



Principios, funcionamiento y gestión de los ecosistemas cultivados en siembra directa con cobertura vegetal permanente

Lucien SEGUY, Olivier HUSSON, Hubert CHARPENTIER, Serge BOUZINAC, Roger MICHELLON, André CHABANNE, Stéphane BOULAKIA, Florent TIVET, Krishna NAUDIN, Frank ENJALRIC, Stéphane CHABIERSKI, Pierson RAKOTONDRALAMBO, Ignace RAMAROSON, RAKOTONDRAMANANA



Este documento es la traducción de los primeros capítulos de un manual práctico de la siembra directa con cobertura vegetal permanente en Madagascar (también citado SCV, de Siembra directa con Cobertura Vegetal permanente), originalmente publicado en francés, en 2009. A pesar de este manual estar enfocado en Madagascar, los principios y los procesos aquí descritos tienen una aplicación muy amplia, y se pueden utilizar en todo el mundo.

Los varios proyectos que han dado origen a la información reunida en este documento, y al “Manual práctico de la siembra directa en Madagascar” han sido financiados por:



Traducido por: Cláudia Caires Fernandes y Conchi Alvarez, Junio 2011
Traducción financiada por: Programa PAMPA (AFD/MAE/FFEM)

Diseño y artes gráficas: Eloise Grand y Olivier Husson.

PREFACIO

La Agricultura de Conservación (AC) se basa en tres principios fundamentales:

- Mínima perturbación del suelo;
- Cobertura permanente del suelo;
- Rotação de culturas.
- La rotación de cultivos.

La siembra directa con cobertura vegetal permanente (SCV), desarrollada por el CIRAD y por sus asociados, forma parte de las prácticas de la AC, intentando optimizar sus resultados.

Con base en la comprensión de las interacciones suelo/plantas/microorganismos y en la importancia de la producción de biomasa primaria en el funcionamiento del sistema suelo, el SCV introduce cultivos de cobertura multifuncionales, que crecen en asociación o en sucesión con el principal cultivo comercial. La introducción de cultivos de cobertura conduce a una mejor utilización de los recursos naturales disponibles, a la maximización de la producción de biomasa y a restituciones orgánicas superiores al sistema suelo.

Este documento presenta un modelo conceptual que muestra cómo el suelo, las plantas, los micro y macro organismos interactúan en un suelo vivo, y cómo los sistemas de cultivo pueden ser manejados de modo que funcionen de la mejor forma posible con SCV.



Capítulo 1

Principios y funcionamiento de los ecosistemas cultivados en siembra directa con cobertura vegetal permanente

Lucien SEGUY, Olivier HUSSON, Hubert CHARPENTIER, Serge BOUZINAC,
Roger MICHELLON, André CHABANNE, Stéphane BOULAKIA, Florent TIVET,
Krishna NAUDIN, Frank ENJALRIC, Ignace RAMAROSON, RAKOTONDRAMANANA

1. Funcionamiento de un ecosistema natural forestal

Num ecosistema natural como a floresta, o solo nunca é perturbado e é permanentemente protegido por uma cobertura vegetal muito diversificada, o que cria condições favoráveis para uma forte atividade biológica (umidade, arejamento, temperatura, substrato nutritivo, etc.).

Diversas plantas e organismos do solo vivem em interação, assegurando uma elevada produção de biomassa e desempenhando diversas funções ecossistêmicas, tais como:

- la producción de materia orgánica por fotosíntesis, a partir del agua y del dióxido de carbono;
- la protección del suelo y la reducción de la escorrentía por la cobertura vegetal permanente;
- el reciclaje de nutrientes y del agua por las raíces profundas;
- la fijación de nitrógeno atmosférico por las bacterias asociadas a las plantas (en los nódulos de las raíces de las leguminosas o en la rizosfera);
- la mineralización y la solubilización de los nutrientes por los organismos vivos permitiendo una alimentación regular de las plantas;
- el enriquecimiento del suelo en materia orgánica estable y el secuestro de carbono;
- la aireación del suelo por el sistema de raíces poderosos;
- la regulación de la temperatura del suelo; y
- o conjunto dos processos de pedogênese com:
 - alteração da rocha mãe em argilas (mais ou menos rápido dependendo do clima e do tipo de rocha), pelos sistemas de raízes fortes e os seus exsudatos, fungos, micro-organismos do solo, etc.

El suelo vivo

La macrofauna y los microorganismos juegan un papel fundamental en la vida de un suelo. Ellos son indispensables en su formación: alteración de la roca madre, descomposición de la materia orgánica, proceso de mineralización y de formación de humus, bioturbación, etc.

También desempeñan un papel clave en la formación y la estabilidad de los agregados del suelo y por tanto de su estructura.

La microflora (bacterias, micorrizas, trichodermas, etc.) es también fundamental para la alimentación de las plantas:

- mineralización de la materia orgánica;
- fijación del nitrógeno atmosférico;
- solubilización de elementos minerales por oxidación o quelación, lo que hace que sean asimilables por las plantas;
- extracción de nutrientes del suelo poco mobilizables (modificación del pH y del potencial redox, aumento de la superficie de interceptación por las micorrizas, etc.).

Ellos son tan importantes para las plantas que éstas los estimulan, a través de sus exudados radiculares, consiguiendo "liberar" por rizodeposición de 20 a 50 % del carbono captado por fotosíntesis. Algunas plantas con deficiencia en fósforo, por ejemplo pueden, por sus secreciones, favorecer de manera preferencial el desarrollo de bacterias que extraen el fósforo fijado en el suelo y lo solubilizan.

→ alteración de la roca madre en arcillas (más o menos rápida en función del clima y del tipo de roca), por los sistemas de raíces poderosos y sus exudados radiculares, los hongos, los microorganismos del suelo, etc.

→ fraccionamiento progresivo por la fauna de los residuos vegetales de gran tamaño (lo que los hace accesibles a la microflora), bajo la intervención de una gran diversidad trófica: colémbolos grandes, dípteros, macroartrópodos, gusano blanco, colémbolos pequeños, oribátidos, etc.

→ humificación bajo la acción de las bacterias, la velocidad y los productos de esta humificación varía en función de la vegetación, del clima y de la microflora;

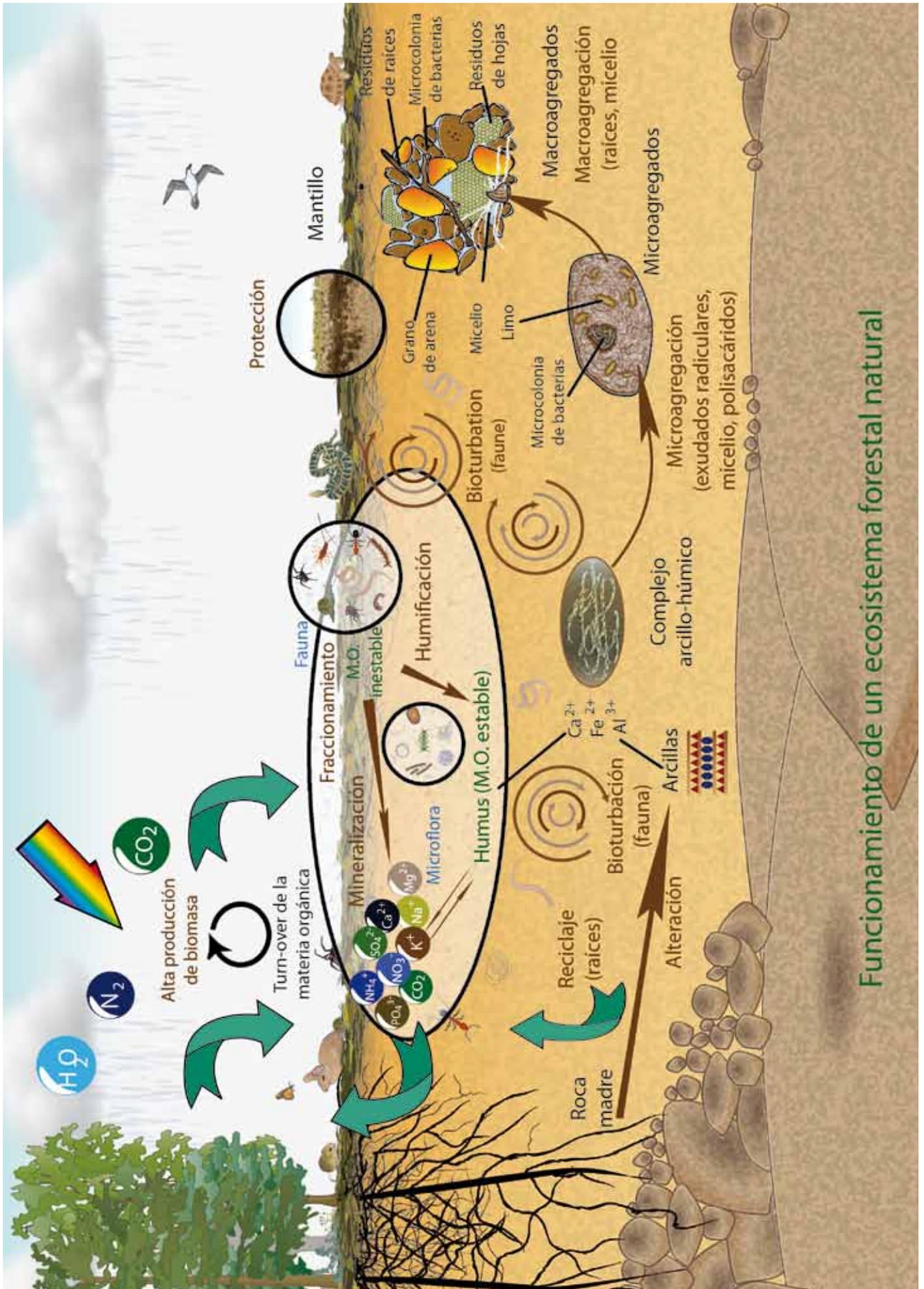
→ bioturbación (función indispensable para la pedogénesis, mezclando así materias minerales y materias orgánicas, permitiendo la formación del arcillo-húmico y los procesos de agregación del suelo) por la fauna del suelo: lombrices, hormigas, termitas, larvas de coleópteros, etc.

→ agregación y estabilización de los agregados por la fauna (bioturbación, activación de la microflora), los hongos (por el micelio/hifas), las colonias de bacterias, los exudados radiculares, polisacáridos, etc.

Estas diversas funciones, desempeñadas por las plantas y los organismos vivos del suelo, permiten asegurar una pedogénesis activa, y mantener un suelo que se renueva regularmente. El turn-over importante de la materia orgánica y de los nutrientes, y la ausencia de pérdidas por lixiviación,

permiten mantener de manera sostenible una producción fuerte, inclusive en suelos con fertilidad reducida. Esta producción de biomasa permite, a su vez, mantener la pedogénesis.

El ecosistema es estable y resiliente.



Funcionamiento de un ecosistema forestal natural

2. Principios del funcionamiento de los ecosistemas cultivados

2.1. Principios de la agricultura convencional



Erosión y deficiencia de fósforo en el maíz en el sistema convencional

La agricultura convencional se basa en la preparación del suelo y en los insumos químicos. El papel del suelo se reduce a su forma más simple, o de soporte físico para las plantas y de reservatorio de nutrientes. La respuesta a las diferentes dificultades agronómicas se hace, esencialmente, a través de la adaptación de técnicas que pretenden asegurar las diferentes funciones agronómicas fundamentales:

- restructuración del suelo con una preparación mecánica;
- control de las malezas con la preparación del suelo y el uso de herbicidas;
- alimentación de las plantas con nutrientes a través de aportes de abonos químicos y/o orgánicos;
- abastecimiento de agua por irrigación (cuando sea posible);
- control de plagas a través del uso de pesticidas.

La creación varietal y la selección de plantas pretende valorizar al máximo los insumos y adaptarse del mejor modo posible a las condiciones ambientales que se degradan (resistencia a enfermedades, etc.).

2.2. Principios de los sistemas convencionales de tala y quema

Los sistemas agrícolas convencionales basados en la tala y la quema funcionan en la base de una alterancia entre el ecosistema forestal y los sistemas convencionales con la preparación del suelo (pero con un aporte mínimo de insumos). La degradación general del ecosistema (actividad biológica, estructura del suelo, presión de malezas, etc.), muy rápida durante los períodos de cultivo, se compensa parcialmente, con la regeneración que se produce durante el período de barbecho.

Tres principios fundamentales

1. Minimizar el disturbio del suelo y de su mantillo (sin preparación mecánica del suelo).
2. Mantener el suelo cubierto permanentemente.
3. Producir y reponer en el suelo una gran cantidad de biomasa por asociación y/o sucesión de una variedad de plantas con múltiples funciones.

2.3. Principios de los ecosistemas cultivados en siembra directa (SCV)

Los principios fundamentales de la siembra directa con cobertura vegetal permanente

Os principios de conduta dos ecossistemas cultivados em PDCV visam reproduzir o funcionamento de um ecossistema de floresta natural, e em particular os da sua serrapilheira:

- **Minimización de los disturbios del suelo y del mantillo.** El suelo y el mantillo deben de ser disturbados al mínimo. Por eso no son trabajados. La siembra se realiza, directamente a través de la cobertura vegetal, disturbando y exponiendo el suelo el mínimo posible (3 a 10%, dependiendo del dominio y de la naturaleza de los utensilios de siembra directa) a través de la abertura de surcos (siembra manual) o de líneas (siembra mecanizada). El poco disturbio del suelo favorece el desarrollo de la actividad biológica, retrasa la mineralización y permite mantener la cobertura vegetal.
- **Cobertura permanente y total del suelo.** El suelo se mantiene, permanentemente, protegido debajo de una espesa cobertura vegetal que puede estar muerta (los rastrojos de cultivos, malezas y/o las plantas de cobertura son totalmente controladas antes de la implementación del cultivo) o mantenida viva (una cobertura vegetal perenne e sólo se controla durante el tiempo del cultivo, sin ser muerta, lo que le permite continuar su crecimiento después de la cosecha del cultivo). Esta cobertura vegetal protege, permanentemente, el suelo contra la erosión, mantiene las condiciones favorables para el desarrollo de una intensa actividad biológica y contribuye para la reducción de la presión de las malezas.
- **Producción y reposición en el suelo de una gran cantidad de biomasa.** Esta biomasa se renueva anualmente (lo que permite mantener la cobertura del suelo a pesar de mineralización) con diversas plantas (cultivos y plantas de cobertura) multifuncionales, manejadas en asociación y/o sucesión y que desempeñan diversas funciones ecosistémicas.

El ecosistema cultivado en SCV es, sin embargo, más intenso cuando se compara con un ecosistema natural, para permitir la producción de cultivos y/o forrajes que son exportadas (lo que implica un retorno de aportes para reponer los nutrientes retirados por el sistema).

Estos tres principios permiten construir tres «pilares»:

Los tres «pilares» de la siembra directa con cobertura vegetal

- El primero «pilar» de la SCV, es la **cobertura vegetal permanente del suelo** (alimentada por una alta producción de biomasa, y no disturbada por la preparación del suelo). La espesura del mantillo, así constituida con base en los tres principios fundamentales de la siembra directa, protege el suelo y altera la dinámica de la materia orgánica, del agua y de los nutrientes;
- El segundo «pilar» de la SCV está constituido por la **diversidad de plantas** (asociadas o en sucesiones en los sistemas SCV según el tercer principio), que tiene múltiples funciones. Éstas aseguran, particularmente, la producción de biomasa aérea (alimentación del mantillo) y radicular (explotación de un gran volumen de suelo, producción de biomasa subterránea, reestructuración del suelo, movilización y reciclaje de nutrientes, etc.);
- El tercero «pilar» de la SCV es la intensa actividad biológica del suelo (fauna y microflora), posible gracias a los dos «pilares» que alimentan el suelo en materia orgánica y favorecen el desarrollo de organismos, en:
 - reestructurando y aireando el suelo a través de los potentes sistemas radiculares;
 - manteniendo la humedad (baja escorrentía, alta infiltración y almacenamiento, evaporación limitada) y amortiguando las temperaturas a través de la cobertura vegetal;
 - suministrando un sustrato energético: la materia orgánica fresca (al nivel del mantillo en descomposición y de las raíces después de la muerte de las plantas) y los exudados liberados por las raíces jóvenes (azúcares, hormonas, enzimas, etc.).

En contrapartida, esta intensa actividad biológica ayuda a mejorar y a estabilizar la estructura del suelo (estructuración y estabilización de los agregados del suelo por la macrofauna, hongos del suelo, colonias de bacterias, etc.).

Esta es esencial en la génesis de los suelos y desempeña un papel fundamental en los ciclos de los nutrientes, tanto en el mantillo (ciclo de materia orgánica: mineralización, humificación, y secuestro de carbono, acumulación de nitrógeno orgánico; solubilización de nutrientes por oxidación o quelación) como en el com-

La cobertura vegetal/mantillo

La cobertura del suelo es esencial para el buen funcionamiento de la SCV.

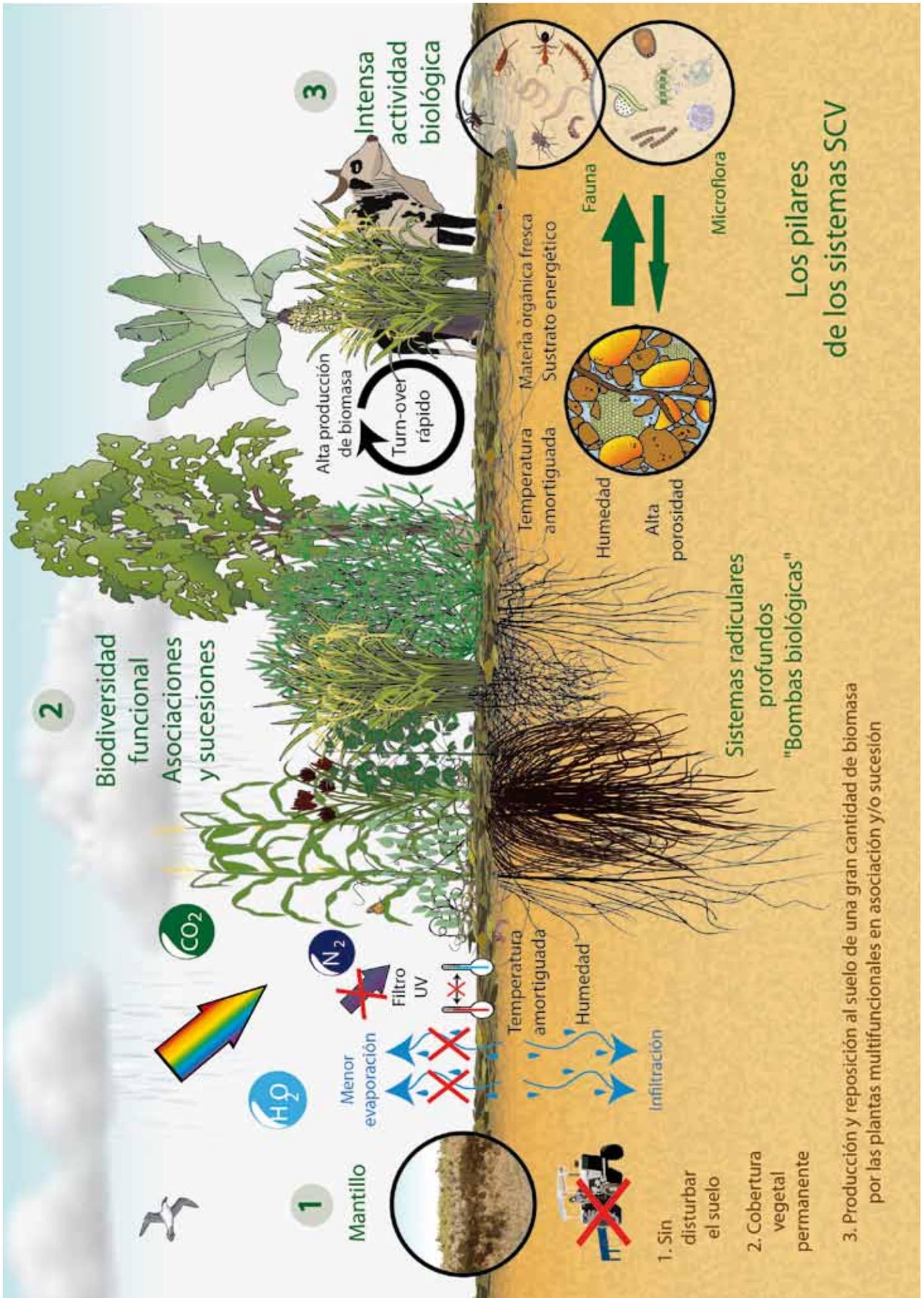
Ésta deberá ser mantenida tan completa y de forma tan continua como sea posible. Está compuesta por los rastrojos a los cuales se añade la materia seca, muchas veces dominante en cantidad y en biodiversidad, proveniente de plantas asociadas al cultivo principal o en sucesión anual. Puede ser difícil de mantener en condiciones climáticas excepcionales, que pueden limitar fuertemente el crecimiento de las plantas. La cobertura puede ser muy espesa, compuesta a veces por residuos de la biomasa de varios años consecutivos, en función de la cantidad y calidad de la biomasa y de las condiciones climáticas. Este es el caso de las tierras altas de Madagascar, donde podemos encontrar en el mantillo fragmentos de caña de maíz cultivado dos o tres años antes. Este aprovisionamiento regular y la conservación de una cobertura vegetal permanente, sin disturbar el suelo, distinguen la SCV de la mayoría de las técnicas, por veces agrupadas en el término agricultura de conservación, incluyendo las TCS (Técnicas de Cultivo Simplificadas).

Una variedad de plantas con múltiples funciones

Las asociaciones y sucesiones de cultivos desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento de la SCV. Las diferentes plantas utilizadas en los sistemas permiten mejorar la producción de biomasa y completar una serie de funciones ecosistémicas: estructuración y protección del suelo, secuestro de carbono, reciclaje y almacenamiento de nutrientes, control de malezas y de plagas, etc.

Estas favorecen, también, el desarrollo de una intensa actividad biológica que contribuye para asegurar esas funciones. Los sistemas son contruidos para ejecutar de la mejor forma posible las funciones prioritarias de un determinado contexto, escogiendo las plantas más capaces de afrontar los constreñimientos agronómicos más limitantes.

La inserción en los sistemas de plantas con sistemas radiculares potentes y profundos permite mejorar especialmente las funciones fundamentales de reestructuración de los suelos y de reciclaje de los nutrientes y del agua (papel de «bombas biológicas»).



plejo absorbente (la naturaleza de las bases y retención). Esta actividad biológica refuerza el segundo «pilar» (plantas multifuncionales) que alimenta el primero (mantillo).

Una intensa actividad biológica

La actividad biológica intensa, es posible por la creación de un ambiente propicio y el suministro de sustrato energético en abundancia (materia orgánica fresca y exudados radiculares), y permite garantizar una serie de funciones indispensables:

- estabilización de la estructura del suelo;
- proceso de humificación y mineralización;
- solubilización de nutrientes (por oxidación o quelación);
- fortalecimiento de las defensas naturales de las plantas, etc.

Estos tres «pilares» (cobertura vegetal/mantillo + plantas multifuncionales/raíces + actividad biológica asociada) se refuerzan mutuamente. Ellos permiten a la SCV, por su naturaleza y cantidad constantemente renovada (biodiversidad funcional), cubrir funciones múltiples y complementarias, comunes a todas las SCV pero de intensidad variable en función de los sistemas y de sus condiciones de realización (calidad y cantidad de la biomasa producida y repuesta al suelo).

3. El funcionamiento de los ecosistemas cultivados

3.1. Dinámica de la materia orgánica

La materia orgánica del suelo

En un ecosistema de plantas de alta producción vegetal, de calidad diversa, la fitomasa vegetal producida permite mantener el mantillo, en el cual la descomposición de los organismos vivos contribuye bastante para: i) la nutrición de las plantas (que permite asegurar la alta producción de biomasa) y, ii) el almacenamiento de carbono en el suelo en formas más o menos estables, relacionadas con la agregación de las partículas. Existen:

1. La reserva «activa» o «lábil», constituida por compuestos orgánicos fácilmente oxidados originarios de fragmentos de plantas recientes (azúcares, almidones, proteínas simples, proteínas intercaladas, polisacáridos, hemicelulosa). Se controla, principalmente, con el aporte de los rastrojos y con el clima, y es fuertemente afectado por el modo de gestión del suelo. En ambientes tropicales, esta reserva tiene dos funciones principales: i) asegurar el suministro de nutrientes y, ii) suministrar los compuestos orgánicos, agentes de agregación del suelo y de retención de cationes.

2. La reserva «lentamente oxidable», relacionada con los macroagregados, afectados por el modo de gestión del suelo.

3. La reserva «muy lentamente oxidable», relacionada con los microagregados, poco afectados por el modo de gestión del suelo.

4. La reserva «pasiva» o «recalcitrante», forma muy estable relacionada con el carbono asociado a las partículas primarias del suelo, controlada por la mineralogía de la porción argilosa. Esta reserva no es influenciada (al nivel de la parcela) por el modo de gestión excepto cuando ésta genera un transporte por erosión. Esas diferentes reservas de materia orgánica sufren mineralización y humificación, en diferentes vías, dependiendo del material y de las condiciones del medio:

- humificación por herencia de grandes moléculas (polifenoles, lignina), poco atacadas por los microorganismos;
- humificación por policondensación de compuestos fenólicos, derivados directamente de la descomposición de los tejidos vegetales;
- humificación por neosíntesis por los microorganismos del suelo, utilizando las moléculas (pequeñas) derivadas de la degradación de las materias orgánicas frescas para formar nuevos compuestos más resistentes: los polisacáridos (que desempeñan un papel importante en la agregación).

Importancia de la materia orgánica

La materia orgánica del suelo desempeña un papel fundamental en:

- la estructura del suelo y en su estabilidad (ligando las partículas minerales en el complejo arcillo-húmico, contribuciones para los agregados, etc.);
- la retención de agua y su disponibilidad para las plantas;
- el almacenamiento y el poner a su disposición nutrientes (fuerte contribución para la capacidad de intercambio catiónico, productos de la mineralización, etc.);
- la regulación del pH del suelo (tampón);
- la estimulación de la actividad biológica (sustrato energético y soportes);
- la retención de micropoluentes (mejorando su degradación), etc.

En el mantillo que es regularmente alimentado con materia orgánica de diferente calidad (y por lo tanto a velocidades de mineralización diferentes), la mineralización es continua y libera permanentemente nutrientes solubles, que permiten la nutrición regular de las plantas.

Los productos resultantes de la humificación de la materia orgánica (ácidos húmicos, etc.) van estar íntimamente asociados a los cationes polivalentes (Ca^{2+} , hidróxidos de ferro y de alúmina) y a las arcillas (resultantes de la alteración de la roca madre) en el complejo arcillo-húmico, alimentando la reserva pasiva de materia orgánica. Esta fracción fina, muy estable (tiempo de vida 1000 años) es progresivamente agregada

- en los microagregados ($< 250 \mu\text{m}$), con limos, y partículas finas de materia orgánica resultantes de la descomposición de plantas y revestidos de arcilla, sólidamente ligados por las raíces de las plantas, hifas y micelios de hongos y polisacáridos producidos por microorganismos y hongos estimulados por exudados radiculares;
- en los macroagregados, menos estables que los microagregados (y en el cual la materia orgánica es menos protegida físicamente), agregando microagregados, fracción intermedia de la materia orgánica ($50\text{-}200 \mu\text{m}$: fragmentos de hojas y raíces), colonias de bacterias y granos de arena bajo el efecto de ligación de las hifas/micelio de hongos del suelo, polisacáridos, y raíces de plantas.

Velocidad de descomposición de los residuos

La velocidad de mineralización depende en gran manera de la calidad de la materia orgánica fresca. Los rastrojos ricos en azúcares, almidones y proteínas simples (y en menor medida, en proteínas intercaladas y en polisacáridos), con relación C/N baja, se descomponen mucho más rápido que aquellos ricos en hemicelulosa y celulosa, con relación C/N más alta. Las moléculas más grandes, como las grasas y las ceras, y principalmente los polifenoles y la lignina, con sus anillos aromáticos, se descomponen mucho más lentamente.

Esta velocidad depende, también, de la actividad de la microflora y, así, de las condiciones del medio (aeración, humedad, temperatura), del tipo de suelo y de las superficies de «ataque» (talla de los fragmentos).

La mineralización es relativamente lenta durante los períodos de sequía y/o en medios fríos (como en los climas templados). En cambio, es particularmente rápida en el medio tropical húmedo y caliente todo el año.

La labranza (y las TCS) acelera los procesos de mineralización, fragmentando los rastrojos, desestructurando los macroagregados (exponiendo así la materia orgánica que estaba protegida en el interior), creando (temporalmente) un aporte de oxígeno muy elevado y haciendo posible el aumento de la temperatura del suelo. La velocidad de mineralización sólo está limitada (eventualmente) por la humedad y/o por la temperatura (en medios templados)

La fauna del suelo, y en particular las lombrices de tierra, desempeñan un papel fundamental en el proceso de agregación. Ellas aseguran la bioturbación del suelo y así el contacto entre fracciones minerales (arcillas, limos, arenas) y orgánicas del suelo. Contribuyen no sólo para la creación de agregados (acción mecánica de mezcla), sino, también, para su estabilización (alternancia sequía-humedad, activación de microorganismos, etc.).

Este proceso de agregación (y, por lo tanto de secuestro de carbono) es continuo, y su tasa es directamente proporcional a la reposición de la materia orgánica (raíces, tallos, hojas, pajas), en cantidad y en calidad. La dinámica de la materia orgánica es así, fundamentalmente, diferente entre una agricultura con preparación del suelo y los sistemas SCV bien gestionados.

Dinámica de la materia orgánica en sistemas convencionales con preparación del suelo

Los sistemas convencionales se caracterizan por:

- la preparación del suelo, lo que lleva a una mineralización irregular, con picos de mineralización muy rápida;
- una producción de biomasa relativamente baja (produciendo un pequeño número de especies, en un período de tiempo limitado, alimentación irregular y desequilibrada de las plantas, etc.);
- rastrojos poco variados, con una relación C/N relativamente baja, que se descomponen rápidamente, y como consecuencia producen poco humus;
- materia orgánica poco protegida como consecuencia de la baja agregación;
- erosión muchas veces fuerte, causada por las prácticas desestructurantes del suelo y una fuerte escorrentía que hace que incluso las fracciones más estables de la materia orgánica puedan ser exportadas de la parcela.

Consecuentemente, los rastrojos de la cosecha, incluso cuando quedan todos en la parcela, son generalmente insuficientes para mantener el stock de carbono en el suelo, principalmente en medios tropicales donde la mineralización es muy rápida. Además, frecuentemente, esta biomasa es exportada o quemada, lo que hace que las reposiciones de carbono en el suelo en los sistemas convencionales sean muy bajas. Estas reposiciones no permiten alimentar las diferentes reservas de materia orgánica (incluyendo la reserva activa de la fauna y de la microflora). Resultando una discontinuidad en el proceso de transformación del compartimento activo, con una reducción del flujo de C para la reserva estable de la materia orgánica del suelo.

Dinámica de la materia orgánica en un ecosistema cultivado en SCV

Al contrario de los sistemas convencionales, la siembra directa con cobertura vegetal permanente se caracteriza por la:

- producción y reposición regular de una gran cantidad de biomasa, de diferente calidad, alimentando las diversas reservas de materia orgánica del suelo y manteniendo un flujo continuo de carbono de la reserva activa para la reserva estable;
- mineralización regular y retardada debido al no disturbio del mantillo (sin el fraccionamiento mecánico de los residuos, protección de varias capas de aportes sucesivos, con diferentes velocidades de descomposición y poco expuestas a los procesos microbianos, sin flujo de oxígeno brutal, temperatura amortiguada);
- agregación continua, que lleva a la protección de la materia orgánica en los agregados: formación de complejo arcillo-húmico, protección de la fracción estable del carbono (< 53 μm) fuertemente ligada en los microagregados (< 250 μm), protección de los microagregados en los agregados macroagregados, etc.

La alta producción de biomasa y la actividad biológica intensa permiten un funcionamiento dinámico de la materia orgánica en relación a los procesos de agregación. La materia fresca (reserva temporal) se somete a los procesos de mineralización (alimentación de las plantas que van ellas mismas alimentar los mantillos) y de humificación (abastecimiento de la reserva transitoria y de la reserva estable de la materia orgánica). Esas reservas de materia orgánica son más o menos protegidas en los agregados, consonante su tamaño.

Estos procesos (con un primero lugar para la alta producción de biomasa) llevan al secuestro de carbono en el suelo y prestan un servicio ecosistémico fundamental a la escala del planeta.

La siembra directa funciona de forma similar a un ecosistema natural, con un turn-over importante y rápido de materia orgánica y procesos de agregación eficientes. La principal diferencia entre los sistemas bien gestionados en SCV y un ecosistema forestal natural está en la cantidad y calidad de la materia orgánica.

En la SCV, a pesar de la diversidad de plantas cultivadas, la proporción de plantas leñosas es más pequeña que en las florestas y los residuos producidos tienen una gran cantidad de celulosa y menos lignina.

La velocidad de descomposición es más rápida y la tasa de humificación es inferior. El flujo de carbono es más rápido que en la vegetación natural de varias especies con un número más grande de compuestos orgánicos constituidos por ceras, materias grasas, ligninas y polifenoles. Para ser eficaces, los sistemas de SCV deben garantizar una producción muy elevada de materia rica en celulosa gracias a las asociaciones/sucesiones, para mantener un flujo de carbono, permitiendo así la redistribución de compuestos orgánicos en los diferentes estados de humificación y, en los diferentes compartimentos de la materia orgánica del suelo. Tales sistemas tienen un turn-over de materia orgánica muy elevado y una reserva de materia orgánica activa particularmente importante (de 20 a 25% en los ambientes tropicales). En los ambientes templados, los flujos (producción y mineralización) son más lentos que en tropicales y la parte de la reserva activa es proporcionalmente más baja.

Actividad biológica y velocidad de mineralización

El bajo aporte de materia orgánica fresca en los sistemas convencionales, y la exposición de esta materia orgánica con relación C/N baja, explican que, a pesar de una mineralización rápida en esos suelos, la actividad biológica sea globalmente baja: esa actividad biológica está concentrada alrededor de los fragmentos de materia orgánica, sin o con baja protección, y relativamente poco numerosos. Por el contrario, en los suelos manejados en SCV, los elevados aportes de materia orgánica fresca (aérea y radicular) ofrecen un sustrato abundante a la macrofauna y a los microorganismos del suelo. La actividad biológica (que no se limita a la mineralización de la materia orgánica) está mejor distribuida y es mucho más intensa, a pesar del proceso de mineralización de la materia orgánica (con relación C/N elevada y protegida en los agregados y/o en el mantillo) ser más lento.



Arroz + avena, sobre la cobertura espesa después de maíz + dolichos

Turn-over de la materia orgánica

En los sistemas convencionales, la producción limitada y la baja reposición de biomasa al suelo con relación C/N baja, asociadas a una mineralización irregular con picos muy fuertes (después de la preparación del suelo), hacen que la materia orgánica sea poco renovada y que las pérdidas sean importantes (y agravadas por la erosión). Es muy difícil en estas condiciones mantener un nivel adecuado de materia orgánica para la producción agrícola.

Por el contrario, los sistemas en SCV, las altas producciones y reposiciones de biomasa y la creación de condiciones propicias para una mineralización lenta y regular, permiten un turn-over rápido y significativo de la materia orgánica y, consecuentemente, la mejora o, por lo menos, el mantenimiento del estado orgánico del suelo.

Esto no significa que los sistemas en SCV mineralizan menos materia orgánica que los sistemas convencionales: la cantidad mineralizada depende mucho de los tenores de materia orgánica del suelo, que son más grandes en SCV que en el sistema convencional !

Resumiendo, los sistemas convencionales mineralizan rápidamente una pequeña cantidad de biomasa y producen poco humus, mientras que los sistemas en SCV mineralizan lentamente grandes cantidades de biomasa y producen mucho más humus.

3.2. Estructura del suelo

Estructura del suelo en los sistemas convencionales

Los sistemas convencionales se busca asegurar una buena estructura del suelo, a través de una preparación mecánica, antes de la instalación de los cultivos. Si esta práctica es relativamente simple de implementar (aunque algunas veces muy exigente en trabajo), también, tiene muchos inconvenientes a medio plazo:

- a mejora de la estructura queda limitada a las capas labradas y es por tanto superficial. El apareamiento de una capa compacta de la tierra labrada, frecuente en estas prácticas, impide la penetración del agua y de las raíces en profundidad;
- su impacto, muy negativo en la actividad biológica y en la materia orgánica, hace que la estabilidad de la estructura del suelo no pueda ser garantizada. Los procesos de agregación no pueden funcionar y la estructura se degrada rápidamente. La mejora de la estructura a través de la preparación mecánica es por eso apenas temporal;
- el suelo desnudo está expuesto a la erosión (por el viento, la labranza o por la escorrentía), y puede endurecerse en la superficie (especialmente después de fuerte lluvia bajo preparación del suelo muy «fino», con ruptura de los agregados), o formar un sello superficial (en suelos sensibles al sellado)

Microporosidad y macroporosidad

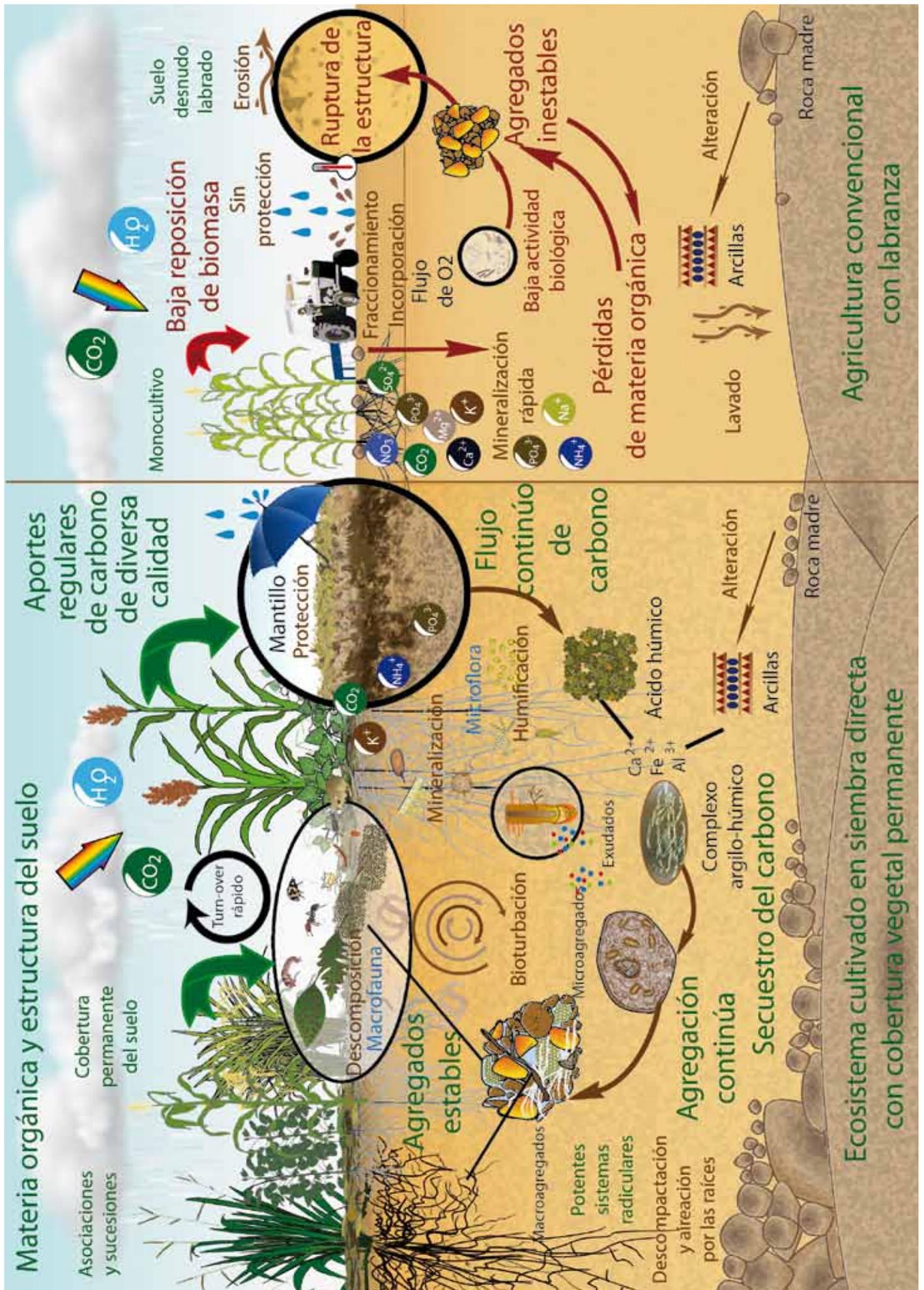
La macroporosidad del suelo, que permite una alta infiltración y un drenaje rápido del agua, resulta principalmente del trabajo de las grandes raíces y de la actividad de la macrofauna.

La microporosidad del suelo, que permite el almacenamiento del agua, está relacionada con los procesos de agregación y con la actividad de pequeñas raíces.

Estructura del suelo en los ecosistemas cultivados en SCV

En la siembra directa, como en un ecosistema natural, la creación y la conservación de una buena estructura del suelo son garantizadas con:

- la cobertura vegetal permanente del suelo que ejecuta la función de protegerlo contra el impacto de las gotas de agua (energía cinética elevada), contra la erosión eólica y/o hídrica, y contra la radiación solar (que seca el suelo, genera una fuerte amplitud térmica, y los rayos UV que son perjudiciales para los organismos biológicos);
- la aireación del suelo y su reestructuración a través de la macrofauna (lombrices de tierra, termitas, hormigas, colémbolos macroartrópodos, etc.) y de los potentes sistemas radiculares de plantas utilizadas en las asociaciones y sucesiones (en especial con el trabajo de las raíces de plantas cultivadas en la estación seca). El sistema radicular, muy denso en la superficie, desempeña igualmente el papel de una armadura flexible y resistente, y limita el impacto de la compactación por el paso de máquinas pesadas en la agricultura mecanizada;



- la incorporación de materia orgánica en el suelo: en la superficie al nivel del mantillo, y en profundidad por las raíces. Esta materia orgánica, de calidad variada (azúcares y proteínas simples, fácilmente descompuestos en lignina, grandes moléculas descompuestas lentamente, con un predominio de celulosa en siembra directa), va a alimentar las diferentes reservas de materia orgánica del suelo, más o menos estables;
- la formación y la estabilización de agregados gracias a una actividad biológica intensa (papel de ligación de la microflora y bioturbación por la macrofauna), un sistema radicular denso y aportes regulares de biomasa que constituyen al mismo tiempo un sustrato energético para estos organismos y la materia prima de la humificación.

La preparación mecánica del suelo en los sistemas convencionales (con sus efectos negativos) es, así, substituida por un trabajo biológico en un suelo vivo, que permite el almacenamiento y la protección de la materia orgánica del suelo en los agregados estables.

3.3. Fertilidad de los ecosistemas cultivados

Fertilidad de los sistemas convencionales

En los sistemas convencionales, el declino progresivo de la capacidad de almacenamiento de nutrientes en el suelo (especialmente por causa de la queda del tenor de materia orgánica que influencia fuertemente la capacidad de intercambio catiónico del suelo) hace que una parte considerable de los nutrientes tenga que ser aportada a los cultivos, por veces incluso sin pasar por el suelo, como en el caso de los abonos foliares.

Las pérdidas por la escorrentía superficial y por la lixiviación son altas debido a la grande solubilidad de determinados abonos, a la rápida mineralización de la materia orgánica y al bajo enraizamiento de las plantas, así como aquellas relacionadas con la erosión (facilitada por la preparación del suelo) y aquellas por volatilización en un suelo desnudo expuesto a temperaturas elevadas. La fertilidad del sistema es poco estable y sus resultados dependen mucho de aportes exteriores (cuando los agricultores tienen acceso a ellos).

Ellas bajan rápidamente después de la interrupción de los aportes de abonos, sobre todo porque los otros componentes de la fertilidad del sistema «suelo» son muchas veces deficientes (especialmente debido a la baja actividad biológica, al bajo tenor de materia orgánica y a la inestabilidad de la estructura del suelo), y las pérdidas del sistema son importantes.



Maíz + Mijo africano + Crotalaria
Foto: L. Séguy



Fertilidade dos ecossistemas cultivados em SCV

En los ecosistemas cultivados en SCV, los nutrientes están, como en un ecosistema forestal, concentrados mayoritariamente en la biomasa (fitomasa, mantillo y microflora del suelo), que aprovisiona las capas superficiales del suelo. Las plantas cultivadas obtienen la mayor parte de los nutrientes que necesitan en el mantillo y en los primeros centímetros del suelo. La fertilidad es global en el sistema suelo/planta y no es exclusiva del suelo. Gracias a sus reservas (en la fitomasa y la materia orgánica del suelo) y a las bajas pérdidas, la fertilidad de los sistemas SCV es estable. La conservación de esta fertilidad está garantizada con:

Intensa actividad biológica alrededor de las raíces de Brachiaria brizantha

Las «bombas biológicas»

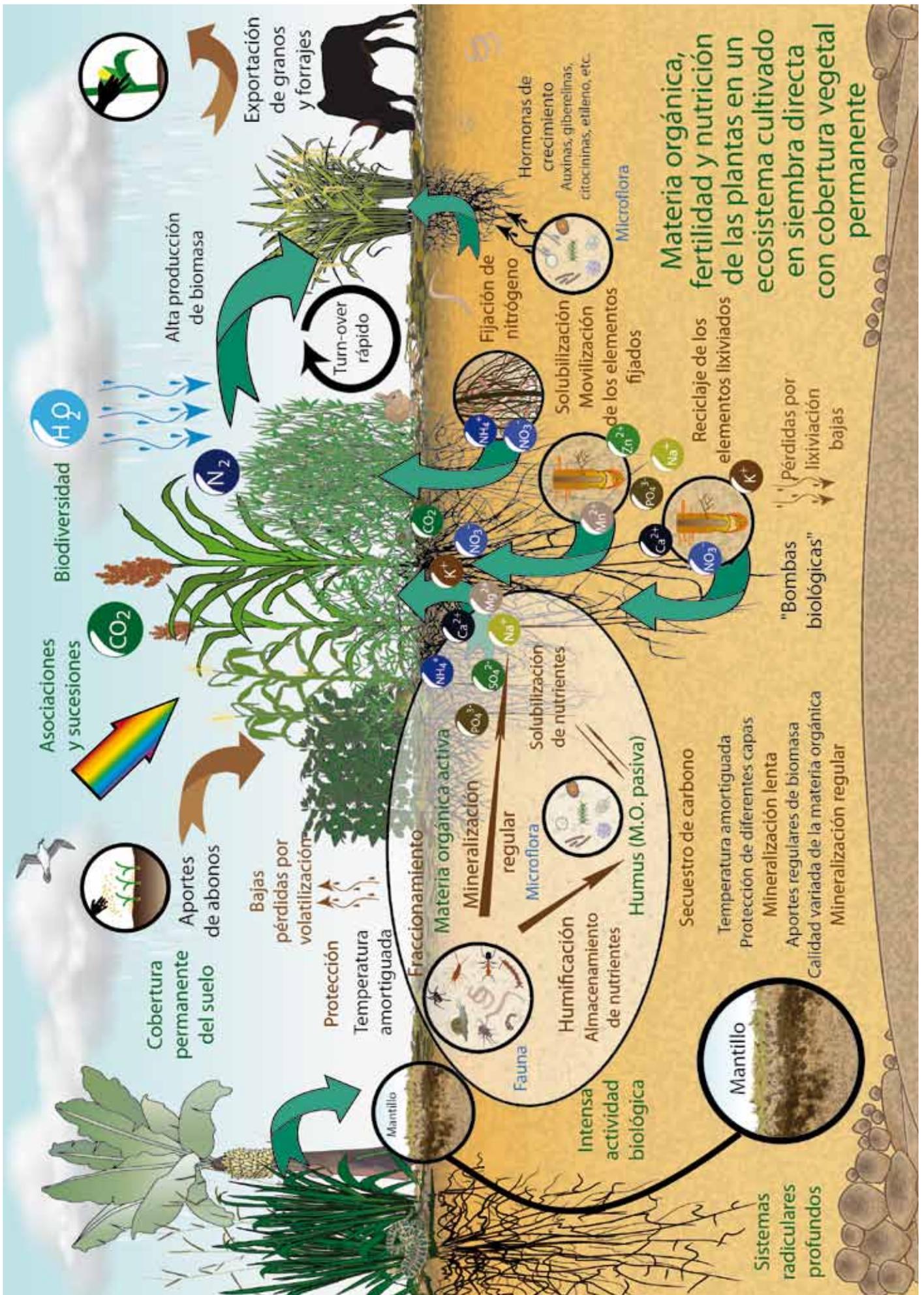
Las «bombas biológicas» son especies inseridas en los sistemas y que desempeñan (entre otras) una función fundamental de reciclaje y de movilización de los nutrientes. A través de su sistema radicular fuerte y profundo, su asociación con micorrizas y/o su estimulación de poblaciones específicas de bacterias, ellas son capaces de reciclar nutrientes lixiviados en profundidad, extraer los elementos poco disponibles y transformarlos en una importante biomasa que se junta al mantillo del suelo, permitiendo así alimentar las plantas. El mijo, por ejemplo, es un excelente reciclador de potasio, mientras que el *Stylosanthes* es capaz de reciclar las bases (en particular el calcio) y los oligoelementos (B, Cu, Zn, Mn, etc.) y de movilizar el fósforo.

- un turn-over rápido de la materia orgánica, asegurado por una elevada producción de fitomasa y por una actividad biológica intensa, que permiten optimizar los procesos de humificación y de mineralización. Gracias a este turn-over rápido, la producción anual de biomasa puede ser significativa, incluso en medios pobres;
- un alto tenor de materia orgánica (mantenida por la alta producción de biomasa) y, consecuentemente, una capacidad de intercambio catiónico (CIC) elevada, un poder tampón y una capacidad de retención de los nutrientes importantes;
- la fijación de nitrógeno atmosférico, por las leguminosas pero también por las bacterias libres (tipo *Azotobacter sp.*, *Azospirillum sp.*, *Arthrobacter sp.* etc.) y/o por los hongos del tipo trichodermas y actinomicetos, estimulados por los exudados radiculares de las plantas (como la *Eleusina coracana* o las brachiarias para *Azotobacter sp.*);

- la solubilización de nutrientes por oxidación o quelación, bajo la acción de bacterias que se desarrollan en un ambiente favorable (porosidad, aeración, humedad, sustrato energético, etc.) y rico en materia orgánica;
- la extracción de elementos fijados o en cantidades muy bajas en el suelo, por asociación de las plantas con micorrizas y/o estimulación selectiva (por los exudados radiculares) de poblaciones de hongos y/o de bacterias libres del suelo capaces de ejecutar esta función de movilización de nutrientes (hongos del género Trichodermas y bacterias del género *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Agrobacterium*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, etc. para el fósforo, bacterias del género *Bacilos* para el potasio y manganeso, *Thiobacillus* para el cobre, etc.). Esta función es específica de las «bombas biológicas», plantas utilizadas en cobertura que tienen diferentes capacidades para influenciar el medio (potencial redox, pH, etc.) y estimular las diferentes poblaciones de la microflora;
- el mantenimiento de una estructura favorable al enraizamiento de las plantas en profundidad, lo que permite la explotación de un gran volumen de suelo;
- una minimización de las pérdidas, que sea:
 - por erosión, gracias a la protección del suelo por la cobertura vegetal permanente;
 - por lavado, gracias a la estabilización de las arcillas en el complejo arcillo-húmico;
 - por lixiviación de los sales solubles, gracias al reciclaje de los nutrientes por las «bombas biológicas», plantas con sistema radicular que se desarrolla en profundidad (en particular durante la estación seca para captar agua);
 - por volatilización (CH₄, N₂O, SO₂, etc.), gracias a la cobertura vegetal (temperaturas amortiguadas) y al funcionamiento aeróbico de la microflora en un medio ambiente bien ventilado, etc.

La capacidad de limitar estas pérdidas depende sin embargo de los sistemas SCV establecidos. Los mejores sistemas, que combinan una producción de biomasa muy alta durante todo el año (y en particular durante los picos de la mineralización), el uso de plantas con sistemas radiculares muy profundos (en particular en la estación seca) y los aportes de fertilización mineral en las plantas de cobertura (con sistema radicular profundo) en vez de en el cultivo, tienen niveles de pérdida muy bajos, casi nulos. Además de mejorar la fertilidad del suelo, algunas coberturas vegetales (gramíneas del género *Bracharia* y leguminosas del género *Cassia* y *Stylosanthes* en particular) permiten desempeñar (a través de su alta producción de biomasa, mismo en condiciones de elevada acidez, la cual toleran muy bien) una función de neutralización de la acidez (y por lo tanto del aluminio), incluso en suelos ferralíticos, que son los más desaturados.

Sin embargo, al contrario de un ecosistema forestal natural, sin cualquier salida de nutrientes del sistema cuando no es utilizado, un ecosistema cultivado en SCV sufre pérdidas de nutrientes por exportación de las producciones. La gestión de la fertilidad pasa por lo tanto por un retorno al sistema (suelo + fitomasa) de los elementos exportados, en la forma orgánica (estiércol, compost) o mineral (abonos químicos).



3.4. La alimentación de las plantas (en nutrientes)

Alimentación irregular y desequilibrada en sistemas convencionales

La nutrición de las plantas

El carbono (42 a 50%), el hidrógeno (6%) y el oxígeno (42 a 44%), resultantes de la fotosíntesis a partir del dióxido de carbono y del agua, representan en media más de 95% de la materia seca de la planta. El nitrógeno representa de 1 a 2% de esa materia seca, y proviene directamente o indirectamente del aire, fijado por vía biológica (bacterias) o química (abonos nitrogenados).

A no ser la porción de azufre (0,4% de las plantas) que proviene también del aire (SO₂), todos los elementos minerales de las plantas proviene del suelo. El C, O, H, N y S, el potasio (2 a 2,5%), el calcio (1 a 1,5%), el fósforo (0,4%) y el magnesio (0,4%), o sea, los macronutrientes principales, constituyen más de 99% de la materia seca de las plantas. Los otros macroelementos (Cl, Na, Si) y los oligoelementos (B, Cu, Mn, Fe, Mo, Co, etc.) representan menos del 1% de la materia seca total.

Todos estos elementos minerales (cationes o aniones) son absorbidos en la solución del suelo por las raíces. Son solubles y, por lo tanto, asimilables por las plantas, en su forma oxidada (caso del N, P, S, Ca, Mg y Se), o quelatada (para los otros)..

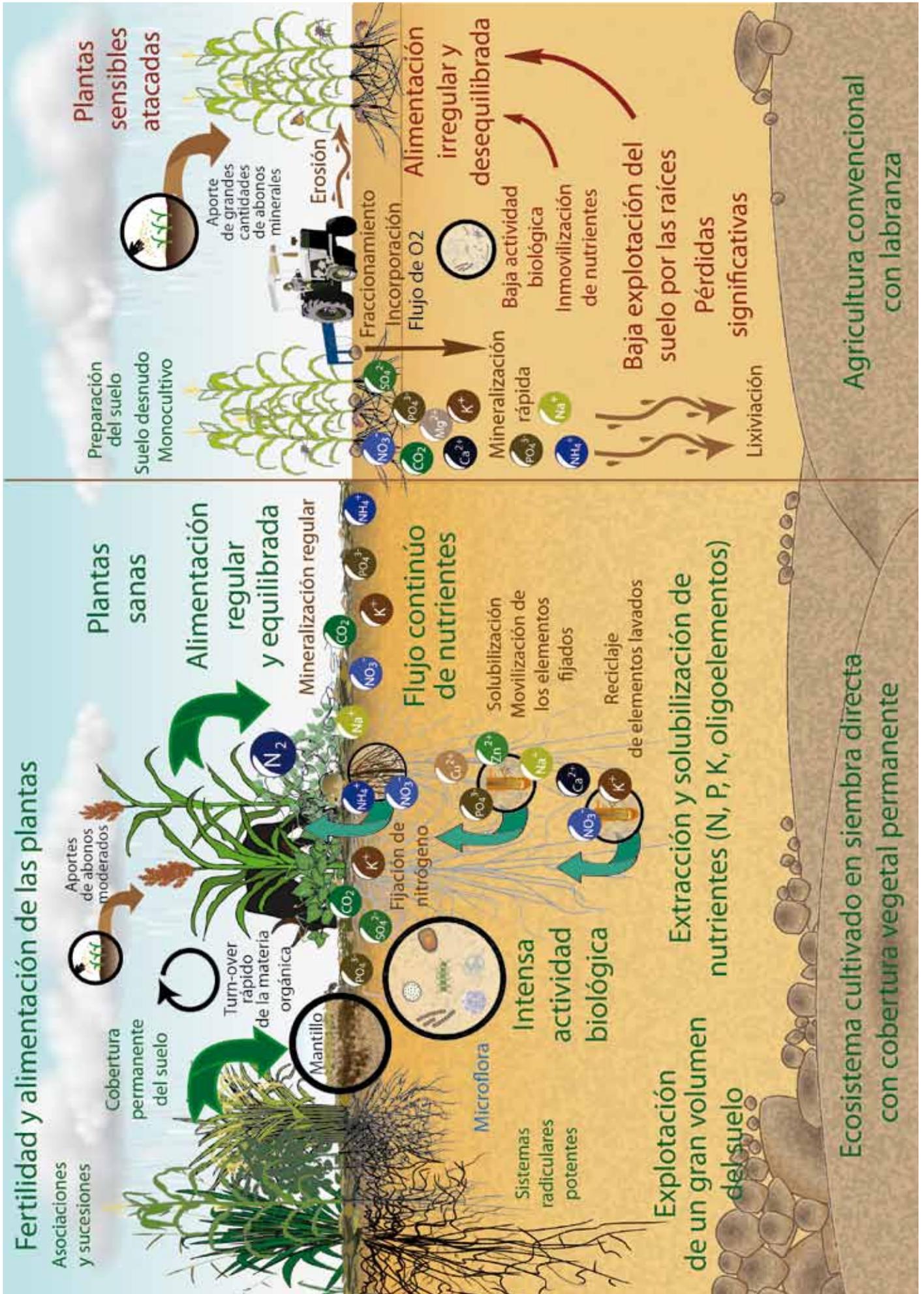
- una regularidad en los aportes de fitomasa;
- una diversidad de la calidad de los aportes, con velocidades de mineralización diferenciadas de las plantas usadas para formar las coberturas vegetales. Una cobertura a base de leguminosas se mineraliza rápidamente (especialmente sus hojas que son muy ricas en nitrógeno) y repone al suelo los nutrientes que pueden ser usados, directamente, en los cultivos siguientes, desde el inicio de su ciclo. Por el contrario, las gramíneas con relación C/N y tenores de lignina y de polifenoles elevados, en particular aquellas con grandes tallos (sorgo, maíz, mijo) se descomponen lentamente y liberan los nutrientes tardíamente, permitiendo la alimentación de los siguientes cultivos varios meses después del aporte al mantillo;
- el no disturbio del suelo permitiendo mantener la protección de las capas superiores del mantillo, mientras las capas en contacto con el suelo son mineralizadas.

Más allá de su papel fundamental en los procesos de mineralización de la materia orgánica, que permite una alimentación regular de las plantas, la microflora (y en particular bacterias, micorrizas y trichodermas) aumenta la cantidad de nutrientes accesibles a las plantas (aumento muy grande de la superficie de cambios, como en las asociaciones simbióticas con micorrizas, solubilización por las bacterias, etc.).

3.5. Balance hídrico (y alimentación de las plantas en agua)

Baja eficiencia del uso de agua por los sistemas convencionales

Las prácticas convencionales, con labranza y suelo desnudo, generan una escorrentía importante, una baja infiltración del agua (debido a la pérdida rápida de macroporosidad reconstituida por la labranza) y una elevada evaporación (relacionada con la elevada temperatura del suelo en la superficie).



La baja microporosidad no es propicia para un buen almacenamiento de agua en el suelo, lo que hace que la reserva de agua sea baja. Además, la creación frecuente de una capa compacta debido a la preparación repetida del suelo, constituye un obstáculo para el enraizamiento de las plantas en profundidad. El volumen de suelo explotado por las raíces es bajo y, consecuentemente, la reserva utilizable de agua es muy baja. En tales condiciones, la hidratación de las plantas depende mucho de la regularidad de los aportes de agua. En los cultivos de secano, sin acceso a la riego, el crecimiento de las plantas está, rápidamente, limitado después de algunos días sin lluvia, especialmente durante las fases sensibles de los cultivos, como la floración.

Optimización del uso de agua por los sistemas en SCV



Elevada producción en suelos arenosos en un medio semiárido

En los sistemas SCV, la cobertura vegetal permite reducir significativamente la escorrentía y deja más tiempo para que el agua se infiltre. Además, la infiltración es rápida gracias a la alta macroporosidad creada y mantenida por la práctica de la siembra directa. Esa infiltración rápida permite evitar el encharcamiento en el caso de una fuerte precipitación (efecto «cisterna de agua»).

La microporosidad igualmente creada y mantenida por las prácticas SCV ofrece al suelo una gran capacidad de almacenamiento (lo que limita el proceso de lavado, a pesar de la alta infiltración). Una alta infiltración y una capacidad de almacenamiento elevada conducen a la formación de una reserva de agua importante. Esa reserva de agua es fácilmente accesible a las plantas, que desarrollan, en la SCV, sistemas radiculares profundos, en un suelo bien estructurado. La reserva utilizable de agua es por tanto muy importante.

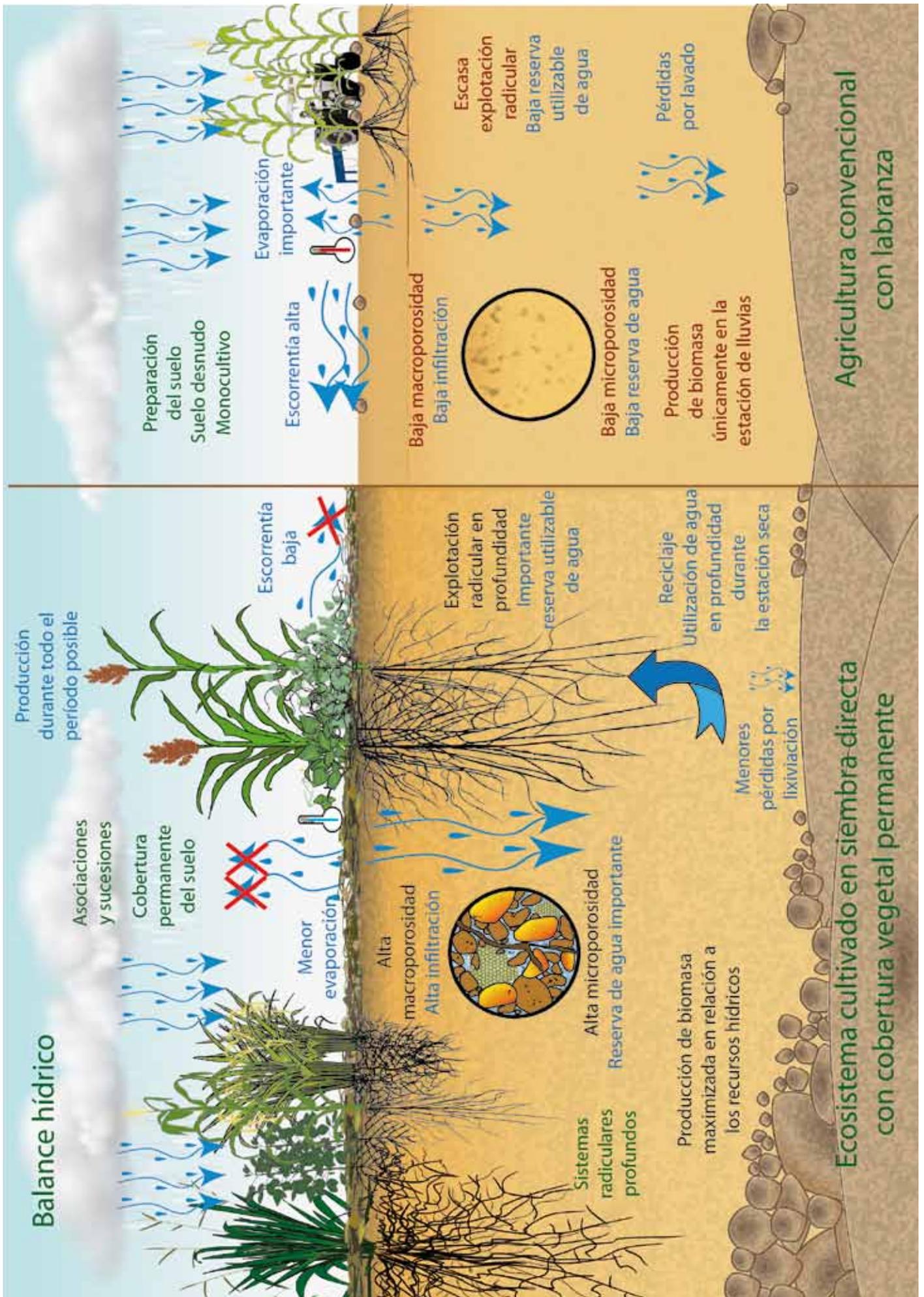
Además de la reducción de las pérdidas por escorrentía, la siembra directa permite reducir las pérdidas de agua por:

- reducción de la evaporación a través de la cobertura vegetal;
- reducción de las pérdidas en el proceso de lavado, debido a la utilización de agua en profundidad por los sistemas radiculares profundos, especialmente en períodos secos (subidas capilares);

Los riesgos climáticos son así mitigados: reducción de las pérdidas, reservas significativas utilizadas en caso de período de sequía y infiltración rápida en períodos de alta pluviosidad. Además, la siembra directa permite sembrar los cultivos desde las primeras lluvias útiles y así desplazar el ciclo de los cultivos para el período más favorable (lo que es particularmente interesante en climas con estación seca larga). Finalmente, la condensación del rocío es mucho más grande en una cobertura vegetal (superficies más grandes de interceptación) que en un suelo desnudo. Estas «precipitaciones ocultas» pueden contribuir significativamente para la alimentación de las plantas en agua, en medios con baja pluviometría, pero elevada humedad del aire (litorales, por ejemplo).

Consecuentemente, las plantas se alimentan de agua de una manera más regular, sin excesos importantes o sequía prolongada, y el período que permite a las plantas obtener una buena hidratación es amplio. El cultivo con siembra directa es posible en zonas agro-ecológicas donde no se podrían desarrollar con las técnicas convencionales.

Más allá de posibilitar una mejor hidratación de los cultivos, una buena gestión de los sistemas SCV debe permitir optimizar la producción de biomasa (esencial para el buen funcionamiento de la SCV) comparado con la cantidad de agua disponible en una parcela (resultante de la lluvia o de la irrigación). El agua almacenada en un suelo bien estructurado es por lo tanto utilizado tanto cuanto sea posible por las plantas, para producir tanto en períodos «marginales» (chubvas aleatorias, difícilmente utilizables por los cultivos) como en la estación seca (gracias a su sistema radicular profundo y al uso de las subidas capilares) una elevada cantidad de biomasa que alimenta el mantillo y mejora el funcionamiento del suelo y de los sistemas manejados en SCV. La producción de biomasa en la estación seca permite aumentar fuertemente la producción total y es especialmente interesante cuando ocurre en un período de baja mineralización, con un diferencial «producción - pérdidas» muy positivo, y que permite una cobertura del suelo muy buena para el cultivo siguiente, incluso cuando esto ocurre después de una larga estación seca.



3.6. La salud de las plantas

La salud de las plantas en la agricultura convencional

Casi todas las prácticas de la agricultura convencional, con una visión a corto plazo, conducen rápidamente a un enflaquecimiento de las plantas y al aumento de ser susceptibles al ataque de insectos y a las enfermedades. La baja actividad biológica, relacionada en particular con el disturbio del suelo, la reducción del tenor de materia orgánica, la utilización de pesticidas, y la baja reposición de materia orgánica al suelo, conducen a:

- una alimentación irregular y desequilibrada de las plantas (en particular con deficiencias en oligoelementos);
- una disminución de las defensas naturales (sin producción de antibióticos naturales y elicitors por la microflora).

La teoría de la trofobiosis

En su teoría de la trofobiosis, Chaboussou (1985) explica que la susceptibilidad de las plantas a los insectos y enfermedades (hongos, bacterias y virus) es principalmente el resultado de un desequilibrio nutricional. Un mal funcionamiento de la síntesis de proteínas conduce a la acumulación, en los tejidos de las plantas, de aminoácidos libres (en particular la asparagina), de azúcares reductores y de nitrógeno mineral. Esos elementos solubles son la base de la alimentación de los insectos, hongos, bacterias y virus que, cuando los tienen a su disposición, se desarrollan mejor y más rápidamente. Cuando tienen una elevada concentración, estos elementos solubles hacen las plantas susceptibles a los ataques, mientras que, en plantas que contienen pequeñas cantidades de esos elementos básicos para su alimentación, las plagas se desarrollan poco.

El desequilibrio fisiológico de la planta, con dominio de la proteólisis sobre la síntesis proteica, depende de su estado fisiológico, pero está principalmente relacionado con:

- la agresión de la planta por los pesticidas: insecticidas, fungicidas y principalmente herbicidas que perturban la síntesis proteica de las plantas (su selectividad nunca es absoluta);
- una fertilización mineral desequilibrada, en particular en los aportes de nitrógeno y en caso de falta de potasio;
- deficiencias en oligoelementos (Mn, Cl, B, que son activadores de enzimas y Cu, Fe, Zn y Mo, que son componentes de enzimas);
- estrés hídrico (inundaciones, sequía).

Estos desequilibrios nutricionales (agravados durante los aportes de abonos minerales, en particular el nitrógeno), y el uso de herbicidas para controlar las malezas (necesidad más grande cuando los cultivos crecen lentamente), conducen a un mal funcionamiento fisiológico de las plantas. El proceso de formación de las proteínas, en particular, es perturbado, conduciendo a la acumulación de aminoácidos libres, de azúcares reductores y de nitrógeno mineral en los tejidos. Estos elementos son el sustrato privilegiado para diversas plagas que encuentran en esas plantas débiles condiciones muy favorables para su desarrollo. El desequilibrio nutricional de las plantas favorece, consecuentemente, el apareamiento de insectos y las epidemias. En estas condiciones de ataques severos a las plantas, la utilización de pesticidas para intentar reducir el número de agresores es la «respuesta» técnica más fácil (aunque posiblemente caros y contaminantes) en la agricultura convencional.

Estas «soluciones» químicas tienen una cierta eficacia a corto plazo (lo que permitió su rápido desarrollo a pesar de su coste significativo), pero manifiesta numerosos inconvenientes a medio plazo, incluyendo:

- los riesgos de polución;
- la ruptura de los equilibrios ecológicos en el sistema, a través de la destrucción de predadores de insectos parásitos
- la destrucción de la vida del suelo, conduciendo a una reducción de la disponibilidad de nutrientes y, consecuentemente, causando desequilibrios nutricionales y privando a las plantas de la protección de la microflora (trichodermas, etc.)
- la perturbación de la síntesis de proteínas de las plantas por los pesticidas.

Consecuentemente, la sensibilidad de las plantas aumenta y se favorece el desarrollo de plagas. A medio plazo, la «solución» química es tan sólo una forma de aumentar los problemas, lo que explica las dificultades de la agricultura convencional en obtener cultivos sanos.

La salud de las plantas en siembra directa con cobertura vegetal permanente

La salud de las plantas cultivadas en sistemas SCV se asegura de forma integrada con:

- una alimentación (en agua y nutrientes) equilibrada y regular. La fuerte reserva utilizable de agua, el almacenamiento de nutrientes en la forma orgánica, la mineralización regular, la movilización de los elementos fijos en el suelo, la solubilización de esos nutrientes (acción de los microorganismos, pH y

potencial redox del suelo favorables) hacen que las plantas tengan a su disposición agua y nutrientes, incluyendo oligoelementos, que éstas pueden sacar fácilmente del suelo a lo largo de todo su ciclo de vida. Las plantas bien alimentadas (alimentación regular y equilibrada, en cantidad suficiente) tienen un buen funcionamiento fisiológico, están muy sanas y poco atacadas por plagas. El arroz, por ejemplo, es remarcablemente sano después de *Stylosanthes* y lo afecta muy poco el añublo después de una asociación mijo africano + crotalaria;

- una producción por los microorganismos (bacterias y hongos del suelo) de una serie de sustancias: antibióticos (producción de *Pseudomonas sp.* contra *Fusarium sp.*, putrefacción de las raíces, etc.), hormonas de crecimiento, elicitores (que refuerzan las defensas inmunológicas naturales contra *Xanthomonas campestris*, *Pseudomonas syringae*, *Colletotrichum lindemuthianum*, etc.). La incidencia de enfermedades fúngicas como la fusariosis, la putrefacción de las raíces (*Rhizoctonia sp.*), la podredumbre (*Pythium sp.*) está fuertemente reducida en los suelos con enmiendas orgánicas, en las cuales se desarrolla una elevada actividad microbiana, como en la siembra directa con cobertura vegetal permanente;
- la colonización por microbios (bacterias y hongos) y nematodos que destruyen los propágulos de los patógenos (esporas de *Cochliobolus sp.* por ejemplo);
- la creación de condiciones poco favorables para el desarrollo de bacterias patogénicas (medio bien aireado, en particular) y la supresión de la transmisión de bacterias patogénicas, del suelo para las hojas, a través del efecto «splash» (efecto de gotas de agua que baten en el suelo, proyectando fragmentos de suelo contaminado sobre las hojas);
- la protección de las plantas contra los nematodos fitoparásitos por las micorrizas;
- la utilización de mezclas de especies (cultivos asociados) y/o de variedades: las variedades/especies resistentes son menos afectadas y permiten limitar la transmisión de enfermedades a las variedades menos resistentes (pero usadas debido a su elevado potencial de producción);
- la utilización fundada de herbicidas (y siempre que sea posible, la no utilización de estos productos), de manera a perturbar el mínimo posible la fisiología de las plantas (aplicación antes de los cultivos, con una cobertura vegetal espesa, en bajas dosis, etc.).

Los tratamientos con fungicidas son reducidos, tanto cuanto sea posible, debido a su efecto muy negativo en la microflora del suelo (que contrariamente tiene efecto muy positivo en la alimentación y en la salud de las plantas). Se limitan al tratamiento de semillas (principalmente leguminosas), cuando es necesario. El tratamiento de la cobertura vegetal se hace con dosis bajas, únicamente cuando sea absolutamente indispensable, lo que puede ser el caso en los primeros años, antes que el conjunto de efectos benéficos de la SCV se haga notar.

El uso de productos biológicos para reforzar las defensas naturales de las plantas (elicitores) también es posible.

Además, la alimentación equilibrada de los cultivos, la cual reduce mucho la susceptibilidad de las plantas, el control de plagas, principalmente plagas de insectos, se hace de acuerdo con los principios de la lucha integrada, a través:

- da reconstrução de um equilíbrio ecológico com os predadores naturais dos insetos prejudiciais;



Libélula comiendo una cigarra

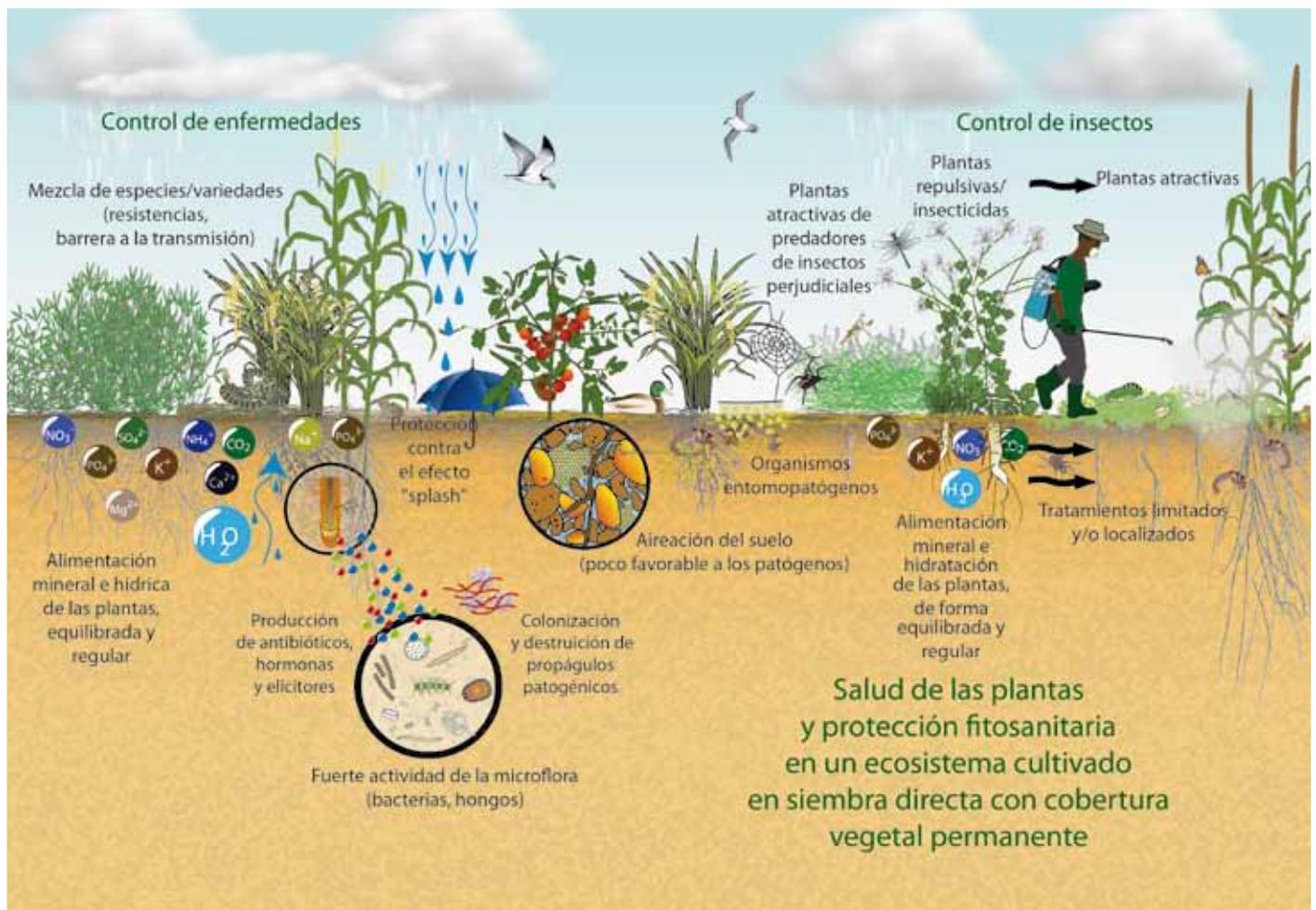


Lagarta atacada por un hongo entomopatógeno

- de la inoculación con organismos entomopatógenos (hongos como *Metharizium spp.* o *Beauveria spp.*; bacterias como *Bacillus thuringiensis*; nematodos como *Steinernematidae sp.*) que son colocados en condiciones muy favorables para su desarrollo; y/o
- de la utilización de plantas que producen sustancias insecticidas o repulsivas. La veza villosa y el rábano forrajero, por ejemplo, son utilizados en Madagascar para reducir la presión de los *Heteronychus sp.* y el género *Desmodium* es conocido por repeler los barrenadores. Contrariamente, las plantas atractivas para ciertos insectos (como el *Arachis pintoii*, que atrae heterópteros, mijo para los grillos o el género *Pennisetum* para los barrenadores) son usados para «desviar» los predadores del cultivo (técnica «Push-Pull»). Un insecticida se aplica, localmente, sobre estas plantas atractivas cuando la infestación de insectos es fuerte.

Estos principios de lucha integrada, que no son específicos de los sistemas SCV, encuentran en estos sistemas las condiciones que facilitan su implementación (plantas mejor alimentadas, y por eso, menos sensibles, reconstrucción de los equilibrios ecológicos favorecidos por la baja perturbación, biodiversidad, etc.) o que aumentan los efectos benéficos (condiciones muy favorables para el desarrollo de organismos inoculados, etc.). Al contrario de esto, los sistemas convencionales complican su implementación y limitan su eficacia.

Si la presión de las plagas es muy fuerte (en particular en los primeros años, tiempo necesario para que la mejora de los suelos permita la alimentación equilibrada de las plantas y que un equilibrio ecológico sea restablecido), la utilización de pesticidas puede ser necesaria para manejar ciertos cultivos. Sin embargo, es preferible, en esos primeros años, evitar el cultivo de plantas particularmente sensibles a las plagas presentes, lo que permite limitar el uso de pesticidas. Esto favorece el retorno rápido de un equilibrio ecológico, y evita el desequilibrio de los procesos de síntesis proteica y el aumento de la sensibilidad de las plantas.



3.7. Control de malezas

Control de malezas en la agricultura convencional

El control de malezas en la agricultura convencional depende del trabajo de preparación de la tierra y de la utilización de herbicidas selectivos de los cultivos (cuando están disponibles). Esa perspectiva permite un buen control de las principales malezas desde que ellas no hayan desarrollado resistencias a los herbicidas utilizados. La agricultura convencional «se adapta» a esas resistencias a través del desarrollo, por la industria química, de sustancias activas cada vez más eficientes, pero también cada vez más caras y, muchas veces, contaminantes.

Cuando no se puede disponer de esos herbicidas (muchas veces indisponibles, o con costes prohibitivos para las pequeñas áreas de agricultura familiar en el sur del país), el deshierbe manual de malezas de las parcelas es muchas veces la única práctica accesible. Sin embargo, eso implica tiempos de trabajo considerables. El control de malezas es difícil de realizar en el tiempo, de forma que la maleza es muy frecuentemente uno de los primeros factores que limitan la producción en esas condiciones.

Control de malezas en SCV

En SCV, la función de control de malezas es asegurada, con prioridad, con la inserción en los sistemas de cultivo de plantas (cultivos o plantas de cobertura) capaces de dominar, naturalmente, la mayoría de las plantas invasoras, que producen una elevada biomasa (alimentando así la cobertura vegetal) y que son fácilmente controladas. Este dominio de las malezas se hace por competitividad por la luz (sombra), competitividad por los nutrientes y/o efectos alelopáticos (producción de sustancias que interfieren con la germinación y/o el crecimiento de la planta, verdaderos herbicidas naturales). Esas sustancias son liberadas por las plantas vivas (exudados radiculares, en particular) o durante su descomposición. Las plantas, como la avena o el trigo sarraceno, son particularmente eficaces en la «limpieza» de las parcelas infestadas, gracias a su efecto alelopático muy fuerte. Las coberturas basadas en especies del género *Sorghum* permiten controlar la maleza *Cyperus rotundus* (capaz de desarrollarse en medio de mantillos). Una planta como el *Stylosanthes guianensis* controla perfectamente la striga a través de su espeso mantillo y de sus efectos sobre la germinación de las semillas (esta desencadena la germinación, pero no es parasitada por la striga, cuya plántula muere rápidamente por falta de hospedero). Estas plantas, que controlan naturalmente las malezas, permiten reducir gradualmente su banco de semillas en el suelo, y disminuir la presión sobre los cultivos siguientes.



Control de malezas por la cobertura vegetal
Arroz después de *Stylosanthes*

El control de esas plantas puede ser hecho mecánicamente (siega, uso de rodillo, decapado manual) o químicamente (a través del uso de herbicidas totales o selectivos) en función de sus características (ver Volumen II. Capítulo 2). Las plantas anuales (avena, veza, mucuna, etc.) son en general fácilmente controladas por simple siega o uso de rodillo, o también con herbicidas, en dosis bajas. Las plantas perennes (*Bracharia spp*, *Cynodon dactylon*, *kikuyo*, etc.) exigen dosis más elevadas de herbicidas, y son generalmente más difíciles de controlar mecánicamente, con excepción de lo *Stylosanthes guianensis* que, aunque perenne, puede fácilmente ser controlado por un simple corte junto al suelo. Algunas plantas también pueden ser controladas a través de aportes de urea (en el caso del trébol, por ejemplo), sumersión (en los arrozales) o naturalmente por la helada (clima templado o subtropical de altitud).

Ese control puede ser total, en el caso de coberturas muertas, o temporario/localizado en las coberturas vivas, que sólo son controladas durante el tiempo del cultivo y/o en las líneas del cultivo, y que recolonizan la parcela después de la cosecha.

El tipo de plantas que se deben incorporar en las sucesiones/asociaciones de cultivos depende, por lo tanto, de los tipos de maleza, de los cultivos a implementar (algunas plantas pueden tener efectos alelopáticos sobre algunos cultivos) y los medios disponibles para controlar las plantas de cobertura.

Los herbicidas en SCV

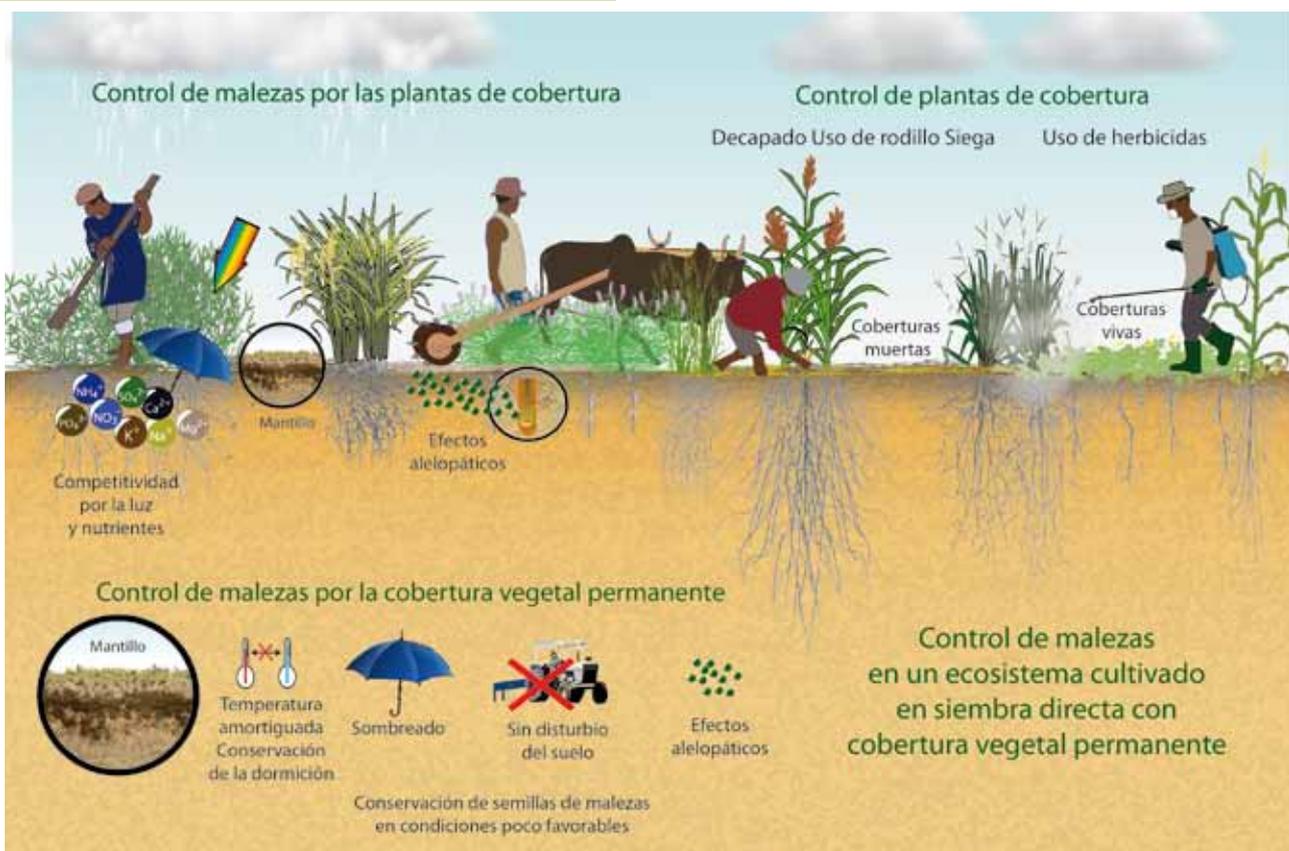
En los sistemas SCV instalados, con alta producción de biomasa, el uso de herbicidas se limita a la limpieza de la parcela (si fuese necesario) antes de la siembra y/o al control de las coberturas vegetales para aquellas que no pueden ser controladas mecánicamente. En este caso, el control se hace a través del uso de herbicidas totales, aplicados antes del cultivo, generalmente en dosis bajas, sobre un suelo cubierto por una elevada biomasa, lo que reduce su impacto sobre los cultivos y los riesgos de polución. El uso de herbicidas «selectivos» en los cultivos se limita tanto como sea posible, especialmente porque la eficacia de herbicidas de pre-emergencia es baja sobre un mantillo, con un suelo rico en materia orgánica. Un herbicida de post-emergencia puede, eventualmente, ser utilizado (si está disponible) en caso de «accidente», cuando una cobertura insuficiente ha controlado mal las malezas.

Durante el primero o primeros años de preparación de los sistemas SCV, antes de obtener una biomasa suficiente para controlar las malezas, el uso de herbicidas es muchas veces necesario. Sin embargo, intentamos limitar tanto cuanto sea posible su uso, cultivando primero plantas relativamente fáciles de limpiar (como el maíz), que asociamos a las plantas de cobertura, las cuales controlan rápidamente las malezas.

En el cultivo siguiente, la cobertura vegetal (muerta o viva, obtenida a partir de residuos de cosecha y/o de plantas de cobertura) desempeña un papel de sombra y puede tener un efecto alelopático. Suficientemente espesa, impide la germinación de la mayoría de las malezas.

Además, el no disturbio del suelo evita traer a la superficie semillas de malezas presentes en la tierra en condiciones favorables de germinación, (por eso la importancia de controlar bien la siembra de manera a que se evite «contaminar» la parcela, al remontar semillas de malezas para la superficie del suelo). En tales condiciones, solamente las semillas resultantes de la fructificación en la parcela, de las plantas que no han sido controladas a tiempo, y aquellas que han sido transportadas por el viento y los animales (principales fuentes de infestación en SCV), son capaces de germinar.

El control de malezas en SCV se hace, por lo tanto, sobre todo por la cobertura vegetal. El año «cero» de la preparación de la SCV debe permitir el control total de las malezas perennes y de formar la cobertura vegetal espesa que asegurará el control de plantas invasoras anuales en el futuro. Durante el año de preparación de la SCV, el control de malezas es garantizado «clásicamente» por la labranza y el uso de herbicidas selectivos de los cultivos, a los cuales se añade la implementación de plantas asociadas, que van a ayudar a reducir la presión de las malezas y a producir la cobertura vegetal para la estación siguiente.



El control de malezas, en los años siguientes, depende, principalmente, de la cantidad y de la calidad de la biomasa producida y mantenida en el suelo y del banco de semillas de malezas. El control de malezas eventualmente emergidas a través de la cobertura (insuficiente) exige el uso de herbicidas selectivos (por veces difíciles de encontrar, especialmente en sistemas que asocian diversas plantas con características diferentes), o el uso de un herbicida total, de forma localizada (con una protección o una barredera de aplicación del herbicida por contacto), o el arrancamiento de malezas manualmente (tarea larga para realizar). El uso de la azada está desaconsejado, pues aunque superficial, modifica la dinámica de la materia orgánica, acelera la descomposición de la cobertura y remonta las semillas de malezas en una posición favorable a su germinación.

3.8. Temperatura del suelo

La temperatura del suelo en agricultura convencional

En la agricultura convencional, el suelo desnudo está expuesto a las radiaciones del sol (incluyendo los rayos UV muy perjudiciales para los microorganismos). Esta exposición permite un calentamiento rápido del suelo (interesante en la primavera en medios templados), pero conduce a una elevada amplitud térmica y a temperaturas extremas (especialmente en medios tropicales), poco favorables para el desarrollo de organismos vivos.

Temperatura del suelo en SCV

En los sistemas SCV, la cobertura vegetal desempeña el papel de cobertura térmica. Ella protege el suelo de la radiación solar y limita las pérdidas de calor por radiación durante la noche. La temperatura del suelo con una cobertura vegetal es por lo tanto amortiguada, y la amplitud térmica es limitada.

En el medio tropical, las temperaturas extremas se evitan así, creando condiciones favorables para la actividad biológica concentrada en los primeros centímetros del suelo. En un medio templado, esta cobertura puede, sin embargo, retrasar el calentamiento del suelo en la primavera y provocar un retraso en la germinación, y una baja actividad biológica. Sin embargo, es posible «jugar» en el albedo de la cobertura: al contrario de una cobertura clara, que reenvía una parte importante de la radiación, una cobertura oscura permite conservar la energía y acelera el calentamiento del suelo. También se puede descubrir solamente la línea de siembra (ruedas en estrella en sembradoras de siembra directa, localizadas en la frente de los discos abridores) para que el suelo se caliente más rápidamente. Además, en suelos alagados, un mejor drenaje interno, obtenido por las prácticas de SCV, hace que la cantidad de agua del suelo que deberá ser calentada sea menor que en la práctica convencional. El calentamiento del suelo necesita de una energía más baja y ocurre más rápidamente.

3.9. Transformación de los xenobióticos

Polución por los sistemas convencionales

En los sistemas convencionales, los herbicidas y pesticidas son aplicados (por veces en gran cantidad) en suelo desnudo. Estos pueden ser rápidamente fijados por los coloides del suelo y/o distribuidos por la escorrentía, lixiviación y/o erosión, contaminando el suelo, aguas subterráneas y/o cursos de agua vecinos.

Desintoxicación por los sistemas SCV

Al contrario, en los sistemas SCV, herbicidas y pesticidas son interceptados por la cobertura vegetal que limita también las transferencias por escorrentía y lixiviación. El funcionamiento del mantillo y del suelo bajo SCV permite igualmente la biorremediación de xenobióticos contaminantes, degradados como en un biorreactor bajo el efecto de hongos (tipo basidiomicetos, ostra, *Aspergillus sp.*, etc.) y de bacterias, o incorporados en los compuestos orgánicos menos tóxicos y poco móviles. Las coberturas a base de sorgo son muy eficaces para cumplir esta función de desintoxicación, en especial por su alto tenor en lignina, que aporta un sustrato para esos hongos degradadores de lignina. Además, las micorrizas desempeñan un papel importante en la protección de las plantas contra los metales pesados.



Control total de malezas por la cobertura vegetal viva

3.10. Balance

El funcionamiento del suelo en la agricultura convencional

La agricultura convencional se basa en la preparación del suelo, y tiene como objetivos preparar el suelo para el establecimiento de los cultivos (semillero) y reducir la presión de las malezas.

La introducción de la preparación del suelo en un ecosistema para ser cultivado tiene, sin embargo, como consecuencia el cambio profundo de la dinámica de la materia orgánica, fundamental para el funcionamiento del ecosistema «suelo». Acelerando la mineralización, la preparación del suelo aumenta las necesidades en biomasa para mantener el nivel de materia orgánica, mientras que, paralelamente, la producción de fitomasa está limitada por la falta de diversidad en los cultivos y por su baja intensidad (monocultivo, pocas asociaciones o sucesiones).

Impactos negativos de las prácticas convencionales sobre la actividad biológica

Las prácticas convencionales tienen muchos impactos negativos sobre los organismos del suelo:

- la labranza destruye una parte de la macrofauna y crea condiciones difíciles para los microorganismos: la exposición a la radiación UV del sol y las altas temperaturas en la superficie, la mala aireación en profundidad, la baja humedad debido a la baja porosidad, etc.;
- la pérdida de materia orgánica debido a la labranza y a la exportación de las pajas (frecuente en sistemas convencionales), equivale a una disminución de los recursos nutritivos para los microorganismos;
- algunos abonos químicos son nocivos para los microorganismos (cloruros, sulfatos, etc.);
- herbicidas y especialmente insecticidas y fungicidas tienen efectos muy negativos en los organismos vivos del suelo.

Consecuentemente, la preparación del suelo en la agricultura convencional conduce a una pérdida de materia orgánica del suelo, especialmente porque el suelo desnudo está expuesto a la erosión.

Esta pérdida de materia orgánica está acompañada por una disminución de la actividad biológica (por disminución del sustrato orgánico, pero también por el disturbio y por el desnudar del suelo), lo que conduce consecuentemente a:

- la lixiviación de las arcillas, la lixiviación de las bases y de los nutrientes y a una disminución global de la fertilidad;
- la desestructuración de los suelos, lo que amplía la disminución de la actividad biológica (pérdida de hábitat) y conduce a un enraizamiento superficial y a una mala utilización del agua y de los nutrientes por parte de las plantas;
- la degradación de la salud de las plantas, debido a:
 - una mala nutrición, irregular y desequilibrada;
 - la destrucción de la microflora (bacterias, micorrizas,

trichodermas, etc.), que ya no cumple su papel de «digestión» de nutrientes y no ofrece más a las plantas elicitores y los antibióticos que ella produce naturalmente; y

→ desequilibrios ecológicos, permitiendo la proliferación de plagas.

Para superar estas nuevas dificultades surgidas por la preparación del suelo, la agricultura convencional intensiva se orientó hacia:

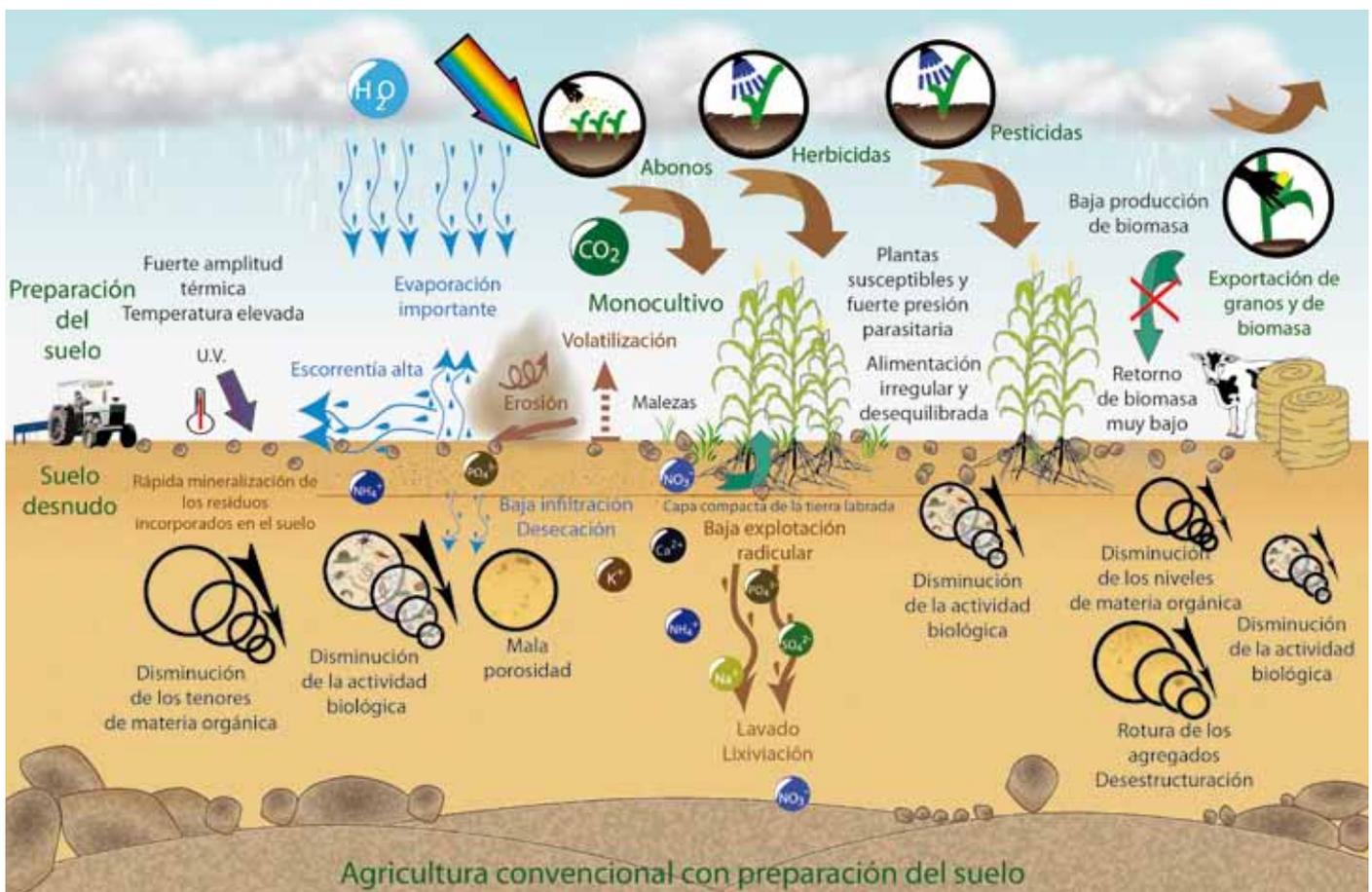
- una intensificación del trabajo del suelo, para compensar (a corto plazo) la desestructuración de los suelos, y
- un enfoque químico, para compensar la disminución de la fertilidad química del suelo (aportes de nutrientes en la forma de abonos), controlar las malezas (uso de herbicidas cada vez más potentes) y proteger los cultivos cuyas defensas naturales han sido afectadas por una mala nutrición y por la baja actividad biológica del suelo.

Este enfoque, desarrollado en climas templados, ha permitido obtener resultados interesantes a corto plazo debido, principalmente, a las características de esos medios: la mineralización lenta que hace que las pérdidas de materia orgánica sean bajas, la buena fertilidad inicial de los suelos que permite una producción de biomasa relativamente alta, la intensidad moderada de las lluvias y, consecuentemente, la erosión, el acceso a insumos en condiciones favorables, etc. A medio plazo, la degradación progresiva de los suelos y la evolución de los mercados (baja de los precios de venta, aumento de los precios de los insumos, mientras que sus necesidades aumentan) hacen que: i) la implementación de prácticas saliendo de la lógica «química» (lucha integrada, fertilización racional) sea difícil, ii) la tentación de aplicar dosis crecientes, sea fuerte; y

la agricultura convencional intensiva sólo puede existir en el caso de ser apoyado con subvenciones (condenadas a desaparecer). Los problemas ambientales causados por el uso excesivo de productos químicos también hacen que sea puesta en causa su uso (polución de aguas subterráneas y ríos, perturbación de la fauna, residuos en los productos, salud de los utilizadores, etc.).

Transferidas para el medio tropical, bajo un clima muy agresivo (mineralización muy rápida, lluvia intensa), estas prácticas convencionales son catastróficas (con excepción, muy particular, de los arrozales). Estas generan una erosión intensa y una pérdida rápida de la materia orgánica del suelo (aún más rápida cuando los residuos de los cultivos son quemados o retirados del terreno), conduciendo a una degradación general de los suelos. La subsecuente pérdida de producción, hace que las devoluciones de biomasa al sistema para mantener la fertilidad sean insuficientes. El ecosistema así cultivado, con preparación del suelo, entra en un ciclo vicioso de degradación, del cual es muy difícil salir. Muchas veces, los aportes de materia orgánica al suelo (restitución de todos los residuos y aportes de abonos orgánicos), son suficientes únicamente para ablandar la degradación del suelo causada por su preparación, especialmente cuando la erosión es significativa. La opción «química» de compensación de los «daños», muy cara y difícilmente accesible, no está, del todo, adaptada al medio tropical, incluso para una agricultura comercial intensiva. Ella no permite mantener la fertilidad del suelo, es muy contaminante y poco rentable a medio plazo.

Para la gran mayoría de los pequeños agricultores en los trópicos, esta opción «química» ni siquiera está accesible (conocimiento, disponibilidad, y sobre todo, el coste de los insumos). Las prácticas convencionales con preparación del suelo conducen entonces a una degradación más o menos rápida, dependiendo de las condiciones (clima, fertilidad inicial del suelo, declive, uso de fuego, etc.), de aquello que es, muchas veces, su único capital: el suelo. Esta degradación del suelo está acompañada por una baja tendencial de los rendimientos, hasta la imposibilidad de producir cultivos más exigentes (debemos orientarnos hacia la introducción de cultivos menos exigentes, pero poco populares, como la mandioca), y pueden incluso conducir a abandonar la tierra. Esas prácticas con preparación del suelo simplemente aumentan la precariedad de los pequeños agricultores, que ya se encuentran en una situación delicada, en una economía globalizada.



Uno de los «errores» principales de la agricultura convencional, que explica en parte su «precipitación» para una agricultura química (muy rentable para la agroindustria), es el haber descuidado la importancia de la actividad biológica del suelo en el funcionamiento de un ecosistema cultivado. Así, este tipo de agricultura ha considerado el suelo, únicamente, como un soporte físico para las plantas y una reserva de nutrientes. Considerando que el mantenimiento de unas buenas características físicas y químicas del suelo sería suficiente para asegurar la producción vegetal, la agricultura convencional se ha privado de múltiples funciones y servicios ecosistémicos prestados por la macrofauna y microflora del suelo, incluyendo aquellos indispensables a la preservación de esas características físicas y químicas (humificación, agregación, bioturbación, etc.). Un suelo muerto, sin actividad biológica, sólo puede degradarse (física y químicamente). La nutrición de la planta, privada de la función «digestión» (solubilización de nutrientes), normalmente completada por los microorganismos del suelo, sólo puede ser hecha como «perfusión» por el aporte de abonos minerales solubles (para los elementos que la química puede hacer solubles), ocasionales y muy difíciles de equilibrar.

El desconocimiento de la importancia de la actividad biológica del suelo, ha hecho que las «soluciones» técnicas propuestas por la agricultura convencional, que supuestamente respondían a las nuevas dificultades, sólo se dirigiesen a los síntomas (mala nutrición de las plantas, enfermedades y insectos), sin «atacar» las causas de los problemas (degradación biológica de los suelos, desequilibrios ecológicos, etc.). Peor aún, las «soluciones» aportadas por el «tratamiento» a corto plazo de esos síntomas (de enfermedades, carencias, etc.), condujeron muchas veces al agravamiento de las causas, debilitando la microflora del suelo (efectos nefastos de la preparación del suelo, de los abonos, de los herbicidas, de los insecticidas y principalmente de los fungicidas), perturbando el funcionamiento de las plantas (alimentación, síntesis proteica, etc.) y destruyendo los equilibrios ecológicos (efectos de los insecticidas y de la preparación del suelo).



*Aração manual (mais de 100 dias/ha)
Terras altas malgaxes*

Además, debido a las dificultades económicas (adaptación a los mercados), pero sobre todo por voluntad, consciente o no, de la simplificación del trabajo del agricultor, del agente de extensión rural o del agrónomo, un

componente fundamental de los sistemas de cultivo (la naturaleza de los cultivos y su orden de sucesión/asociación) perdió progresivamente su papel en la gestión agronómica de las parcelas y de las propiedades rurales. Las «soluciones» propuestas se limitan, muchas veces, a adaptaciones del itinerario técnico (variedades, pesticidas, abonos, etc.) y negligencia en las posibilidades de «pilotar» los ecosistemas con asociaciones y sucesiones de cultivos, que influyen fuertemente la materia orgánica y la actividad biológica del suelo.

El funcionamiento del suelo en los sistemas de tala y quema

En los sistemas tradicionales de tala y quema, el período de barbecho, si es suficientemente largo, permite de recuperar una parte de la fertilidad (física, química y sobre todo biológica) de los suelos perdida rápidamente durante los períodos de cultivos con preparación del suelo (y quema), muchas veces en pendientes bastante inclinadas. Sin embargo, a partir de una densidad de población superior a 15 o 20 habitantes/km², la presión sobre la tierra no permite un barbecho suficientemente largo para regenerar convenientemente los suelos. Más allá de 40 habitantes/km², la presión sobre la tierra es tan grande que la regeneración de los suelos es muy limitada y no permite compensar las pérdidas. Los suelos se degradan, los rendimientos bajan y los ciclos de corte-y-quema son acelerados, agravando, en un ciclo vicioso, la degradación del suelo y la disminución del rendimiento.

El funcionamiento de un ecosistema cultivado en SCV: intensificación ecológica

Al contrario de la agricultura convencional, que provoca un gran disturbio en el ecosistema (la preparación del suelo), la siembra directa con cobertura vegetal permanente inspirase en el funcionamiento de un ecosistema natural, intensificándolo, sin disturbarlo. Así, la dinámica de la materia orgánica en SCV es semejante al del ecosistema natural, donde los organismos vivos del suelo desempeñan un papel fundamental. En general, el uso excesivo de energía cultural industrial de la agricultura convencional es substituida por un empleo virtuoso y ecológico de la energía cultural biológica.

La gestión de estos sistemas en SCV se basa en un modelo de funcionamiento integrado de ese ecosistema cultivado. Intenta en primer lugar, a través de una alta producción de biomasa, aumentar el tenor de materia orgánica del suelo (y después mantenerla a un nivel satisfactorio) y aumentar la actividad biológica

(intensidad y biodiversidad), que son esenciales para su buen funcionamiento. El pilotaje de estos sistemas se hace a través de plantas que, por su capacidad de producir una elevada cantidad de biomasa de calidad variada y de estimular de forma selectiva la actividad biológica, permiten ejecutar diversas funciones agronómicas. El ecosistema «suelo», moldeado por las prácticas culturales, no se limita a un papel secundario de soporte para las plantas y de reserva de minerales. Él desempeña un papel fundamental y tiene varias funciones suplementaria:

- en el almacenamiento, movilización y regulación de los flujos de nutrientes y agua;
- de efecto tampón de los riesgos climáticos;
- en la regulación de plagas, etc.

Así, las principales funciones agronómicas son garantizadas, principalmente, por la biodiversidad funcional en los sistemas (que se pierde en los sistemas convencionales). Asegurando al mismo tiempo la producción de cultivos (respondiendo a las necesidades de los agricultores y a las exigencias de los mercados), estos sistemas incluyen plantas escogidas para mantener las funciones ecosistémicas fundamentales (descompactación del suelo, reciclaje y movilización de nutrientes, control de malezas y de insectos, etc.).

Los itinerarios técnicos sólo contribuyen para hacer estos sistemas eficientes, permitiéndoles expresar su potencial.

Además, el modo de funcionamiento de los sistemas SCV hace que los efectos en el ambiente de eventuales «errores de manejo» (fertilización excesiva o aplicación de pesticidas en elevadas cantidades) sean limitados por la cobertura vegetal y por la actividad biológica, contrariamente a los sistemas convencionales, donde tales excesos generan una elevada polución.

Los sistemas de cultivo en SCV son concebidos y adaptados para eliminar, con prioridad, las principales dificultades agronómicas identificadas y jerarquizadas. Se dirigen, activamente, a las causas de los problemas, más que a sus síntomas, protegiendo (prevención) y restaurando (corrección) los suelos y los equilibrios ecológicos. Ellos prestan también una serie de servicios ecosistémicos, en particular con un impacto muy positivo en el área del secuestro de carbono y en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (mientras que los sistemas convencionales «pierden» carbono).

Por su propia concepción, los sistemas SCV deben evolucionar, permanentemente, para adaptarse a la evolución de los principales problemas (que son progresivamente resueltos). Como para un ecosistema natural, esta capacidad de evolucionar es una de las condiciones para su durabilidad. Para reintroducir la diversidad necesaria al buen funcionamiento agronómico de los suelos, tenemos que gestionar en el tiempo y en el espacio las poblaciones de plantas que ejecutan varios servicios, en asociaciones o en sucesiones (intra o interanuales). Una consecuencia fundamental es la existencia de una gran variedad de sistemas SCV. Estos sistemas son concebidos para asegurar, prioritariamente, las funciones ecosistémicas que permiten eliminar las principales dificultades (compactación, fertilidad, malezas, plagas, etc.) encontradas en una determinada situación (una determinada unidad agronómica, en una determinada propiedad rural, ella misma

Tres principios inseparables

Los tres grandes principios fundamentales de la SCV (sin disturbio del suelo, cobertura permanente y diversidad de los cultivos) son inseparables y trabajan en interacción, con numerosas sinergias. El sistema, en su globalidad, es superior a la suma de sus componentes.

Por ejemplo, la preservación de una cobertura vegetal permanente no es posible si el suelo es disturbado y si esa cobertura no es alimentada por una fitomasa significativa. Además, la aplicación de sólo un o dos de esos tres principios no permite mantener, y aún menos, aumentar el stock de materia orgánica del suelo.

La aplicación «aislada» de esos principios sólo puede tener un efecto significativo en ciertas condiciones muy particulares. En los medios muy secos, por ejemplo, la preservación de los residuos de la cosecha, incluso cuando es en pequeñas cantidades (1 a 2 t/ha), tiene un impacto significativo en la infiltración de agua y permite mejorar considerablemente la producción, al suprimir el principal problema (hidratación de las plantas).

Funciones aún desconocidas

Cada planta es capaz de realizar varias funciones y ejecutar diversas funciones ecosistémicas. Las funciones realizadas por una especie son, sin embargo, muy variables y permanecen poco conocidas. Las plantas actúan muchas veces en interacción con la microflora estimulada de manera selectiva por los exudados radiculares. La comprensión de estos fenómenos y el descubrimiento de las capacidades de las diversas plantas, en la prestación de servicios específicos, es un área de investigación fundamental para mejorar los desempeños de los sistemas en siembra directa con cobertura vegetal permanente.

haciendo parte de un terroir). Para una determinada función ecosistémica, el impacto de los sistemas SCV en la producción y en el medio ambiente, es, por naturaleza, función del sistema de cultivo escogido (con su potencial a desempeñar este tipo de servicio) y de las condiciones de su realización (que permite o no la expresión de ese potencial). Los sistemas SCV más robustos son los que son capaces de asegurar funciones ecosistémicas previstas en diversas condiciones de realización. Pretendemos también hacer posible que estos sistemas sean tan maleables cuanto sea posible, esto es, capaces de encontrar un funcionamiento y un desarrollo normales después de sufreren un disturbio importante. Finalmente, los sistemas SCV implementados, deben integrarse de la mejor forma posible en las propiedades rurales, con las dificultades y los medios que los agricultores tienen, y satisfacer sus exigencias y necesidades, en un determinado contexto socioeconómico (exigencias y oportunidades de los mercados, limitación de riesgos, etc.).

4. Condiciones de funcionamiento de los sistemas SCV

Los sistemas SCV se basan fundamentalmente en la calidad y en la cantidad de biomasa producida y restituida al mantillo y al suelo (biomasa aérea y radicular). La calidad de la biomasa influencia los tipos de funciones ecosistémicas aseguradas, mientras que, la cantidad influencia directamente la intensidad de esas funciones. Hay un límite de aporte de biomasa al suelo, a partir del cual, los sistemas funcionan correctamente en SCV, y abajo del cual, funcionan mal. Este límite corresponde a la cantidad de materia orgánica mineralizada. Éste es variable en función, principalmente, del clima, de la calidad de la biomasa, del suelo, y de su forma de gestión (preparación del suelo o no). Si los aportes son superiores a ese límite, los suelos (y los cultivos) se benefician de ellos, y aún más intensamente y más rápidamente, cuanto más grande sea el diferencial «biomasa restituida - biomasa perdida por mineralización».

Inversamente, los sistemas con restitución de materia orgánica inferior a las pérdidas (como en los sistemas con baja producción de biomasa y/o fuerte exportación del sistema, para alimentación animal, en particular) no permiten mantener de forma sostenible el tenor de materia orgánica de los suelos. Ellos sólo retrasan su degradación y sólo aseguran correctamente un número limitado de funciones agronómicas, lo que limita su desempeño y su interés. Muchas veces, estos sistemas, que entran en el término genérico de agricultura de conservación, no permiten mantener una cobertura vegetal permanente. Ellos no corresponden, por lo tanto, en un sentido estricto, a la definición de siembra directa con cobertura vegetal permanente, que es un tipo particular de agricultura de conservación (y que ofrece una gran variedad de sistemas, basados en un cierto número de principios que se deben respetar).

Una gran diversidad de sistemas SCV

Cada sistema SCV tiene un potencial más o menos alto para prestar diversos servicios ecosistémicos. Además, las condiciones de realización de estos sistemas les permite o no expresar ese potencial.

Consecuentemente, la capacidad de prestar un servicio ecosistémico es específica de cada sistema, y de sus condiciones de realización (producción efectiva de biomasa, en particular).

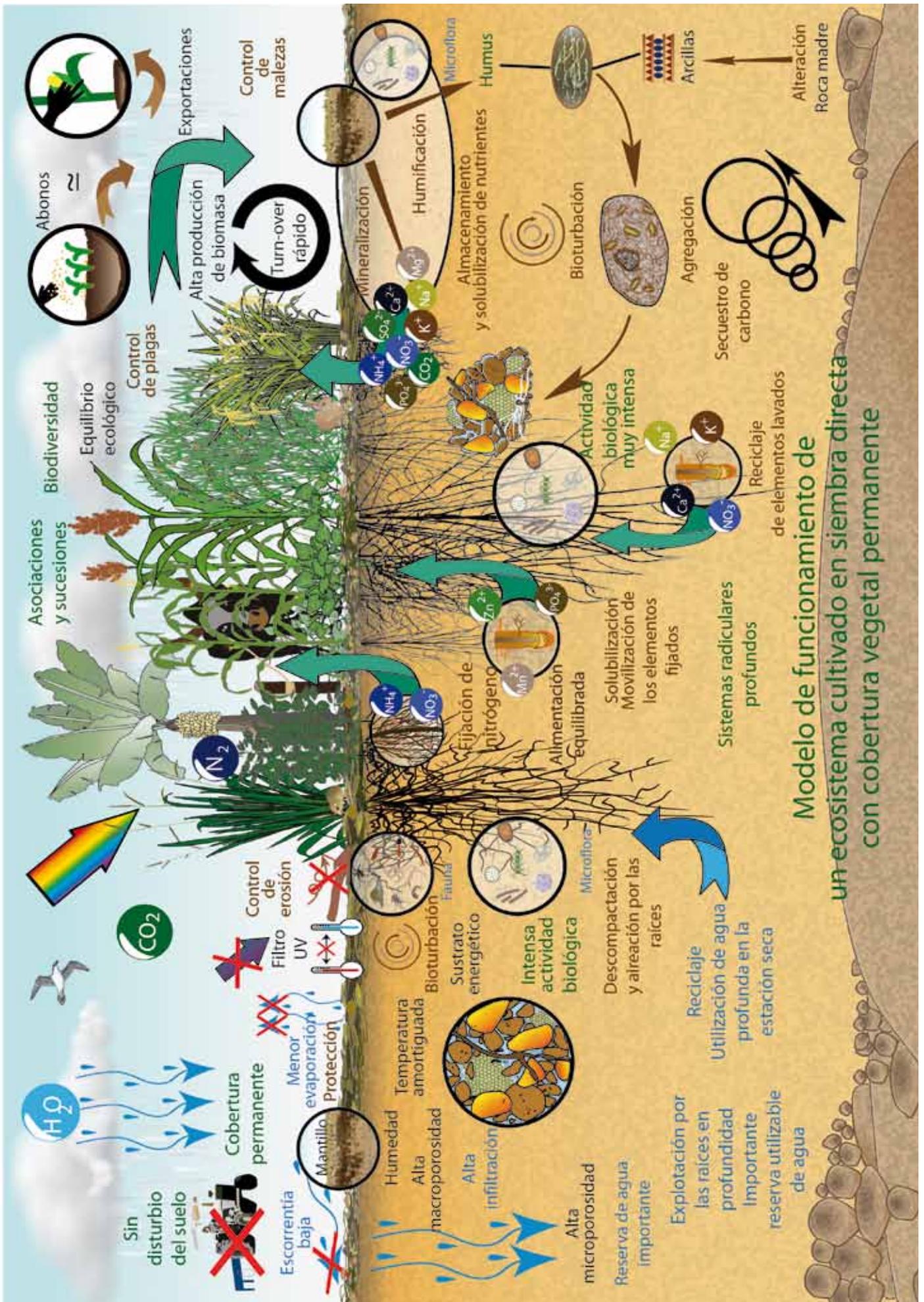
Los sistemas más eficientes son aquellos que permiten completar rápidamente numerosas funciones.

Un sistema no puede ejecutar todas las funciones con el mismo nivel de eficiencia. Sin embargo, la gran diversidad de sistemas SCV permite escoger los sistemas más adaptados en un determinado momento, para ejercer las funciones agronómicas prioritarias y eliminar las principales dificultades en una determinada situación.

À medida que las situaciones evolucionan, los sistemas deben adaptarse para asegurar las funciones que se han convertido en una prioridad.



*Cobertura vegetal permanente del suelo
Alta producción de biomasa*



Modelo de funcionamiento de un ecosistema cultivado en siembra directa con cobertura vegetal permanente



Maíz + caupí - Alto tenor de materia orgánica en el horizonte superficial

Para poder beneficiarse, rápidamente, de los efectos de las prácticas SCV, es necesario obtener un gran diferencial de «biomasa restituida al suelo - biomasa perdida» desde los primeros años de entrada en los sistemas SCV. Este gran diferencial permite a esos sistemas cumplir sus funciones ecosistémicas, y conducir a una mejora rápida de los suelos y a la restauración de los equilibrios ecológicos. Estas mejoras, en un círculo virtuoso, facilitan la obtención de una producción importante de biomasa y permiten alimentar fácilmente la «bomba» de la SCV en los años siguientes. En suelos degradados, la obtención de una alta producción de biomasa en los primeros años a través de la restauración de la fertilidad por el aporte de abonos (orgánicos o minerales), ecoquema y/o uso de plantas de cobertura capaces de producir una biomasa alta en suelos poco fértiles. Cuanto más degradados estén los suelos, más difícil, larga y/o cara es la «entrada» de los sistemas SCV. Por abajo de un cierto nivel de degradación, no es lucrativo durante los primeros años y necesita de una inversión. Sin embargo, en muchas situaciones agronómicas, la gran variedad de sistemas y de acciones técnicas posibles en SCV permite adaptar las prácticas a la gran diversidad de situaciones socioeconómicas. Ésta permite proponer sistemas económicamente rentables, sustentables y motivadores, compatibles con los medios y los niveles de riesgo aceptables para los diferentes tipos de explotaciones. La diversidad de sistemas posibles y sus intereses, así como su facilidad de

implementación depende, sin embargo, en gran medida de las condiciones biofísicas (clima, suelo, etc.) y socioeconómicas (sistemas agrarios, sistemas pecuarios, condiciones de mercado, normas comunitarias, etc.). Algunos medios poco restrictivos (espacio y medios disponibles, baja presión sobre la biomasa, etc.) ofrecen numerosas posibilidades de mejora, a través de sistemas fáciles de gestionar. Por otro lado, en medios restrictivos (fuerte presión sobre la biomasa, bajo potencial de producción, recursos limitados, etc.) exigen una adaptación rigurosa de los sistemas SCV y de su gestión.

Para obtener más informaciones...

Chaboussou, F. 1985.

Santé des cultures : une révolution agronomique. La maison rustique, Flammarion, Paris. ISBN: 2-7066-01-50-7. 271 p.

De Moraes Sá, J.C.; Cerri, C.C.; Piccolo, M.C. Feigl, B.E.; Buckner, J.; Fornari, A.; Sá, M.F.; Séguy, L.; Bouzinac, S.; Venzke-Filho, S.P.; Paulletti, V. e Neto, M.S. 2004. Le semis direct comme base de système de production visant la séquestration du carbone. Revista plantio direto, 14 (84) : 45-61.

Gobat, J.M.; Aragno, M. e Matthey, W. 1998. Le sol vivant. Bases de pédologie-Biologie des sols, ISBN: 2-88074-367-2, Presses polytechniques et universitaires romandes, Collection Gérer l'environnement. 550 p.

Magdoff, F. and Weil, R.R. editors. 2004. Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press LLC, ISBN 0-8493-1294-9, 398 p.

Séguy, L.; Bouzinac, S. e Maronezzi, A.C. 2001. Systèmes de culture et dynamique de la matière organique.

Un dossier du semis direct. CIRAD-CA, Agronorte Pesquisas-Groupe MAEDA, TAFA/FOFIFA/ANAE. 320 p.

<http://agroecologie.cirad.fr/content/download/7131/34698/file/1172915043.pdf>

Séguy, L.; Bouzinac, S. et al. 2008. La symphonie inachevée du semis direct dans le Brésil central. Le système dominant dit de «semi-direct». Limites et dégâts, éco-solutions et perspectives : la nature au service de l'agriculture durable. CIRAD, Embrapa, AgroNorte, UEPG, Codetec, USP, Facual. 214 p.

<http://agroecologie.cirad.fr/content/download/7200/35181/file/1212319668.pdf>

Uphoff, N. T. (ed.); Ball, A.S. (ed.); Fernandes, E.C.M. (ed.); Herren, H. R. (ed.); Husson, O. (ed.); Laing, M. V. (ed.); Palm, C. (ed.); Pretty, J. (ed.); Sanchez, P. (ed.); Sanginga, N. (ed.) e Thies, J. (ed.). 2006. Biological approaches to sustainable soil systems. CRC Press, Boca Raton. ISBN -10: 1-57444-583-9. 764 p.

Edición: GSDM/CIRAD - Fotos y disposición: Olivier HUSSON - Grafismo: Olivier HUSSON, Eloise GRAND e IAN Símbolos
Impresión: NIAG



Capítulo 2

Gestión de los ecosistemas cultivados en siembra directa con cobertura vegetal permanente

Lucien SEGUY, Olivier HUSSON, Hubert CHARPENTIER, Serge BOUZINAC,
Roger MICHELLON, André CHABANNE, Stéphane BOULAKIA, Florent TIVET,
Krishna NAUDIN, Frank ENJALRIC, Ignace RAMAROSON, RAKOTONDRAMANANA

La gestión de los ecosistemas cultivados en siembra directa con cobertura vegetal permanente (SCV) pretende permitirles reproducir el funcionamiento de un ecosistema forestal natural que se basa en tres «pilares» (ver Volumen I. Capítulo 1):

- la cobertura vegetal permanente del suelo/mantillo (alimentada por una alta producción de biomasa, y no disturbada, sin preparación del suelo);
- la biodiversidad funcional: las diferentes especies permiten asegurar una diversidad de funciones ecosistémicas fundamentales (estructuración del suelo, movilización y/o reciclaje de nutrientes, control de malezas, control de plagas, desintoxicación, etc.). Éstas aseguran, también, una alta producción de biomasa (materia orgánica fresca abundante, gracias, especialmente al uso eficiente del agua), que repuesta en el suelo, permite alimentar el mantillo y el stock de carbono del suelo, a través de un turn-over importante y rápido de la materia orgánica;
- la actividad biológica intensa, está favorecida por la cobertura permanente del suelo y la alta producción de biomasa por diversas plantas. Ésa alta actividad biológica contribuye para cumplir diversas funciones, y desempeña una función clave en el ciclo de la materia orgánica, en la estructuración del suelo, en la alimentación y en la salud de las plantas.

La gestión de los sistemas SCV corresponde, así, a la gestión de poblaciones de plantas (y indirectamente de organismos vivos del suelo), de forma que produzcan cultivos con interés mientras que maximiza la producción total de una biomasa para asegurar diversas funciones ecosistémicas. La selección de las especies (y variedades) se hace basándose en su capacidad de desempeñar determinadas funciones, de forma a eliminar, lo más rápidamente posible, las principales dificultades agronómicas (compactación, fertilidad, plagas, etc.), en un medio ambiente biofísico (suelo, clima, flora de malezas, plagas, etc.) y socioeconómico (finca, terroir, mercados, etc.) dado, de forma a satisfacer los objetivos de producción.

En la práctica, podemos distinguir dos modos principales de gestión de los sistemas SCV:

- los sistemas con cobertura muerta, en los cuales los residuos de la cosecha y/o las plantas de cobertura son completamente secos con herbicidas totales, controlados mecánicamente (rollo angular, siega, decapado) o mueren naturalmente (fin del ciclo de las anuales, heladas, etc.);
- los sistemas con cobertura vegetal viva, para los cuales nos contentamos con controlar una planta de cobertura perenne, durante el cultivo principal pero sin matarla, de forma a que ella se instale nuevamente, a partir de ella misma, después del período del cultivo.



Suelo con cobertura vegetal de *Stylosanthes guianensis*

Principios básicos para optimizar la producción de biomasa

- Maximizar la producción utilizando todo el espacio disponible (asociaciones de cultivos en las parcelas cultivadas y plantas de cobertura en las zonas no cultivadas), tanto tiempo cuanto sea posible (sucesión de cultivos, uso de plantas anuales capaces de desarrollarse en estación seca y/o fría, uso de plantas perennes, siembra precoz, substitución sistemática de las plantas que faltan, etc.).
- Recuperar la fertilidad del suelo lo más rápido posible (abonos minerales o orgánicos, ecoque- ma y/o «bombas biológicas» vegetales) y optimizar la utilización de nutrientes (limitando las pérdidas, reciclaje, movilización de elementos poco disponibles, etc.).
- Optimizar la utilización del agua, produciendo el máximo de biomasa durante la estación de lluvias y utilizando, durante la estación seca, el agua infiltrada en profundidad (plantas recicladoras, con sistema radicular profundo, capaces de prolongar su crecimiento más tarde, en la estación seca).
- Asociar, tanto cuanto sea posible, plantas con características diversas (permitiendo optimizar la producción bajo problemas climáticos diversos), con elevada biomasa aérea y radicular.
- No inmovilizar la tierra, únicamente, para la producción de biomasa (excepto cuando el espacio disponible lo permite fácilmente). Rentabilizar tanto cuanto sea posible las plantas de cobertura, asociándolas a un cultivo.

En todos los casos, el desempeño de esos sistemas depende sobre todo de la biomasa producida y de la repuesta en la parcela, la cual permite al suelo recuperar y mantener las propiedades físicas, químicas y biológicas favorables.

1. Producción y gestión de la biomasa en SCV

Las necesidades de biomasa para cubrir las pérdidas por la mineralización y asegurar un buen funcionamiento de los sistemas SCV varían, principalmente, en función del clima (y del tipo de residuos). En un ecosistema cultivado, utilizar únicamente los rastrojos de la cosecha es, generalmente, insuficiente para aprovisionar correctamente el suelo de materia orgánica fresca, sobre todo en los medios tropicales, donde la mineralización es rápida. Las plantas cultivadas deben ser «reforzadas» con plantas que permitan utilizar plenamente los recursos y así aumentar la producción total de biomasa. La transición entre el sistema convencional (labranza) y el SCV es más rápida y fácil cuando los sistemas escogidos producen una cantidad importante de biomasa en el (o en los) primero(s) año(s).

1.1. Producción de biomasa (materia orgánica fresca)

Períodos de producción posible

El período de producción posible está determinado, principalmente, por el clima y por el régimen hídrico de las parcelas, y por las plantas cultivadas. Para maximizar la producción de biomasa, el principio en el que se basa es el de ocupar tanto cuanto sea posible, los intervalos no valorizados por los cultivos, ya sea en el espacio (asociaciones de plantas) o en el tiempo (sucesiones).

Muchas plantas de cobertura fueron seleccionadas por su capacidad de desarrollarse, eficazmente, en condiciones marginales, y así, extender tanto cuanto sea posible el período de producción de la biomasa: i) durante el período frío, en climas templados, ii) tan amplio cuanto sea posible, durante la estación seca, cuando ella es marcada, iii) antes o después del cultivo principal, cuando la estación de lluvias es más larga que el ciclo de ese cultivo (muy rápidamente en el inicio o en el fin de la estación de lluvias), o iv) cuando un «pequeño» período de lluvias en clima bimodal, con dos estaciones de lluvias.

Sin embargo, las condiciones climáticas favorables para una alta producción de biomasa (calor, sol y lluvias) son también muy favorables para la descomposición de la materia orgánica y para la mineralización. Para asegurar un buen funcionamiento de los SCV, es necesario asegurar una producción de biomasa muy alta en esos períodos para compensar la rápida descomposición, y producir tanto cuanto sea posible durante los períodos marginales, que permiten aumentar considerablemente la producción total de biomasa (y durante los cuales las pérdidas son más rápidas).

Asociaciones y sucesiones de cultivos

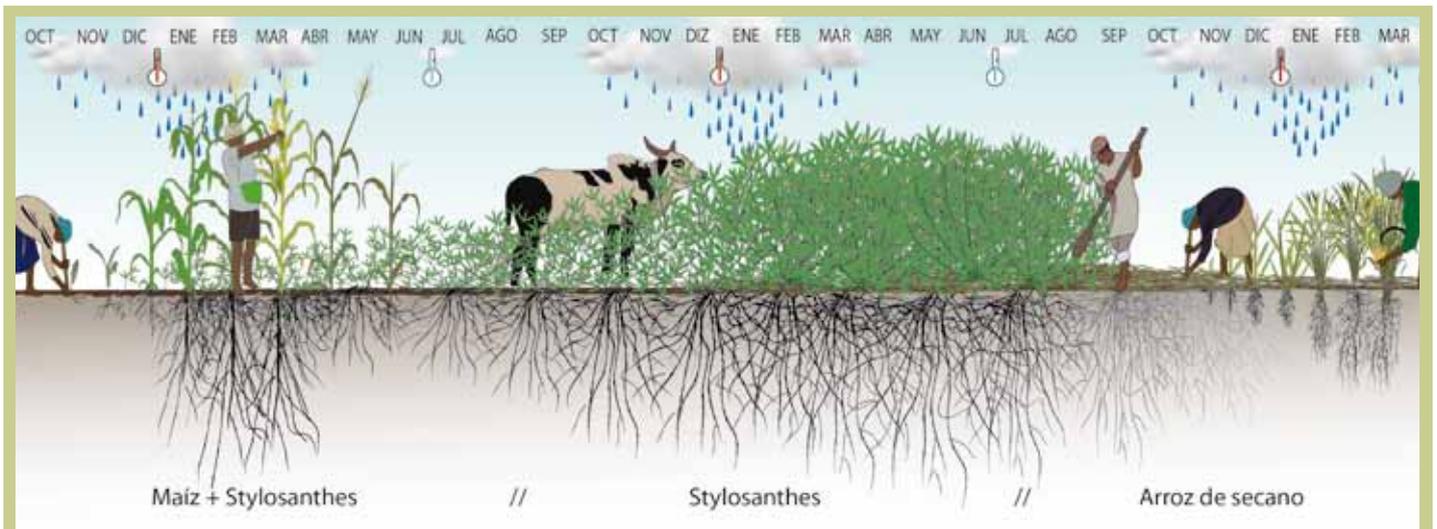
Las asociaciones de plantas son utilizadas tanto cuanto sea posible, porque éstas permiten asegurar una producción de biomasa generalmente más grande y más estable. Se trata de un principio básico de la ecología: la diversidad proporciona más posibilidades de tener plantas adaptadas a las condiciones reales de producción (suelo, riesgos climáticos, etc.), y la complementariedad de las plantas permite una mejor valorización de los recursos.

La diversidad de especies permite, igualmente, obtener una biodiversidad funcional que asegura funciones y presta varios servicios ecosistémicos (secuestro de carbono, reciclaje de nutrientes, control de malezas y plagas, etc.).

Cuando el espacio disponible es suficiente, la solución más fácil a implementar es la de alternar cultivos y plantas de cobertura con producción de biomasa muy alta. La solución mejor consiste en instalar en el cultivo, una (o varias) planta(s) de cobertura perenne(s), desplazando la siembra, y dejándola(as) desarrollarse en el año siguiente (barbecho mejorado).



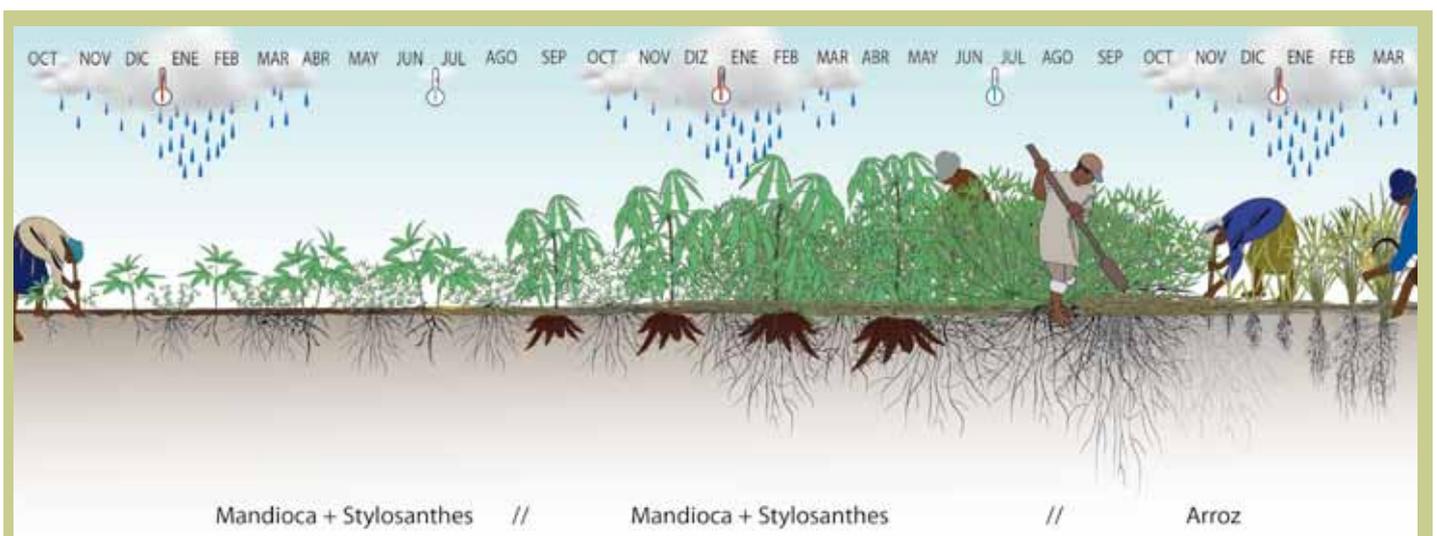
*Asociación de maíz + caupí
en las tierras altas de Madagascar*



Ejemplo de sistema cuando el espacio disponible es suficiente para alternar cultivos y plantas de cobertura

El espacio disponible es, sin embargo, raramente suficiente para permitir inmovilizar la tierra, sin producción de alimentos, durante más de un año.

Una práctica intermedia, muy interesante en suelos pobres, es la de sembrar un cultivo de ciclo muy largo, como la mandioca (12 a 24 meses, dependiendo de la región), en asociación con una planta de cobertura, lo que permite tener un período suficientemente largo para desarrollarse, sin inmovilizar la tierra.



Ejemplo de sistema intermedio que permite una alta producción de biomasa sin inmovilizar la tierra

La producción de un cultivo alimentario y/o comercial, cada año, es todavía muchas veces necesaria. La producción suplementaria de biomasa debe entonces ser hecha por sucesiones intra-anales, si el clima lo permite, y/o asociaciones de cultivos.

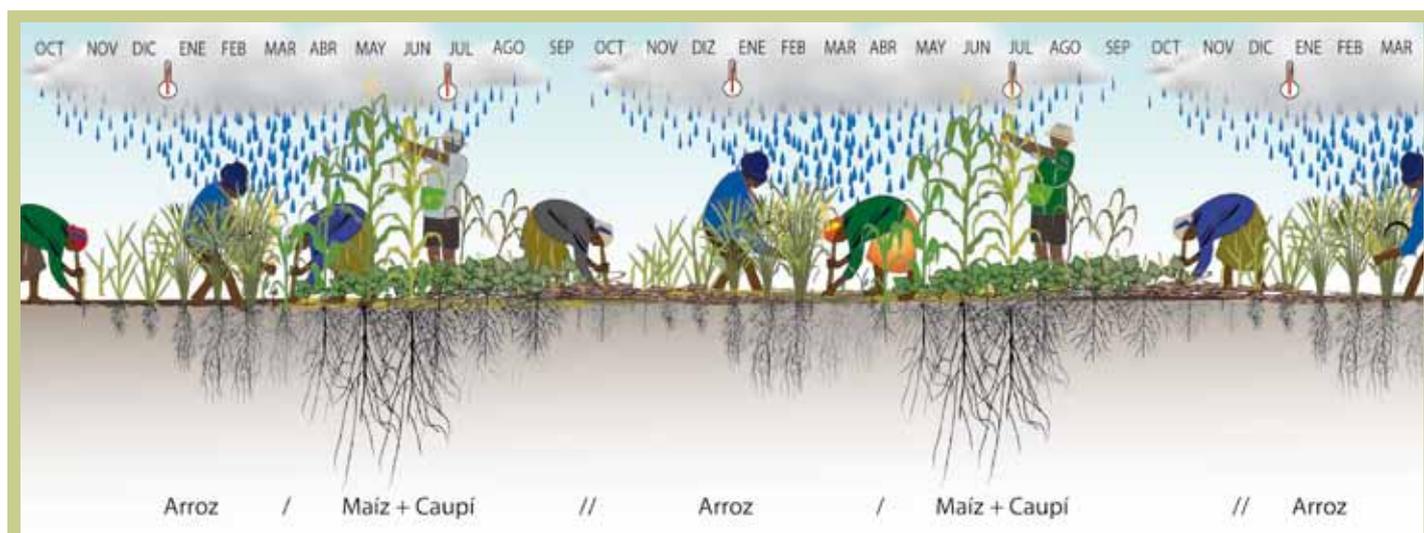


*Asociación Mandioca + Stylosanthes
Lago Alaotra*

Cuanto **más larga sea la estación caliente y húmeda**, y cuanto más abundantes sean las lluvias (o cuanto más tiempo las plantas puedan ser abastecidas de agua del suelo, durante la estación seca), más fácil será de manejar las sucesiones y/o asociaciones y producir una alta biomasa. Sin embargo, en estos casos, tiene que producirse una biomasa muy alta, durante períodos tan continuos cuanto sea posible (y en particular en la estación seca con coberturas y utilizando el agua profunda) para compensar la alta mineralización.

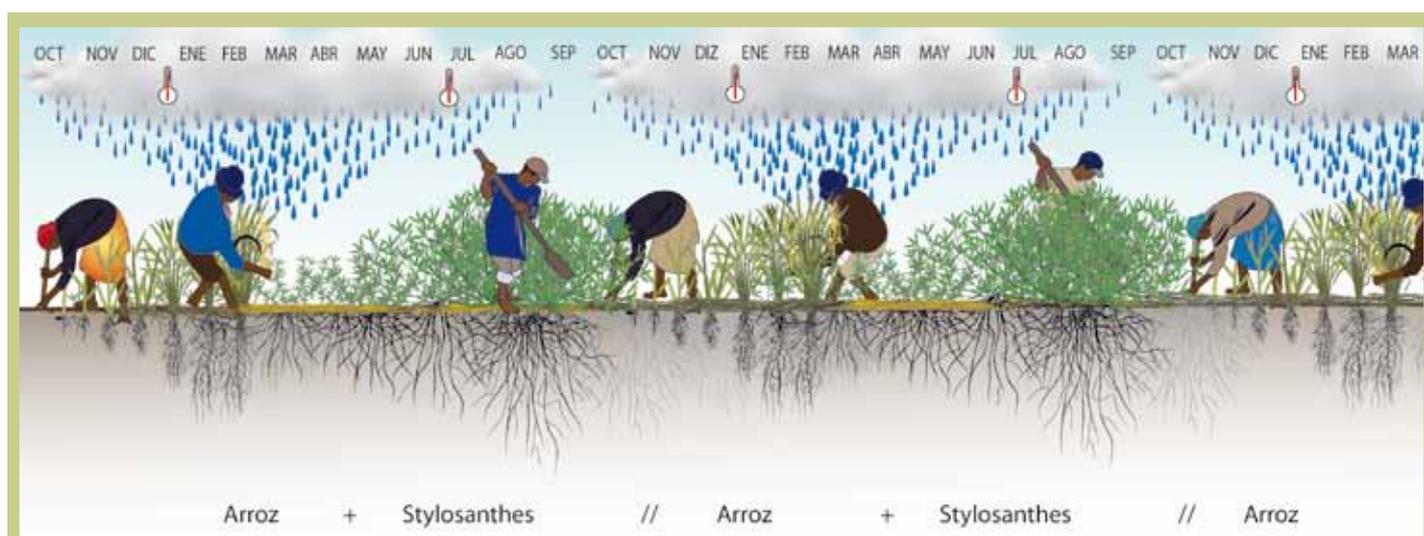
Para eso podemos:

- hacer que se sucedan, en el mismo año, varias plantas anuales, escogiendo ciclos que permitan cubrir de la mejor forma los suelos a lo largo de todo el año y reciclar tanto cuanto sea posible los nutrientes («bombas biológicas» en la sucesión de cultivos). Podemos, también, sembrar hasta tres ciclos de cultivos/plantas de cobertura, por año;



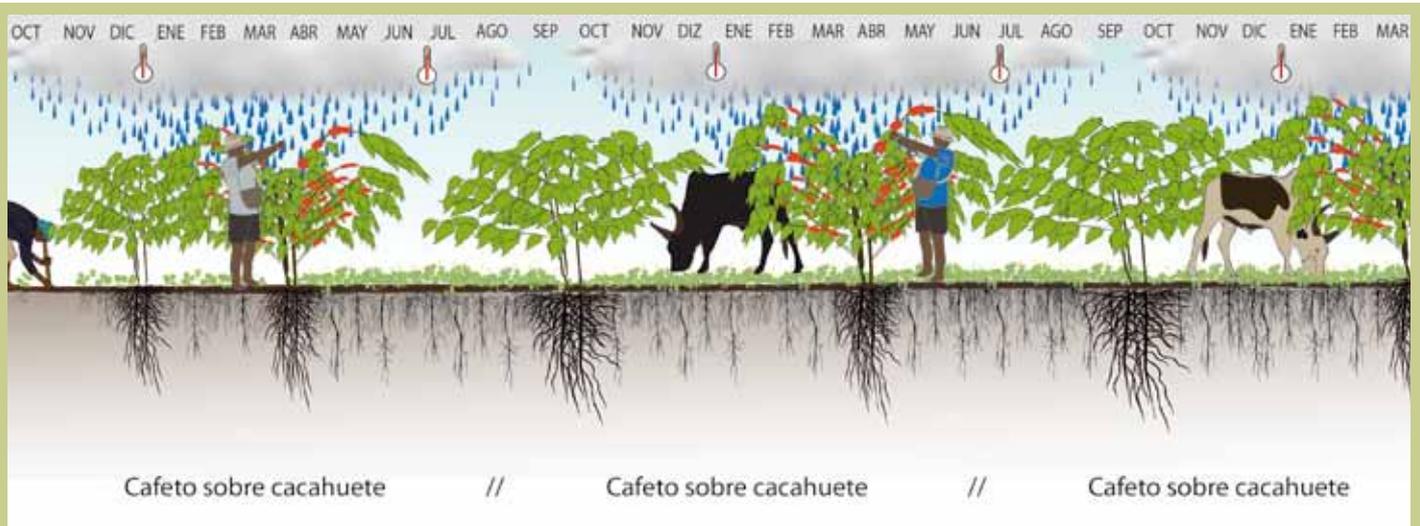
Ejemplo de sucesión intra-anual y asociación de cultivos en un clima tropical húmedo

- asociar un cultivo anual con plantas de cobertura perennes, que producirán todo el año (y que la podremos mantener viva o controlar para la implementación del cultivo siguiente);



Ejemplo de la asociación entre un cultivo y una planta de cobertura perenne en un clima tropical húmedo

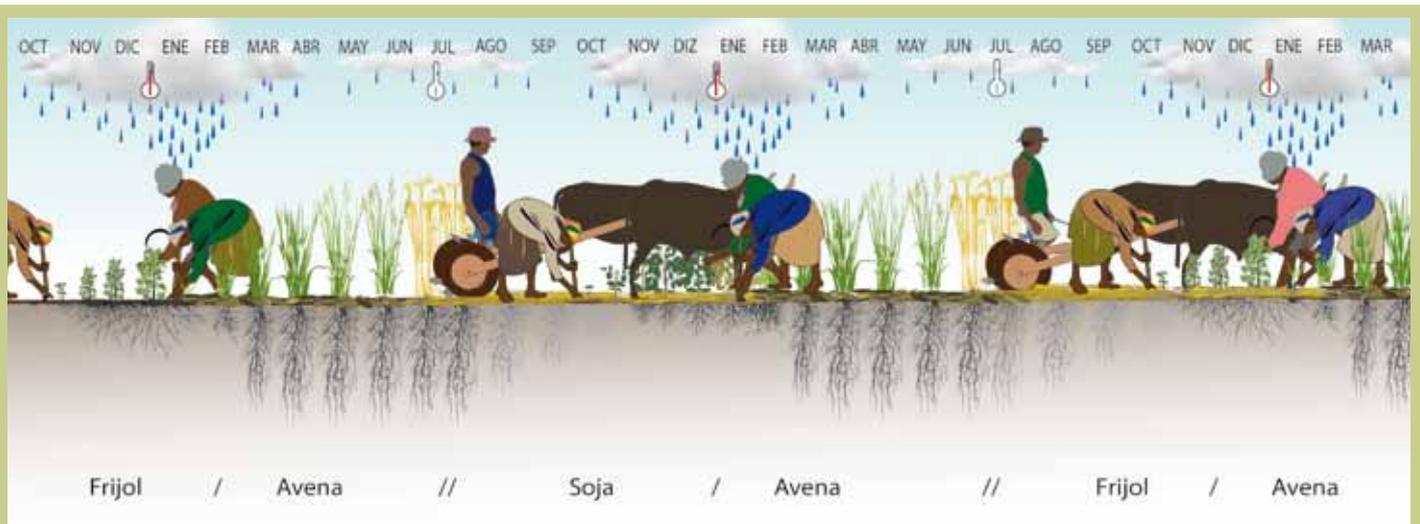
- o
- cultivar plantas perennes asociadas a coberturas perennes, como el cafeto sobre una cobertura de *Arachis pintoi*.



Ejemplo de producción de planta perenne con cobertura vegetal viva, en clima tropical húmedo

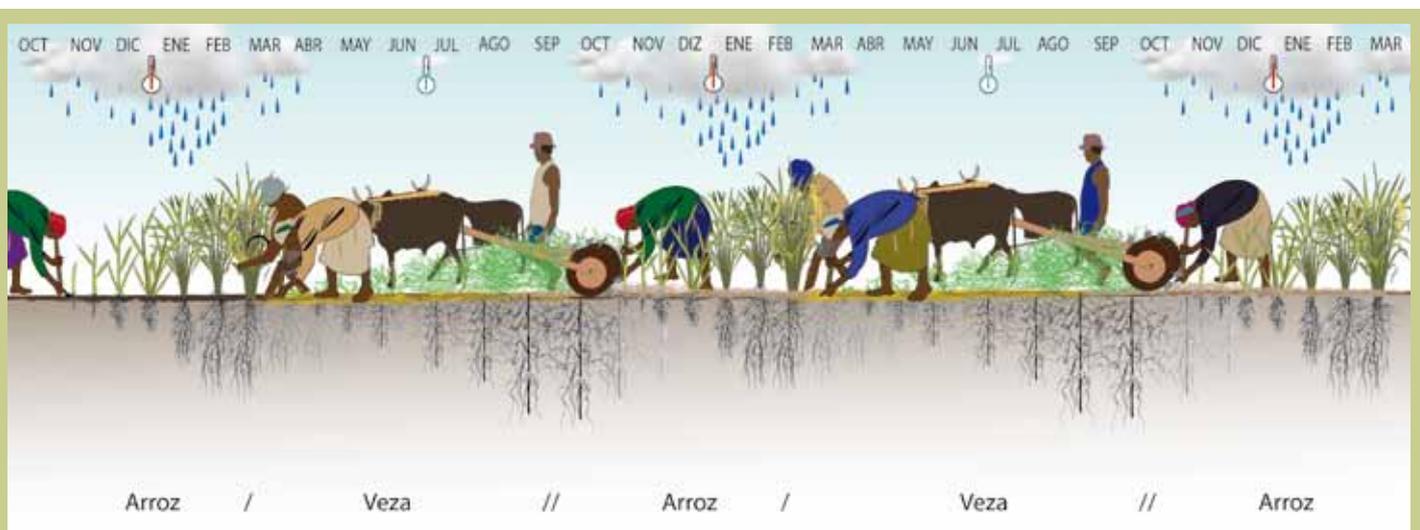
Con una **estación de lluvias más corta y/o fría**, la mineralización es más lenta, pero el período de producción de biomasa posible es más corto. Las sucesiones sólo se pueden hacer con:

- un cultivo de ciclo corto, como el frijol (seguido de avena por ejemplo);



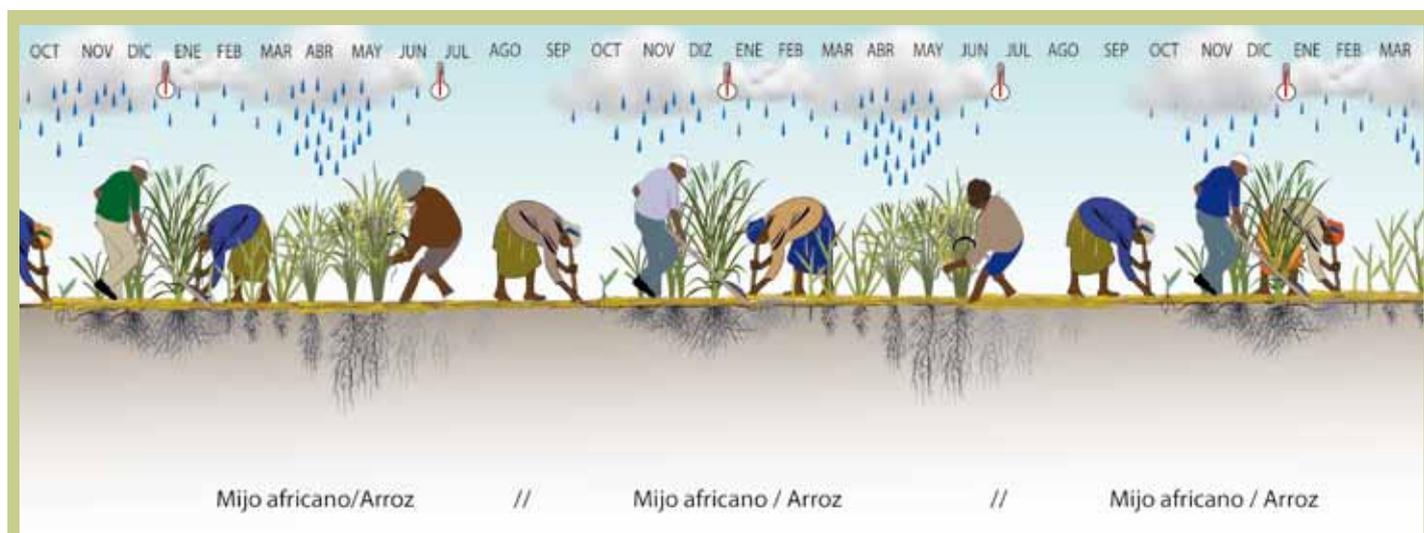
Ejemplo de sucesiones intra-anales de cultivos de ciclo corto

- una planta de cobertura de ciclo largo, implantada después de un cultivo y capaz de soportar la estación seca y/o fría para desarrollarse, rápidamente, desde las primeras lluvias/calores, como la veza una planta de cobertura de ciclo largo en las tierras altas o en el lago Alaotra;



Ejemplo de sucesión intra-anual cultivo/planta de cobertura de ciclo largo (producción en período marginal)

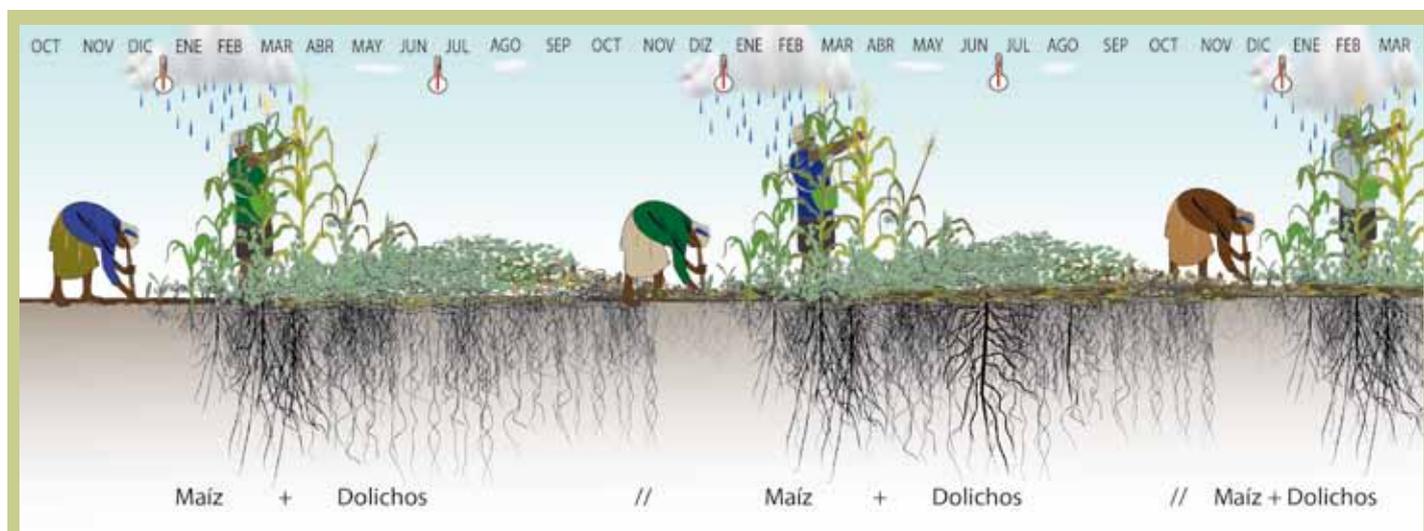
- una planta de cobertura, capaz de producir, muy rápidamente, una elevada biomasa, como el mijo africano, el mijo, el sorgo o las brachiarias (o una mezcla de esas especies), instalados en el inicio de la estación de lluvias o durante la corta estación de lluvias, en un clima de tipo bimodal (siendo la corta estación de lluvias demasiado corta para permitir el ciclo completo de un cultivo).



Ejemplo de sucesión intra-anual planta de cobertura de crecimiento rápido/cultivo

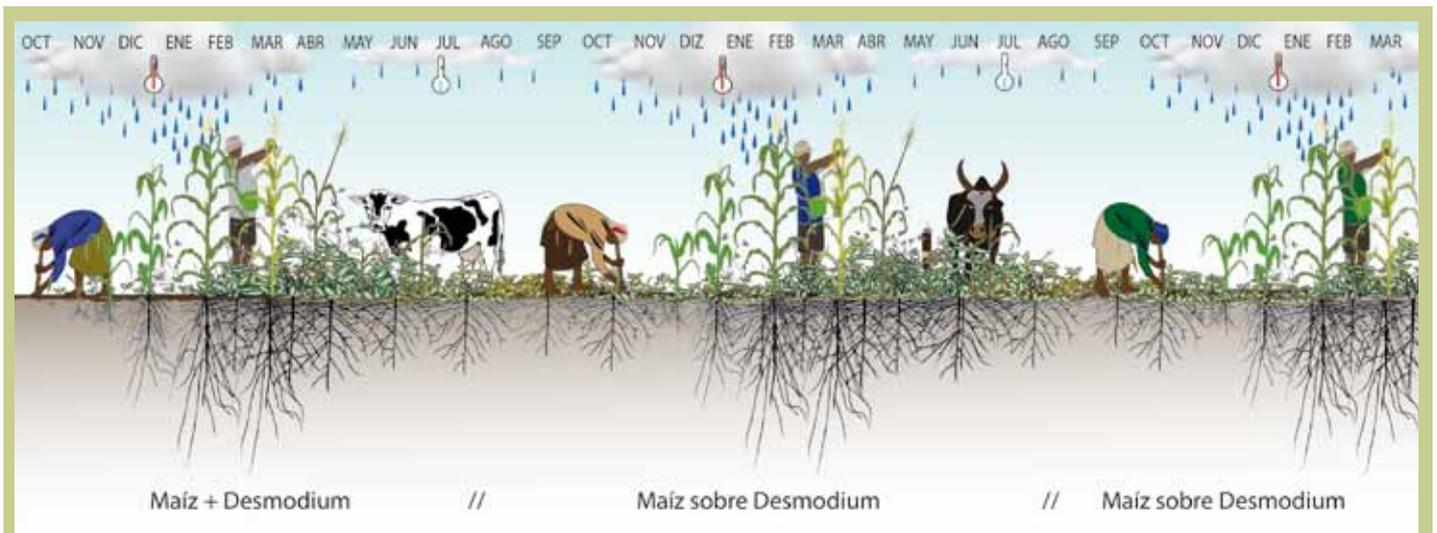
Cuando la estación de lluvias es muy corta para hacer sucesiones, mismo con ciclos muy cortos (excepto en condiciones del medio particulares, con un régimen hídrico más favorable: partes bajas de las toposecuencias, irrigación), es entonces necesario, para maximizar la producción de biomasa, utilizar plantas capaces de producir en períodos marginales:

- plantas instaladas en la estación de lluvias, en asociación con el cultivo, y que prolongan su crecimiento al máximo durante la estación seca, recurriendo al agua profunda del suelo. Para implantarse correctamente antes de la llegada de la estación seca, y ser capaz de desarrollarse, la planta asociada debe ser sembrada suficientemente temprano. Esta planta se arriesga, sin embargo, a entrar en competitividad con el cultivo (especialmente porque el agua es un factor muy limitativo) y debe de ser manejada en una densidad adaptada, en un espacio bien arreglo, con el aporte localizado de abonos y/o la utilización de plantas de cobertura de sistemas radiculares diferentes de los cultivos. Cuanto más corta es la estación de lluvias y más baja es la cantidad de precipitación, más difíciles de manejar son esas asociaciones, exigiendo el cumplimiento de un itinerario técnico preciso;



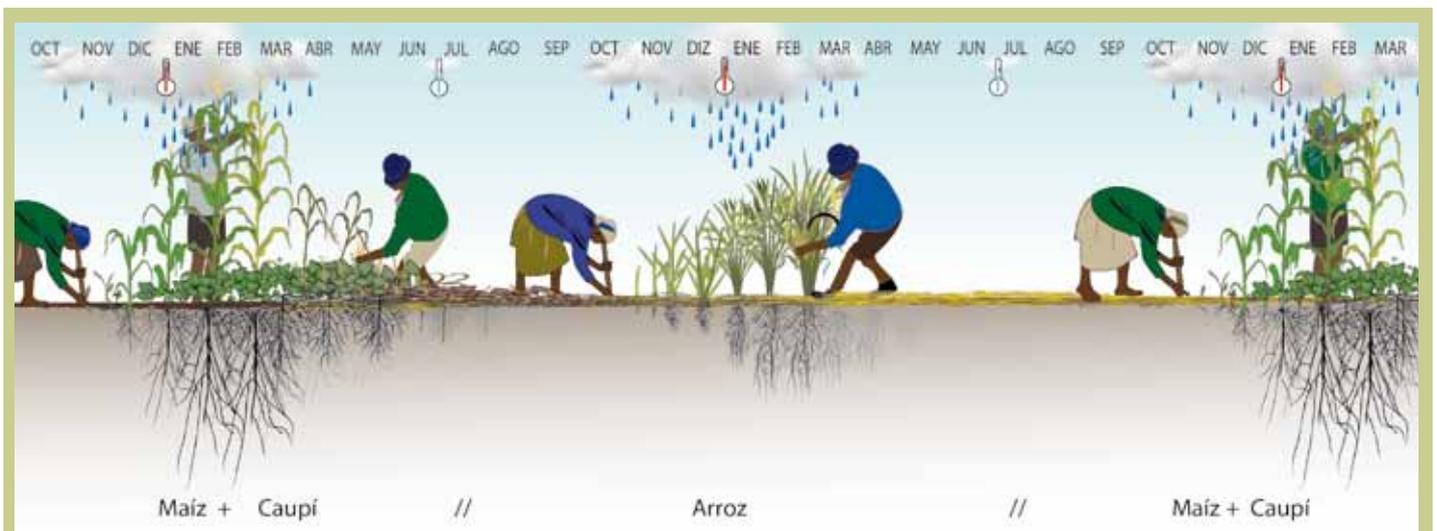
Ejemplo de asociación cultivo+ planta de cobertura de ciclo largo (producción en período marginal)

- o
- plantas de cobertura perennes utilizadas en cobertura viva (desmodium, kikuyo, etc.).



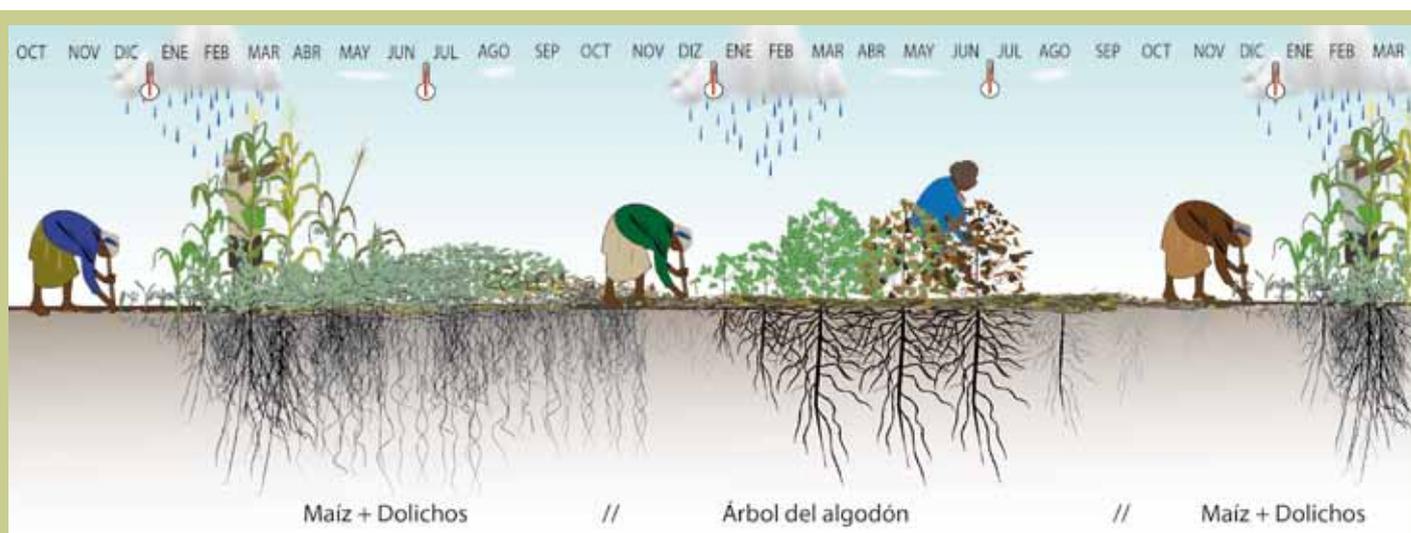
Ejemplo de sistema con cobertura vegetal viva

Cuando es **difícil manejar sucesiones intra-anales o asociaciones de cultivos** con un cultivo de ciclo largo y/o permitiendo poca luz, las sucesiones inter-anales de cultivos tienen una importancia capital. Estas permiten asegurar en el tiempo la diversidad de plantas cultivadas en una parcela, producir una biomasa suficiente y evitar agotar los suelos, cultivando, solamente, especies con necesidades semejantes. Buscaremos maximizar la producción de biomasa en el primero año para «empezar la bomba» de la siembra directa, como en el sistema maíz + caupí (o dolichos o *Vigna umbellata*)//arroz, muy interesante en el lago Alaotra (media altitud y estación seca marcada).



Ejemplo de asociaciones y sucesiones inter-anales (clima con larga estación seca o fría)

En **climas semiáridos**, donde la producción total de biomasa y la mineralización están limitadas por el agua, buscaremos asegurar por lo menos en años alternos, la producción de una biomasa alta, que cubrirá las necesidades de dos años (como la asociación maíz + dolichos, precediendo el árbol del algodón).



Ejemplo de sistema con producción de biomasa muy alta en años alternos (clima semiárido)

En todos los casos, las asociaciones y sucesiones de cultivos serán escogidas para minimizar el período sin producción de biomasa y asegurar una buena cobertura del suelo, permanentemente (y, en particular, hasta poco antes de la siembra del cultivo principal). Los sistemas se organizan de forma racional, durante varios años, y el establecimiento de una planta de cobertura se hace varios meses antes del cultivo, lo que exige una buena planificación.

Gestión de las asociaciones y sucesiones de cultivos

La gestión de las asociaciones y sucesiones de cultivos se hace asegurando la producción del cultivo principal, ajustando en paralelo las plantas asociadas (selección de las asociaciones y sucesiones, ver Volumen II. Capítulo 1) y los parámetros de su implantación (itinerario técnico, ver Volumen II. Capítulo 2) para maximizar su producción, sin perjudicar el cultivo.

Existen aún otras posibilidades de «jugar» con las diferentes variedades (las características de una especie pueden variar mucho de una variedad a otra, especialmente en relación al ciclo), el itinerario técnico permite controlar la eventual competitividad de las plantas de cobertura con los cultivos. Podemos así adaptar las fechas de la siembra, la densidad y la colocación de las plantas en el espacio, y/o el modo y la profundidad de siembra, aportar una fertilización localizada o aún controlar las plantas de cobertura con la siega, aplicación de herbicidas selectivos o incluso con la aplicación de urea o irrigación.

La selección de los sistemas, y el ajuste del itinerario técnico que permiten manejar las asociaciones de cultivos /plantas de cobertura, son por eso, y antes de todo, una cuestión de conocimiento y de maestría del material vegetal adaptado, y de sensatez.

Mezclas de especies de plantas de cobertura

La mezcla de especies para realizar la cobertura vegetal es muy interesante. La biodiversidad acrecentada en los sistemas permite beneficiarse, simultáneamente, de numerosas funciones y de diversos servicios ecosistémicos concedidos por esas plantas. En función de los principales problemas, a ser eliminados con prioridad, podemos mezclar:



*Asociación arroz + caupí
El arroz plantado en doble fila sobre ecoquema
Caupí plantado un mes después del arroz*

SCV y plantas «subterráneas»

El manejo de los sistemas en SCV no excluye el cultivo de plantas «subterráneas», como los tubérculos (patata, camote, etc.), raíces tuberosas (mandioca, etc.) o leguminosas con semillas enterradas (cacahuete, cacahuete bambara, etc.), que desempeñan muchas veces una función importante en pequeñas agriculturas familiares.

Por un lado, la buena estructura del suelo en SCV hace que el recurso a los surcos en el suelo o el amontonamiento de las raíces y tubérculos no sea necesario. Al contrario, debe de ser evitado para dejar el suelo plano y permitir, posteriormente, la siembra directa. Por otro lado, el mantillo no es de forma alguna, un inconveniente para la penetración de los ginóforos de las leguminosas.

Además, las raíces tuberosas, los tubérculos o las semillas de esas plantas manejadas bajo cobertura vegetal, se desarrollan, mayoritariamente, en la superficie, justo por debajo del mantillo, lo que hace que su cosecha perturbe relativamente poco el suelo (y es mucho más rápida que en el sistema convencional).

Sin embargo, estos cultivos que producen poca biomasa, deben asociarlas de preferencia (mandioca + stylosanthes o patata + avena, por ejemplo) o manejarlas bajo cobertura viva (como el cacahuete o cacahuete bambara sobre cynodon vivo), lo que permite a la cobertura vegetal recubrir rápidamente las zonas disturbadas por la cosecha. Si esos cultivos no están asociados, es necesario reconstituir la cobertura vegetal rápidamente, instalando un sistema con alta producción de biomasa

- plantas con sistema radicular pivotante (cajanus, crotalaria, etc.) con plantas con sistemas radiculares fasciculados y poderosos (brachiaria, mijo africano) para reconstruir rápidamente la macroporosidad y microporosidad del suelo;
- leguminosas para fijación de nitrógeno;
- plantas del tipo C4 para la alta producción de biomasa
- plantas con elevada capacidad de reutilización de nutrientes lixiviados en profundidad (desenvolvimiento rápido, e en profundidad, do sistema radicular) como o capim pé-de-galinha, o milheto, o sorgo, as brachiarias;
- plantas capaces de solubilizar (en interacción con la microflora) los nutrientes poco disponibles (lupino, stylosanthes, amaranto, etc.);
- plantas con fuerte efecto alelopático (avena, sorgo, etc.) para el control de malezas;
- plantas repulsivas o con efecto insecticida (rábano forrajero, veza, desmodium, diversas hierbas aromáticas, etc.) para el control de plagas de insectos;
- plantas atractivas de entomopatógenos (hongos, nematodos, etc.) o de depredadores de plagas (veza, etc.); y/o
- todas las plantas capaces de realizar una función o de prestar un servicio ecosistémico particular, en la mayor parte del tiempo favoreciendo el desarrollo de microorganismos específicos: la desintoxicación del suelo contra los poluentes con el sorgo, complejación del aluminio tóxico con las brachiarias, supresión de enfermedades por hongos con la mezcla de mijo africano + crotalaria en la piriculariosis del arroz, así como muchas otras funciones aún por descubrir.

Esas mezclas permiten igualmente la obtención de una biomasa de calidad muy variada, con velocidad de descomposición diferenciada. La mineralización de esa fitomasa conduce a una liberación regular y continua de nutrientes para los cultivos siguientes.

La composición de esas mezclas tiene como objetivo utilizar la complementariedad ecosistémica de esas plantas, para asegurar las diferentes funciones agronómicas fundamentales y suprimir en prioridad los principales factores de bloqueo.

Esa composición debe igualmente permitir una gestión fácil de la cobertura y una rentabilidad económica máxima. Para eso, la mezcla de plantas de cobertura debe poder ser asociada al cultivo principal, sin perjudicarla. Para la implantación de la cobertura en sucesión de un cultivo principal, es muy interesante integrar un cultivo de interés comercial (maíz, sorgo, etc.) que cubra los costes de implantación de la cobertura vegetal y su control antes de la siembra del cultivo principal.

La implantación de esta mezcla debe poder hacerse fácilmente. Las plantas con semillas pequeñas (mijo africano, mijo, stylosanthes, amaranto, etc.) son muy interesantes en ese sentido. Ellas pueden ser sembradas al voleo y se necesitan, solamente, algunos kilos de semillas por hectárea.

Pueden ser producidas en una pequeña superficie (la utilización de mezclas no permite la cosecha de las semillas en la cobertura, y necesitan la producción de semillas por separado). Los ciclos de diferentes especies mezcladas deben de ser compatibles, en particular para las mezclas de especies anuales controladas con la siega o con el uso del rodillo después de la floración. Todas deben poder ser manejadas de la misma manera (que sea química o mecánicamente), y controladas al mismo tiempo, para facilitar su utilización y reducir los costos...



Mezcla avena + lupino
+ veza + rábano forrajero

Mezcla de variedades

La mezcla de variedades de una especie cultivada permite reducir los riesgos y obtener una producción más estable y más alta (las variedades más adaptadas a las condiciones climáticas del año del cultivo, permitiendo asegurar la producción). Permite también reducir los efectos de enfermedades mediante la integración de variedades resistentes, que aseguran la producción en caso de fuerte presión de plagas, y limitan la transmisión a las variedades menos resistentes (barrera física al transporte de organismos patogénicos).

La selección de las variedades se hace de forma a introducir:

- variedades resistentes a las principales enfermedades (cada variedad debe ser resistente a varias enfermedades, no necesariamente las mismas de una variedad a otra) que pueden tener una alta incidencia en la zona de cultivo; y
- variedades con elevado potencial en las condiciones de cultivo (nivel de fertilidad, régimen hídrico, etc.).

Cuando la cosecha es mecanizada, las diferentes variedades mezcladas deben, imperativamente, tener un ciclo de producción muy semejante para que la cosecha pueda hacerse a un nivel uniforme de madurez. En las pequeñas parcelas cosechadas manualmente, la utilización de variedades con ciclos diferentes (como el desplazamiento de la siembra) permite reducir el riesgo climático. Eso evita que un accidente (ciclón, viento violento, sequía, granizo, etc.) ocurra en una fase sensible (como la floración) para todas las variedades. Sin embargo, esa práctica aumenta considerablemente el tiempo de cosecha, que debe ser hecho en varias etapas.

Substituir las plantas que faltan

Es importante substituir, sistemáticamente, las plantas que faltan (debido, por ejemplo, a una mala germinación, un accidente climático, ataques de insectos, etc.) con el fin de :

- maximizar a producción de biomasa y cubrir el suelo,
- no dejar espacio libre para malezas que podrían multiplicarse e infestar las parcelas.

Esta substitución es particularmente necesaria cuando se formaron «espacios vacíos» importantes en la vegetación, debido a la falta de un gran número de pies. Eso puede ser hecho con la misma especie, caso aún sea posible, o con otra especie (mejor adaptada al nuevo período de producción).

Utilizar las buenas variedades

Las características y los desempeños (en particular la producción de biomasa) de una misma especie puede variar mucho:

- de una variedad a otra;
- en función del sistema de cultivo.

Es por eso, indispensable, escoger con cuidado, no solamente las especies, sino también las variedades que se deben utilizar cuando decidimos instalar los sistemas en SCV. El trabajo de creación de sistemas SCV debe acompañarse de la selección de las variedades más eficientes en esos sistemas.

Posteriormente, la difusión de los sistemas SCV requiere la provisión de las variedades más eficientes al nivel de los «terroirs» y de las fincas..

Fertilidad y producción de biomasa

La fertilidad influye directamente la producción de biomasa, que condiciona los efectos benéficos de la SCV. Desafortunadamente, en muchas situaciones, la fertilidad inicial es muy baja.

Una de las principales dificultades del paso de sistemas convencionales a sistemas SCV es conseguir obtener una alta producción de biomasa en los primeros años, partiendo de una fertilidad baja. Una vez obtenida, la alta fitomasa repuesta al suelo permite aumentar el nivel de fertilidad, y sirve para alimentar las plantas de los ciclos siguientes.

Muchas plantas de cobertura, utilizadas en SCV, fueron seleccionadas por su capacidad de producir en condiciones de baja fertilidad. Sin embargo, cuanto más baja es la fertilidad inicial (y cuanto más el clima es restringido), mayor es el tiempo necesario para que esas plantas produzcan biomasa suficiente. Un aporte de fertilización (fertilizante mineral u orgánico, ecoquema) reduce considerablemente el tiempo de obtención de una cantidad importante de biomasa, permitiendo una instalación rápida de los sistemas SCV.



Maíz + caupí en suelo pobre
Efecto marcado de la fertilización (a la derecha) sobre la producción.
Lago Alaotra

Aumento en la producción de biomasa en comparación con sistemas convencionales



«Revestimiento» de sistemas agrícolas rurales
Instalación de avena juntamente con maíz
Tierras altas de Madagascar

El clima y la fertilidad de los suelos determinan en gran parte el potencial de producción de biomasa de los sistemas.

El aumento potencial de producción de biomasa de los sistemas SCV en comparación con los sistemas tradicionales, depende de esos factores, pero también ampliamente, de la presión sobre la tierra (y, por lo tanto, de la intensidad de los cultivos). En los medios con baja utilización de los suelos (baja densidad de población), los sistemas basados en sucesiones de cultivos, o incluso las rotaciones alternando cultivos y plantas de cobertura mejoradoras de los suelos son posibles, y el aumento de biomasa, comparativamente con el sistema tradicional, es muy grande. Al contrario, para los medios con una intensidad muy alta de utilización de los suelos (con dos o tres cultivos, por año), sólo las asociaciones de plantas de cobertura en los cultivos (en sucesiones intra-anales) son posibles para aumentar la producción de biomasa (pues todo el período de producción posible ya está siendo utilizado). Sin embargo, ellas exigen el cumplimiento de un itinerario técnico preciso (especialmente las fechas de siembra) y permiten, solamente, una producción adicional limitada, que debe ser bien manejada para evitar la sobreexplotación (divagación de los animales).

La gestión de esas biomásas puede, sin embargo, ser bastante mejorada en SCV, comparativamente con los sistemas convencionales que, en general, la reponen en una pequeña cantidad al suelo, o :

- porque ésta es utilizada para otro fin (alimentación animal, leña, materiales de construcción), utilización que los sistemas SCV, a proponer como substitución, deben tener en cuenta; o
- porque es una molestia para sus prácticas (dificultades en labrar, descomposición muy lenta de las pajas cuando estas están enterradas en profundidad, miedo de transmisión de enfermedades, etc.). La paja es entonces frecuentemente quemada. Estas situaciones ofrecen la posibilidad de aumentar fácilmente la cantidad de biomasa que se repone al suelo, modificando simplemente la gestión para los sistemas SCV.

1.2. Gestión de la biomasa en SCV

El clima y el suelo determinan, ampliamente, las necesidades en biomasa para aprovisionar convenientemente los sistemas en siembra directa, influenciando el coeficiente de mineralización de la materia orgánica (también influenciado por el modo de gestión del suelo) y el coeficiente de humificación de las coberturas vegetales (que depende, igualmente, del tipo de rastrojos).

Así, por debajo de un determinado límite de reposición de biomasa al suelo, los sistemas no permiten mantener el tenor de materia orgánica del suelo y su fertilidad (o de mejorarlas, cuando es a partir de niveles muy bajos).

La baja producción y/o reposición de biomasa (aérea y/o radicular) provoca, también, dificultades que pueden conducir a una baja rentabilidad, o incluso, a una pérdida de rendimiento (mal control de malezas por un mantillo insuficiente, etc.). Al contrario, cuando las restituciones son superiores a ese límite, el suelo se enriquece progresivamente, y más rápidamente cuanto mayor sea la cantidad de biomasa repuesta.

Na prática, isso tem quatro incidências principais no manejo da biomassa em PDCV:

- en climas templados o muy secos, el potencial de producción de biomasa está limitado (por las temperaturas o por el agua), pero las necesidades en biomasa para mantener la materia orgánica del suelo son menores que en un clima caliente y húmedo, con elevada mineralización (y potencial de producción muy alto). De la misma manera, es más difícil producir biomasa a partir de un suelo degradado, pobre en materia orgánica, pero la biomasa a aportar para mejorar sus características es menor que la de un suelo rico en materia orgánica, porque las pérdidas por mineralización son más bajas;
- en función del clima, del suelo, de la intensidad de utilización de las tierras (y, por lo tanto, del potencial de producción de biomasa adicional) y de la presión sobre esa biomasa (necesidad de forrajes, etc.), la implementación de sistemas SCV es más o menos difícil. Cuanto mayor es la presión y/o cuanto más bajo es el potencial de producción, más difícil es hacer funcionar los sistemas SCV en buenas condiciones, y menos atractivos son cuando no hay utilización de fertilizantes adicionales minerales o orgánicos, que permiten «intensificar» la producción de biomasa.

Esos fertilizantes podrían ser subvencionados, pudiendo ser considerados como una inversión en el «capital suelo», de la misma forma que un planeamiento agrícola. Contrariamente, cuando la presión sobre la biomasa es baja o el potencial de producción es alto, estos sistemas son simples de implementar y particularmente eficaces;

O modelo Hénin-Dupuis (1945)

El modelo de Hénin-Dupuis es un modelo simple, con dos compartimentos (humus estable y materia orgánica fresca) de la dinámica de la materia orgánica, que permite prever su evolución en el tiempo (dC/dt), que es función :

- de la cantidad de materia orgánica fresca aportada (A);
- de su tasa de transformación en humus estable ($K1$, coeficiente de humificación, que depende esencialmente del clima, de la calidad de la materia orgánica fresca, y del suelo);
- del stock inicial de carbono en el suelo (C); y
- de su tasa de mineralización ($K2$, coeficiente de mineralización que depende principalmente del clima, del suelo y de su modo de gestión).

Así, la variación de la tasa de carbono (materia orgánica) en el suelo $dC/dt = K1A$ (os aportes) - $K2C$ (las pérdidas por mineralización).

Para mantener el tenor de materia orgánica del suelo (sin variación, por lo tanto, $dC/dt = 0$) los aportes deben permitir cubrir las pérdidas ($K1A = K2C$). Así, cuanto mayor es el stock de carbono inicial del suelo, y cuanto más rápida es la mineralización ($K1$ alto de los climas calientes y húmedos y/o sistemas con preparación del suelo), más alta es la cantidad de materia orgánica fresca a aportar.

Si $K1A < K2C$, los aportes no permiten compensar las pérdidas y el sistema «suelo» pierde la materia orgánica y se degrada. Contrariamente, si $K1A > K2C$, el sistema acumula materia orgánica, con todos los beneficios a él asociados.

Principio de gestión de la biomasa

El principio de gestión de la biomasa en SCV es simple: acumular el máximo de biomasa (aérea y radicular), en los primeros años, para aumentar rápidamente la fertilidad de los suelos y asegurar diversas funciones.

Una vez que la fertilidad (acumulada en la biomasa y en el suelo) alcanzó un nivel que creemos satisfactorio, podemos estar satisfechos de reponer al suelo solamente una biomasa suficiente para compensar las pérdidas por mineralización, y asegurar el control de malezas. La biomasa producida (en cantidad, en los suelos que vuelven a ser fértiles) puede entonces ser, parcialmente, retirada para alimentación animal, o para «carga» en biomasa de nuevas parcelas SCV.



Alta biomasa radicular de las gramíneas

Adaptación de los sistemas al medio y a la presión sobre la tierra y a la biomasa

Tipo de medio			Intensidad de utilización de los suelos y necesidades en forrajes		
			Bajas	Medias	Altas
Duración de la época de cultivo (Precipitaciones + régimen hídrico) x Temperatura	Larga (> 9 meses)	Sin estación fría Costa Este	Sucesiones intra-anauales y inter-anauales (y asociaciones) Fácil de manejar	Sucesiones intra-anauales y inter-anauales (y asociaciones) Suficientemente fácil de manejar	Asociaciones, sucesiones intra-anauales y inter-anauales Un poco difícil de manejar*
		Con estación fría Tierras altas	Sucesiones intra-anauales, asociaciones (y sucesiones inter-anauales) Suficientemente fácil de manejar	Asociaciones, sucesiones inter-anauales (y intra-anauales) Un poco difícil de manejar*	Asociaciones, sucesiones intra-anauales y inter-anauales Difícil de manejar*
	Media (5 a 9 meses)	Medio Oeste y Lago Alaotra	Sucesiones inter-anauales y asociaciones Fácil de manejar	Asociaciones, sucesiones inter-anauales Suficientemente fácil de manejar	Asociaciones, sucesiones inter-anauales Un poco difícil de manejar*
	Corta (< 5 meses)	Sudoeste y Gran Sur	Sucesiones inter-anauales (y asociaciones) Suficientemente fácil de manejar	Asociaciones, sucesiones inter-anauales Un poco difícil de manejar*	Asociaciones, sucesiones inter-anauales Difícil de manejar*

* «Un poco difícil o difícil de manejar»:

Su implementación requiere una buena maestría técnica. La mejorías por la SCV son lentas (tanto más cuando los suelos están degradados). La difusión de la SCV en estas condiciones requiere un acompañamiento de los agricultores durante varios años (tiempo de aprendizaje por parte de los agricultores y de «poner en marcha» la SCV), medidas de protección de la biomasa (suspensión del derecho colectivo de pastoreo, cercas, etc.) y la eventual subvención de abonos para reducir el tiempo de entrada en los sistemas SCV.

- em todos os casos, e quanto mais forte for a pressão sobre a biomassa, para «iniciar a bomba» dos sistemas PDCV, é necessário, nos primeiros anos, produzir uma biomassa muito elevada e de restituir tanto quanto possível ao solo.

La biomasa radicular

El aporte de biomasa por las raíces es difícil de medir, especialmente cuando las contribuciones de raíces muy pequeñas (que se renuevan rápidamente) y de los productos de rizodeposición son importantes.

En todos los casos, la producción de biomasa por las raíces es considerable. Ella representa, muchas veces, más del 50% de la producción total y puede exceder 5 a 10 t/ha/año de materia seca, en las gramíneas.

Esa biomasa radicular es protegida en el suelo, donde está protegida del ganado (y es así completamente repuesta en el suelo), y se mineraliza lentamente.

As parcelas melhoram assim de ano para ano.

Uma vez restaurada a fertilidade, o ganho de produção de biomassa permite restituir ao solo apenas a quantidade necessária à manutenção (ou à lenta melhoria) da fertilidade do solo, e de exportar o suplemento para os animais (o que pode representar uma quantidade exportada superior à que teria sido produzida no total, antes da melhoria do solo);

- no caso de produção insuficiente de biomassa nos primeiros anos (ou de grandes quantidades exportadas para os animais, por um fogo incontrolado, etc.), não permitindo cobrir as perdas por mineralização e aumentar a taxa de matéria orgânica do solo, é necessário «recarregar» a parcela em biomassa para atingir um limiar que permita a melhoria do solo. Se nenhuma biomassa vegetal estiver disponível à volta da parcela, é preferível concentrar a biomassa disponível sobre apenas uma parte da parcela, de forma a permitir a sua melhoria, e de reiniciar um ano de preparação dos PDCV (com trabalho do solo) sobre a parte da qual a biomassa for removida.

Las necesidades en biomasa para compensar las pérdidas

Para un manejo eficaz de la fertilidad de los suelos, es útil estimar las necesidades en biomasa a reponer para compensar las pérdidas por mineralización. Esas necesidades dependen principalmente:

- del clima, que determina en gran medida el coeficiente de mineralización K_2 ;
- del tipo de biomasa, a través del coeficiente de humificación K_1 ;
- del stock inicial de materia orgánica del suelo (C). Si los aportes de biomasa (aérea + radicular) se hacen con una mezcla de gramíneas y leguminosas, con una relación C/N media (y, por lo tanto, con un coeficiente de humificación medio), y partimos de una parcela con un tenor de materia orgánica «medio» en la zona considerada, podemos estimar que:
 - en las tierras altas de Madagascar, donde las bajas temperaturas limitan la mineralización, las necesidades en biomasa para compensar las pérdidas de carbono en los suelos (3 a 4% de materia orgánica) son de 7 a 9 t/ha/año de materia seca, en siembra directa sin preparación del suelo (mientras que, que son necesarias más de 12 t/ha, con una preparación del suelo, que genera las mayores pérdidas por mineralización y erosión). Una reposición al suelo de más de 9 t/ha permite la acumulación de carbono y mejorar los suelos. Por otro lado, una reposición inferior a 7 a 9 t/ha/año (en siembra directa) o 12 t/ha/año (con preparación del suelo) conduce a una pérdida de materia orgánica del suelo, y eso será tanto más rápido cuanto menor sea la cantidad repuesta;
 - el límite medio es bastante próximo en climas semiáridos del Sud y del Sudoeste, donde la mineralización está limitada por la larga estación seca y donde el tenor de materia orgánica del suelo es bastante bajo (2 a 2,5%);
 - sin embargo, es superior a la altitud media, como en el lago Alaotra (10 a 12 t/ha/año, sin disturbar el suelo, con 2 a 2,5% de materia orgánica en el inicio) y, sobre todo, en el clima muy caliente y húmedo del Sudeste de Madagascar, donde son necesarias de 13 a 17 t/ha/año de biomasa para mantener el stock de carbono del suelo, alto en el inicio (4 a 5% de materia orgánica).

Si empezamos en suelos muy degradados (menos de 1% de materia orgánica), los aportes necesarios para mantener su nivel de materia orgánica son mucho más bajos (menos de 2 t/ha de materia seca pueden ser suficientes para mantener un nivel muy bajo de materia orgánica, cuya fracción estable domina). Sin embargo, es poco satisfactorio contentarse con mantener esos niveles de materia orgánica, que no permiten la producción agrícola. Los niveles de aportes, arriba mencionados, son importantes para aumentar la fertilidad de esos suelos.

La gestión de la biomasa debe ser igualmente a la escala del terroir, utilizando tanto cuanto sea posible las zonas no cultivadas (tierras consideradas no cultivadas, fronteras de las parcelas, taludes, etc.) para aumentar la producción total de biomasa. El mejoramiento de los pastos naturales permite, igualmente, aumentar la producción total de biomasa al nivel de un terroir.

Esa biomasa puede ser utilizada para «reforzar» las coberturas de las parcelas que la precisan para una buena gestión en PDCV, para alimentar los animales (reduciendo así la presión sobre la biomasa de las parcelas cultivadas) o aún para servir de combustible para una eventual ecoquema.

Cuando, al contrario, la producción de biomasa es muy alta, esta puede perjudicar la implementación de los cultivos (como en las biomásas de brachiaria, de más de 15 a 20 t/ha), especialmente en sistemas mecanizados. Entonces hay que manejarla para que la siembra sea más fácil. Podemos, concretamente, segarla y retirarla para los animales, o incluso quemarla, en situaciones extremas (el fuego sólo destruye completamente los órganos más sensibles con relación C/N baja, como las hojas, pero, ahorrando en gran medida, los tallos más o menos lignificados, con relación C/N alta, o sea, la materia seca dominante que participará en la formación del humus).

Las necesidades en biomasa para aumentar la materia orgánica del suelo

Un diferencial «aportes de biomasa - pérdidas por mineralización» de 1 t/ha de materia seca (o, 450 kg de C) permite ganar menos de 100 kg/ha de carbono en el suelo (para un coeficiente de humificación muy alto de 0,22).

Para aumentar el tenor de materia orgánica del suelo de 1% en los primeros 20 centímetros del suelo (que representan aproximadamente 2 000 toneladas de tierra, por hectárea), debe aportar 20 t/ha de materia orgánica al suelo, o 11,6 t/ha de carbono (1 kg de carbono equivale a cerca de 1,72 kg de materia orgánica) lo que corresponde a un aporte de más de 50 a 100 t/ha de carbono en la biomasa (para, respectivamente, un coeficiente de humificación alto de 0,22, o bajo, de 0,11) o más de 100 a 200 t/ha de materia seca (además de lo que es necesario para compensar las pérdidas por mineralización).

Los sistemas SCV relativamente eficaces, que secuestran más de una tonelada de carbono/ha/año efectúan ese trabajo durante cerca de 10 años (4 a 5 años para los sistemas más eficaces, con producción muy alta de biomasa).

2. Gestión de la fertilidad en SCV

2.1. Restaurar la fertilidad

En el modo de funcionamiento del suelo en siembra directa con cobertura vegetal permanente, los nutrientes están concentrados en la biomasa/mantillo/horizonte superficial, almacenados bajo la forma orgánica y liberados regularmente por la mineralización, en un suelo vivo. La gestión de la fertilidad y la gestión de la biomasa van juntas.

Durante los primeros años de transición de las técnicas tradicionales para la siembra directa, es necesario restaurar, lo más rápido posible, la fertilidad del suelo, y producir la biomasa que constituirá el mantillo y enriquecerá el suelo en materia orgánica.

La restauración de la fertilidad puede hacerse por:

- movilización de los elementos fértiles presentes en el suelo (o aire), pero poco accesibles naturalmente a los cultivos;
- aportes de elementos fertilizantes a la parcela.

La movilización de los elementos fértiles del suelo (en asociación con la actividad biológica) puede hacerse:

- rápidamente, con una oxidación fuerte durante una ecoquema, que consiste en una combustión lenta, a baja temperatura, de una parte de la materia orgánica del suelo (materia orgánica muy ácida y poco activa, que inmoviliza los elementos minerales);
- progresivamente, a través de la utilización de «bombas biológicas», o sea plantas capaces de:
 - enraizar-se profundamente y reciclar los nutrientes lixiviados, inalcanzables por las raíces de los cultivos;

- movilizar los nutrientes fijados en el suelo bajo una forma poco soluble (en interacción con la microflora);
- fijar el nitrógeno atmosférico en simbiosis con las bacterias asociadas en los nódulos (leguminosas), o libres (como para la mijo africano). El uso de leguminosas en sistemas de cultivo es fundamental en los primeros años, cuando el nivel de materia orgánica aún es bajo, y la actividad biológica es baja. La alimentación de los cultivos depende, entonces, en gran medida, de la fijación de nitrógeno por estas plantas, que son, también, interesantes por favorecer la actividad biológica (las micorrizas en particular, que aumentan las capacidades de absorción por las plantas).

La utilización de «bombas biológicas» se realiza a un costo/trabajo muy bajo, pero necesita de tiempo. Contrariamente, la ecoquema tiene un efecto marcado inmediato, pero exige un trabajo considerable y una disponibilidad de biomasa considerable para la combustión. Debe ser valorizado para los cultivos con alto valor añadido (como la patata).

Los aportes a la parcela, de elementos fertilizantes, pueden hacerse:

Utilización de las «bombas biológicas»

La utilización de las «bombas biológicas» es un medio eficaz y poco caro para restablecer la fertilidad de un suelo. Por su capacidad de extraer los nutrientes del suelo, poco disponibles, y/o reciclar los lixiviados en profundidad, estas plantas son capaces de producir una alta biomasa, incluso en suelos inadecuados para numerosos cultivos. Una vez extraídos del suelo y concentrados en la biomasa, estos elementos son mineralizados y se vuelven utilizables para los cultivos.

La gestión de la fertilidad así recuperada es, sin embargo, fundamental. Si la biomasa producida no es repuesta en el suelo, o si las exportaciones por los cultivos (y los forrajes) no son compensadas por los aportes de abonos (orgánicos o minerales), la fertilidad del sistema no se puede mantener. Tal utilización «explotadora» de las «bombas biológicas» tiene consecuencias catastróficas. Conduce a un agotamiento total de los suelos, cuyo nivel de fertilidad cae tan bajo, que ni siquiera las «bombas biológicas» podrán ser más utilizadas.

Ese riesgo es particularmente importante en zonas de producción lechera, donde esas plantas, que son también excelentes forrajes, son muchas veces vistas, principalmente, como una oportunidad para aumentar la producción forrajera a un menor costo.

Los efectos a medio plazo de una tal práctica de sobreexplotación, deben ser absolutamente bien asimilados, para permitir una buena gestión de la fertilidad en estas situaciones.

- bajo la forma orgánica: transporte de biomasa sacada fuera de la parcela, o aporte de estiércol/estiércol líquido, generalmente a bajo costo, pero pueden hacer frente a problemas de disponibilidad;

- bajo la forma de abonos minerales (y de oligoelementos, si necesario), con un efecto inmediato, muy evidentes, pero a un costo considerable y, por lo tanto, con un riesgo a tener en cuenta.

Estos diferentes métodos para restaurar la fertilidad pueden/deben ser combinados en función de los medios disponibles (capacidad de inversión en capital y trabajo, posibilidad de inmovilizar la tierra sin producción de alimentos, etc.), de los riesgos soportables, de los cultivos a implementar, y de la fertilidad inicial del suelo.

Una baja presión sobre la tierra ofrece a las «bombas biológicas» el tiempo necesario para una alta producción de biomasa y simplifica mucho la difusión de la SCV. Contrariamente, una fuerte presión sobre la tierra no permite inmovilizar las parcelas para su regeneración. En este caso :

- las «bombas biológicas» deben ser asociadas a cultivos poco exigentes para permitir una regeneración progresiva de la fertilidad, lo que exige una gestión cuidadosa de los sistemas; o

- la fertilidad debe ser rápidamente aumentada con aportes de abono y/o a través de una ecoquema, con los riesgos que comporta una tal inversión.

Restauración de la fertilidad en función del estado de degradación de los suelos y de los medios disponibles

Medios disponibles		Estado de degradación del suelo		
		Poco degradado, muy fértil	Degradado	Muy degradado
Espacio/ tiempo disponible (baja presión sobre la tierra)	Inversión con riesgos posibles	Aportes de abono «Bombas biológicas» (Ecoquema) Todos los cultivos Muy fácil de manejar	«Bombas biológicas» Aportes de abono Ecoquema Todos los cultivos Fácil de manejar	«Bombas biológicas» (Aportes de abono) Cultivo después de varios años Un poco difícil de manejar*
	Inversión sin riesgos posibles	Aportes de abono «Bombas biológicas» (Ecoquema) Todos los cultivos Muy fácil de manejar	«Bombas biológicas» Ecoquema (Aportes de abono) Todos los cultivos Fácil de manejar	«Bombas biológicas» Cultivo después de muchos años Difícil de manejar*
	Inversión en trabajo posible	«Bombas biológicas» Ecoquema Todos los cultivos Fácil de manejar	Ecoquema «Bombas biológicas» Todos los cultivos Suficientemente fácil de manejar	
	Inversiones imposibles	«Bombas biológicas» Todos los cultivos Fácil de manejar	«Bombas biológicas» Cultivos poco exigentes Suficientemente fácil de manejar	
Espacio/ tiempo no disponible (fuerte presión sobre la tierra)	Inversiones con riesgos posibles	Aportes de abono Ecoquema «Bombas biológicas» Todos los cultivos Muy fácil de manejar	Aportes de abono Ecoquema «Bombas biológicas» Todos los cultivos Suficientemente fácil de manejar	
	Inversiones sin riesgos posibles	Aportes de abono Ecoquema «Bombas biológicas» Todos los cultivos Fácil de manejar	Ecoquema «Bombas biológicas» (Aportes de abono) Todos los cultivos Un poco difícil de manejar*	No rentable a corto plazo
	Inversiones en trabajo posible	Ecoquema «Bombas biológicas» Todos los cultivos Suficientemente fácil de manejar	Ecoquema «Bombas biológicas» Todos los cultivos Un poco difícil de manejar*	Inversión a largo plazo
	Inversiones imposibles	«Bombas biológicas» Todos los cultivos Suficientemente fácil de manejar	«Bombas biológicas» Cultivos poco exigentes Difícil de manejar*	Planificación para proteger las zonas a jusante Imposible sin subvención

* «Un poco difícil, difícil o muy difícil de manejar», sin aporte de gran cantidad de fertilizante de corrección en el inicio. Adopción de la SCV difícil, sin abonos subvencionados en el primero año.

En todos los casos, la inversión consentida en la restauración de la fertilidad del suelo, debe permitir garantizar una alta producción de biomasa, para preparar la siembra directa en los años siguientes. Para eso, es necesario que los cultivos y las plantas de cobertura asociadas, estén adaptadas al nivel de fertilidad del suelo (nivel de fertilidad inicial compensado con los aportes). En un suelo muy degradado, la fertilización de las «bombas biológicas» puede ser necesaria. En un suelo moderadamente degradado, el cultivo de una planta exigente (como el arroz o el maíz), sólo debe ser hecho después de la restauración con otras plantas, o con aportes de fertilizantes importantes (y, por lo tanto, caros y arriesgados). Un aporte de fertilización

mineral (incluyendo los oligoelementos) insuficiente, permitiendo solamente la recuperación parcial de la fertilidad para el cultivo de una planta exigente, puede tener consecuencias desastrosas para un agricultor. Los costos importantes, arriesgan se de no ser rentabilizados a corto plazo por el cultivo, y la producción de biomasa se arriesga a ser insuficiente para una gestión fácil en SCV, en el año siguiente (no permitiendo una rentabilización, a medio plazo, de la inversión). En suelos moderadamente o poco fértiles, el cultivo de plantas exigentes impone, por lo tanto, un nivel de fertilización importante en el primero año.

Sin embargo, cuando la siembra directa funciona correctamente, bajo una alta biomasa, los aportes de fertilización pueden ser reducidos. De un punto de vista agrícola (y económico a medio plazo), la mejor solución consiste en concentrar los aportes de fertilizantes en el primero año, de producir una alta biomasa, y después reducir la fertilización en los años siguientes. Esta práctica es mucho más eficiente que el aporte de una fertilización media, durante varios años consecutivos, que no permite la obtención de la biomasa «crítica» para una entrada rápida en los sistemas SCV, y un funcionamiento conveniente.

Por eso es preferible aportar, por ejemplo, 300 kg/ha de NPK en el primero año, y 100 kg/ha en los tres años siguientes, en vez de 150 kg/ha, durante cuatro años consecutivos. Si los medios disponibles no permiten esa inversión inicial necesaria en los suelos degradados, es preferible cultivar plantas menos exigentes (frijol, eventualmente con una fertilización baja, cacahete bambara o mandioca), asociadas a las «bombas biológicas» que producirán una alta biomasa. Preparamos así las parcelas para una siembra directa en buenas condiciones, haciendo posible el cultivo de plantas exigentes, con medios limitados, en el año siguiente.

Rentabilidad de la inversión

La rentabilidad a corto plazo de las prácticas SCV, depende mucho del nivel de degradación del suelo. Los suelos poco, o nada, desagradados, permiten una alta producción de biomasa con pocos insumos, y valorizan rápidamente una eventual inversión en la fertilización, con cultivos exigentes, pero de alto valor.

La transición del sistema tradicional para la siembra directa es rápida y fácil. Por otro lado, los suelos degradados necesitan una inversión mayor en la fertilidad, con una rentabilidad más aleatoria (y, por lo tanto, un riesgo mucho mayor). Más allá de un cierto límite de degradación del suelo, la restauración de la fertilidad necesita tiempo y de inversiones muy altos, que no pueden ser rentabilizados a corto plazo.

La inversión en la fertilidad de esos suelos debe ser considerado (y manejado) como una inversión a largo plazo, en un planeamiento que permite, posteriormente, mantener una producción sostenible. La adopción de las prácticas SCV, en estas condiciones, es claramente más complicada y dependiente del control de factores de producción a una escala superior a la parcela. Es mucho más simple realizar la transición para la SCV antes que se alcance ese límite de degradación..

2.2. Mantener la fertilidad de los sistemas SCV instalados

Una vez que la fertilidad acumulada en la biomasa, en el mantillo, y en el horizonte superficial del suelo, la gestión de la fertilidad en sistemas SCV se limita a mantener esa fertilidad, y a asegurar un turn-over rápido de la materia orgánica (para una producción regular de biomasa, de calidad variada).

La manutención de esa fertilidad se hace con:

- utilización en los sistemas de cultivo de plantas fijadoras de nitrógeno y/o favoreciendo el desarrollo de micorrizas;
- recurso a las «bombas biológicas» para limitar las pérdidas por lixiviación (en particular durante los períodos sensibles) y solubilizar los elementos que podrían ser inmovilizados en el suelo; y
- compensación de las pérdidas (esencialmente las exportaciones por las semillas, tubérculos o fibras y, eventualmente, las pajas), por el aporte de abonos minerales y/o orgánicos.

Un cálculo simple, basado en las cantidades cosechadas y en los forrajes retirados, y los tenores medios de elementos de las diversas plantas, permite evaluar las cantidades retiradas, y compensarlas con un aporte equivalente en abono, en la estación siguiente (ver Volumen II, Capítulo 2).

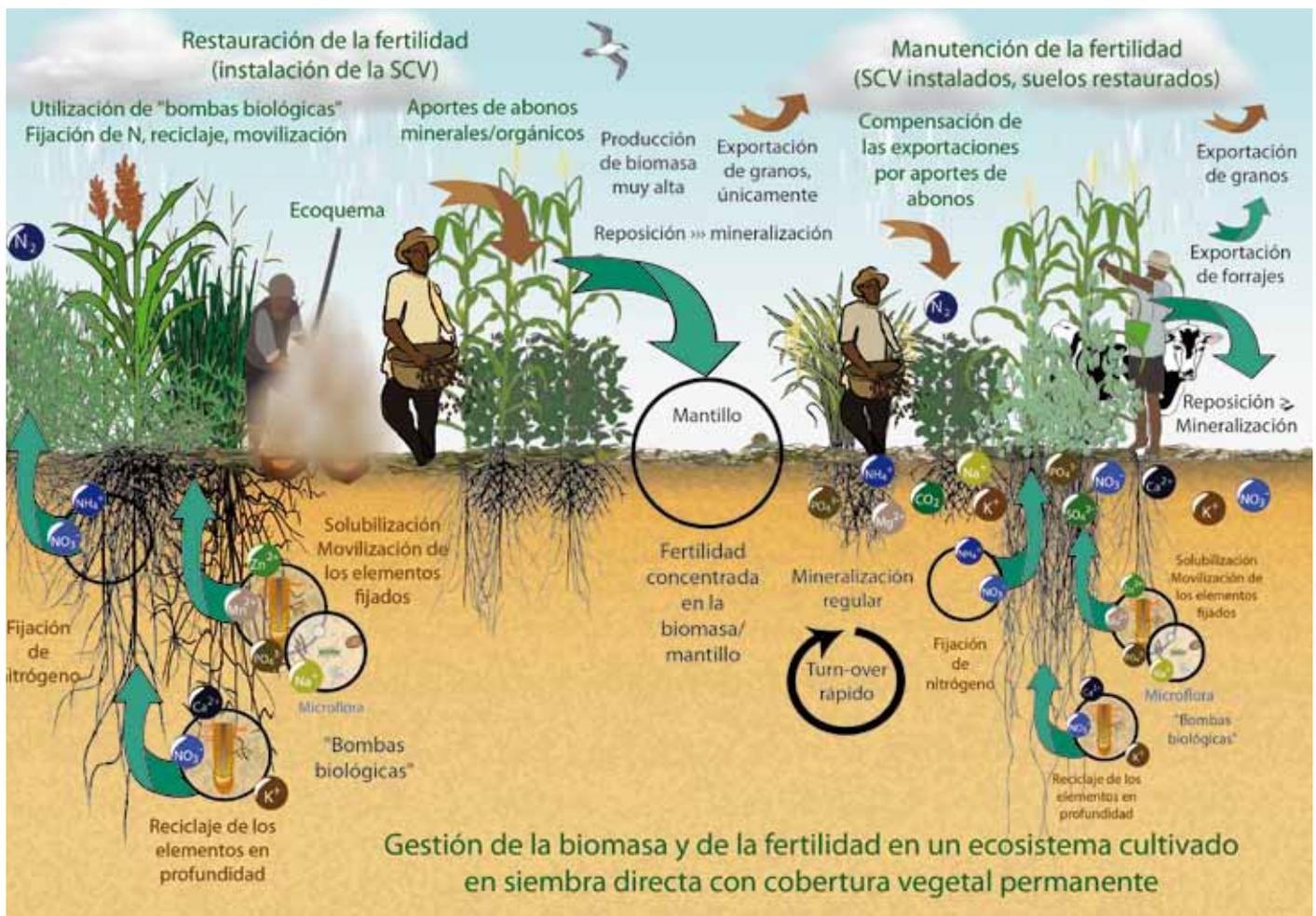
La principal dificultad está en la necesidad de anticipar una caída de la producción de biomasa, para evitar que eso acontezca. Una producción insuficiente de biomasa, que no permite cubrir las pérdidas, puede tener un efecto «desactivar» de los sistemas SCV y de hacer difícil el «manejo» de esos sistemas para relanzar la producción.

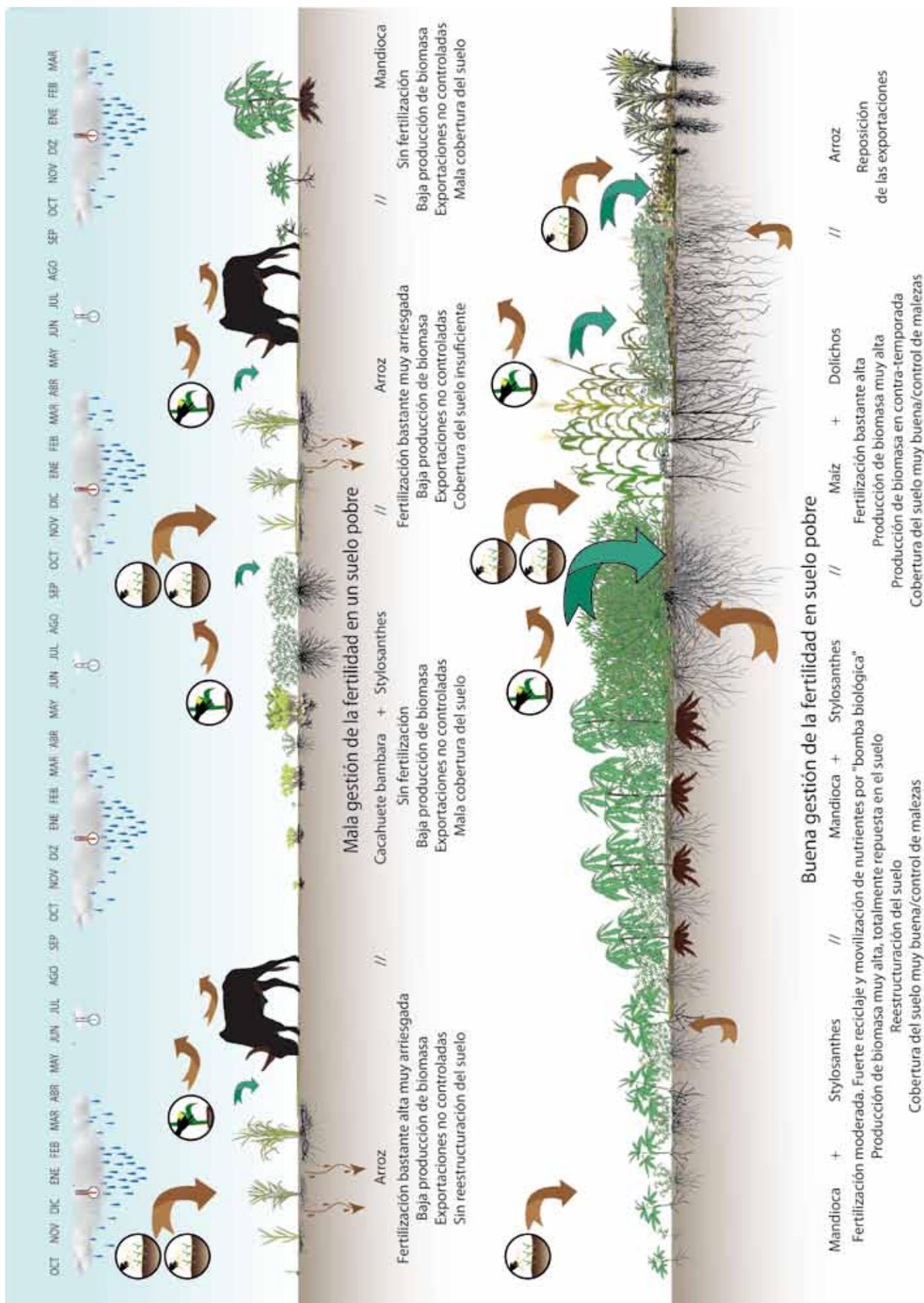
Con la ausencia de medios de análisis (muy caro), el «manejo» en el campo, para evitar «minar» la fertilidad restaurada puede hacerse con:

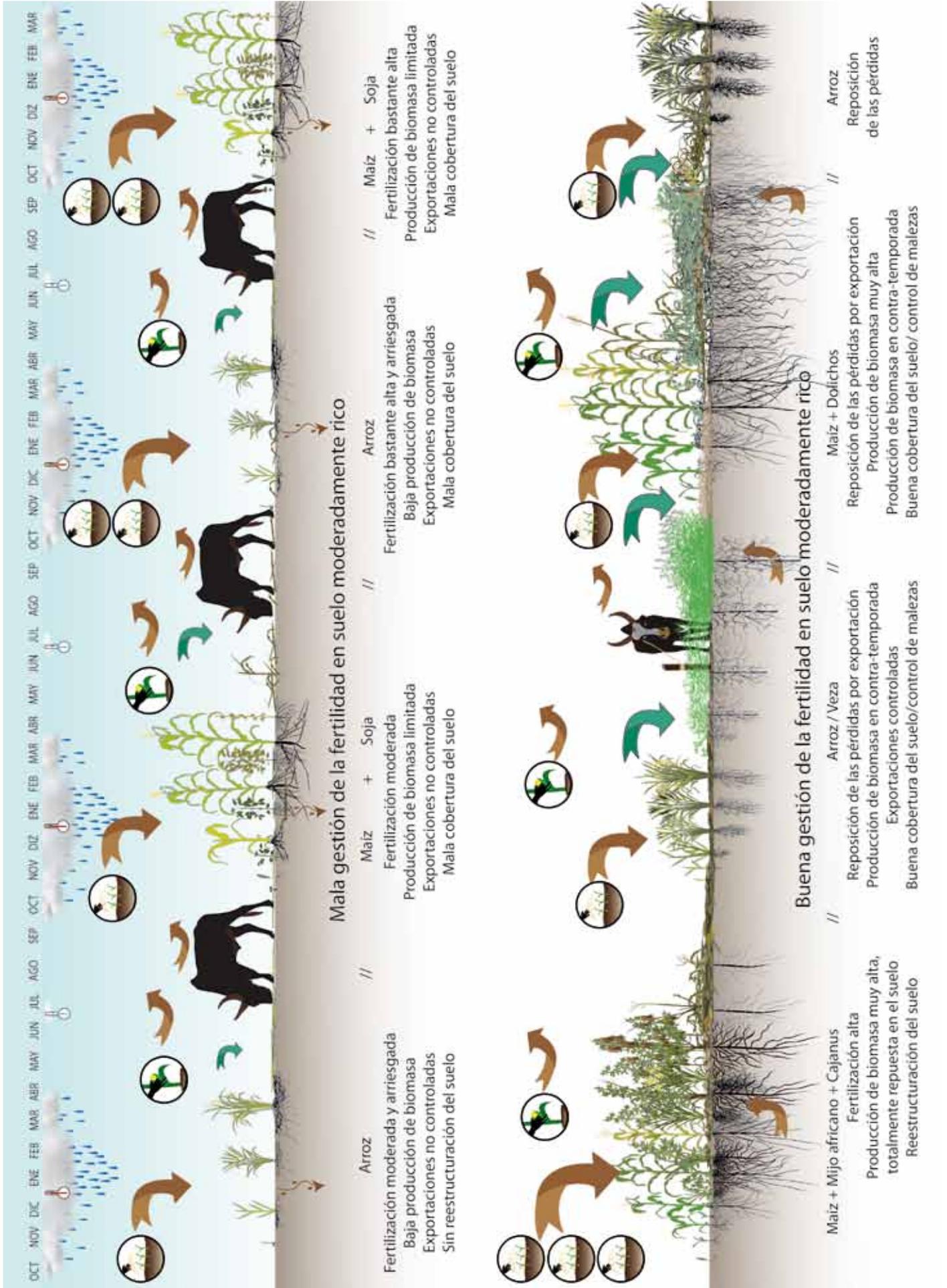
- el acompañamiento exacto de la evolución de los rendimientos y la observación de las señales de escasez, en los cultivos más exigentes (disminución inexplicable del rendimiento, síntomas de carencia, etc.), indicando que el sistema está a «desligarse» y que la fertilización aportada no es suficiente
- la implantación en los cultivos, de «testigos», donde la densidad de plantas es mucho mayor (duplicada). Con una tal densidad, las extracciones por las plantas son más importantes que en la parcela «normal», y las señales de carencia aparecen antes que el cultivo sembrado con la densidad normal lo sufra. Cuando aparecen esos síntomas de carencia en el testigo, es posible completar la fertilización de la parcela, antes que el cultivo sufra cualquier pérdida de rendimiento (técnica simple de prevención).



Aporte localizado de estiércol y abono mineral en los surcos de implementación de la planta







2.3. Como aportar la fertilización mineral y/o orgánica



Elevada producción de brachiaria fertilizada en un suelo degradado

¿Fertilizar el cultivo o fertilizar las «bombas biológicas»?

Cuando los cultivos y plantas de cobertura están asociadas, la localización de los abonos junto al pie del cultivo dominante, puede permitir manejar los riesgos de competitividad entre plantas, favoreciendo el cultivo comercial. Sin embargo, de manera general, el aporte de fertilizantes a un cultivo, de forma localizada o distribuida por todo el campo, beneficia también a las plantas de cobertura.

Esas «bombas biológicas» valorizan particularmente los abonos, que les permite producir una biomasa muy alta, y éstas retribuyen para el buen funcionamiento de los sistemas SCV, y para la alimentación de los cultivos siguientes, después de la mineralización de esa biomasa.

Cuando los cultivos y las plantas de cobertura se cultivan en sucesión, las «bombas biológicas» se benefician del efecto de la fertilización anterior realizada en el cultivo principal.

Durante los primeros años de transición de los sistemas tradicionales para los sistemas SCV, es indispensable el aporte de fertilizantes sobre todo en el cultivo (mínimo 2/3 de la fertilización normal sobre el cultivo, y 1/3 sobre la planta de cobertura) (especialmente en los suelos pobres). Sin embargo, una vez que los sistemas SCV están instalados, y funcionando bajo una elevada biomasa/mantillo, es posible obtener más beneficio de los abonos minerales, aportándolos principalmente (2/3) a las «bombas biológicas». Esas «bombas biológicas» transformarán ese abono mineral en abono orgánico, que será así almacenado y liberado gradualmente en el cultivo principal, que será alimentada de forma más regular. Sin embargo, las condiciones de acceso al crédito, para una pequeña agricultura familiar (tasas de interés, duración de los préstamos concedidos, garantías pedidas) son frecuentemente muy difíciles. La aplicación de este principio de gestión, para la optimización agronómica de los aportes de abonos minerales, es difícil en estas condiciones. Además, el ajuste de la fertilización a las condiciones climáticas del campo, o a los accidentes, sólo podrá efectuarse en la parte de abonos que aún no ha sido aplicada.

Evitar los bloqueos de nitrógeno

Sobre un mantillo pobre en nitrógeno (sin leguminosa), los procesos de mineralización (que al final liberarán nitrógeno soluble) pueden causar, inicialmente, una importante inmovilización del nitrógeno (utilizado por las bacterias). Un cereal (o el árbol del algodón), instalado en tal cobertura, se arriesga a pasar una intensa «hambre de nitrógeno», en el inicio del ciclo, muy perjudicial para su desarrollo. Para evitar este fenómeno, se puede:

- preparar las coberturas a base de leguminosas, si deseamos implementar un cultivo de cereales o del árbol del algodón;
- controlar la cobertura varias semanas antes de la implementación del cultivo, lo que permite obtener una liberación de nitrógeno en el momento de la siembra, ocurriendo así en un momento en que los procesos de mineralización están avanzados.

Sin embargo, ni siempre es posible tratar una tal cobertura a tiempo, y debemos entonces:

- efectuar un aporte de nitrógeno (30 a 50 kg N/ha) en la siembra, indispensable para todos los cultivos de cereales o de árbol del algodón, sobre un mantillo de gramíneas que empieza su descomposición.

3. Gestión de la estructura del suelo en SCV

En los suelos compactados, la instalación de sistemas SCV eficaces pasa por una descompactación rápida del suelo. En el año cero de la preparación de la SCV, el empleo de la descompactación mecánica en profundidad (subsulado) necesita de un material específico y es muy caro. Lo que sólo puede ser considerado para cultivos con alto valor añadido. Es preferible utilizar plantas de cobertura capaces de desempeñar esta función rápidamente (como el mijo africano, las brachiarias, el cynodon o el sorgo), instaladas en el año «cero» de la preparación de la SCV (muchas veces después de la labranza). Estas plantas, gracias al poder de sus sistemas radiculares y a su capacidad en favorecer el desarrollo de una actividad biológica intensa, permiten al suelo encontrar rápidamente una estructura favorable. Su alta producción de biomasa permite, también, alimentar los procesos de almacenamiento de materia orgánica y de agregación, necesarios para la constitución sostenible de una buena estructura. Durante el tiempo en que el suelo es descompactado por las plantas reestructuradoras, es preferible sólo instalarlas en asociación con cultivos tolerantes a la compactación, ya sea debido a un sistema radicular fuerte, o porque ellas se contentan con un enraizamiento superficial. Cuanto más constringente es el clima, más arriesgado es implementar en el año «cero» plantas exigentes, como el arroz, que exige una buena macroporosidad y tiene necesidades importantes en agua.



*Reestructuración del suelo por los sistemas radiculares poderosos y por la actividad biológica
Maíz sobre desmodium*

Posteriormente (en sistemas SCV instalados), todos los cultivos son posibles. La intensa actividad biológica, la recarga del suelo en carbono y la cobertura vegetal (función de protección) contribuyen para mantener una buena estructura del suelo. Algunas asociaciones/sucesiones de cultivos, sin embargo, no son siempre suficientes para mantener sosteniblemente una estructura favorable. En tal situación, la tentación de recurrir a la labranza es muchas veces fuerte, pero presenta muchos inconvenientes: este recurso hace que se pierdan rápidamente los numerosos beneficios obtenidos durante varios años, sin disturbar el suelo. Es mucho más eficaz insertar regularmente (todos los 2 a 5 años) plantas con fuerte poder de reestructuración en los sistemas de cultivo.

4. Gestión de malezas en la SCV

La gestión de las malezas es un punto crucial en los primeros años, durante la transición entre las prácticas convencionales y los sistemas en SCV. Cuando la producción de biomasa es insuficiente (en particular en los primeros años, en suelos poco fértiles) para asegurar una buena cobertura del suelo, la tentación de labrar nuevamente el suelo es muchas veces fuerte (cuando nos falta experiencia en la gestión de estos sistemas). Es absolutamente necesario evitar el retorno a la labranza, y para tal implementar prácticas (sin preparación del suelo), que permitan un buen control de malezas (perennes o anuales) durante los años de transición. La selección de los cultivos y plantas asociados en el inicio debe considerar la flora presente, y pretender producir una alta biomasa para controlar esa flora, utilizando eventualmente las propiedades alelopáticas de las coberturas. En cualquier caso, la primera etapa consiste en controlar las plantas perennes.

4.1. Control de plantas perennes en el año «cero»

Una planta perenne ya instalada, compite fuertemente con una planta anual (cultivo), aunque ella haya sido cortada o labrada (en particular, las plantas con rizomas y/o estolones):

- su reinicio de vegetación es generalmente más rápido que el de la planta anual por semilla, lo que hace que la planta perenne domine rápidamente el cultivo;
- su sistema radicular es mucho más potente y profundo que el de la planta anual, creando una fuerte competitividad por el agua y los nutrientes.



Instalación de caupí sobre *Cynodon dactylon*, controlado con herbicida

Además, el corte de estas plantas perennes durante el cultivo es difícil, y su control químico requiere el uso de herbicidas selectivos específicos (muy caros y/o indisponibles en Madagascar). Es por eso, indispensable controlar las plantas perennes antes de la instalación del cultivo.

Para la utilización en cobertura viva (frijol o caupí sobre *Cynodon*, por ejemplo), el control normalmente se hace con el uso de un herbicida total, en dosis reducida (ver Volumen II, Capítulo 2). El objetivo es de frenar el crecimiento de la planta perenne durante un tiempo (cerca de 45 días), lo suficiente para permitir al cultivo de desarrollarse y dominar la cobertura viva, pero sin matar esta última, para que esta se desarrolle, de nuevo, naturalmente después de la cosecha del cultivo principal.

Para la instalación de sistemas SCV sobre cobertura muerta (o de sistemas sobre cobertura viva, pero con otra planta perenne), las plantas perennes deben estar totalmente controladas. Este control (ver Volumen II, Capítulo 2) se hace con:

- la aplicación del herbicida total, en fuertes dosis (de preferencia en el final de la estación de lluvias anterior, sobre las plantas en vegetación activa, antes de la floración, y que deberán atravesar la estación seca);
- la labranza en el inicio de la estación seca, asociado o no, a la aplicación de herbicidas totales en dosis bajas, seguido de nueva(s) labranza(s) y desarraigo de las plantas que consiguieron sobrevivir.

Para las plantas perennes, particularmente resistentes, (*Cynodon dactylon*, *Cyperus rotundus*, *Imperata cylindrica*, etc.), el control puede ser completado con la implementación de plantas particularmente eficaces en limpiar las parcelas, como la veza, la mucuna o el *Stylosanthes*. Una vez eliminadas de la parcela, las malezas perennes, la reinfestación se evita con control manual o con la aplicación localizada de herbicida total sobre los eventuales rebrotes (antes que ellas sean capaces de producir semillas). La gestión de malezas en SCV instalados se limita, por lo tanto, esencialmente, a la gestión de las malezas anuales.

4.2. Control de malezas anuales

En el año «cero» de preparación de la SCV, el control de malezas anuales se hace, esencialmente, a través de la labranza y de la utilización de herbicidas, si es necesario (ver Volumen II, Capítulo 2). Las asociaciones de los cultivos implementados deben permitir reducir la presión de las malezas. Sin embargo, ellas dificultan la utilización de herbicidas selectivos. Si el control por las coberturas es insuficiente en el año «cero» y las asociaciones no permiten el uso de un herbicida selectivo, el control de esas malezas se hace por deshierbe, o de preferencia, por desarraigo manual, lo que exige un trabajo considerable. Cuando la presión de las malezas es fuerte, es preferible instalar en primero lugar un cultivo fácil de eliminar las malezas (como el maíz o el sorgo), asociado a plantas que cubren rápidamente el suelo (leguminosa voluble, por ejemplo) y/o que tienen efectos alelopáticos importantes (como la avena). El itinerario técnico puede, también, ser adaptado para controlar de la mejor forma posible las malezas anuales: fuerte densidad para cubrir rápidamente el suelo, siembra muy temprana, variedades de ciclo corto, etc.



Control de las malezas por el mantillo
Foto: K. Naudin

Algunas malezas con características particulares, y que pueden ser verdaderas plagas vegetales (como la striga), pueden ser controladas por sistemas particulares (ver Volumen I, Capítulo 3. § 3). En los años siguientes, bajo SCV instalado, el control de malezas anuales se hace, principalmente, con la cobertura vegetal, que si es suficiente, impide el apareamiento de la mayoría de las malezas, bien sea por efecto de sombreado o por efectos alelopáticos de plantas utilizadas en la cobertura.

Cuanto más la cobertura del suelo es alimentada regularmente, y cuanto más las coberturas tienen plantas «limpiadoras» (capaces de dominar las otras), mejor será el control. En caso de eventuales rebrotes (en particular si un período sin cultivo ha permitido esos rebrotes), la aplicación de un herbicida total, en pequeña dosis, antes de la implementación de cultivos, es suficiente para preparar la parcela (ver Volumen II, Capítulo 2). La ausencia de preparación del suelo hace que el stock de semillas no aumente en condiciones favorables la germinación. Solamente las semillas de malezas producidas en la parcela en el ciclo anterior y las transportadas por el viento, o por los animales, son capaces de germinar.



*Avena: planta «limpiadora»
con efectos alelopáticos importantes*

Si la cobertura vegetal es, regularmente, alimentada, en cantidad suficiente, la presión por las malezas disminuye progresivamente. Sin embargo, si la cobertura vegetal no cubre suficientemente el suelo (sistema SCV mal controlado, accidente de cultivo, interés económico muy grande en exportar la biomasa, etc.), el control de malezas necesita la utilización de herbicidas selectivos (cuando ellos están disponibles) el desarraigo manual de las malezas (antes de producción de semillas). El recurso al deshierbe debe ser evitado siempre que sea posible, porque perturba el suelo, acelera la mineralización y, consecuentemente, reduce además la cobertura vegetal y puede aumentar la presión de las malezas (además de perder las adquisiciones agronómicas de los años precedentes en SCV). El mantenimiento de la cobertura vegetal del suelo, que debe ser tan permanente cuanto sea posible, es, por lo tanto, un punto clave en la gestión de malezas..

4.3. Control de las plantas de cobertura

Para evitar que una planta de cobertura se transforme en maleza, su manejo debe ser adaptado al sistema del cultivo. Generalmente, no debemos permitir que los cultivos de cobertura críen semilla, cuando pretendemos cultivar nuevamente las parcelas, excepto:

- en el caso en que queramos, expresamente, que la cobertura, que será muerta para implementar el cultivo, pueda reinstalarse naturalmente, sin necesidad de resiembra. Este caso se limita a las plantas con inicio lento (como el *Stylosanthes* o la veza), que no arriesgan entrar en competitividad con el cultivo siguiente;
- si tenemos un herbicida selectivo para el cultivo a implementar, que controla bien la planta de cobertura.

En cualquier caso, cuanto más «agresiva» sea la cobertura vegetal, y cuanto más cercana al cultivo sea la especie a implementar (lo que hace que ella sea muy difícil de controlar a través del uso de un herbicida selectivo), más difícil será controlarla en el cultivo siguiente, y más importante será no dejarla criar semillas.

5. Gestión de plagas en SCV

5.1. Gestión de la fauna perjudicial

La gestión de insectos y de otros animales perjudiciales (limazos, nematodos, etc.) en SCV, se hace principalmente a través de una nutrición equilibrada (lo que reduce la acumulación en las plantas de azúcares reductores y de aminoácidos libres, muy apreciados por los insectos) y con base en los principios del control integrado, con:

- la instauración de un equilibrio ecológico, que permite el desarrollo de las poblaciones de auxiliares, depredadores de plagas de los cultivos;
- la utilización de plantas insecticidas, nematicidas y/o repulsivas en los sistemas de cultivo. Cuanto más fuerte es la presión por las plagas, más procuramos incluir en los sistemas plantas que permitan su control
- la creación, a través de las prácticas SCV, de un ambiente propicio para el buen desarrollo de organismos entomopatógenos (*Beauveria sp.*, *Bacillus thuringensis*, etc.) y, eventualmente, por su inoculación.

La instauración de un equilibrio ecológico y de una alimentación equilibrada necesita, sin embargo, de tiempo (de algunos meses a varios años, dependiendo del estado de degradación del ecosistema). En los primeros años, período necesario para alcanzar el equilibrio, el control de plagas se hace:

- tanto como sea posible, con la utilización de cultivos poco sensibles a las principales plagas (podemos, por ejemplo, empezar por los cultivos de leguminosas en medios infestados con *Heteronychus sp.*)
- con el uso racional de pesticidas.

La utilización de pesticidas (especialmente los de amplio espectro), desfavorables a la instauración de un equilibrio ecológico, debe ser reducida al mínimo, únicamente en el caso de presión muy fuerte, apenas sobre los cultivos sensibles, y con tratamientos lo menos perjudiciales posible (tratamiento de semillas de preferencia, con las sustancias activas lo más selectivas posible, en dosis bajas). Los tratamientos del suelo, particularmente perjudiciales para su fauna y flora, deben ser evitados tanto cuanto sea posible.

5.2. Gestión de virus, bacterias y hongos patogénicos

De la misma forma, las principales enfermedades en SCV son controladas en mejorando el estado nutricional de las plantas y de la actividad de la microflora (secreción de elicitores, de antibióticos, etc.). El tiempo necesario para restaurar la actividad biológica del suelo, el control de enfermedades (especialmente las enfermedades fúngicas) se hace principalmente con:

- el uso de especies y variedades resistentes, mezcladas;
- aportes de fertilización fraccionados, bajo la forma orgánica tanto cuanto sea posible, de forma a evitar los picos de nitrógeno mineral en el suelo (y consecuentemente en las plantas).

El uso de fungicidas está, como para los otros pesticidas, limitado al mínimo, su impacto sobre la actividad de la microflora es extremadamente negativo. Si la presión fúngica es tan grande que un tratamiento es indispensable, este debe ser aplicado sobre la forma menos nefasta posible (tratamiento de semillas, en dosis bajas, con la sustancia activa lo más selectiva posible). El uso de pesticidas en fuertes dosis, incluso cuando esto pueda tener un efecto positivo a corto plazo, tiene un efecto muy negativo en la salud de las plantas a medio plazo, debido a su impacto sobre la actividad biológica del suelo y en la fisiología de las plantas.



Arroz muy sano después de *stylosanthes*
Foto: Rakotondramanana

6. Gestión del calendario de trabajo y del material en SCV

Generalmente, las prácticas SCV y su diversidad ofrecen una gran flexibilidad en la gestión del calendario de trabajo. En SCV, las tres principales tareas de trabajo son el tratamiento de las coberturas antes de la siembra, la siembra y la cosecha.

En la agricultura manual, el tratamiento de las coberturas puede ser hecho más o menos temprano, en función de las limitaciones del trabajo. Esto puede hacerse en particular durante el período seco, cuando la carga de trabajo en las fincas es generalmente baja. Además, la posibilidad de sembrar cultivos en estación seca o en el comienzo de la estación de lluvias, permite repartir la carga de trabajo para la preparación de las parcelas y la siembra. Esto permite la implementación muy temprana de los cultivos.

El equipamiento necesario en una pequeña agricultura familiar, se limita a un pulverizador tipo mochila (que puede ser compartido por varias fincas), útil para los eventuales tratamientos fitosanitarios o herbicidas. En la agricultura mecanizada, apenas el material de siembra es específico de los sistemas SCV, porque esto debe permitir la siembra directa en el mantillo. Hay una variedad de sembradores (y pulverizadores): manuales, de tracción animal, pequeños y grandes mecanizados. La ausencia de labranza permite limitar la potencia necesaria (y, por lo tanto, la inversión), y reduce significativamente el desgaste de los materiales y los gastos de combustible. El costo de la mecanización es, por lo tanto, muy inferior en siembra directa relativamente a la agricultura mecanizada convencional.

Además, la mejor capacidad de carga y el secado rápido de las parcelas permiten la entrada en las parcelas con material pesado en casi todos los momentos, teniendo que esperar algunas horas después de fuertes lluvias. Eso permite, especialmente, optimizar los tratamientos orientándolos para el mejor momento.

Finalmente, es posible la cosecha de un cultivo y sembrar una otra planta al voleo (adaptación de un sembrador sobre la segadora), lo que permite instalar sucesiones de plantas en un periodo mínimo, inclusive durante el período, muy ocupado, de la cosecha.

La gestión del trabajo (y de los equipamientos) en sistemas SCV es reducida, así, al repartir los períodos de fuerte carga de trabajo (control de las coberturas, siembra y cosecha) «jugando» con los ciclos de las especies y las variedades a implementar al nivel de la finca, para evitar que los trabajos importantes se sobrepongan o compitan con otras actividades.

7. Integración agricultura/pecuaria en SCV

Los sistemas de siembra directa con cobertura vegetal permanente funcionan con base en la optimización de la producción y gestión de la biomasa, y privilegia los aportes de materia orgánica. Consecuentemente, deben ser integrados con los sistemas de pecuaria, particularmente con animales de gran porte (bovinos, ovinos, caprinos, porcinos, etc.) que son, simultáneamente, consumidores de biomasa, productores de abonos orgánicos y pueden proporcionar una fuerza de trabajo utilizada por los sistemas de cultivo.

En función de las situaciones, y en particular, en función de las posibilidades de producción de biomasa y de la importancia de los sistemas de pecuaria en los sistemas agrícolas, la integración agricultura-pecuaria puede hacerse más o menos fácilmente, y puede representar una «puerta de entrada», o al contrario, un obstáculo a la difusión de las técnicas de SCV. En cualquier caso, los sistemas SCV deben ser ponderados en función del lugar de la pecuaria en la finca, y al nivel de los terroirs. Esta adaptación se hace particularmente con base en el tipo de producción animal y en el modo de gestión comunitaria (o no) de los recursos forrajeros.

7.1. Adaptación de los sistemas SCV a la presión sobre la biomasa (necesidad de forraje)



Debilitamiento de la Brachiaria ruziziensis debido al sobrepastoreo

Los medios donde la presión sobre la biomasa es relativamente baja (pocos animales para alimentar relativamente a las superficies disponibles y al potencial de producción), la integración de la agricultura SCV/pecuaria no presenta ningún problema. La alimentación de los animales no se hace en detrimento de la reposición de biomasa en el suelo, y la pecuaria puede servir fácilmente de apoyo a los cultivos, aportando fuerza de trabajo y sobre todo abonos orgánicos, de calidad. El mejoramiento en la integración entre agricultura y pecuaria se hace principalmente con la gestión de los animales: la facilitación de su alimentación (eventualmente a través de la producción de forrajes en los sistemas SCV) y recogida de estiércol en los establos estercoleros, mejoría de la salud animal (alimentación y cuidados veterinarios), etc.

Cuando la presión de los animales aumenta, y con ella las necesidades en forraje para su alimentación, la integración entre agricultura y pecuaria debe ser hecha de forma a optimizar la utilización de biomasa. Esta depende principalmente de las posibilidades de aumentar la producción de biomasa total gracias a las prácticas de SCV, del interés económico de la pecuaria comparativamente a los cultivos, y del modo de gestión de los recursos al nivel del terroir. Existen muchas posibilidades, más o menos fáciles de manejar, en función de las situaciones. Ellas deben ser adaptadas localmente, caso a caso.

Cuando la carga animal se aproxima de la carga máxima que puede soportar un ambiente (sin sobreexplotación), independientemente de su gestión, la integración agricultura/pecuaria se vuelve particularmente delicada y depende mucho del interés comparativo de los cultivos en relación a la pecuaria y al modo de gestión de recursos al nivel de los terroirs. Solamente una gestión óptima de las plantas forrajeras, capaces de reponer una cantidad de carbono suficiente en el suelo gracias a su sistema radicular, y cuyas exportaciones son compensadas con los aportes de abono que permiten mantener la fertilidad del suelo. Tal gestión sólo es posible si los recursos han sido manejados individualmente y si la pecuaria es una fuente principal de ingresos para las fincas (como en la ganadería lechera), permitiéndoles una cierta intensificación (reposición de los nutrientes exportados).

Más allá de esta carga máxima que puede soportar un medio ambiente, la pecuaria es del tipo «explotador», extrayendo de la fertilidad de los suelos y causando su degradación rápida. Los sistemas no pueden ser sostenibles, cualquier que sea su gestión.

7.2. Adaptación de los sistemas SCV al modo de gestión de los recursos forrajeros

Cuanto más aumenta la carga animal al nivel de un terroir, más meticulosa debe ser la gestión de los recursos. La optimización de la producción de biomasa, que es hecha principalmente por asociaciones/sucesiones de cultivos y por una gestión de la fertilización, sólo puede ser hecha si los beneficios provenientes de esas prácticas revierten para aquellos que los ejecutaron (individualmente o colectivamente). Así, la práctica, muy frecuente, de derecho colectivo de pastoreo, que permite a todos los animales de «divagar» en las parcelas después de la cosecha, es uno de los principales obstáculos, que limita las posibilidades de buena gestión de la biomasa.

Ese obstáculo puede ser resuelto con:

- la modificación de las reglas locales, para permitir la protección de la biomasa en las parcelas de aquel-

los que dan prioridad a sus cultivos y quieren utilizar la biomasa disponible para la regeneración del suelo por las prácticas SCV. Tal modificación de las reglas locales pasa por una buena comprensión del interés en mantener un alto tenor de materia orgánica en el suelo, y una concienciación colectiva del impacto en los suelos y en los cultivos, de la exportación excesiva de biomasa. Ella puede, sin embargo, enfrentar las indecisiones de los «grandes» agricultores, que tienen un gran número de animales para alimentar, y que no pueden asegurar la alimentación de sus animales únicamente en sus fincas. Estos agricultores tienen muchas veces una fuerte influencia en las decisiones colectivas debido a la importancia que les confiere la posesión de número tan grande de animales. Esta opción es también muy difícil de implementar en el caso de una actividad pecuaria itinerante.

- la implantación en las plantas de cobertura de un cultivo de todas las estaciones (como la mandioca, por ejemplo), lo que impide el acceso de los animales a las parcelas (siguiendo las reglas locales). El «cultivo» así implantado puede ser manejado de forma muy amplia, con densidad muy baja, y sin cualquier inversión, su interés principal no es la obtención de producción (muy aleatorio fuera de los períodos de cultivo habituales), y sí desempeñar la función de protección de la biomasa;
- podemos aún, en último recurso, utilizar plantas de cobertura que no sean apetecibles para los animales, como las crotalarias. Esta opción tiene la ventaja de poder ser aplicable en todas las situaciones, pero limita mucho las posibilidades de los sistemas y no permite una exportación parcial de la biomasa para la alimentación animal.

7.3. Adaptación de los sistemas SCV al tipo de actividad pecuaria

Dependiendo de la vocación de la actividad pecuaria, las posibilidades de integración con el sistema SCV son más o menos variadas, y más o menos fáciles de implementar.

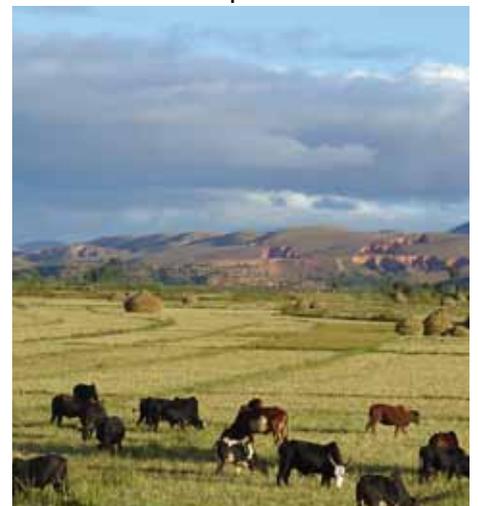
Producción animal comercial (lechera o de carne) intensiva

Este tipo de producción animal, tiene el inconveniente de conducir a una gran exportación de biomasa, y la ventaja de ser manejada individualmente, y muchas veces con confinamiento de los animales, lo que permite una buena gestión de la fertilidad: producción de un estiércol de calidad y obtención de ingresos (generados con la venta de productos), que permiten reinvertir en abonos para mantener la fertilidad de las parcelas (destinadas en primero lugar a la producción de forrajes). Para esas fincas, predominantemente forrajeras, la regeneración de los pastos, a través de la implementación de un cultivo asociado en SCV es una opción interesante.

Producción animal comercial (lechera o de carne) extensiva y cultivos

Para las fincas mixtas policultivo-pecuaria, los sistemas mixtos SCV ofrecen muchas posibilidades. Los sistemas que asocian plantas y cultivos de cobertura permiten (de una forma variable) aumentar el forraje disponible. La gestión de la fertilidad está facilitada por los insumos suministrados por la pecuaria y por el modo de manejo (alimentación en el establo, que permite producir un estiércol de calidad). La parte de los cultivos forrajeros puede ser adaptada en función de las evoluciones de los precios relativos de los productos de la pecuaria y de los cultivos.

La principal dificultad se encuentra en la buena repartición entre la reposición y utilización de biomasa en forraje, principalmente en los primeros años, cuando la mayoría de la producción debe ser repuesta en el suelo para su mejoramiento. Debemos, también, resistir a la tentación de aumentar la carga animal en detrimento de las reposiciones en el suelo, y eso, especialmente, cuando los precios de los productos animales son comparativamente más interesantes que los de la agricultura.



Derecho colectivo de pastoreo después de la cosecha Lago Alaotra

Producción animal para la fuerza de tracción

El número de animales de tracción es generalmente bajo, pero son objeto de mucha atención de forma a asegurarles una buena alimentación y un buen estado sanitario. La integración en los sistemas SCV puede ser hecha con la producción de forrajes, en particular en los períodos clave (antes de la grande carga de trabajo) y con la reducción de las necesidades de fuerza de tracción. La producción de estiércol contribuye para reponer los nutrientes exportados.

Producción animal de «capitalización»

El status social conferido con la posesión de animales es muy importante en muchos países del sur. Además, el papel de ahorro que desempeñan los animales es muchas veces preponderante.

Consecuentemente, la posesión de animales tiene, muy frecuentemente, un papel esencial de capitalización. Muchas veces, estos animales utilizan los recursos comunitarios, lo que es muy difícil de manejar. La práctica del derecho colectivo de pastoreo permite a los animales alimentarse, durante una parte del año, de recursos que no son individualizados. Cuando la carga animal al nivel de un terroir no es muy alta, la fertilidad puede ser mantenida a esa escala. Sin embargo, cuando la carga aumenta, la presión se vuelve muy fuerte y este tipo de producción animal «agota» los recursos naturales. Lamentablemente, bajo una utilización comunitaria de los recursos (derecho colectivo de pastoreo), cuando el medio es muy problemático (clima semiárido, por ejemplo), o se degrada, y cuando las producciones vegetales son poco rentables, una «adaptación» muy común de los agricultores es la de volverse individualmente para este tipo de producción animal «explotadora» para aprovechar los recursos comunes. Se encuentran así, rebaños muy grandes en medios semiáridos, mientras que el bajo potencial de producción de biomasa debería contrariamente limitar el número de animales. Estos animales son muchas veces obligados a desplazarse a grandes distancias para alimentarse (ganadería itinerante), lo que reduce aún más el desempeño de los sistemas pecuarios. En tal situación de fuerte penuria de recursos y la falta de posibilidades para manejar esos recursos, la integración agricultura/pecuaria es particularmente difícil. La única posibilidad para mantener una biomasa suficiente en el suelo, es la de utilizar plantas de cobertura no apetecibles para los animales.



Parque de alimentación de bueyes de tracción

8. SCV y árboles

Los principios de la SCV, que copian el funcionamiento de un ecosistema forestal, permiten integrar de diversas formas los árboles en los sistemas, que se vuelven sistemas agroforestales (con cobertura vegetal permanente del suelo).



Plantación de acacias después de la reestructuración del suelo por brachiaria.

8.1. Reestructuración de los suelos antes de la siembra

En suelos degradados y fuertemente compactados, la reestructuración de los suelos por las gramíneas con sistema radicular muy poderoso (como la *Brachiaria brizantha* cv. *Marandua*) es un prerrequisito para todas las plantaciones arbustivas (reforestación, plantación de pomar) en buenas condiciones. Cuando los árboles utilizados son leguminosas (acacia, etc.), la fijación de nitrógeno beneficia las gramíneas que se desarrollan más rápidamente y cumplen mejor su función de descompactación.

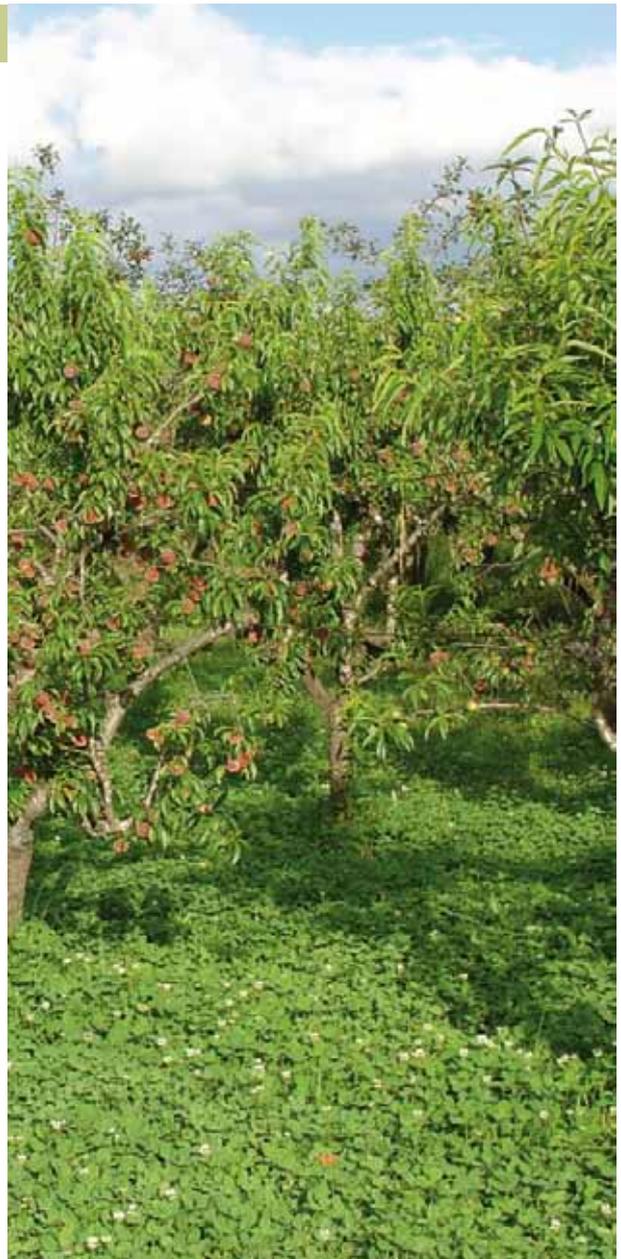
8.2. Protección de los suelos en los pomares y plantaciones

La cobertura del suelo por las plantas perennes permite proteger y enriquecer los suelos, y controlar las malezas en los pomares y plantaciones. Las coberturas vivas son instaladas de preferencia antes de la plantación de los árboles. Estas deben poder mantenerse bajo fuerte sombreado (como el *Arachis repens*) para asegurar sus funciones, en particular en las plantaciones densas de árboles, que permiten entrar poca luz.

Las plantas trepadoras (como *Arachis pintoii*, *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus*), una vez instaladas, exigen poca mantenimiento (eventualmente, su control alrededor de los árboles, en caso de déficit hídrico). Las plantas erectas (como *Stylosanthes guianensis* o las brachiarias) pueden ser segadas alrededor de los árboles jóvenes, de forma a evitar la competitividad por la luz, y eventualmente controladas (química o mecánicamente) alrededor de los árboles en caso de competitividad por el agua. Las plantas volubles o enredaderas (como la pueraria) no deben ser implantadas próximas de los árboles, porque su control exige un trabajo considerable y frecuente.

Las coberturas a base de leguminosas, por su fijación de nitrógeno atmosférico, del cual los árboles tiran provecho, son particularmente interesantes. En medios secos, la implantación de plantas capaces de permanecer verdes durante mucho tiempo, en la estación seca (como *stylosanthes*), permite limitar los riesgos de propagación de incendios.

Una parte de la biomasa producida puede ser utilizada para la alimentación de los animales después de la siega (en particular cuando los árboles son aún jóvenes) o pastoreo (cuando los árboles no tienen más el riesgo de ser dañificadas).



Pomar de melocotones sobre cobertura de trébol

8.3. Plantaciones de árboles de alto valor

El cultivo en SCV de plantas anuales intercaladas con líneas de árboles, antes de que cierren su copa, permite obtener una producción en los primeros años después de la plantación, cuando los árboles aún no están a produciendo, pero permiten entrar la luz. Esta permite igualmente la implantación a un menor costo de una cobertura vegetal perenne bajo los árboles. De la misma forma, la plantación de árboles productivos a medio plazo (de frutas, de caucho, de coco, etc.) intercalados con especies de crecimiento muy lento, pero de alto valor (teca, dipterocarpaceas, albizia, etc.), permite obtener ingresos regulares durante el largo período de crecimiento de esas especies con mucho valor. Además de los beneficios considerables obtenidos a plazo, estas asociaciones permiten proteger la biodiversidad al producir estas especies poco frecuentes, en vez de explorarlas en su medio natural.

9. Gestión de riesgos y SCV

La gestión de los riesgos es un punto crucial en la agricultura, y particularmente en el contexto de una pequeña agricultura familiar. En general, la práctica de los sistemas SCV en sistemas bien instalados reduce bastante los riesgos y asegura una producción estable y resiliente:

- el riesgo climático es reducido, gracias a una gran reserva de agua útil importante, a temperaturas amortiguadas, a una sincronización de los ciclos de cultivos en los períodos ideales, a la mezcla de especies y/o variedades, etc. Es incluso posible manejar los cultivos con un riesgo limitado en las zonas y/o períodos en los cuales esta no son posibles (o con un riesgo muy alto) en la agricultura convencional;
- la presión de las malezas y las plagas es generalmente reducida;
- los costos de producción (y por lo tanto, las inversiones) son bajos una vez que los sistemas bien instalados pueden funcionar correctamente con un mínimo de insumos;
- la diversidad de producciones reduce los riesgos agrícolas y el riesgo económico de las fluctuaciones de los mercados, etc



Rendimientos crecientes, con el pasar de los años, en siembra directa

El principal riesgo a manejar es, por lo tanto, aquel que está relacionado con la transición de los sistemas convencionales en SCV, durante los primeros años, tiempo necesario para que todas las funciones ecosistémicas aseguradas por esos sistemas estén operacionales. Este período es de tal forma el más crítico que necesita de un aumento de la fertilidad del suelo (y, por lo tanto, una inversión en tiempo y/o insumos) y que los tiempos de trabajo para manejar los sistemas, sólo son sensiblemente reducidos una vez que los sistemas están funcionando bien, después de la acumulación de una gran cantidad de biomasa. Sin embargo, una vez pasados los primeros años (siempre con la tentación de volver a trabajar el suelo, cuando surge un problema), cuando los agricultores dominan estas técnicas de siembra directa y se dan cuenta de las ventajas, raramente abandonan la siembra directa.

Esta fase de transición es particularmente sensible en las pequeñas agriculturas familiares, donde los medios de inversión y la capacidad de correr riesgos son muy limitados.

Para reducir esos riesgos, las inversiones más arriesgadas, que son las más onerosas (en primero lugar están los aportes de abono), sólo deben ser hechas cuando el riesgo de fracaso es limitado y, por lo tanto, cuando todas las condiciones para el suceso estén reunidas a tiempo: sistema de cultivo adaptado a las condiciones, siembra temprana en el período más favorable (incluyendo, si es necesario, de manera a evitar los períodos de riesgo de granizo o de ciclón), medios de control disponibles contra malezas y plagas, etc.

Además de estos factores agronómicos, otros dos factores, más difíciles de controlar, deben ser tenidos en cuenta:

- la seguridad de la producción. Un riesgo grande de robo de la producción en el terreno (infelizmente, frecuente en Madagascar) es un freno considerable para el aumento de la producción agrícola (cualquier que sea la manera). Al aumentar el riesgo de no poder reembolsar las inversiones hechas, el interés en intensificar las producciones disminuye;;
- la seguridad de la posesión de la tierra. El riesgo de no poder beneficiarse, a medio plazo, de las prácticas mejoradoras, reduce el interés de invertir en la fertilidad de una parcela a largo plazo (a menos que esa inversión pueda ser rentabilizada a corto plazo, como la ecoquema con patata o la asociación mandioca + brachiaria, que tiene efectos importantes en el rendimiento de la mandioca en ese mismo año).

Cuanto mayores son los riesgos de fracaso, y menor la capacidad del agricultor de soportar un fracaso, más estos se deben volver hacia los sistemas con baja inversión (y, por lo tanto, menor riesgo): cultivos poco exigentes, restauración progresiva de la fertilidad a través de la utilización de «bombas biológicas», etc.

10. Complejidad y aprendizaje de la SCV

La práctica de la SCV requiere un cierto número de conocimientos, en particular el conocimiento del material vegetal, la maestría de su gestión, que se adquiere a lo largo del tiempo. Es por lo tanto, necesario un período de aprendizaje.

Por otro lado, existe entre la vasta gama de sistemas SCV posibles, niveles de complejidad muy variables. Algunos sistemas, como aquellos bajo cobertura muerta a base de *Stylosanthes guianensis*, son extremadamente simples de implementar, ofrecen una gran flexibilidad, son aplicables en numerosas situaciones, y/o son poco afectados por las modificaciones en el itinerario técnico. Contrariamente, otros sistemas como aquellos bajo cobertura viva (muy eficaces) exigen una maestría técnica muy elevada, insumos específicos, un calendario y un itinerario técnico muy precisos, etc.

Durante el período de aprendizaje (que sea de los ejecutivos y de los técnicos, o de los agricultores), es preferible empezar con sistemas lo más simples posible, incluso si su potencial de producción es inferior al de los sistemas más complejos. Un sistema simple bien manejado es más productivo que un sistema complejo mal manejado!

A medida que aumenta el conocimiento sobre las plantas y la maestría técnica de los sistemas, es posible hacer que los sistemas sean más complejos: introduciendo un mayor número de plantas para diversificar las funciones ecosistémicas desempeñadas por esos sistemas, manejarlos de una manera más rigurosa, con insumos más específicos, etc.



Parcela de aprendizaje de la escuela de la siembra directa

11. Conclusiones. Gestión integrada de los sistemas SCV

Los sistemas SCV, por la diversidad y multifuncionalidad de las plantas en la que estos se basan, permiten:

- asegurar las funciones indispensables para un buen funcionamiento del ecosistema;
- prestar un gran número de servicios ecosistémicos gratuitos.

Estos sistemas funcionan, principalmente, como un conjunto, y deben ser manejados de forma integrada para asegurar las múltiples funciones fundamentales. Así, la gestión de la fertilidad no puede ser separada de la gestión de malezas o de plagas, y no puede dejar de tenerse en cuenta las necesidades de la pecuaria o las condiciones de los mercados, por ejemplo.

Además de la gestión del ecosistema cultivado en SCV en su conjunto, es necesario considerar los sistemas de cultivo en el tiempo, durante varios años a fin de:



Frijol después de avena

- asegurar una producción de biomasa suficiente para una siembra directa, cada año. Se debe, en particular, guardar permanentemente una biomasa suficiente para asegurar el control de malezas y el mantenimiento de la fertilidad y, por lo tanto, anticiparse constantemente, para garantizar buenas condiciones para la estación siguiente. Sin embargo, es posible, por ejemplo, producir plantas de mayor interés para los agricultores, pero que produzcan poca biomasa, con la condición de producir en el año precedente una gran cantidad de biomasa, y/o instalar en sucesión una planta que permita obtener una biomasa suficiente antes del cultivo siguiente;
- manejar la fertilidad a lo largo del tiempo, alternando plantas con funciones y necesidades diversas, empezando por las plantas capaces de eliminar las principales dificultades (compactación, baja fertilidad, acidez, malezas, etc.);

- controlar las malezas. El control de plantas perennes debe, por veces, ser hecho varios meses antes de la implementación del cultivo en el año «cero», en el final de la estación de lluvias precedente. Posteriormente, el manejo de malezas se hace principalmente a través del control de malezas anuales gracias a la cobertura vegetal permanente y, por lo tanto, está muy relacionado con el cultivo precedente.

La gestión integrada en el espacio y en el tiempo, se basa, principalmente, en la selección de los cultivos y de las plantas asociadas o en sucesión en los sistemas de cultivo, y en parte, en la selección de los itinerarios técnicos. Es necesario un acompañamiento riguroso y de observaciones rigurosas de la evolución de las condiciones en la parcela. La diversidad de plantas y de sistemas ofrece posibilidades de adaptación a las grandes dificultades agronómicas (clima, suelos, etc.) y socioeconómicas (presión sobre la biomasa, medios disponibles, condiciones de los mercados, etc.). Sin embargo, cada dificultad reduce el número de sistemas posibles y/o sus desempeños e intereses. Cuanto más numerosos y fuertes son los problemas (nivel de degradación del medio, presión sobre la biomasa, mercados, etc.), más difícil y complicado es concebir e implementar los sistemas, permitiendo eliminar rápidamente todos esos problemas. El margen de maniobra es reducido. Es entonces necesario tiempo, y la difusión de estos sistemas es más difícil y más lenta que en medios menos constringentes, que ofrecen una amplia gama de posibilidades.



Asociación maíz + stylosanthes

