural mediante apoyos para la comercialización de sus productos. Esto es crucial puesto que el incremento en la producción de cosechas no necesariamente significa ganancias más altas para los pequeños agricultores si los productos no pueden alcanzar los mercados apropiados o los precios son bajos. De aquí la necesidad de una política de apoyo gubernamental efectivo para que los pequeños agricultores puedan tener acceso a canales de comercialización adecuados y oportunos.

En condiciones de insuficiencia alimentaria de la familia rural, además de disminuir el consumo diario de maíz, incrementar el consumo de fuentes de calorías alternas (si es que tiene acceso a ellas) y vender sus escasos bienes patrimoniales, el jefe de familia tiene que buscar empleo extrafinca fuera de su comunidad, en las ciudades grandes del país o emigrar a Estados Unidos como ocurre cotidianamente desde hace tiempo. Como es conocido por todos, este fenómeno causa no solamente el abandono del campo mexicano, sino también la desintegración familiar con el traslado del peso de toda la responsabilidad de la familia a la esposa. La oportunidad de más empleo bien remunerado en las pequeñas unidades de producción es el camino

para revertir esta situación. Estudios realizados en el valle de Puebla indican que el maíz como cultivo simple desde la preparación de la tierra para la siembra hasta la cosecha, requiere alrededor de 40 jornales/ha/año. Esto significa que la mano de obra disponible en una familia de cinco miembros (el papá, la mamá y tres hijos) está subutilizada. En cambio, el manejo del sistema MIAF demanda alrededor de 180 jornales/ha/año, debido a las prácticas culturales requeridas en el manejo de los árboles frutales, con mano de obra calificada, por lo que hay necesidad de que los miembros de la familia sean capacitados y asesorados por técnicos con experiencia en el manejo del sistema MIAF. Esto significa más oportunidad de empleo, no solamente para las familias rurales, sino también para los agrónomos que están egresando cada año y que tienen dificultades para encontrar empleo. En el proyecto “Manejo sustentable de laderas”, jefes de familia de la región mazateca, en Oaxaca, han expresado que la mano de obra familiar ya no era suficiente para manejar el sistema MIAF en menos de una hectárea, por lo que tenían que contratar mano de obra en su misma comunidad; y algo muy importante, que ya estaban menos presionados para buscar empleo extrafincas y podían convivir más tiempo con la familia (Cortés *et al.*, 2005a). Además, el manejo adecuado del sistema MIAF requiere que los pequeños agricultores tengan acceso a los insumos y servicios recomendados. Un elemento clave es el acceso a los árboles frutales recomendados, de calidad certificada a precios razonables. La experiencia en el Plan Puebla ha demostrado que en general los viveros están alejados de las pequeñas unidades de producción, entonces, el acceso a este insumo es un serio problema. Una alternativa viable para resolverlo es el establecimiento de pequeños viveros localizados lo más cerca posible a las comunidades rurales donde se esté promoviendo la adopción del sistema MIAF. Estos viveros pueden ser manejados por una familia o por una asociación de productores, asesorados constantemente por técnicos e investigadores experimentados en la materia, con el prerequisite fundamental de que se trata de una microempresa que debe dar el servicio de acceso oportuno a los árboles frutales recomendados, a precios razonables. De la misma manera se puede manejar el resto de servicios requeridos (compra y mantenimiento de herramienta y equipo para la poda y protección fitosanitaria de árboles frutales, capacitación en el manejo del sistema MIAF). Esta es otra vertiente importante para crear más y mejores oportunidades de empleo en las comunidades rurales y establecer una vinculación estrecha entre pequeños agricultores, técnicos, investigadores y académicos de instituciones dedicadas a la investigación y enseñanza en ciencias agrícolas, lo cual permite una retroalimentación constante para todos y estar atento de los avances y hacer ajustes en caso necesario.

De lo hasta aquí presentado, se puede inferir que con el sistema MIAF, la pequeña unidad de producción aseguraría el acceso al maíz y frijol requeridos para alimentar a la familia durante todo el año, y a la vez mejorar su ingreso neto de manera significativa con la venta del fruto cosechado de los árboles cultivados junto con el maíz y frijol en interacción agronómica entre especies componentes.

Por otra parte, la sostenibilidad de la productividad de la tierra en las pequeñas unidades de producción depende de la protección de la cuenca, la conservación de la biodiversidad y de la mitigación y adaptación al cambio climático. Hay una impresión natural de que los bosques naturales son cruciales para proteger las funciones de la cuenca, particularmente en las partes altas de captación. Esta impresión, la cual es parte verdad y parte falacia, ha conducido a conflictos severos entre los gobiernos nacionales y las comunidades agrícolas pobres de cuencas altas en los países en desarrollo. México no es la excepción. La respuesta clave para controlar los escurrimientos y el suministro sostenido de agua es el mantenimiento de las propiedades de infiltración del suelo (Lehmann, 2003). Esto se puede lograr en paisajes de tierra de labor con una densidad apropiada de filtros vegetativos. Para México esto es crucial por dos razones: *a*) del total de agua dulce disponible en Norteamérica, 49% corresponde a Canadá, 43% a Estados Unidos y solamente 8% a nuestro país, y *b*) en las sierras es donde se inicia el ciclo hidrológico del agua dulce. Los resultados de investigación del grupo de trabajo Colegio de Postgraduados-INIFAP, en las regiones de los Tuxtlas, Veracruz y cuicateca, mazateca y mixe, Oaxaca, en laderas cultivadas con maíz, muestran que la efectividad del sistema MIAF en el control de los escurrimientos del agua de lluvia y pérdidas de suelo, es altamente satisfactoria (Cortés, 2017). En la primera región, la pérdida de suelo por cada kilogramo de maíz producido es de alrededor de 35.5 kilogramos con la tecnología tradicional, mientras que con la tecnología MIAF con árboles de chicozapote, la pérdida se reduce a aproximadamente 400 gramos, que es similar a la registrada en las tecnologías de terraza de muro vivo y de labranza de conservación (Turrent *et al.*, 1995). En consecuencia, se ha encontrado que el sistema MIAF en Veracruz después de 14 años, reportó cambios en la pendiente del terreno, formación de terrazas (0.94 a 0.5 m de profundidad y 4 a 5 m de ancho) y retención de suelo de 120 t ha⁻¹año⁻¹ a 81.5 t ha⁻¹año⁻¹ (comunicación personal. Dr. Mario Martínez Menes, 2017, Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Estado de México). También se encontró un incremento significativo en el contenido de MO del suelo, respecto al del suelo bajo manejo tradicional. En el estado de Oaxaca, en una ladera representativa con una pendiente > 30 %, el sistema MIAF reportó respuestas significativas en cinco años (Salinas, 2015). Puesto que la erosión del sue-

lo y la pérdida de MO del suelo son dos indicadores clave y por lo tanto puntos de intervención para solucionar el problema crítico de la degradación del suelo (Karlen y Rice, 2015), los resultados arriba reportados demuestran que el sistema MIAF es una tecnología multiobjetivo sustentable para la agricultura tradicional.

En cuanto al agua de lluvia escurrida se encontró que el coeficiente de escurrimiento promedio en ocho años fue de 30% con la tecnología tradicional, y de 15% con las tecnologías labranza de conservación y terraza de muro vivo. En las tres regiones del estado de Oaxaca, donde la precipitación anual promedio en el periodo 2000-2003 varió entre 634 mm y 2 040 mm, con lluvias frecuentes de baja intensidad, el escurrimiento medio varió de 3.3 mm en uso del suelo con acahual a 16.6 mm con el cultivo de maíz intercalado en árboles de nogal (*Juglans regia*). Con el sistema MIAF, el escurrimiento fue de 6.3 mm a 9.9 mm. Así, los coeficientes de escurrimientos fueron bajos y similares a los correspondientes para el bosque de encino, por lo que más agua de lluvia se infiltró en el suelo y estuvo disponible para las plantas, o se convirtió en escurrimiento subsuperficial o subterráneo (Figuroa *et al.*, 2005). Estos resultados confirman la eficiencia del sistema MIAF para reducir la erosión del suelo, y capacita a los pequeños agricultores de tierras altas para hacer agricultura sustentable al mismo tiempo que protegen los servicios de la cuenca.

En la actualidad, encontrar métodos de bajo costo para secuestrar carbono es una prioridad de política internacional en el contexto del interés creciente respecto al cambio climático global. El reconocimiento de que la acumulación de bióxido de carbono y otros gases efecto invernadero en la atmósfera superior es la razón principal del cambio climático global, ha impulsado la idea de mitigarlo a través de la conservación y manejo del bosque, idea que fue discutida desde los años setenta. La agroforestería tiene importancia como estrategia para secuestrar carbono debido al potencial de almacén de carbono en sus especies vegetales múltiples y suelo, así como su aplicabilidad en tierras agrícolas y en reforestación (Garrity, 2004; Montagnini y Nair, 2004). El sistema MIAF es una estrategia en este sentido, ya que, como en los bosques, el manejo incluye prácticas agroforestales que ayudan a disminuir el carbono atmosférico, a través del secuestro y conservación de carbono en el suelo y en la biomasa (Schroth, 1999). El uso de árboles frutales en altas densidades plantados en contorno como muro vivo, junto con la siembra de maíz y frijol, controla la erosión hídrica y restaura la tierra degradada en las laderas (Figuroa *et al.*, 2005). De la misma manera, el arreglo topológico de las tres especies tiene implícito la premisa básica de que el potencial de secuestro de carbono de los sistemas de usos de la tierra gira alrededor de los procesos biológicos/ecológicos fun-

damentales de fotosíntesis, respiración y descomposición. En esencia, el carbono “perdido” o liberado” por la respiración de todos los componentes del ecosistema, y esta ganancia o pérdida global de carbono usualmente está representada por la productividad neta del ecosistema. En el proyecto “Manejo sustentable de laderas, regiones cuicateca, mazateca y mixe, en el estado de Oaxaca, 1999-2005” se reportó que: 1) los incrementos de carbono en el suelo fueron mayores en los sistemas de labranza de conservación y MIAF que en el uso de la tierra labranza tradicional (3.7 versus 2.7 Mg/ha/año); 2) en el sistema MIAF, en general, los árboles de durazno capturaron más carbono que los árboles de café; en parcelas de agricultores, la cantidad de carbono secuestrado varió de 0.70 a 1.21 Mg/ha/año, que fue aproximadamente 25% inferior al cuantificado en las parcelas experimentales; 3) la aplicación del sistema MIAF tuvo una ventaja adicional en cuanto a que significó un incremento de la entrada de residuos de cosecha y de malezas (que aprovechan la humedad residual y mejor fertilización del sistema) al suelo; ésta varió de 3.0 a 5.2 Mg/ha/año en un periodo con precipitación abundante, y de cero a 2.2 Mg/ha/año en otro con baja precipitación; en labranza de conservación, la entrada de residuos de cosecha y malezas varió de 1.5 a 3.4 Mg/ha/año, y 4) el potencial de captura adicional de carbono en el sistema MIAF con respecto a la labranza tradicional es de 1.85 Mg/ha/año en MIAF con árboles de durazno, y de aproximadamente 1 Mg/ha/año en MIAF con árboles de café (Etchevers *et al.*, 2005).

Finalmente, la adopción del sistema MIAF está en el interés de los productores mismos. Hay casos de adopción espontánea por organizaciones preexistentes de productores. En el estado de Chiapas, a partir del año 2010, en cinco regiones, 746 campesinos han establecido 589 hectáreas MIAF, usando árboles de lima persa, aguacate, durazno, rambután y plantas de piña como el componente árbol frutal (Turrent *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

Los resultados sobre productividad de la tierra, control de la erosión del suelo y cantidad de carbono secuestrado, así como el impacto en el ingreso neto familiar (cantidad y distribución durante el año) y una mayor oportunidad de empleo mejor remunerado con el sistema MIAF, indican que se trata de una alternativa tecnológica multiobjetivo viable para la revitalización sustentable de la agricultura tradicional. Los pequeños agricultores sin dejar de producir granos básicos, que son estratégicos para la seguridad alimentaria, pueden mejorar su ingreso sustancialmente a través de un uso eficiente del suelo y el agua, siempre y cuando se cumplan los siguientes su-

puestos: a) acceso a la asesoría técnica especializada y permanente; b) acceso al mercado de fruta fresca; c) disponibilidad de tecnología que resuelva la alta inversión inicial para su establecimiento, y d) selección adecuada del componente árbol frutal. México como país megadiverso tiene los recursos para ello.

BIBLIOGRAFÍA

- Camas, G.R. (2011), “Erosión hídrica, captura de carbono y uso de la radiación solar y agua en tres sistemas de manejo, para la agricultura de laderas en el trópico subhúmedo de México”, tesis de doctorado en Ciencias, Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Estado de México, México.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), (1974), *The Puebla Project, Seven Years of Experience, 1967-1973*, El Batán, Estado de México, México.
- Cortés F., J.I. (2017), “El sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF)”, en T.A. San Vicente(coord.), *Hagamos milpa, fortalezcamos la agricultura campesina*, México, Universidad Autónoma Metropolitana, pp. 81-89.
- Cortés F., J.I.; A. Turrent F., P. Díaz V., E. Hernández R., H. Mejía A., R. Mendoza R., A. Ramos S. y E. Aceves R. (2005a), “Subproyecto III, Tecnologías alternativas sustentables, Proyecto manejo sustentable de laderas, regiones cuicateca, mazateca y mixe, Oaxaca, México, Informe de actividades 1999-2005”, VII Reunión del Comité Técnico de Coordinación y Seguimiento, Montecillo, Colegio de Postgraduados.
- Cortés, J.I.; A. Turrent, P. Díaz, L. Jiménez, E. Hernández, y R. Mendoza, (2005b), “Hillside Agriculture and Food Security, Advances in the Sustainable Hillside Management Project”, en R. Lal, N. Uphoff, B.A. Stewart and D.O. Hansen (eds.), *Climate Change and Global Food Security*, Boca Raton, CRC Press/Taylor & Francis Group, pp. 569-588.
- Cortés F., J.I.; A. Turrent F., P. Claro C., E. Hernández R., E. Aceves R. y R. Mendoza R. (2007), “La milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) una tecnología multiobjetivo para las pequeñas unidades de producción”, en J.L. Calva (coord.), *Agenda para el desarrollo, Desarrollo agropecuario forestal y pesquero*, vol. 9, México, Universidad Autónoma de México, pp. 100-116.
- Cortés F., J.I. y A. Turrent F. (2012), “Una tecnología multiobjetivo para pequeñas unidades de producción”, en J.L. Calva (coord.), *Análisis estratégico para el desarrollo, Políticas agropecuarias y pesqueras*, vol. 9, México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 162-178.

- Etchevers B., J., C. Hidalgo M., J. Padilla C., R. M. López R., M. A. Vergara S., M. Acosta M., I. del Rayo Estrada H. y D. M. Schoot M. (2005), "Subproyecto II, Metodología de la medición de la captura de carbono, Proyecto manejo sustentable de laderas, regiones cuicateca, mazateca y mixe, Oaxaca, México, Informe de actividades 1999-2005", VII Reunión del Comité Técnico de Coordinación y Seguimiento, Montecillo, Colegio de Postgraduados.
- Figuroa S., B., M. Martínez M., E. Rubio G., R. López M., O. A. Estrada R., C. Moreno G. y R. Gómez R. (2005), "Subproyecto I, Caracterización geográfica y medición de escurrimientos, Proyecto manejo sustentable de laderas, regiones cuicateca, mazateca y mixe, Oaxaca, México. Informe de actividades 1999-2005", VII Reunión del Comité de Coordinación y Seguimiento, Montecillo, Colegio de Postgraduados.
- Forshey, G., D.C. Elfving and R.L. Stebbins, (1992), *Training and Pruning Apple and Pear Trees*, Alexandria, USA, Amer. Soc. Hort. Sci.
- Garrity, P. (2004), "Agroforestry and the Achievement of the Millennium Development Goals", en *Agroforestry System*, vol. 61, pp. 5-17.
- Karlen, D.L. and Ch. W. Rice. (2015), "Editorial Soil Degradation: Will Humankind Ever Learn?", en *Sustainability*, 17, 12490-12501.
- Kimball's Biology Pages (2003), *Photorespiration and C₄ Plants*, disponible en <<http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/C/C4plants.html>>.
- Lehmann, J. (2003), *Subsoil Root Activity in Tree-Based Cropping Systems, Plant and Soil*, vol. 255, pp. 319-331.
- Montagnini, F. and P.K.N. Nair (2004), "Carbon Sequestration, an Underexploited Environmental Benefit of Agroforestry Systems", en *Agroforestry System*, vol. 61, pp. 281-295.
- Pretty, J. 2008, "Agricultural sustainability, concepts, Principles and evidence", *Phil. Trans, R. Soc.* 363, 447-465.
- Robles B., H. (2012), "El papel central de los pequeños productores en una nueva estrategia de desarrollo rural", en J.L. Calva (coord.), *Análisis Estratégico para el desarrollo, Políticas agropecuarias y pesqueras*, vol. 9, México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 95-115.
- Salinas, S.R. (2015), "Caracterización topográfica, física y de fertilidad de un suelo de ladera manejado con el sistema milpa intercalada con árboles frutales durante cinco años", tesis de maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Estado de México, México.
- Sánchez, I. (2008), *Agroempresa profesional, El Surco*, año 113, trimestral núm. 1, pp. 8-9.
- Schroth, G. (1999), "A Review of Belowground Interactions in Agroforestry, Focussing on Mechanisms and Management Options", *Agroforestry Systems*, vol. 43, pp. 5-34.

- Turrent F, A. (2006), *Informe final, milpa intercalada en árboles frutales, una tecnología rentable y sostenible para pequeños productores, Campo Experimental Valle de México*, México, INIFAP.
- Turrent F, A., S. Uribe G., N. Francisco N. y R. Camacho C. (1995), “La terraza de muro vivo para laderas del trópico subhúmedo de México”, I, *Análisis del desarrollo de la terraza durante seis años, Terra*, vol. 13, núm. 3, pp. 276-298.
- Turrent F, A., J. I. Cortés F., A. Espinosa C., E. Hernández R., R. Camas G., J. P. Torres Z. y A. Zambada M. (2017), “MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México?”, en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 8, núm. 5, pp. 1169-1185.

