

Capítulo 3

Sistemas de producción agropecuaria en las tierras áridas

INTRODUCCIÓN

Según FAO (2001a), un sistema de producción agropecuaria se define como «conglomerado de sistemas de fincas individuales, que en su conjunto presentan una base de recursos, patrones empresariales, sistemas de subsistencia y limitaciones familiares similares; y para las cuales serán apropiadas estrategias de desarrollo e intervenciones también similares». Dependiendo de la escala de análisis, un sistema de producción agropecuaria puede abarcar desde unas pocas docenas, hasta muchos millones de núcleos familiares. El conocimiento de los sistemas de producción agropecuaria más importantes en las tierras áridas provee el marco necesario para el desarrollo de estrategias agrícolas y cambios. En base a la clasificación de los sistemas de producción agropecuaria de las regiones en desarrollo especificadas por FAO (2001a), la mayoría de los sistemas agrícolas de las tierras áridas caen en la categoría de sistemas de producción en secano en áreas de bajo potencial. Estos sistemas se caracterizan por ser sistemas de cultivo mixto con ganadería y sistemas pastorales, los cuales se unen formando pocas unidades, con frecuencia dispersas, con una productividad o un potencial de producción muy bajos debido a la aridez extrema o al frío.

Entender el mundo de los pequeños propietarios en los ambientes de tierras áridas es la clave para diseñar actividades adecuadas y exitosas de captura de carbono. Es importante comprender que el secuestro de carbono para el alivio de la pobreza debe ser más amplia, tanto como rango de prácticas, como de beneficios (no sólo en términos monetarios) que los esquemas similares en la agricultura comercial y la silvicultura.

Existen varios socios potenciales o grupos adecuados para la ejecución de programas de secuestro de carbono en las tierras áridas. Desde una perspectiva de escala, la agricultura a grande escala con aportes importantes de capital podría ser la más atractiva. Sin embargo, desde el punto de vista biofísico, como se discute en el Capítulo 4, los sistemas que emplean cantidades significativas de fertilizantes o que dependen fuertemente del combustible fósil para suministrar agua de riego, no deberían ser considerados, ya que por lo general son emisores netos de carbono. Solamente si ocurre un cambio de la amplia dependencia de los fertilizantes, los combustibles fósiles, las tecnologías o el uso de la tierra hacia prácticas más amigables respecto al carbono, podrían ser considerados a corto plazo en la agricultura actual a gran escala. Existen algunos sistemas de uso de la tierra de alto coeficiente de capital, tales como los esquemas agrícolas mecanizados en el este del Sudán (donde grandes extensiones de tierra se han degradado severamente) que ofrecen gran potencial de secuestro de carbono si son rehabilitadas por medio de prácticos de uso poco intensivo de la tierra.

Aparte de estas razones técnicas, los sistemas agrícolas en gran escala, con uso intensivo del capital, probablemente no son potencialmente compatibles con el secuestro de carbono debido a que las pequeñas cantidades adicionales de carbono que pudieran incorporarse no serían atractivas en comparación con los beneficios de otras fuentes, muchas de las cuales dependen de las técnicas emisoras de carbono.

Los principales grupos objetivo de la captura de carbono en los agrosistemas degradados son primeramente los agricultores en pequeña escala, de pocos recursos, en ambientes inciertos o proclives a riesgos, para los cuales los beneficios anticipados

podrían constituir un mejoramiento de sus medios de vida. Estos agricultores son conocidos como pequeños productores. Dependen de la agricultura basada en bajos ingresos y de subsistencia y generalmente se caracterizan por la diversidad, variabilidad y flexibilidad (Mortimore y Adams, 1999).

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE PEQUEÑOS AGRICULTORES

Las características principales de los sistemas de los pequeños agricultores en los países semiáridos en desarrollo son: su diversidad en extensión, variabilidad temporal y multidimensionalidad en términos de las formas que funciona y sobrevive (Mortimore y Adams, 1999). Esto es principalmente, debido a que los pequeños propietarios de las tierras áridas deben responder constantemente a un ambiente variado, cambiante y riesgoso. Sus operaciones son muy diferentes de las que se realizan en fincas grandes con propósitos comerciales, con acceso al crédito y a tecnologías orientadas a la eficiencia y respaldadas por sistemas de seguros contra riesgos y pérdidas. Esta diversidad, variabilidad y multidimensionalidad significa que cada sistema debe ser considerado de acuerdo a su mezcla única de características.

Otra característica importante de los pequeños agricultores que también los diferencia de los productores comerciales es que pocos de ellos están motivados por el único objetivo de los beneficios agrícolas. En cambio, los pequeños agricultores persiguen objetivos de subsistencia básica y sobrevivencia, balanceando diariamente los riesgos y oportunidades directamente a través de sus opciones de sustento y las prácticas de manejo en lugar de hacerlo por medio de instituciones externas (Collinson, 2000). Muchos agricultores pequeños tienen un fuerte vínculo con su tierra, la cual continúan laborando aún cuando los beneficios sean bajos, por razones tales como mantener la propiedad y preservar los lazos familiares. Al mismo tiempo, muchos tienen ingresos adicionales y con frecuencia más altos a partir de fuentes no agrícolas. Estas incluyen pequeños negocios, acopio de productos silvestres incluyendo la leña, mano de obra y remesas de miembros de la familia. El resultado es la existencia de «unidades de producción multiempresariales» (Hunt, 1991).

Los pequeños agricultores se diferencian claramente de los productores agrícolas de altos insumos por su necesidad de manejar múltiples riesgos. Casi todas sus inversiones y producciones están sujetas a grandes variaciones e incertidumbres, tales como la mano de obra, que con frecuencia es la variable más crítica. Otro riesgo crítico surge de la gran variabilidad de las precipitaciones, que arrojan dos consecuencias principales en lo que concierne a la captura del carbono. Una es la variación en el tiempo de la bioproductividad, lo que significa que la plantación y la cosecha (y la mayoría de las demás actividades agrícolas y no agrícolas) deben ser reajustadas rápidamente, algunas veces dentro de una misma temporada y con frecuencia entre temporadas. Por ejemplo, los barbechos que resultaron seguros durante años, tienen que eliminarse después de una estación poco productiva. La otra consecuencia es la variabilidad entre campos, algunos de los cuales pueden recibir suficiente lluvia y otros no. Existen otros riesgos que tienen consecuencias similares, incluyendo el ataque de plagas (contra las cuales los plaguicidas resultan muy costosos), las enfermedades del agricultor que provocan la indisponibilidad de mano de obra en algún momento crítico de la estación y la variabilidad de los precios de las inversiones tales como las semillas, la mano de obra, la alimentación y de los resultados, especialmente de las cosechas.

Según Mortimore y Adams (1999), las respuestas de los pequeños agricultores a estas múltiples limitaciones siguen tres vías principales: (i) diversificación de los recursos naturales, económicos, técnicos y sociales con la debida racionalidad para distribuir los riesgos tan eficientemente como sea posible; (ii) flexibilidad en el manejo diario de estos recursos en forma de decisiones activas para enfrentar y adaptarse a la variabilidad a corto plazo y, (iii) la adaptabilidad a más largo plazo, percibida como una toma de decisiones acumulativa y determinada que promoverá la generación de sistemas nuevos

o alterados o nuevas vías para sus medios de vida. Cuando se distribuyen los riesgos, es importante para los productores, tener una mezcla de productos donde, tanto el tipo, como el precio de estos sea independiente, un criterio que potencialmente se ajusta muy bien al secuestro de carbono.

Una característica adicional de los sistemas de pequeños agricultores es el acceso variable a los recursos de todo tipo. Dentro de una aldea, algunos tienen fácil acceso, y otros tienen menos acceso, para asegurar la propiedad de la tierra, la producción silvestre como la leña, los créditos, la contratación de mano de obra, el ganado y los mercados. El acceso también varía entre aldeas y entre países. Las implicancias de este acceso desuniforme a los recursos para los esquemas de secuestro del carbono se discuten más adelante.

Finalmente, estos sistemas agrícolas han sufrido y sufren cambios continuos en respuesta a los cambios ambientales y sociales. Ahora se reconoce ampliamente que los ambientes secos poseen una compleja historia de cambios, basada en dinámicas no equilibradas, en lugar de cambios predecibles, graduales y lineales (Leach y Mearns, 1999; Scoones, 1999; Scoones, 2001), algunas veces conocidos como sistemas condicionados por eventos (Reenberg, 2001; Sorbo, 2003). Así, los sistemas agrícolas han tenido que adaptarse continuamente a las condiciones ambientales y a procesos políticos y económicos cambiantes. En el tiempo de duración de un esquema de secuestro del carbono de un suelo se podrían esperar muchos cambios en la configuración del paisaje agrícola, además de los cambios que podría traer el proyecto por sí mismo. La planificación en un ambiente tal será un desafío. En lugar de enfoques simplificados y estandarizados, así como de soluciones técnicas predefinidas, los esquemas de secuestro del carbono en estos sistemas necesitarán ofrecer un grupo de opciones tecnológicas y de manejo, a partir de las cuales los campesinos puedan elegir de acuerdo con sus necesidades.

EJEMPLOS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA DE LOS PEQUEÑOS AGRICULTORES

Dentro de esta amplia descripción de las características de la agricultura de pequeños agricultores en tierras áridas existen varios sistemas de producción agropecuaria. Comprenden sistemas como los cultivos anuales, plantaciones, bosques, sabanas, pasturas naturales, tierras en barbecho y cultivos de hortalizas. Dentro de cada uno de ellos, existe una interacción entre cultivos, ganado y árboles, así como entre tierras cultivadas y no cultivadas (FAO, 2000a).

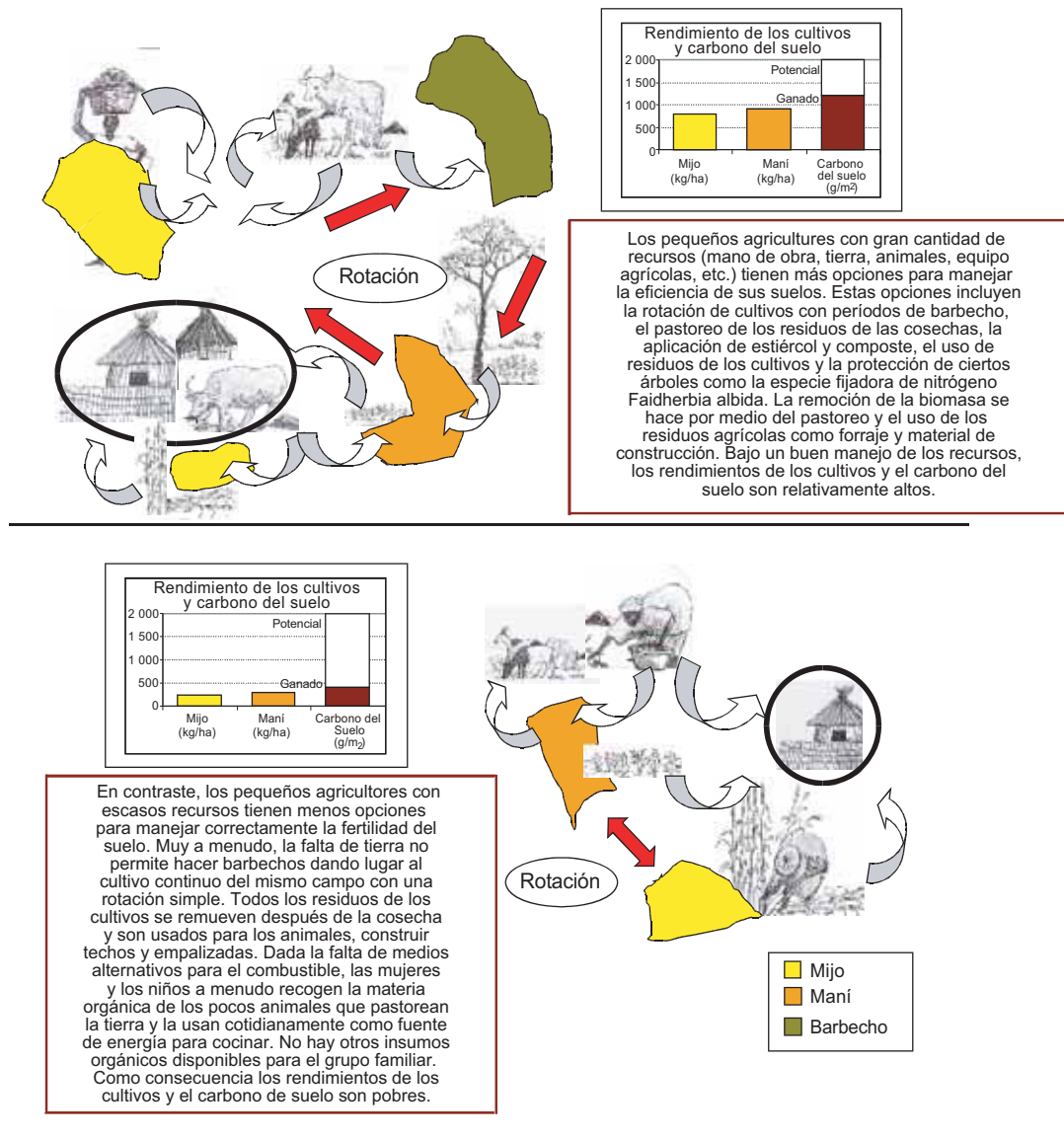
Los sistemas de producción agropecuaria en las tierras áridas van desde de cultivos migratorios plantados en las extensas praderas con árboles, hasta los cultivos intensivos de pequeños agricultores, donde toda la tierra está cultivada y se maximiza la integración entre los cultivos y la cría de animales. Sin embargo, estos dos extremos no deben entenderse como puntos fijos a lo largo de un eje de desarrollo agrícola, sino como ejemplos de «vías» de cambio agrícola y ambiental (Scoones, 2001) que son posibles, tanto entre como dentro de los sitios. Tales vías de cambio reflejan los medios de vida, limitaciones y oportunidades de los agricultores dentro de un contexto agrícola. La Figura 7 muestra una ilustración esquemática de los sistemas agrícolas de pequeños agricultores en las tierras áridas.

Intensificación agrícola

La intensificación, definida por Liften y Mortimore (1993), implica «el incremento de las inversiones promedio en la mano de obra o capital en las pequeñas propiedades, ya sea sobre tierras cultivadas solamente, o sobre tierras cultivadas y de pastoreo, con el propósito de incrementar el valor de la producción por unidad de superficie». La intensificación toma múltiples formas que pueden clasificarse de muchas maneras. En el caso de los sistemas agrícolas de pequeñas extensiones en tierras áridas, la intensificación

FIGURA 7
Sistemas de producción de los pequeños productores en el Sahel y estrategias de manejo en relación con el carbono

Dos ejemplos de manejo de la fertilidad del suelo en pequeñas fincas del Sahel



Fuente: Tschakert, trabajo de campo, 2001.

tiende a estar relacionada con incrementos de las inversiones en mano de obra local por unidad de superficie y tecnologías de bajo costo, en lugar de innovaciones que requieran más capital. Mortimore y Adams (1999) describen esta intensificación como un «proceso tradicional y adaptable», cuya vía puede reconstruirse a través de los análisis históricos.

Existen muchos ejemplos de esta intensificación tradicional. En los sistemas agrícolas la intensificación ocurre a menudo como consecuencia de la presión que genera el crecimiento de la población. En muchos lugares, los períodos de barbecho se han hecho más breves y eventualmente incluso han sido abandonados. De esta manera, todos los campos pueden estar cultivados y la fertilidad del suelo se mantiene mediante una mayor intensidad de trabajo con técnicas que pueden incluir cultivos intercalados

con legumbres fijadoras de N, deshierbe oportuno e intensivo y uso de las malezas, la utilización de estiércol y cobertura vegetal y la protección de ciertas especies de árboles. La rotación de cultivos se practica donde es posible para asegurar el uso diferenciado de nutrientes y la asimilación entre cultivos, tales como el mijo y el sorgo, así como cultivos fijadores de N, como maní y caupí. Se protegen los árboles, especialmente los conocidos por su capacidad de fijar el N y restaurar el suelo. La aplicación de estiércol, ya sea de ganado vacuno o de pequeños rumiantes, constituye un elemento clave. Los rebaños se deben manejar con mayor intensidad con el fin de mantener un suministro estable de estiércol en vista del incremento de escasez de la tierra, por ejemplo, alimentarlos con residuos agrícolas y malezas.

En las áreas áridas donde exista disponibilidad suficiente de agua, el riego ha sido un método clave para intensificar los sistemas de uso de la tierra desde tiempos antiguos. Esto requiere suministros de agua y energía para llevarla hacia los campos y huertos. El agua puede provenir de manantiales, ríos, surgentes y pozos. Los ríos y arroyos pueden ser pequeñas o efímeras corrientes de agua como en muchas partes de Asia Central, o grandes ríos, tales como Nilo, Níger, Amu-Darya, Hwang He e Indo.

Donde exista una buena fuente de agua, como terrenos montañosos (p. ej. parte de las tierras altas de Yemen y Omán), o en grandes sistemas ubicados cerca de grandes flujos de agua como el de los ríos Indo y Nilo, el agua puede tomarse por gravedad en pequeños canales hacia los campos o huertos. Donde el río fluya en una corriente suave, los métodos para llevarlo hacia los campos de pequeños esquemas son casi los mismos que los utilizados en los pozos: instrumentos movidos por animales o por el hombre, tales como las «saqqias», los tornillos de Arquímedes y los «shadufs». Los sistemas «qanat», que están especialmente bien desarrollados en Irán y en las áreas vecinas, pero también pueden encontrarse en otras partes de Asia y el norte de África, son más elaborados e incluyen pozos desde los cuales por canales subterráneos el agua es suministrada a los campos por gravedad. Otro sistema antiguo, que ha visto mayor expansión y desarrollo en los últimos años, es la captura de agua (o agricultura de escorrentía). En este sistema, la escorrentía altamente intermitente es concentrada y luego retenida en zanjas poco profundas, donde usualmente se emplea para los cultivos arbóreos.

Uso extensivo de la tierra

En áreas donde la densidad de población y las lluvias son bajas, predominan los sistemas de uso extensivo de la tierra, ya sea como sistemas a largo plazo o como una vía de cambio más reciente (Mortimore y Adams, 1999). Esto último ocurre en algunas áreas en el centro de Senegal, donde comunidades enteras han emigrado recientemente hacia la ciudad de Touba, dejando a familiares y vecinos con más tierra disponible que en las décadas pasadas (Tschakert y Tappan, 2004). Puesto que la disponibilidad de tierra no representa en este caso una limitación, las tierras en barbecho constituyen un elemento importante del sistema agrícola, permitiendo la regeneración del suelo a corto y mediano plazo. En general, los campos son significativamente más grandes que en áreas bajo intensificación. Dada la cantidad de tierra disponible para las propiedades individuales, el estiércol generalmente solo se emplea para los campos que están bajo cultivo continuo, principalmente aquellos adyacentes a los asentamientos y otros ubicados en las proximidades. Los campos distantes y aquellos que se dejan en barbecho son accesibles para el pastoreo de animales durante todo el año. Los rebaños no son forzados a abandonar el lugar para la trashumancia y de esta manera contribuyen a un flujo continuo de ingreso de materia orgánica, a diferencia de lo que ocurre con los animales en los sistemas intensificados. Las actividades de deshierbe y cosecha pueden realizarse con menor intensidad, mientras que se dejan más residuos agrícolas en el campo.

La agrosilvicultura puede jugar un papel importante en estos sistemas extensivos. Un ejemplo es el sistema sudanés de producción de goma arábiga, donde un árbol que vuelve

a crecer en las tierras de barbecho es una fuente principal de ingresos para los pequeños propietarios (Elmqvist y Olson, 2003). En otros barbechos de larga duración, se plantan árboles que generan otros productos útiles, como frutos, nueces, fibras y medicinas.

Los ejemplos anteriores de sistemas agrícolas intensivos y extensivos ilustran que un enfoque específico al contexto, basado en múltiples vías de cambio, ofrece directrices útiles para los esquemas potenciales de secuestro de carbono. El diseño y ejecución de proyectos debe comenzar con un entendimiento local del cambio ambiental y sus procesos subyacentes. El próximo paso es identificar vías positivas de cambio a nivel local y finalmente evaluar las oportunidades para promover tales vías a mayor escala.

Manejo de la fertilidad del suelo

El concepto de secuestro de carbono en ecosistemas degradados se basa típicamente en dos hipótesis. La primera es que cualquier mejoramiento en el manejo de la fertilidad del suelo y en el uso de la tierra tendría automáticamente, como resultado, cantidades mayores de carbono fijadas desde la atmósfera y almacenadas en el suelo. La segunda, es que los pequeños agricultores y pastores, que se anticipan como los principales beneficiarios de las intervenciones planificadas, necesitan ser sensibilizados y entrenados en tales prácticas de manejo mejorado.

Dado el complejo, diverso y dinámico mundo de la agricultura de los pequeños propietarios en los ambientes áridos, estas dos hipótesis parecen ser simplistas. En general, las prácticas de manejo propuestas y las opciones de uso de la tierra reflejan meramente las opciones técnicas más eficientes, enfocándose en el logro de una situación agronómica óptima. Sin embargo, como se ilustró anteriormente, los pequeños propietarios están más preocupados por el manejo diario y las estrategias de adaptación a más largo plazo, que el logro de un nuevo equilibrio. La agricultura oportunista es riesgosa en todos los sentidos, es un proceso de adaptación durante el cual ocurren, tanto las pérdidas, como ganancias, con frecuencia intencionalmente. La «eficiencia pura no dejaría espacio para maniobras flexibles» (Mortimore y Adams, 1999).

Lo que constituye de hecho un manejo «mejorado» de la fertilidad del suelo u opciones de uso de la tierra, podría entenderse solamente desde un enfoque de investigación global del sistema agrícola. Los productores que han desarrollado prácticas de manejo de la fertilidad del suelo, altamente dinámicas y flexibles, para enfrentar la variabilidad y la incertidumbre, muchas veces están en la mejor posición para llevar esta generalización a un proyecto de desarrollo. Aunque los agricultores con frecuencia tienen más experiencia en seleccionar las tecnologías en un marco más amplio de la «vida real», usualmente se consideran destinatarios pasivos de la ayuda externa, en lugar de recursos claves en el proceso en sí.

Un primer paso hacia la vinculación de los suelos y el carbono para las personas es investigar las prácticas que conocen y emplean los pequeños agricultores en los entornos de tierras áridas, entender los elementos subyacentes, así como los factores que conducen al cambio e identificar los ejemplos de vías positivas de cambio que podrían replicarse a mayor escala (Tschakert y Tappan, 2004).

Las prácticas de manejo de la fertilidad del suelo pueden agruparse de acuerdo al movimiento de nutrientes en, hacia y fuera de un sistema. Las prácticas se clasifican en cuatro grupos (Hilhorst y Muchena, 2000): (i) añadir nutrientes al suelo, (ii) reducir las pérdidas de nutrientes del suelo, (iii) reciclar los nutrientes y, (iv) maximizar la eficiencia de la asimilación de nutrientes. Los ejemplos que se presentan más adelante, se basan principalmente en los estudios de caso de Senegal y Sudán.

Aplicación de nutrientes al suelo

Barbecho

El barbecho es una práctica bien conocida para restablecer los nutrientes en el suelo. En forma ideal, los períodos de barbecho se rotan con períodos de cultivo permitiendo

que la tierra se recupere de años de explotación. Sin embargo, en muchas partes de las regiones áridas del mundo, tanto el área de barbecho como la duración de esta práctica han disminuido con el tiempo. Con mayor frecuencia, esta disminución es causada por la creciente presión de población, la introducción de maquinaria agrícola moderna como el arado y los períodos de sequía, o una combinación de éstas. Algunos investigadores consideran que este proceso está alcanzando proporciones críticas. Hoy día, en muchas tierras áridas, la duración del barbecho se reduce a sólo un año. En áreas con una escasez severa de tierras el uso del barbecho ha desaparecido totalmente. Como consecuencia, los productores han cambiado hacia otras prácticas de manejo de la fertilidad del suelo, tales como la aplicación de abono y composte o continúan cultivando obteniendo rendimientos excepcionalmente bajos o en descenso. Al mismo tiempo, el hecho de tener menos tierras en barbecho también significa una reducción de las posibilidades de pastoreo o menos forraje para los animales disminuyendo también la cantidad de estiércol que se puede producir (Breman, Groot y van Keulen, 2000). No obstante, en áreas con menos presión de población, el barbecho aún constituye una opción importante para el manejo de la fertilidad del suelo. Esto ocurre particularmente en países donde se han implementado programas de ajuste estructural y se han eliminado los subsidios para los fertilizantes.

Pastoreo de rastrojos

Muchos sistemas agrícolas incluyen el pastoreo de los animales en los campos inmediatamente después de la cosecha de los cultivos. Los animales pastorean las hojas y tallos que quedan en el campo, mientras que los suelos durante ese período se benefician con el estiércol. Dependiendo de la cantidad y situación del forraje en el campo y del número total de animales, el ganado usualmente se mantiene de uno a siete meses en un mismo predio, rotando entre diferentes partes durante cortos intervalos.

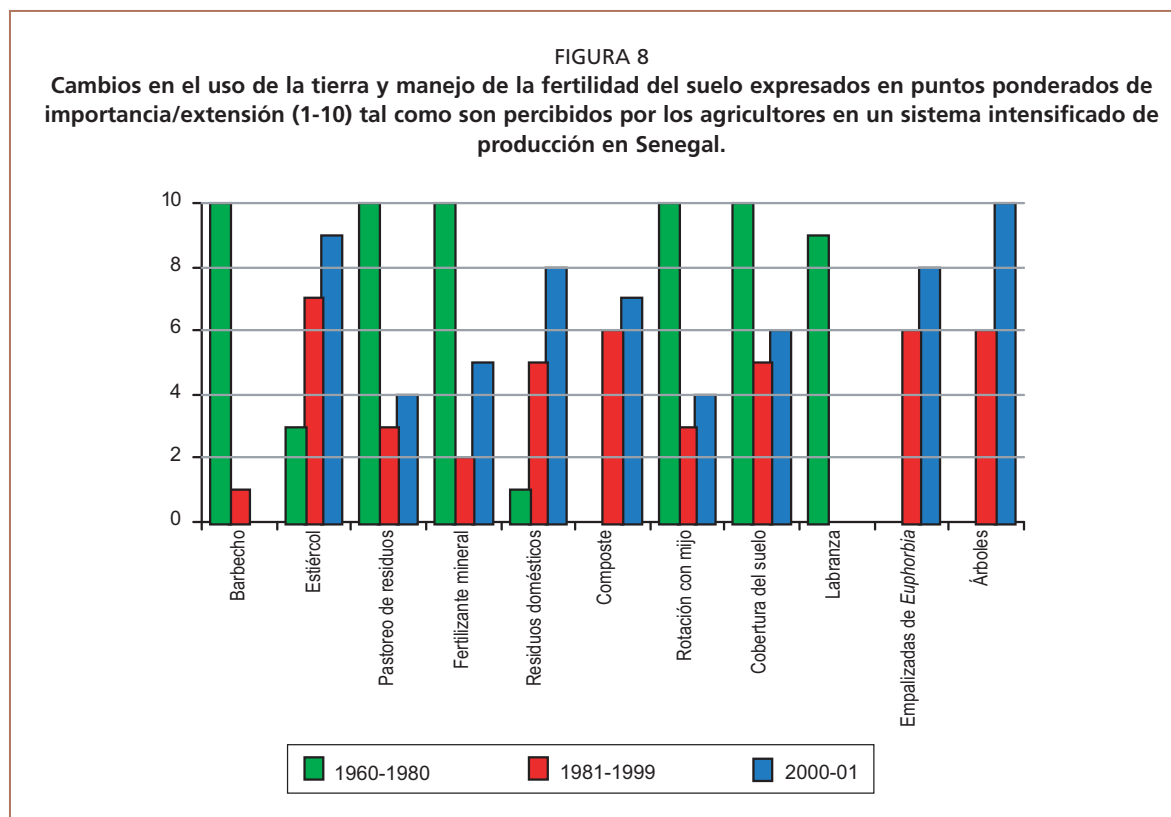
En general, la ganancia en materia orgánica a partir del pastoreo de rastrojos puede ser importante. En el Sahel, la cantidad de estiércol promedia entre una y 50 toneladas/ha, dependiendo del tiempo que los animales se mantienen en el mismo campo (Sagna-Cabral, 1989; Garin y Faye, 1990; Hoffmann y Gerling, 2001). Sin embargo, la exposición directa a los factores externos puede reducir considerablemente el valor nutritivo del estiércol. Aunque el pastoreo de rastrojos ha sido una tradición en las tierras áridas, el incremento de la escasez de tierra, la limitada capacidad de compras de muchos de los pequeños agricultores y el incremento de los riesgos de robos de animales en muchas áreas han contribuido a un declive general en el tamaño de los rebaños y, en algunos casos, han conducido al abandono total del pastoreo de rastrojos.

Fertilizantes inorgánicos

El uso de fertilizantes inorgánicos ha sido uno de los medios más ampliamente promovidos para incrementar la producción desde inicios del siglo XX. En muchas de las tierras áridas de los países en desarrollo, este tipo de fertilizantes fue subsidiado y puesto a disponibilidad de los agricultores con la ayuda del gobierno y el apoyo de las organizaciones no gubernamentales. Bajo programas de ajuste estructural, con frecuencia se eliminaron los subsidios y por consiguiente, los fertilizantes se hicieron cada vez más caros. Como se muestra en el ejemplo de Senegal (Figura 8), el uso de los fertilizantes decreció en la década de 1990. Desde el punto de vista del secuestro de carbono, el empleo de fertilizantes sintéticos no genera ninguna ganancia neta en la fijación del carbono (Schlesinger, 1999). La emisión de CO₂ durante la elaboración, transporte y aplicación de los fertilizantes, compensa cualquier ganancia de la producción biológica.

Rotación y asociación de cultivos

La práctica de la rotación y asociación de cultivos, especialmente cuando incluye cereales y leguminosas, es bien conocida entre los agricultores como una práctica



Fuente: Tscharket, trabajo de campo, 2001.

de manejo de la fertilidad del suelo. En muchos lugares, los cultivos fijadores de N incluyen el frijol y el maní. Sin embargo, en los sistemas agrícolas donde la escasez de la tierra se ha convertido en un factor limitante, con frecuencia se da prioridad a los cereales. Además, la disponibilidad de semillas de leguminosas podría depender de los subsidios del estado o los créditos, como en el caso del maní en el Sahel.

Reducción de las pérdidas de nutrientes del suelo

Vegetación maderable

Los árboles pueden ser un componente importante en muchos agroecosistemas. Con su profundo y extenso sistema radicular pueden capturar nutrientes no accesibles para los cultivos y ponerlos a disposición de la producción de cultivos sembrados a través de la hojarasca. Desde el punto de vista del secuestro de carbono, los árboles no solo almacenan carbono en su biomasa foliar, sino que contribuyen a la biomasa existente bajo el suelo por medio de sus sistemas radiculares y el aporte de residuos al suelo (ramas y hojas). Son particularmente importantes los árboles de la familia de las leguminosas (fijadores de N), entre los cuales, *Faidherbia albida* y *Acacia senegal* son dos de los más apreciados. Los árboles también pueden jugar un papel importante en la reducción de las pérdidas de nutrientes por la erosión eólica y también se debe prestar una consideración especial al uso de combustible biológico, en lugar de combustibles fósiles.

Los setos y las cercas vivas pueden capturar sedimentos y partículas de arcilla suspendidas en el aire y, por lo tanto, pueden incrementar localmente el contenido de arcilla del suelo, un factor beneficioso para el secuestro de carbono (El Tahir y Madibo, en prensa). Los desechos producidos por las plantas maderables son beneficiosos debido a su mayor contenido de polifenoles (ligninas y taninos) los cuales disminuyen la tasa de descomposición (Abril y Bucher, 2001) cuando se comparan con los pastos y otras especies herbáceas anuales.

Control de la erosión

La erosión y el subsecuente transporte y deposición de los materiales tienen una relación compleja con el almacenamiento de carbono en el suelo. Donde ocurre fundamentalmente la erosión hídrica, una alta proporción del carbono del suelo puede ser lavada hacia los depósitos aluviales cercanos al lugar de la erosión y luego almacenarse allí en formas que se descomponen más lentamente que en los suelos de origen. Por lo tanto, este tipo de erosión puede tener un efecto positivo sobre el secuestro de carbono. La erosión no siempre disminuye la productividad, pero si se pudiera demostrar que esto ocurre, sería absurdo favorecer una disminución de la productividad durante un período medio y tener, quizás, una ganancia extra en el carbono secuestrado. Los mismos argumentos probablemente no se aplican donde la erosión eólica es el principal elemento erosivo, puesto que la materia orgánica usualmente es trasladada a grandes distancias y luego dispersada hacia lugares donde se pueda descomponer rápidamente y liberar su carbono. Las opciones de manejo que incrementan la cantidad de biomasa viva y muerta que queda en las áreas agrícolas, en general disminuyen la erosión y a la vez incrementan en forma simultánea el ingreso de carbono al suelo (Tiessen y Cuevas, 1994).

Limpieza de campos y deshierbe

La limpieza de los campos para eliminar las malezas antes de la plantación así como las labores de deshierbe durante el ciclo del cultivo son prácticas importantes para reducir la competencia entre el cultivo y las malezas. Sin embargo, desde el punto de vista de la fertilidad y la captura de carbono, es importante reciclar hacia el suelo tantas malezas como sea posible. La limpieza y el deshierbe selectivos implican que solo se eliminan las malezas que compiten directamente con el cultivo mientras que otras permanecen en el campo.

Reciclaje de nutrientes

Estiércol

La dispersión del estiércol del ganado que se mantiene dentro o cerca de las fincas es una de las prácticas más difundidas para el manejo de la fertilidad del suelo. Los agricultores son conscientes de los efectos fertilizantes del estiércol, pero además lo aprecian por el hecho de que estabiliza la superficie arenosa de los suelos y reduce la erosión eólica. El estiércol de corral y el estiércol producido por animales en jaulas es usualmente de mayor calidad que el estiércol que se recoge en el campo procedente de los animales en pastoreo. Este se puede mezclar con residuos agrícolas, desechos del hogar y cenizas que se acumulan en la casa. El factor más limitante del uso del estiércol, además de la carencia de animales, es la falta de medios de transporte, lo que da lugar a que hayan campos bien abonados en la cercanía de las casas y no en las zonas más alejadas.

Manejo de los residuos de cultivos

Los residuos de cultivos, como los tallos y el heno pueden dejarse o devolverse al campo en forma de cobertura o incorporarlos al suelo al final del ciclo del cultivo. Sin embargo, en la mayoría de los sistemas agrícolas de las tierras áridas, los residuos de cultivos tienen alta demanda y se extraen del campo después de la cosecha, ya sea como forraje, material de construcción, combustible o desechos para el hacer composte. Lo que queda en los campos con frecuencia se quema antes de la próxima campaña. En algunos casos, los residuos de cultivos también se venden en el mercado local, generando ingresos adicionales.

Manejo de otras materias orgánicas

Los desechos del hogar, escamas de pescado, cenizas, hojarasca, ramas cortadas y residuos de cultivos también se emplean para incrementar la fertilidad del suelo. Con

frecuencia, estos ingresos adicionales se acumulan dentro del hogar, algunas veces se añaden a las pilas de abono y luego se transportan al campo donde se distribuyen de acuerdo a las necesidades de nutrientes. En varios lugares, la preparación de composte ha dado como resultado mejores tasas de descomposición. Aunque el uso de esta materia orgánica alternativa, principalmente desechos de hogar, ha ido en incremento, su cantidad raramente es suficiente para fertilizar grandes áreas en forma sostenible.

Maximización de la eficiencia de la absorción de nutrientes

Cultivo reducido de la tierra

Aunque algunos productores aprecian la labranza para el control de malezas y la aereación del suelo, parece haber un reconocimiento creciente de que la labranza también destruye la cubierta vegetal protectora y como resultado, expone los nutrientes del suelo a la degradación. En áreas donde los pequeños agricultores tienen arados y animales de carga, la labranza aún se practica ampliamente. En otras áreas, tales como la Cuenca «Peanut» de Senegal, los agricultores han remplazado la labranza profunda por la superficial, sobre todo debido a la falta de maquinaria (Tschakert y Tappan, 2004). Para el propósito del secuestro de carbono, se prefiere la labranza reducida o su ausencia total, simplemente debido a que mejoran el almacenamiento de carbono en el suelo.

Agricultura de precisión

Los agricultores y extensionistas que están tratando de maximizar las ganancias invirtiendo dinero sólo en las áreas que necesitan fertilizantes pueden recurrir a la agricultura de precisión. Esta les permite variar las dosis de fertilizantes en el predio de acuerdo a las necesidades identificadas por medio de las rejillas obtenidas por medio de GPS. De este modo, los fertilizantes que hubieran sido distribuidos en áreas que no lo necesitan podrán ser utilizados en otras áreas y así optimizar esa inversión.

La agricultura de precisión puede ser usada para mejorar el manejo de un campo desde varios puntos de vista:

- agronómico: ajuste de las prácticas culturales para tomar en consideración las necesidades reales del cultivo (p. ej., mejor manejo de la fertilización)
- técnico: mejor manejo de la finca en términos de tiempo (p. ej., planificación de las actividades)
- ambiental: reducción del impacto ambiental (mejor estimación de las necesidades de nitrógeno lo que implica una menor escorrentía del mismo)
- económico: aumento de la producción y/o reducción de los insumos, aumento de la eficiencia (p. ej., menor costo de las prácticas de fertilización nitrogenada)

Otros beneficios para el agricultor pueden ser la ayuda a establecer una historia de las prácticas aplicadas y los resultados obtenidos en su finca a fin de darle apoyo para la toma de decisiones y los requerimientos de trazabilidad (como ocurre cada vez más en los países desarrollados)

Manejo del fuego

El fuego es un instrumento muy comúnmente usado por los agricultores en las regiones áridas. Con frecuencia el fuego se emplea para limpiar los campos de malezas antes de la siembra. Otra razón importante para utilizar el fuego en ese momento es la eliminación de un amplio grupo de plagas agrícolas. El papel del fuego en el balance de carbono del suelo se investigó mediante modelación y se encontró que tenía un efecto significativo sobre el carbono orgánico del suelo. Cuando el período de retorno del fuego se incrementó de tres a 15 años, el nivel de carbono orgánico del suelo se incrementó alrededor del 30 por ciento (Poussart y Ardö, 2002).

Estas descripciones de métodos individuales de manejo de la fertilidad del suelo no captan toda la complejidad de las formas en que se combinan. Algunas de estas complejidades se describen en detalle más adelante.

Prácticas de manejo de la fertilidad del suelo en el Sahel

En las tierras áridas, los agricultores conocen y utilizan un conjunto completo de prácticas de manejo de la fertilidad del suelo. Sin embargo, estas prácticas pueden variar de un sistema agrícola a otro, de un agricultor a otro, de un campo a campo, e incluso dentro de un mismo campo, dependiendo del acceso diferenciado a los recursos y su utilización. Para ilustrar la complejidad de las prácticas de manejo de la fertilidad del suelo, la Cuadro 9 presenta un ejemplo detallado en Senegal.

Además de la variabilidad espacial, las prácticas de manejo de la fertilidad del suelo tienden a variar con el tiempo. En la medida que los agricultores se adaptan a los riesgos, impactos e incertidumbres, con el tiempo emergen sistemas nuevos o alterados y los medios de vida y los planes de los productores con respecto a sus prácticas de manejo, también cambian. La Figura 8 ilustra los cambios realizados en las prácticas de manejo en un poblado que ha seguido una vía de intensificación «tradicional y de adaptación» (Tschakert y Tappan, 2004). Con el crecimiento de la presión de población y la escasez de tierra, ha ocurrido un cambio general desde las prácticas de manejo extensivo (barbecho y pastoreo de rastrojos) hacia estrategias más intensivas (aplicación de estiércol, desechos domésticos, composte, plantación de árboles y cercas vivas). Esta transición está respaldada por un cambio en las políticas gubernamentales reflejado, después de 1980, por la disminución de los compromisos del estado, primeramente siguiendo un ajuste estructural que implicaba la reducción o ausencia total de subsidios o créditos para fertilizantes minerales, semillas de maní y equipos agrícolas.

Empezar por el conocimiento local

Además de las prácticas es importante entender las teorías de los agricultores acerca la fertilidad del suelo, su formación y los procesos que causan las pérdidas y ganancias de la fertilidad con el paso del tiempo.

Por ejemplo, los pequeños propietarios en la Cuenca «Old Peanut» de Senegal perciben la fertilidad del suelo como «saletés» (suciedad), un término genérico para las aplicaciones de materia orgánica (abono, material vegetal en descomposición, desechos domésticos, etc.). Para los agricultores, esta «suciedad» contiene elementos nutritivos que llaman «vitaminas» o «ingredientes ricos» que determinan la fuerza y salud de un suelo. Aunque la mayoría de los productores carecen de conocimientos detallados con respecto al origen de tales «vitaminas», son concientes de los distintos procesos que se originan como resultado de la degradación del suelo y las pérdidas de fertilidad. Las causas que ocasionan el declive de la fertilidad y que se citan con mayor frecuencia, incluyen: la explotación continua sin enmiendas externas o rotación de cultivos, la reducción de la capa de vegetación protectora y la exposición de la materia orgánica del suelo a los elementos externos, como consecuencia de la eliminación de los árboles, el cultivo profundo y los períodos de barbecho muy cortos, la quema de arbustos y los insectos plaga.

De acuerdo con esto, las opciones preferidas por los productores para restaurar la fertilidad del suelo se enfocan en la rotación de cultivos, enmiendas crecientes de materia orgánica, y acumulación de cubierta vegetativa, principalmente a través de períodos de barbecho largos e incremento de la densidad forestal.

En algunas partes de Níger, la fertilidad del suelo se considera con un enfoque mucho más general por parte de los agricultores que por los agrónomos, quienes desagregan las influencias sobre la productividad de los cultivos en factores tales como el suministro y asimilación de agua, nutrientes individuales y la estructura del suelo (Osbaahr y Allen, 2002). Los productores saben que la productividad de diferentes suelos es determinada por una combinación de factores. En un año húmedo, los suelos ricos en arcillas ubicados en depresiones, pueden inundarse y hacerse improductivos, mientras que los suelos arenosos, cuando se manejan de forma adecuada producen rendimientos aceptables. Los suelos ricos en arcillas en sitios con mejor drenaje pueden ser muy productivos y responder muy bien a las aplicaciones de abono o

CUADRO 9
Ejemplo de prácticas de manejo de la fertilidad del suelo empleadas en la Cuenca «Old Peanut», Senegal, 1999/2000

| Prácticas conocidas | Cultivos preferidos | Suelos preferidos | Campos preferidos | Uso en el 1999/2000 ¹ | Rango de aplicación en las aldeas |
|---|-------------------------------------|---|--|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Adición de nutrientes al suelo² | | | | | |
| Barbecho | Después del mijo y antes del maní | Suelos más pobres, <i>dior</i> ³ | Campos abiertos, nunca en los campos labrados, nunca en las cuencas; en caso de falta de semilla y/o estiércol | 85 % | Menos común |
| Pastoreo de rastrojos con ganado | Antes de mijo o sandías | <i>Dior</i> | Campos más pobres; campos más cercanos, en campos distantes solamente bajo supervisión | 69 % | Menos común |
| Aplicación de fertilizantes minerales (NPK) | Mijo en lugar de maní; hortalizas | Todo tipo de suelos | Campos abiertos, nunca en los campos labrados; raros en los campos de mujeres | 77 % | Común |
| Aplicación de urea | En mijo u hortalizas | Todo tipo de suelos | Campos abiertos, huertos hortícolas, nunca en campos labrados | <10 % | Muy raro |
| Aplicación de rocas fosfatadas | Todos los cultivos | Todo tipo de suelos, excepto suelos endurecidos | Campos abiertos | 54 % | Raro |
| Rotación de cereales con caupí | - | <i>Dior</i> , campos muy pobres | En campos para los cuales no existe disponibilidad de semilla de maní | 46 % | Común |
| Rotación de mijo con maní | - | Todo tipo de suelos, suelos con maní | Campos abiertos | 100 % | Muy difundido |
| Rotación con sandía | - | Todo tipo de suelos | Campos labrados | <10 % | Raro |
| 2. Reducción de las pérdidas de nutrientes del suelo | | | | | |
| Protección de los árboles | - | <i>Dior</i> | Campos más cercanos | 85 % | Común |
| Plantación de árboles | - | <i>Dior</i> | Campos abiertos o cuencas | 23 % | Raro |
| Setos/cercas vivas | Mijo, yuca, árboles de mango, henna | <i>Dior</i> , <i>ban</i> ³ | Campos labrados y cuencas | 46 % | Raro |
| Limpieza y/o deshierbe selectivos | Mijo | Todo tipo de suelos | Campos labrados y campos abiertos | >70 % | Común |
| 3. Reciclaje de nutrientes | | | | | |
| Aplicación de estiércol vacuno | Antes de mijo y hortalizas | <i>Dior</i> , campos más pobres | Campos labrados y campos abiertos | 77 % | Común |
| Aplicación de estiércol de rumiantes pequeños | Todos los cultivos | <i>Dior</i> | Campos pobres, cercanos y distantes | 92 % | Muy difundido |
| Aplicación de estiércol equino | Antes del mijo, hortalizas | <i>Dior</i> , campos pobres | Campos labrados, huertos; campos abiertos si existe disponibilidad de carretas | 92 % | Muy difundido |
| Aplicación de gallinaza | Antes de mijo, hortalizas, caupí | <i>Dior</i> | Todos los campos | 77 % | Menos común |
| Dejar tallos vivos de mijo en los campos | - | <i>Dior</i> | Campos labrados y abiertos dependiendo de la disponibilidad de carretas | 77 % | Común |
| Incorporación de desechos domésticos | Antes de mijo, sandía | <i>Dior</i> | Campos menos fértiles, campos de proyectos | 100 % | Muy difundido |

| Prácticas conocidas | Cultivos preferidos | Suelos preferidos | Campos preferidos | Uso en el 1999/2000 ¹ | Rango de aplicación en las aldeas |
|---|----------------------------|--|---|----------------------------------|-----------------------------------|
| Composte | Antes de mijo y hortalizas | <i>Dior</i> | Campos labrados, abiertos, solamente si se mezcla con abono y se sacan con carretas | 69 % | Menos común |
| Uso de cenizas | En mijo, sorgo, caupí | Cualquier tipo de suelo | Campos labrados, campos cercanos, campos en barbecho | 85 % | Difundido |
| Uso de cáscara de maní | Antes de mijo | Cualquier tipo de suelo | Campos labrados y abiertos | 69 % | Común |
| Uso de glumas de mijo (descompuestas) | Antes de mijo, maní | Cualquier tipo de suelo | Todos los campos, campos en barbecho | 92 % | Difundido |
| Espaciamiento de los montones de maní | - | <i>Dior</i> | Campos labrados y abiertos (si hay carretas disponibles) | 61 % | Raro |
| Uso de hojarasca | Antes del mijo | Todo tipo de suelos | Campos labrados | 69 % | Raro |
| Uso de escamas de pescado | En mijo | <i>Dior</i> | Todos los campos | 31 % | Raro |
| Uso de las partes descompuestas de los baobab | Antes de mijo y chile | | | 46 % | Raro |
| Uso de residuos de cultivos | Todos los cultivos | <i>Dior</i> | Todos los campos | 77 % | Común |
| 4. Maximizar la eficiencia en la asimilación de nutrientes | | | | | |
| Cultivo profundo | - | | | <10 % | Muy raro |
| Cultivo superficial | Antes de mijo, maní | <i>Dior</i> y <i>deck</i> ³ | Campos abiertos, campos en barbecho | 46 % | Muy difundidos |
| Adecuar los cultivos a la calidad y fertilidad del suelo | Todos los cultivos | - | Campos labrados y abiertos, cuencas | 100 % | Muy difundidos |
| Aplicar esquemas en parches para las aplicaciones de nutrientes | Todos los cultivos | <i>Dior</i> | Campos abiertos | 100 % | Muy difundidos |

1 Entre diciembre 2000 y diciembre 2001, 14 asentamientos en los Departamentos de Thiès, Fatick, Bambey y Diourbel participaron en un estudio sobre manejo de la fertilidad del suelo y retención de carbono.

2 Clasificación de las prácticas de fertilidad del suelo según Hilhorst y Muchena (2000).

3 «*dior*», «*deck*» y «*ban*» son nombres en lengua wolof para los tipos de suelos dominantes de la Cuenca «Old Peanut». Según Badiane, Khouma y Senè (2000), las «*Dior*» son declives de las dunas comunes y usualmente contienen >95 por ciento de arena y <0,2 por ciento de carbono orgánico. Los «*deck*» son suelos hidromórficos con 85–90 por ciento de arena y contenidos de carbono entre 0,5 y 0,8 por ciento. Los «*ban*» son similares a los «*deck*», usualmente se encuentran a lo largo de las riveras y cuencas («*bas-fonds*»).

Fuente: Tschakert, trabajo de campo 2000-01.

fertilizante. En un año seco, los suelos arenosos son yermos, mientras que los suelos ricos en arcillas bien drenados se endurecen mucho para ser cultivados y solo los suelos arcillosos de las depresiones producen algo. La experiencia que se obtiene a partir del trabajo en ambientes de aldeas con diferencias mínimas, produce una enorme variedad de «conocimientos» y prácticas diferentes y un proyecto de secuestro de carbono del suelo solamente tendría éxito si toda esta experiencia fuera utilizada.

La utilización del conocimiento y de las prácticas de los agricultores como punto de entrada para las actividades de la captura de carbono, ofrece varias ventajas: (i) estimula la participación de los productores en la investigación y el diseño del proyecto desde su inicio; (ii) facilita la introducción de carbono, nitrógeno y otros minerales desconocidos para la mayoría de los pequeños agricultores, de forma que

esto se hace más comprensible y fácil de integrar en sus propios diseños teóricos sobre el suelo y, (iii) abre nuevas puertas a los servicios de extensión para comprometerse con los agricultores, con un enfoque más participativo y global para la solución de los problemas en lugar de entregar paquetes agronómicos predefinidos.

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL BIOFÍSICO PARA EL SECUESTRO DEL CARBONO EN LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS

En los ambientes de tierras áridas, el carbono orgánico del suelo en los primeros 100 cm de suelo es de alrededor de 4 toneladas/ha (Batjes, 1999). Esto es considerablemente más bajo que en otros ambientes. Las estimaciones de Batjes del carbono orgánico del suelo actual son: 7-10 toneladas/ha en los trópicos; 7-13 toneladas/ha en los subtropicos; 11-13 toneladas/ha en las regiones templadas y 21-24 toneladas/ha en las áreas boreales, polares y alpinas. Existen pocas cifras confiables para todo el Sahel, con la excepción de las estimaciones para las sabanas semiáridas y los bosques secos en Senegal (la región agrícola centro-oriental) según informan Tiessen y Feller, 1998, Ringius, 2002 y Tschakert, Khouma y Senè, 2004. Esto promedia de 4,5 toneladas C/ha en las áreas cultivadas de forma continua sin aplicaciones de abono, hasta 18 toneladas C/ha en las sabanas no degradadas (capa superficial del suelo de 20 cm).

Existe un grupo de prácticas recomendadas y de tipos de uso de la tierra que se aconsejan para incrementar tanto la asimilación de carbono a partir de la atmósfera como la duración de su almacenamiento en los suelos. Con relación a las tierras cultivables, FAO (2001b) establece diferencias entre las prácticas que disminuyen las pérdidas de carbono del suelo de aquellas que incrementan las aplicaciones de materia orgánica al suelo y considera una combinación de ambas. La primera categoría incluye labranza reducida/conservación/labranza cero, manejo de residuos de cultivos, incorporación de abonos verdes, cultivos de cobertura y control integrado de malezas. La segunda categoría se basa en incrementos de la biomasa resultante del abono, composte, aplicaciones de cobertura, fertilización mineral y riego, así como un mejoramiento en el manejo de los residuos de cultivo y establecimiento de abonos verdes mediante el cultivo de leguminosas. Todas estas prácticas incrementan de manera simultánea la captura de carbono, mejoran la fertilidad del suelo y disminuyen la erosión, mediante la restauración del suelo en las tierras áridas. De esta manera, ofrecen un potencial real para una situación de ganancias para los pequeños agricultores locales.

Sin embargo, las estimaciones confiables para tierras áridas, sobre como el carbono pudiera retenerse mediante varias prácticas de manejo y patrones agrícolas, aún son escasas. Las estimaciones más exactas (Cuadro 10) promedian desde 0,05 a 0,3

CUADRO 10
Efectos de las prácticas de manejo y uso de la tierra sobre el potencial del secuestro carbono en las tierras áridas

| Opciones tecnológicas | Potencial de retención (t de C/ha/año) |
|---------------------------------------|--|
| Tierras arables | |
| Labranza de conservación | 0,10 – 0,20 |
| Laboreo con cobertura (4–6 Mg/ha/año) | 0,05 – 0,10 |
| Composte (20 Mg/ha/año) | 0,10 – 0,20 |
| Eliminación de barbecho desnudo | 0,05 – 0,10 |
| Manejo integrado de nutrientes | 0,10 – 0,20 |
| Recuperación de suelos erosionados | 0,10 – 0,20 |
| Recuperación de suelos salinizados | 0,05 – 0,10 |
| Intensificación agrícola | 0,10 – 0,20 |
| Manejo y conservación del agua | 0,10 – 0,30 |
| Reforestación | 0,05 – 0,10 |
| Tierras de pastoreo | 0,05 – 0,10 |

Fuente: Lal *et al.* (1998)

toneladas de C/ha/año para las tierras cultivables y de 0,05 a 0,1 toneladas de C/ha/año para prados y pasturas (Lal *et al.*, 1998). Las estimaciones realizados por Lal *et al.* para las áreas tropicales son alrededor de dos veces más altas que las de las tierras áridas. En el caso de la Cuenca «Old Peanut» en Senegal, Tschakert, Khouma y Senè (2004) informan acerca un rango posible de 0,02-0,43 toneladas de C/ha/año para los sistemas mejorados de cultivo-barbecho.

Los sistemas agrícolas de las tierras áridas con acceso a adecuados recursos de agua pueden beneficiarse

mediante el desarrollo de su potencial de riego. En sistemas de riego a pequeña escala, surge un alto potencial de captura de carbono a partir de cuatro características:

- El suministro de agua permite una alta productividad primaria, mucho más en algunos casos (riego «qanat»), que en otros (agricultura de esorrentía).
- En la mayoría de los sistemas, los suelos tienen una textura fina, lo que permite la presencia de grandes cantidades y una descomposición lenta del carbono del suelo, gran parte del cual se adhiere fuertemente a las partículas de arcilla.
- El uso extensivo de abono orgánico, tanto de desechos animales, como de cultivos.
- Las fuentes de energía de carbono neutral, tales como la energía animal y humana. En los «qanats», la alta inversión de energía humana en los primeros años puede durar siglos, o incluso milenios.

Los esquemas de riego en gran escala no deben ser completamente descartados como sistemas para la captura de carbono del suelo. Algunos se remontan a épocas en las que no existían insumos basados en energía de origen fósil. Por lo tanto, su construcción podría referirse como carbono-neutral. Incluso los sistemas más recientes, como los que hay en las vastas extensiones de Pakistán e India, se construyeron básicamente con energía animal o humana. Con su gran productividad, el uso de muchos suelos de textura fina y algunas veces en grandes extensiones, se pueden considerar como sumideros potenciales del carbono del suelo. Sin embargo, el monto total de carbono de cada uno, desde el momento de su construcción hasta las intervenciones recientes, como es el caso de los drenajes profundos o la construcción de pozos, tendría que evaluarse de forma separada antes de considerarlo apropiado como un sumidero de carbono del suelo y algunos, seguramente, no llegarían a ser calificados como tales. Estos serían en los que se han empleado grandes cantidades de combustible fósil para su construcción o en los que se emplearon grandes cantidades de fertilizantes.