

Serie Manejo de Tierras

Manual del Capacitador

MANEJO INTEGRADO
DE LA FERTILIDAD
DEL SUELO
EN ZONAS DE LADERA

PROYECTO CENTA-FAO
PROCHALATE
PASOLAC

Serie Manejo de Tierras

Manual del Capacitador

MANEJO INTEGRADO
DE LA FERTILIDAD
DEL SUELO
EN ZONAS DE LADERA

PROYECTO CENTA-FAO
PROCHALATE
PASOLAC

El Salvador, 1998

Serie: Manejo de Tierras

Manual del Capacitador

MANEJO INTEGRADO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN ZONAS DE LADERA

Elaboración	Marcos J. Vieira, Balmore Ochoa Luna (Proyecto CENTA-FAO-Holanda), Erik Sauër PROCHALATE), Martin Fischler y Xenia Marín (PASOLAC).
Aportes	Salvador Solano (Programa de Recursos Naturales Renovables, CENTA), Quirino Argueta (Programa de Granos Básicos, CENTA) y Napoleón Mejía (Programa de Producción Animal, CENTA).
Coordinación y edición	Nelson González (Proyecto CENTA-FAO-Holanda).
Presentación gráfica	Iván Córdova.
Supervisión técnica por parte de FAO:	Jan Van Wambeke, Abilio Orellana y José Benites.

Impreso en: Imprenta XXXX
Tiraje: xxxx ejemplares

Logos de: CENTA y FAO. Proyecto CENTA-FAO-Holanda "Agricultura Sostenible en Zonas de Ladera". Km. 33 ½, carretera a Santa Ana, San Andrés, La Libertad. Tel. 3384266. Apartado Postal 885, San Salvador. E mail: cdtmor@es.com.sv

Logo de PROCHALATE. Proyecto de Desarrollo Rural para Chalatenango. Final calle Morazán, El Calvario, Chalatenango. Tel. 3352450. E mail: Prochach@es.com.sv

Logo de PASOLAC. Programa de Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. 61 Avenida Norte y 1º Calle Poniente, San Salvador. Tel. 2605146. Apartado Postal 01-78, San Salvador. E mail: pasolac@es.com.sv

INDICE

MANEJO INTEGRADO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN ZONAS DE LADERA

PRESENTACIÓN

INTRODUCCIÓN

- 1 El problema.
- 2 El entorno agroecológico y socioeconómico.
- 3 El sistema de producción tradicional de granos básicos-ganadería de doble propósito en zonas de ladera.

MÓDULO 1: CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL TEMA

1. La importancia de los recursos naturales para la vida.
2. Manejo integrado de la fertilidad del suelo.

MÓDULO 2: MANEJO ADECUADO DE LOS RASTROJOS DE GRANOS BÁSICOS.

1. Objetivos del módulo.
2. Contenido del módulo.
3. Definición e importancia de los rastrojos.
4. Producción de rastrojos.
5. Mantenimiento de rastrojos.
6. Algunas estimaciones de costos y beneficios.
7. Análisis de factibilidad de adopción de las prácticas recomendadas.
8. Sostenibilidad.

MÓDULO 3: MANEJO DE LA FERTILIDAD EN LOS CULTIVOS DE GRANOS BÁSICOS.

1. Objetivos del módulo.
2. Contenido del módulo.
3. Importancia del manejo integrado de la fertilidad
4. La disponibilidad de nutrientes en los suelos de El Salvador.
5. Absorción y acumulación de nutrientes por los cultivos de granos básicos.
6. Dosis de nutrientes a aplicar.
7. Épocas de fertilización y ubicación de los fertilizantes.
8. Algunas relaciones sobre costo de fertilización y fertilizantes.
9. Análisis de factibilidad de adopción de las prácticas recomendadas.
10. Sostenibilidad.

LITERATURA CONSULTADA

GLOSARIO

PRESENTACIÓN

Uno de los problemas más serios que afecta la agricultura en El Salvador es el avanzado deterioro de los recursos naturales, especialmente en las zonas de ladera, en las que se asienta la mayoría de los pequeños productores y productoras agropecuarios.

En dichas áreas hay graves problemas de degradación de tierras y caída de la fertilidad del suelo, estimándose que un millón de manzanas se encuentran seriamente deterioradas. Consecuencias inevitables de esta situación son la pobreza rural y la inseguridad alimentaria que prevalecen en las zonas rurales.

De esta manera y tomando en cuenta la imperiosa necesidad de producir alimentos para una población ya numerosa, uno de los principales desafíos de El Salvador es el de mantener, recuperar y aumentar el potencial productivo de las tierras.

El Proyecto CENTA-FAO-Holanda "Agricultura Sostenible en Zonas de Ladera", el Proyecto de Desarrollo Rural para Chalatenango (PROCHALATE) y el Programa de Agricultura Sostenible en Laderas de América Central (PASOLAC), cada uno en su ámbito de acción, promueven el uso racional y rentable de los recursos naturales y el mejoramiento de los ingresos y condiciones de vida de la familia rural.

Considerando la necesidad de concertar esfuerzos para encarar con mayor probabilidad de éxito los graves problemas ya citados de deterioro de los recursos, baja rentabilidad agrícola y pobreza rural y dada la afinidad de propósitos existente, los proyectos antes mencionado suscribieron un acuerdo de colaboración en mayo de 1998 con la finalidad de intensificar y mejorar las acciones de transferencia tecnológica a pequeños productores y productoras, a través de la coordinación de esfuerzos en materia de comunicación y capacitación.

En el marco de la referida colaboración, los tres proyectos están produciendo, de manera conjunta, series de materiales para extensionistas y productores (as). Los primeros serán usados para reforzar y complementar la formación del personal de campo encargado de la transferencia tecnológica. Los segundos, para mejorar la eficiencia y ampliar la cobertura de las acciones de capacitación y extensión dirigidas fundamentalmente a los pequeños agricultores (as).

La acción conjunta ha ya demostrado sus ventajas. En efecto, ella ha permitido: integrar experiencias y conocimientos en función de elaborar productos de riqueza y calidad mayor a la que se hubiese logrado separadamente; consensuar criterios y, como resultado de ello, ofrecer propuestas técnicas unificadas; y, finalmente, ahorrar recursos financieros, particularmente en lo referente a la impresión de los materiales, ya que el costo por unidad se reduce a medida que aumenta el número de ejemplares.

Ejemplo de lo anterior es este manual del capacitador, el cual forma parte de una serie de materiales de comunicación sobre Manejo Integrado de la Fertilidad del Suelo en Zonas de Ladera. La serie sobre el tema cuenta, además de este manual, con rotafolios, guías y folletos. Cada uno de estos instrumentos ha sido diseñado para cumplir una función didáctica en el proceso de transferencia del conocimiento a extensionistas y productores (as).

Este manual ha sido posible gracias a un arduo trabajo en el que han participado especialistas en el tema, comunicadores, extensionistas y productores (as). Las alternativas técnicas contenidas en él han sido validadas por los proyectos. Se basan, por lo tanto, en la comprobación práctica y el conocimiento alcanzado por su personal técnico -investigadores, extensionistas y asesores- y los productores y productoras que las han aplicado en sus fincas para mejorar el manejo de sus tierras e incrementar la producción.

El esfuerzo tendrá justificación y validez en la medida en que la información refuerce y amplie el conocimiento de los extensionistas sobre el tema y, por sobre todo, llegue efectivamente y sirva a los usuarios finales: los productores (as). Por esta razón, los proyectos involucrados en esta iniciativa, junto con poner este manual a disposición del personal que realiza trabajo de extensión y capacitación agropecuaria, lo invita encarecidamente a darle pleno uso, compartiendo el conocimiento plasmado en estas páginas con los productores (as). De esta manera, el conocimiento generado podrá actuar como factor de desarrollo y contribuir a él.

INTRODUCCIÓN

1. El problema

La degradación de la tierra es identificada por los agricultores de las zonas de ladera de El Salvador con diferentes nombres. Unas veces ellos identifican causas; otras, solamente efectos o síntomas; y, aún en otras, indicadores de degradación. Sin embargo, siempre reportan aspectos relacionados a la degradación o, en otras palabras, a la pérdida de la calidad de la tierra para producir de forma económicamente rentable. Los agricultores se refieren a la degradación de la tierra como un problema de diferentes maneras, entre ellas, las siguientes:

- la tierra ya no produce como antes
- la tierra está cansada
- la tierra se lava
- los fertilizantes ya no responden como antes

En los años 1996-97, se realizaron diagnósticos rápidos participativos en 35 comunidades ubicadas en 26 municipios y 11 microcuencas hidrográficas de los Departamentos de Cabañas, Norte de Usulután y Morazán, mediante los cuales se obtuvo información agroecológica y socioeconómicas sobre un universo de cerca de 2.000 familias rurales de escasos recursos. Uno de los problemas más importantes identificados fue la degradación de la tierra en el sistema de producción de granos básicos asociados a la explotación ganadera de doble propósito, tanto a escala comercial como de subsistencia. En las 11 comunidades, el mencionado problema fue reportado entre los 3 ó 4 primeros en una escala de prioridad. Ello da una idea de su alto significado para la población local y su amplia dimensión geográfica, ya que el diagnóstico incluyó comunidades bastante alejadas entre sí, desde Cabañas hasta Morazán.

En efecto, a nivel del país, se trata de un problema de gran dimensión:

- **geográfica:** afecta por lo menos 650,000 mz, principalmente en las zonas de ladera;
- **social:** afecta entre 150,000 y 200,000 familias de pequeños y medianos productores;
- **económica:** la productividad promedio de los granos básicos en laderas se sitúa por debajo de los 20 qq/mz de maíz, 15 qq/mz de sorgo, 10 qq/mz de frijol y 5 botellas diarias de leche por vaca. La degradación de la tierra, asociada a otros aspectos, es una limitante para el aumento de los niveles de productividad y rentabilidad del sistema de producción;
- **ambiental:** la presencia de erosión hídrica y la caída de los niveles de fertilidad del suelo son los parámetros más perceptibles.

2. El entorno agroecológico y socioeconómico

Un 65% del territorio salvadoreño se caracteriza como zonas de ladera, con pendientes mayores del 15%. Los suelos, en estas condiciones, son generalmente delgados (profundidad < 50 cm), con diferentes niveles de rocosidad o pedregosidad interna que limitan el crecimiento pleno del sistema radicular de las plantas y reducen la capacidad de almacenamiento de agua. La precipitación promedio

anual a nivel nacional está en alrededor de 1.750 mm, fuertemente concentrada entre mayo y octubre. La distribución de la lluvia es relativamente errática, con una canícula entre julio y agosto que dura entre 7 y 25 días.

Aunque la fertilidad promedio de los suelos puede ser caracterizada entre media y alta, las demás condiciones anteriores hacen de la agricultura de ladera una actividad riesgosa desde el punto de vista de la producción y del ambiente. Se trata de un ambiente frágil, en donde la degradación del suelo y del agua, principalmente, puede ser muy acelerada, dependiendo del sistema de producción.

Los productores típicos de ladera cultivan áreas pequeñas de granos básicos por unidad familiar, con la producción destinada prioritariamente al autoconsumo y venta de posibles excedentes en los mercados locales, generalmente a través de intermediarios.

Las familias, en su mayoría, son numerosas. Existe un bajo nivel de alfabetización y escaso acceso a la información, asistencia técnica y crédito. El nivel tecnológico, por lo general, es bajo, producto de la falta de capacidad para invertir, la poca disponibilidad de tecnologías apropiadas, la baja capacidad para apropiarse de las tecnologías disponibles y/o el poco acceso a ellas.

Aproximadamente el 65% de los productores son propietarios de las tierras que siembran y el restante son arrendatarios. Normalmente, el "acuerdo" de alquiler no va más allá del ciclo del cultivo, lo que conlleva una relación más fuerte del agricultor con su cultivo y más frágil del agricultor con la tierra, que no es de su propiedad.

Lo anterior es un elemento que dificulta la adopción de prácticas orientadas a mejorar el suelo, principalmente aquellas cuyas respuestas sobre la producción ocurren a mediano y largo plazos. Este aspecto es abordado en detalle más adelante.

3. El sistema de producción tradicional de granos básicos-ganadería de doble propósito en zonas de ladera

El maíz y el frijol se caracterizan como los productos básicos de la alimentación de la población salvadoreña. El sorgo presenta igual importancia, pero indirectamente, a través de su utilización en la alimentación animal, principalmente aves, cerdos y el ganado vacuno. Anualmente, en el país son sembradas aproximadamente 667,000 mz de maíz, sorgo y frijol (Véase Recuadro 1).

Las áreas de cultivo varían entre 1 y 3 manzanas por productor, con mayor proporción de maíz y sorgo. Las áreas de frijol raramente sobrepasan 1 manzana por productor, excepto en algunas áreas típicamente frijoleras.

Un 60% del sorgo y un 80% del frijol son sembrados en asocio o relevo al maíz. Si se descuenta del área total de cada uno de estos cultivos las áreas que ocupan junto con el maíz, se llega a una superficie neta sembrada de aproximadamente 488,000 mz.

Cuadro 1: Áreas sembradas con granos básicos en El Salvador de 1980 a 1995, expresadas en valores promedios. Fuente: Anuarios Estadísticos de la DGEA (diversos años) y Ramos et al. (1993).

AREAS	CULTIVO			TOTAL
	Maíz	Sorgo	Frijol	
Área total sembrada (mz)	398831	177000	90971	666802
Área en asocio o relevo con el maíz (%)	xxx	- 60%	- 80%	xxx
Área neta sembrada (mz)	398831	70800	18194	487825

Tomando en cuenta que un 53% de los granos básicos son sembrados en condiciones de ladera, se puede estimar que unas 260,000 mz están sembradas en dichas condiciones.

Los diagnósticos también han demostrado que prácticamente el 100% de los pequeños y medianos agricultores de ladera siembran por lo menos uno de los granos básicos, y que el 45% de ellos posee ganado vacuno con un hato de 5,6 cabezas por productor ganadero. A partir de estos datos, se puede estimar que hay una equivalencia aproximada de 2,5 cabezas de ganado vacuno por productor de ladera ($45 \div 100 \times 5,6$), independiente si cada uno posee ganado vacuno o no. Lo anterior significa que para cada productor que siembra granos básicos en ladera existen potencialmente 2,5 cabezas de ganado que necesitan alimentarse durante todo el año.

Si se considera una carga animal promedio en las condiciones de ladera de 1 cabeza/mz, entonces, lo anterior equivale a 2,5 mz de área de pastoreo por productor de ladera. Todo lo anterior para estimar que el sistema de producción de granos básicos + ganadería de doble propósito alcanza aproximadamente unas 650,000 mz, ($260,000 \times 2,5$), el 22% del territorio nacional.

En las condiciones de laderas de El Salvador, el área de granos básicos se suma al área de "pastoreo" de los animales, caracterizando un solo sistema de producción, porque el ganado es alimentado durante gran parte del año con los rastrojos (biomasa y nutrientes) de los granos básicos, habiendo una interacción fuerte entre ambas áreas en términos de transporte de nutrientes, comportamiento del suelo y rentabilidad de ambos rubros.

Maíz

El calendario del sistema generalmente empieza en abril con la preparación del terreno para la siembra del maíz, cuya labor consiste en chapodas manuales y "quema" con herbicidas de contacto, generalmente Paraquat. Felizmente, debido a diferentes esfuerzos de divulgación y capacitación, la mayor parte de los agricultores ya no quema la vegetación de sus terrenos.

La siembra del maíz ocurre en mayo o cuando "emparejan" las lluvias. La mayoría de los agricultores siembra manualmente en el terreno sin labranza. Con la ayuda del huizute o del chuzo, abren hoyos cada 0,40 m entre posturas y 0,80 entre líneas, depositando 2 ó 3 semillas por postura. La semilla utilizada es el "chinaste" de la cosecha anterior, generalmente de baja calidad genética, debido a los cruces varietales, y bajo vigor al germinar.

La primera fertilización se hace a los 8 días de la siembra, aplicando el fertilizante al lado de arriba de las plantitas, sobre la superficie del terreno. La gran mayoría aplica la fórmula 16 - 20 - 0, pero hay quienes aplican sulfato de amonio o urea, ya en esta primera fertilización. La segunda fertilización se hace a los 30 días de la siembra, casi siempre con el sulfato de amonio.

Las dosis en cada caso son muy variables. A modo de indicación, se podría señalar que el promedio está en alrededor de 200 lbs/mz de fórmula y 200 lbs/mz de sulfato de amonio. Hay comunidades de escasos recursos en las que estos promedios bajan bastante y en las que muchos productores ni siquiera fertilizan. Las cantidades de nutrientes aportadas en las dosis señaladas son las siguientes:

	N	P (P205)	K	S
Primera fertilización	32 lbs	40 lbs	0	26 lbs
Segunda fertilización	42 lbs	0	0	48 lbs

El maíz empieza a ser cosechado como mazorca tierna a partir de finales de julio. Sin embargo, la mayor parte es doblado en agosto, al inicio de la maduración fisiológica (grano firme) y allí permanece en el campo secándose hasta ser tapizado en noviembre-diciembre, ya entrado el verano.

Sorgo (Maicillo)

El sorgo es un cultivo típico de postrema. La siembra ocurre generalmente entre finales de julio y agosto, pasada la canícula, en relevo al maíz doblado. También hay agricultores que siembran el sorgo mucho antes de la dobla del maíz, principalmente cuando utilizan variedades criollas. Por ello, podría considerarse un asocio, más que un relevo. El sorgo queda "esperando" y empieza a desarrollarse con más vigor a partir de la dobla, cuando aumenta la entrada de luz en la parte de abajo, cerca del suelo.

La mayoría de los agricultores siembra el sorgo manualmente, con la ayuda del huizute o del chuzo, abriendo hoyos cada 0,40 m, en las entrelíneas (calles) del maíz, en los que depositan entre 10 a 15 semillas por postura. La semilla utilizada es el "chinaste" de variedades criollas, aunque los agricultores empiezan a utilizar variedades mejoradas, como RCV, ISIAP-Dorado, Soberano, etc. En estos casos, lo recomendable es un número de semillas por postura mucho menor (3-5) y realizar la siembra en relevo después de la dobla del maíz o como un monocultivo.

Por lo general, los agricultores no fertilizan el sorgo. Supuestamente, el sorgo aprovecha en parte la fertilización del maíz. La cosecha y aporreo se hacen a partir de diciembre.

Hay agricultores que siembran el sorgo en monocultivo, tanto para la producción de granos como para la producción de forraje ("guateras"). En este caso, la preparación del terreno es idéntica a la

preparación para maíz. La siembra como "guate" generalmente es realizada más tarde (septiembre) y con elevada población de plantas, ya que el objetivo es forraje.

Frijol

El frijol es generalmente sembrado entre la última semana de agosto y la primera de septiembre, como monocultivo o en relevo al maíz, para que la cosecha sea realizada en el comienzo del período seco. Aunque, hay agricultores que siembran de primera (mayo-junio), la gran mayoría prefiere no correr el riesgo de una cosecha en el período lluvioso.

El frijol es sembrado manualmente, siempre con la ayuda del hizute o del chuzo, en hoyos abiertos cada 0,30 m entre posturas y 0,40 entre líneas, en los que se depositan 3 ó 4 semillas por postura. La semilla utilizada es el "chinaste", generalmente de baja calidad, debido principalmente a la presencia de enfermedades transmisibles por la semilla. Las variedades preferidas por los agricultores son las criollas de color rojo, principalmente el Rojo de Seda, de mejor aceptabilidad y precio en el mercado. Dada la susceptibilidad de las variedades criollas a diferentes tipos de mosaicos, los agricultores empiezan a aceptar otras variedades tolerantes o resistentes, tales como el CENTA-Cuscatleco y Rojo Salvadoreño 1 (DOR-482), entre otras.

Aunque muchos agricultores no fertilizan el frijol, aquellos que sí lo hacen aplican el fertilizante a los 8 días de la siembra, al lado de arriba de las plantitas, sobre la superficie del terreno. La gran mayoría aplica la fórmula 16 - 20 - 0. La segunda fertilización se hace a los 20 días de la siembra, casi siempre con sulfato de amonio.

Las dosis en cada caso son muy variables. A modo de indicación, se podría señalar que el promedio podría estar en alrededor de 100 lbs/mz de fórmula y 200 lbs/mz de sulfato de amonio. Las cantidades de nutrientes aportadas en estas dosis son las siguientes:

	N	P (P205)	K	S
Primera fertilización	16 lbs	20 lbs	0	13 lbs
Segunda fertilización	42 lbs	0	0	48 lbs

El frijol empieza a ser cosechado a partir del final de octubre hasta mediados de noviembre, conforme el ciclo de la variedad y la fecha de siembra. Cabe resaltar que la cosecha se realiza cuando la planta todavía tiene sus hojas verde-amarillentas. En este momento, se arranca toda la planta y se lleva fuera del área, en donde es secada y aporreada. Ello tiene implicación directa sobre la retirada de nutrientes por el cultivo, puesto que, al no retornar la chacha al terreno, el frijol retira del área todo el contenido de nutrientes que ha absorbido durante su ciclo. No recicla casi nada.

Ganadería

La pequeña ganadería de doble propósito, comercial o de simple subsistencia, hace parte del sistema de producción de granos básicos, puesto que los rastrojos de maíz y sorgo constituyen la principal fuente de alimentación para el ganado durante el período seco.

En este sentido, el ganado se incorpora al sistema de 3 maneras distintas:

- a. **“Pastoreo” (ramoneo) directo.** El ganado ramonea los rastrojos en el mismo terreno en donde han sido producidos. En este caso, los animales consumen los rastrojos (material orgánico y nutrientes) y pisotean bastante el suelo. Sin embargo, reciclan allí mismo una parte de los nutrientes y de la materia orgánica consumida, a través de las heces y orín. La otra parte de los nutrientes contenidos en los rastrojos sale del área como componentes de la carne, leche, etc.
- b. **“Pastoreo” (ramoneo) indirecto.** El ganado ramonea los rastrojos que son cosechados, transportados y suministrados en algún punto fuera del área en donde han sido producidos. En este caso, igualmente los animales consumen los rastrojos, pero no reciclan los nutrientes y la materia orgánica en la misma área. Practicamente todo el contenido de nutrientes de los rastrojos sale del área de producción de granos básicos, pero no necesariamente de la finca, puesto que el ganado defeca en las áreas de pasto o el productor puede utilizar el estiércol en cualquiera parte de la finca. Como ventaja, los animales no pisotean el suelo donde se siembra granos básicos.
- c. **Venta de rastrojos.** Es una variante del caso anterior (b), cuando el productor de granos básicos, al no poseer animales, vende los rastrojos a otros productores, con la consiguiente salida de la materia orgánica y de los nutrientes del área de producción de granos básicos y también de la finca.

Cabe señalar que los arrendatarios casi siempre dejan los rastrojos de sus áreas de producción a los propietarios de la tierra, como condición del acuerdo de alquiler. Estos alimentan su ganado durante el período seco o venden el rastrojo a otros ganaderos, si no tienen su propio ganado.

El área sin rastrojos pierde la fertilidad más rápidamente, perjudicando tanto a los propietarios, que pierden la calidad y el valor de sus tierras, como a los arrendatarios, que tienen cada vez tierras más pobres para producir sus alimentos. El problema afecta indistintamente tanto a propietarios como arrendatarios.

La mayor dificultad para concientizar a ambos sobre las necesidades de invertir más en prácticas orientadas al mejoramiento de la calidad del suelo es el corto período del acuerdo de alquiler. Si los acuerdos de alquiler fueran más extensos (3 ó 4 años, por ejemplo), los arrendatarios estarían más dispuestos a aplicar mejores técnicas de cultivo y el propietario a mantener al arrendatario que cuida bien su tierra.

Mientras los acuerdos de alquiler sigan siendo por períodos de cultivo, las prácticas recomendadas deberán ser de respuesta a corto plazo (que beneficien a los arrendatarios) y de corto o mediano plazo, en las áreas cultivadas por propietarios de la tierra.

Se mencionan algunas características generales de la ganadería dentro de este sistema de producción:

El hato es predominantemente "criollo", producto de encastes no controlados. El número promedio de cabezas/hato es reducido (5,6 cabezas por productor) y está compuesto por hembras, machos, terneros

y novillos de reposición y venta. En la ganadería de subsistencia el hato no pasa de 5 animales por familia.

La producción de leche es baja (promedio inferior a 5 botellas/vaca/día). Los demás índices zootécnicos y reproductivos también son poco favorables: edad al primer parto elevada, intervalo entre partos largo, período de lactación corto, edad al destace alta y peso al destace bajo, entre otros.

Los pastos disponibles son de baja calidad, aún durante el período lluvioso: generalmente se trata del jaraguá o sencillamente de hierbas y arbustos nativos o charrales. Durante el período seco, prácticamente no hay pasto (biomasa verde) disponible. Es entonces cuando los ganaderos hacen uso de los rastrojos de los granos básicos.

En estas circunstancias, aunque la carga animal sea baja (< 1 U.A./mz (1)) hay sobrepastoreo severo, lo cual contribuye de manera tangible a la degradación del suelo en las áreas de este sistema de producción (falta de cobertura vegetal, pisoteo, compactación, extracción de nutrientes mayor que la reposición), a la erosión hídrica y a la pérdida de suelo y nutrientes.

Todo lo anterior hace de este sistema de producción uno de los más importantes desde el punto de vista de la agricultura sostenible. Ocupa una gran área geográfica (dimensión geográfica), involucra a un gran número de familias (dimensión social) y es crucial para la seguridad alimentaria y el equilibrio social (dimensión social y económica). Además, presenta problemas severos de degradación de los recursos suelo y agua (dimensión ambiental).

1 U.A. – Unidad animal: equivale a un animal adulto de 900 lbs de peso vivo.

MODULO 1:

CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL TEMA

1. La importancia de los recursos naturales para la vida

Se podría decir que los recursos naturales son la fuente que posibilita la vida humana en el planeta. El suelo, el agua, el aire y la energía solar posibilitan la vida vegetal, la principal fuente de alimentos para la humanidad. Los animales se alimentan de las plantas y también de otros animales dentro de la cadena alimentaria. Ambos, plantas y animales, alimentan a la especie humana y también proveen la vestimenta (fibras, pieles y pelos), la vivienda (madera), la energía (leña), la higiene (agua, jabones), el placer (sombra, agua) y otros usos de importancia secundaria.

Los vegetales aún poseen la capacidad de actuar como un “regulador” ambiental, a través del proceso de fotosíntesis. Además, el manto vegetal actúa como un colchón amortiguador entre los elementos atmosféricos (lluvias, vientos, energía solar) y el suelo, factor que incide en el comportamiento del mismo suelo, la temperatura, la evapotranspiración y el almacenamiento del agua en el sistema suelo-vegetación, entre otros.

Se puede decir que los recursos naturales renovables consisten en: la atmósfera, el agua, la flora y fauna y el suelo con sus nutrientes. Los diferentes recursos naturales renovables se interrelacionan, generalmente de forma cíclica, como se refleja en el siguiente diagrama.

FIGURA 1: Diagrama sobre la interrelación entre los recursos naturales renovables. (Borrador en pág.siguiente)

1.1. La atmósfera

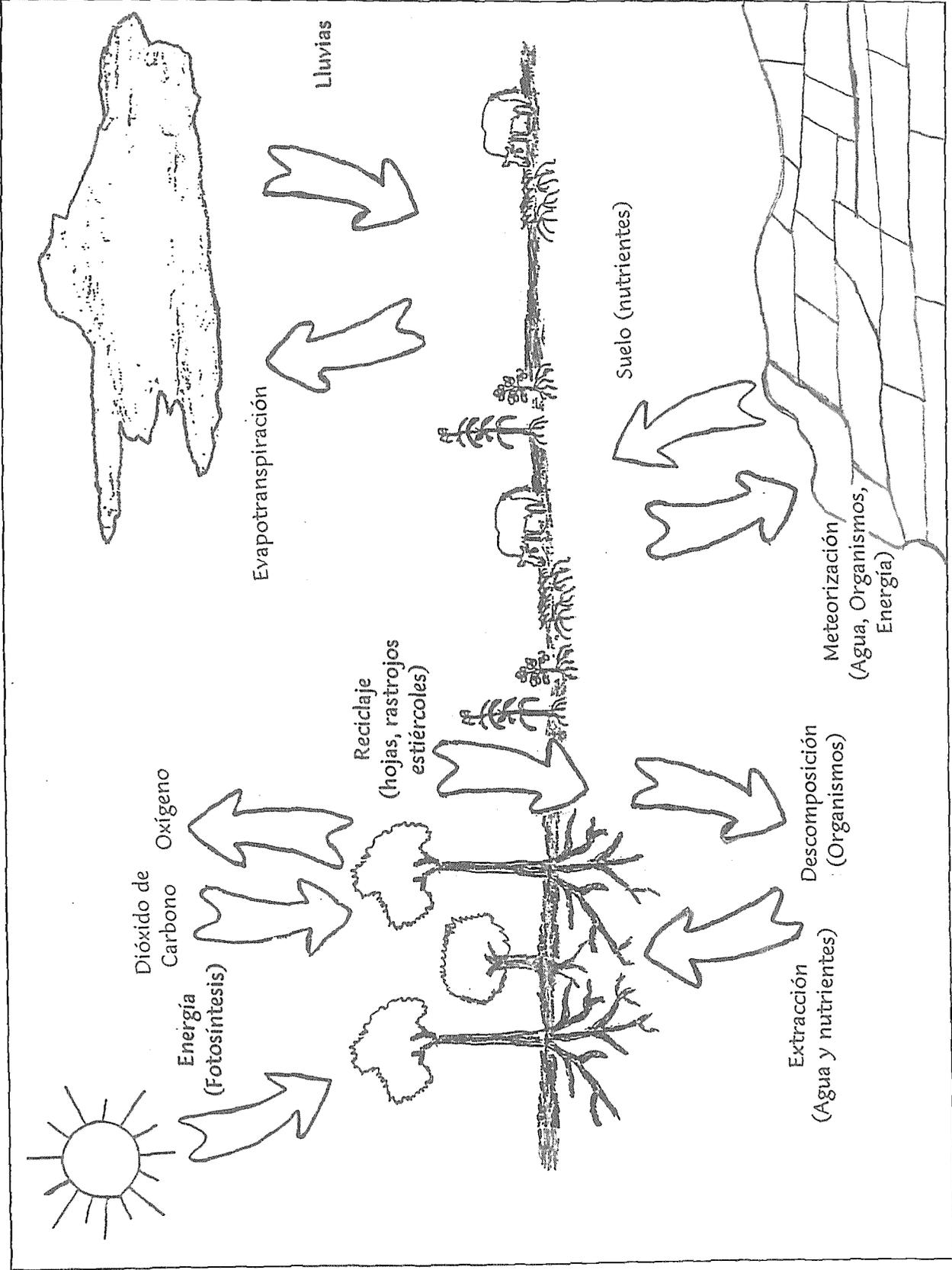
La atmósfera del planeta está constituida por diferentes elementos, en estado gaseoso:

Nitrógeno:	forma química de N_2 - 78,08%
Oxígeno:	forma química de O_2 - 20,94%
Argón:	forma química de A - 0,93%
Dióxido de Carbono (Gas o Anhídrido Carbónico):	forma química de CO_2 - 0,03%
Vapor de agua hasta 4% en volumen cerca del suelo (se reduce con la altitud).	

Otros gases también están presentes, aunque en fracciones ínfimas (Hidrógeno y Helio, por ejemplo). En la alta atmósfera está presente el Ozono (forma química de O_3) que cumple la importante función de filtro solar para los rayos ultravioletas.

El aire es un recurso que los seres vivientes necesitan para su metabolismo; el oxígeno es parte esencial del metabolismo de los animales y vegetales superiores. Sin oxígeno no pueden cumplir sus ciclos vitales. El dióxido de carbono es el insumo básico para la vida vegetal, a través del proceso de la fotosíntesis. El nitrógeno es un elemento indispensable para el crecimiento de las plantas.

Figura 1: Relaciones simplificadas entre los recursos naturales renovables.



1.2. El agua

El agua quizás sea el recurso natural más importante de que disponemos en el planeta por el riesgo de escasez en el corto plazo. El agua es parte de la estructura vegetal y animal, y participa en todos los procesos vitales.

El agua cumple diversas funciones importantes:

Parte de la estructura molecular y regulador del metabolismo de los seres vivos: Todos los organismos vivos poseen gran parte de sus tejidos (estructuras y plasma molecular, savia, sangre, etc.) constituido por agua, generalmente variando entre un 50 y un 95% de su peso total. La turgencia celular es mantenida por el agua. Por ejemplo, un hombre adulto posee cerca de 65% de su peso en agua; un fruto de tomate, alrededor de 95%; una planta de maíz verde, más de 70%, sus rastrojos, menos de 20%. Los seres vivos para cumplir sus funciones metabólicas dependen del agua (fotosíntesis, respiración, transpiración, digestión, circulación, entre otros).

Componente y vehículo en los procesos y/o reacciones bio-físico-químicas: Gran parte de las reacciones de naturaleza física, química o biológica, así como las reacciones interactivas/combinadas entre estos procesos, que ocurren en la naturaleza, tanto a nivel del ambiente como del metabolismo de los seres vivos, tienen el agua como componente (parte de la reacción) o como medio/vehículo para que la misma pueda ocurrir (diluyente).

Regulador de procesos ambientales: El agua en la naturaleza cumple un importante papel regulador de la temperatura del ambiente. Debido a su elevado calor específico, necesita elevada cantidad de energía para cambiar su temperatura, tendiendo a "calentar" un ambiente más frío que ella o "refrescar" un ambiente más caliente. Con temperaturas y humedades más constantes, todos los procesos de naturaleza biológica tienden también a mantenerse más constantes. El agua presente en la atmósfera tiende a regular la energía solar que llega a la superficie de la tierra y los niveles de evapotranspiración de los vegetales, entre otros.

El comportamiento del agua en una determinada zona está íntimamente ligado a las características de diferentes elementos de la misma. Si se considera la cantidad de lluvia como un factor relativamente constante a lo largo del tiempo (los promedios anuales, por ejemplo, se mantienen a mediano plazo), la cantidad de agua "aprovechable" en el proceso de producción y sobrevivencia de las especies animales y vegetales (aguas superficiales y subsuperficiales económicamente extraíbles), está fuertemente determinada por:

- las características de permeabilidad y almacenamiento del sustrato (capas interiores bajo el manto de suelo);
- la estructura, porosidad, permeabilidad, almacenamiento y profundidad del suelo;
- el relieve, como elemento del paisaje; y
- la densidad, composición y estratos de la cubierta vegetal.

1.3. La flora y la fauna

La flora y la fauna silvestre tomadas como recursos presentan funciones importantes sobre el comportamiento de los demás recursos naturales y sobre las posibilidades de sobrevivencia de la especie humana sobre el planeta.

Capa protectora-amortiguadora entre la atmósfera y el suelo: La cubierta vegetal que propicia la flora sirve como una capa que amortigua la inclemencia de los elementos climáticos (lluvia, vientos, radiación solar) sobre el suelo y el agua. Además, a través de la fotosíntesis produce moléculas orgánicas (tejido vegetal) que posteriormente posibilitan la vida meso y microbiológica en el suelo. Los vegetales logran captar el CO₂ de la atmósfera a través de su superficie foliar. A nivel de las moléculas de clorofila, en presencia de luz (energía luminosa) y agua, el CO₂ es reducido a sintetizados carbónicos primarios, que a través de algunas reacciones bio-químicas, dan origen a moléculas orgánicas (carbohidratos, azúcares), las cuales son la fuente primaria de energía química para las plantas y, en secuencia, para los animales.

De manera muy resumida, la fotosíntesis puede ser representada por la siguiente fórmula:

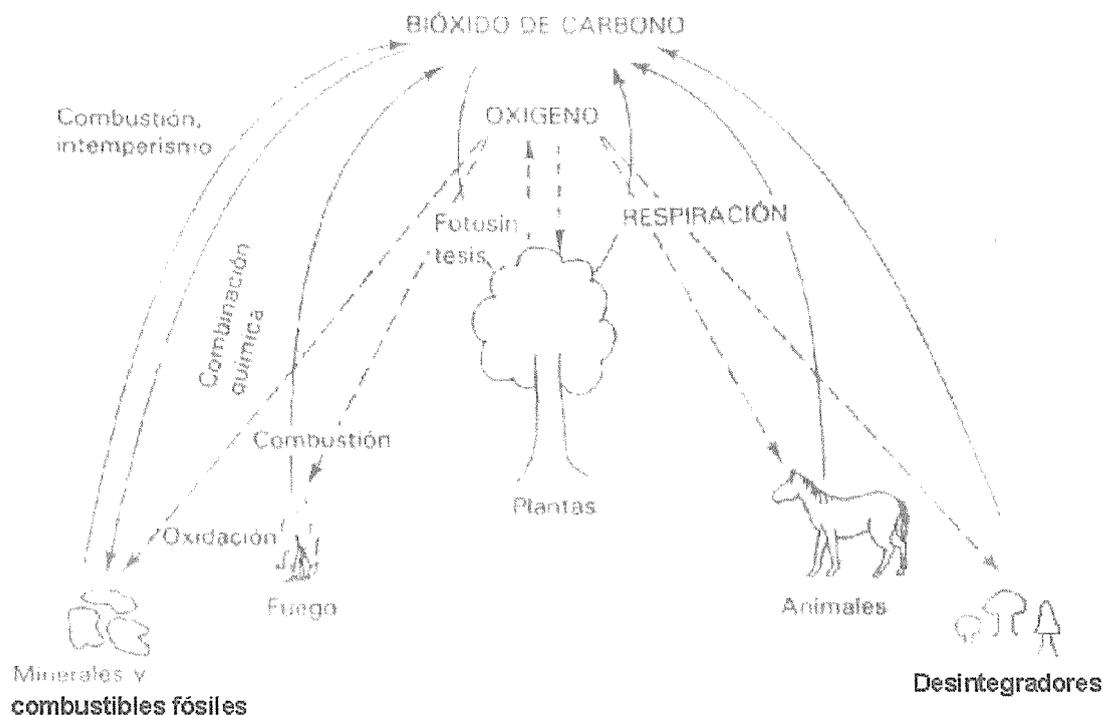


El proceso de fotosíntesis involucra tres aspectos fundamentales para la sobrevivencia en el planeta:

- Transforma energía luminosa, no aprovechada por los animales, en energía química (carbohidratos y después aminoácidos y proteínas), que en esta forma puede ser aprovechada por las especies animales.
- Transforma el carbono mineral (CO₂) en carbono orgánico (CH₂O), lo cual entra en la cadena de reciclaje en el suelo, una vez terminado el ciclo de vida del tejido vegetal.
- Consume CO₂ de la atmósfera y libera O₂, contribuyendo a mantener el equilibrio de uno y otro gas. Se sabe que el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera contribuye al efecto invernadero.

En la siguiente figura, se presentan los ciclos del oxígeno y bióxido de carbono.

FIGURA 2: Ciclos del oxígeno y bióxido de carbono (Fuente: Vickery, 1991).



Producción y descomposición de la materia orgánica y reciclaje de nutrientes: Las plantas absorben los nutrientes del suelo y al completar su ciclo retornan al suelo donde el material orgánico es “atacado” por los meso y microorganismos, liberando los nutrientes de las estructuras orgánicas y poniéndolos nuevamente a disposición de las plantas. Este proceso posibilita la vida meso y microbiana en el suelo.

Diversidad genética: La flora y la fauna silvestre son un inmenso reservorio de genes y sus combinaciones, una fuente inagotable de variabilidad que podrá ser aprovechada para los procesos de mejoramiento genético orientados al logro de mayor productividad, resistencia y control de plagas y enfermedades, tolerancia a baja fertilidad, entre otros. Gran parte de la riqueza genética que representa la flora y la fauna silvestre todavía está por conocerse.

1.4. El suelo

Como suelo se entiende la capa superficial meteorizada que cubre la superficie del globo terrestre, donde es posible el crecimiento de las plantas. Esta capa de suelo requiere millones de años para formarse. El

suelo actúa como un sostén físico (anclaje y amarre) y fisiológico de las plantas (nutrientes y agua). Está constituido por material orgánico (organismos vivos, residuos vegetales y animales, raíces), material inorgánico (partículas rocosas, cenizas volcánicas, minerales primarios y secundarios y nutrientes), los cuales caracterizan la parte sólida del suelo. También el aire y el agua son constituyentes del suelo, los cuales ocupan alternadamente los vacíos intersticiales (poros) del suelo.

El suelo, además, cumple las importantes funciones de reservorio inicial para la recarga de los acuíferos y de filtro ambiental, a través de la absorción y/o desagregación de radicales orgánicos o inorgánicos contaminantes.

La formación del suelo es compleja. En ella interactúan estrechamente procesos inorgánicos y orgánicos. La roca madre es lentamente meteorizada a través de procesos físicos, químicos y biológicos. En la medida que los nutrientes van siendo liberados y una capa meteorizada puede posibilitar cierto almacenamiento de agua y sostenimiento para las raíces, plantas superiores pueden desarrollarse y acelerar el proceso de formación del propio suelo, a través del proceso de reciclaje de material orgánico y nutrientes y consecuente aumento de la actividad biológica.

A este proceso general se suman otros procesos no autóctonos de formación de perfiles de suelo, como son los aluviones, erupciones de cenizas volcánicas, etc. Sin embargo, estos materiales no autóctonos están sujetos al mismo proceso de formación, una vez depositados.

Las plantas absorben nutrientes presentes en el suelo y los incorporan a sus tejidos. Al morir, son descompuestas por los organismos vivos del suelo, produciéndose así un reciclaje de los nutrientes absorbidos, los cuales retornan nuevamente al suelo.

La formación de materia orgánica a través del crecimiento vegetal y su posterior reciclaje en la superficie, posibilita la formación de horizontes superficiales del suelo (O y/o A), con mayor contenido de materia orgánica y nutrientes, como una regla general, que los horizontes subsuperficiales. Los horizontes superficiales generalmente ofrecen mejores condiciones físicas para la labor agrícola y el crecimiento de los cultivos.

Es importante considerar y cuidar el suelo como un "ser vivo", puesto que tanto su formación como sus propiedades y características a lo largo del tiempo están íntimamente ligadas al balance y comportamiento de los procesos inorgánicos y orgánicos allí presentes.

1.4.1 Los componentes inorgánicos del suelo

Agua

En el suelo, el agua posibilita el desarrollo radicular y la solubilización de los nutrientes, su transporte y absorción por las raíces. La capacidad del suelo de almacenar agua depende de sus propiedades y características, tales como: contenidos de materia orgánica, textura (contenidos de arcilla, limo y arena), tipo de estructura y porosidad, transmisión de calor en el perfil, conductividad hidráulica y profundidad del perfil, entre otras.

Aire

La presencia de oxígeno como componente del aire en la zona radicular es una condición determinante para que haya crecimiento de las raíces y absorción de nutrientes. Todas las transformaciones de naturaleza bioquímica que ocurren en el suelo (vida macro y microbiana, los procesos de transformación de la materia orgánica, entre otros) dependen de la disponibilidad y composición del aire del suelo. La disponibilidad del aire en el suelo depende del volumen y distribución de los poros, del intercambio de aire entre atmósfera y suelo y del contenido de agua del suelo.

El agua y el aire ocupan la parte porosa del suelo (vacíos), la cual es de un 40-60% de su volumen total, como un promedio general. El suelo, cuando está saturado, posee prácticamente 100% de su volumen poroso lleno de agua (solución del suelo) y, cuando está seco, 100% lleno de aire. Por sus propiedades físicas, el agua y el aire amortiguan las fluctuaciones de temperatura en el perfil del suelo.

Minerales

Se consideran como fracción mineral del suelo el material grueso (cascajos); las partículas finas, arena, limo y arcilla, en orden decreciente de tamaño; los compuestos inorgánicos y los iones libres, ya sean nutrientes o no.

La proporción entre arena, limo y arcilla determina la textura del suelo. La textura, juntamente con otras propiedades y características, tales como el tipo y grado de estructura y el contenido de materia orgánica, definen la distribución de poros en el perfil de suelo y, en gran medida, la capacidad de almacenamiento de agua y su disponibilidad para las plantas.

1.4.2 Los componentes orgánicos del suelo

Materia orgánica

La fracción orgánica del suelo está formada por todos los compuestos de origen biológico presentes. Los tejidos vegetales y animales muertos, en sus diversos estados de descomposición y tipos de compuestos, se puede entender como materia orgánica del suelo.

La materia orgánica del suelo podría ser “clasificada”, para fines de divulgación, en:

- **humus bruto:** tejidos muertos de los diferentes organismos anteriormente citados, no descompuestos y/o en diferentes estados de descomposición y transformación (rastros, estiércoles, pulpas, residuos diversos, entre otros).
- **humus:** fracción compleja formada por compuestos más o menos estables, difícilmente mineralizables, productos “finales” de la descomposición de los materiales orgánicos.

La materia orgánica es de importancia fundamental para la producción agrícola. Algunos aspectos sobre este punto son presentados a continuación:

- Se considera que la materia orgánica tiene, en promedio, una Capacidad de Intercambio de

Cationes (CIC) por lo menos 10 veces superior a la que tienen las arcillas. Se calcula que más del 70% de la CIC de los suelos tropicales se debe a la materia orgánica.

- La materia orgánica posee la capacidad de retener más agua que su propia masa.
- La materia orgánica ejerce efectos beneficiosos sobre la estructura del suelo, lo cual mejora el comportamiento físico del mismo:
 - * Se tiende a mejorar la estabilidad de los agregados, haciendo el suelo más friable, más resistente a la compactación y más suave para el laboreo.
 - * El volumen poroso tiende a aumentar, lo cual mejora su capacidad de retención de agua y/o aireación. Además, tiende a disminuir la fluctuación de la temperatura en el suelo.
- La materia orgánica facilita los procesos de transformación y actúa como tampón (regulador o "buffer"), manteniendo los equilibrios químicos y biológicos en el suelo.
- Como consecuencia de todos los puntos anteriores, la materia orgánica tiende a favorecer el crecimiento radicular de las plantas.

Cabe señalar que las mencionadas son condiciones generales. Hay también condiciones específicas en las que la materia orgánica no ayuda mucho, por lo menos desde el punto de vista nutricional. Los suelos de altitud, por ejemplo, suelen ser más ricos en materia orgánica, por las condiciones de temperatura más templada. Sin embargo, debido a la materia orgánica acumulada durante miles de años, muchas veces son suelos ácidos y los altos contenidos de materia orgánica exigirán más cantidades de correctivos (cal, por ejemplo).

Organismos

En el suelo se encuentran organismos vivos que desarrollan en él toda su actividad biológica (reproducción, crecimiento, alimentación, deposición y muerte). Para cumplir con sus necesidades vitales, los organismos del suelo intervienen, afectan o se interrelacionan estrechamente con las demás fases:

- Actúan sobre la meteorización de la roca madre, liberando minerales para el suelo (efecto de muy largo plazo);
- Utilizan la materia orgánica bruta del suelo como fuente de alimentos, produciendo como resultado estados moleculares más simples y estables, liberando nutrientes para la solución y afectando positivamente la estructura del suelo;
- Participan directamente en algunos procesos de disponibilidad y absorción de nutrientes (fijación de N, absorción de P);
- Presentan actividad respiratoria que interviene directamente sobre la composición de la fase gaseosa del perfil;

- Al moverse, forman macroporos, canales y galerías, lo cual mejora la aireación, la infiltración de agua y el crecimiento de las raíces. Además, transportan materia orgánica y nutrientes dentro del perfil.

Bajo las condiciones naturales, las poblaciones de organismos en el suelo cumplen funciones específicas dentro de la cadena alimentaria y tienden a estar en un estado de equilibrio dinámico.

La utilización agrícola del suelo de por sí representa una quiebra del equilibrio natural. Aún más, cuando la utilización se hace con prácticas inadecuadas, el desequilibrio puede provocar, de forma más rápida e intensa, el crecimiento de la población de algunas de las especies de organismos del suelo, transformándola en una población dañina al cultivo de interés comercial.

Raíces

Las raíces forman parte de la fase viva del suelo e intervienen de diversas maneras en el perfil:

- En el proceso de absorción de nutrientes, exudan sustancias que ayudan a mejorar la estructura del suelo;
- Por su crecimiento y pudrición forman macroporos y agregan materia orgánica al suelo.
- Forman parte integral de los ciclos de nutrientes, por la absorción y transporte de éstos hacia otras partes de la planta.

En resumen, se puede decir que el suelo debe ser entendido como un sistema, en donde los componentes y procesos se desarrollan de manera interrelacionada, en el cual el comportamiento de uno es decisivo para la calidad del todo. Un cambio en uno de los componentes causará cambios en el sistema.

1.5. Los nutrientes

El suelo actúa como un reservorio de nutrientes para las plantas. Dichos nutrientes están presentes en la fracción inorgánica y orgánica del suelo, tanto en forma disponible como no disponible. Como elementos disponibles para las plantas, los nutrientes se encuentran adsorbidos (enlazados químicamente) a las arcillas y la materia orgánica, en equilibrio dinámico con la solución del suelo.

1.5.1 Los nutrientes y sus principales funciones en las plantas

Las plantas para crecer y reproducir necesitan de ciertos elementos minerales que extraen del suelo: los nutrientes. Estos nutrientes son considerados el “*alimento de las plantas*”. Cada nutriente cumple papeles específicos dentro de la planta: unos son parte de la estructura de los tejidos; otros participan en las reacciones y procesos, actuando como iones activadores y transportadores en la fotosíntesis, los ciclos de producción de energía, la elaboración de la savia, la absorción de los mismos nutrientes, etc.

Según las cantidades promedio requeridas y absorbidas por las plantas, los nutrientes son divididos en macronutrientes y micronutrientes.

Macronutrientes:

Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S).

Micronutrientes:

Boro (B), Cloro (Cl), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Niquel (Ni) y Zinc (Zn).

Los macronutrientes son aquellos que las plantas normalmente necesitan en mayores cantidades. Los micronutrientes, en cambio, son aquellos requeridos en pequeñas cantidades, aunque su importancia es fundamental para que ocurran todos los procesos ligados al crecimiento y reproducción.

Los elementos citados son considerados los nutrientes esenciales, es decir, no pueden ser substituidos por otros elementos y sin ellos las plantas no logran completar su ciclo de vida. Hay otros elementos que son absorbidos por las plantas, pero que no son considerados como nutrientes esenciales. Entre ellos está el Sodio (Na) y el Silicio (Si). Igualmente, toda planta presenta grandes cantidades de Oxígeno (O), Hidrógeno (H) y Carbono (C), además de agua, en su estructura, sin que estos elementos sean considerados propiamente nutrientes, aunque sí una condición primaria para la existencia de la propia planta.

De manera muy resumida, a continuación se describen las funciones de los principales nutrientes para las plantas, principalmente aquellos que, por su naturaleza, son requeridos en mayores cantidades (macronutrientes) y/o que representan mayores riesgos de deficiencia y/o toxicidad.

Nitrógeno (N): Es un nutriente esencial para la formación de los aminoácidos y la síntesis de proteínas en las plantas. Es responsable en gran parte por el crecimiento y el verde intenso de las hojas. Estimula la formación y desarrollo de las yemas florales y frutíferas, así como favorece el macollamiento y el desarrollo vegetal.

Fósforo (P): El P es un nutriente esencial para el ciclo de producción de energía dentro de la planta (ATP, ADP y ATPase). Está ligado a los mecanismos de producción de carbohidratos, lípidos y proteínas. Acelera la maduración de los frutos. También es importante porque estimula el crecimiento del sistema radicular. Es conocido que el P ayuda la fijación simbiótica del N.

Potasio (K): El K es un nutriente esencial en muchas de las reacciones y procesos del metabolismo vegetal. Está involucrado en la fotosíntesis, en la respiración y en el aprovechamiento del agua por las plantas, siempre como un ión activador de estos procesos. Su presencia está ligada a la resistencia de los tallos de las plantas y, aparentemente, a la resistencia de las plantas a ciertas enfermedades y a la sequía. Estimula el macollamiento, el cuajado de los granos y el almacenamiento de azúcares y almidones.

Calcio (Ca): El Ca es un nutriente que tiene como principal función participar en la estructura

de la membrana celular. También está involucrado como un activador enzimático. Su presencia está ligada al funcionamiento de las membranas celulares y la absorción iónica. Estimula el crecimiento de las raíces, auxilia la fijación simbiótica del N y ayuda a cuajar las flores.

Magnesio (Mg): El Mg participa en la estructura vegetal como el ión central del núcleo de la molécula de clorofila. También participa en reacciones ligadas a la absorción iónica, fotosíntesis, respiración, almacenamiento de energía y otros procesos metabólicos. Ayuda al P a cumplir sus funciones.

Azufre (S): El S es parte de la estructura de algunos aminoácidos, proteínas, enzimas y vitaminas. Funciona también como un activador enzimático. Participa en los procesos de fotosíntesis, respiración, síntesis de proteínas y grasas. Favorece la vegetación y la fructificación. Ayuda la fijación simbiótica de N.

Micronutrientes: Los micronutrientes cumplen funciones diversas dentro de la planta. Algunos son parte de la estructura, en complejos como los fenoles, carbohidratos, lípidos, vitaminas, aminoácidos y proteínas (B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn) y trabajan como iones activadores de reacciones y procesos. Otros cumplen solamente esta última función (Mo, Ni, Zn). Sin embargo, son tan importantes como los otros, puesto que sin ellos no se puede completar el ciclo vital de la planta.

1.5.2. El ciclo de nutrientes

En un sistema que involucra los componentes suelo-planta-animales, dentro de un área geográfica determinada (parcela, finca, zona, país, etc.), existe un movimiento continuo de nutrientes entre estos componentes. Dicho movimiento de nutrientes puede ser clasificado en: entradas al sistema, reciclaje dentro del sistema y salidas del sistema.

Las **entradas** son un **aporte** al sistema, es decir, una adición, sumatoria o contribución de nutrientes desde afuera hacia dentro del sistema. La fuente de nutrientes, en este caso, está fuera del sistema.

El **reciclaje** es el **retorno** de los nutrientes que de alguna manera salieron del sistema o se movieron dentro de él, al sitio de donde fueron retirados. En el reciclaje no hay adición, sino el retorno de los nutrientes retirados al sitio de donde salieron. El reciclaje se da a través del aprovechamiento de los residuos de la producción, los cuales contienen parte de los nutrientes retirados del suelo.

Las **salidas** son la **retirada** de nutrientes de un determinado sistema, tanto a través de la extracción por las plantas y posterior consumo o venta de los productos, como a través de la pérdidas de nutrientes por erosión, lixiviación, volatilización, etc.

Para evaluar las entradas, reciclajes y salidas de un sistema, hay que definir su ámbito o dimensión (el ámbito de la planta, de una parcela dentro de una finca, de toda la finca, etc.).

a. Entradas de nutrientes al sistema suelo-planta-animales

Primariamente, los elementos minerales que son nutrientes de las plantas están presentes como parte de

la estructura cristalina o amorfa de las rocas. El nitrógeno, en cambio, está presente principalmente en la atmósfera como un gas.

Con el proceso de meteorización de las rocas y su transformación en suelo, los nutrientes pasan a ser parte de los minerales de arcilla (minerales en forma de láminas de menos de 0,002 mm). Los nutrientes son parte de la estructura de las arcillas y también quedan adsorbidos a ellas en formas intercambiables con la solución del suelo, de donde pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas. Obviamente, los nutrientes también hacen parte de la estructura de las demás partículas finas del suelo, silt (limo) y arenas. Sin embargo, tal como en las fracciones más gruesas (cascajos), los nutrientes allí contenidos no están “libres” para ser absorbidos por las plantas. Ellos necesitan primero que estas estructuras se meteoricen.

Las áreas que son susceptibles a inundaciones reciben entradas de nutrientes a través de la sedimentación de material fino de suelo (arcillas y materia orgánica), erosionado en otras partes.

En el caso del nitrógeno, a través de las lluvias (descargas eléctricas), el elemento presente en el aire es incorporado al suelo, en formas químicas que pueden ser absorbidas por las plantas. La fijación microbiana, en el caso de las plantas leguminosas, también incorpora el nitrógeno atmosférico a la biomasa vegetal. En ambos casos, el nitrógeno atmosférico pasa a ser parte del complejo suelo-planta.

La otra forma de añadir nutrientes al suelo es a través de la aplicación de materiales ricos en nutrientes. Ellos pueden ser de naturaleza inorgánica (abonos minerales) u orgánica (estiércoles, residuos, compost). Cabe señalar que los fertilizantes minerales (químicos) son productos de yacimientos mineros y transformaciones industriales, mientras que los abonos orgánicos son productos del mismo suelo agrícola. La aplicación de abono orgánico se puede considerar una entrada al sistema que lo recibe, pero hay que considerarlo una salida del otro sistema que lo produjo.

b. Reciclaje de nutrientes dentro del sistema suelo-planta-animales

En el corto y mediano plazos, las plantas reciclan los nutrientes absorbidos. Los cultivos absorben los nutrientes que pasan a ser parte integrante de su estructura (hojas, tallos, raíces, granos, etc.). Sus rastrojos, que son dejados en el terreno, se descomponen a través de la acción de los diferentes organismos vivos allí presentes y los nutrientes contenidos en ellos vuelven al suelo, los cuales pueden ser absorbidos nuevamente por nuevas plantas, reiniciando el ciclo.

Las plantas también sirven de alimento para los animales y humanos. Los nutrientes de las plantas son transferidos a éstos, que, al excretar o morir, devuelven los nutrientes al suelo reiniciando el ciclo.

En este proceso continuo y dinámico, una gran porcentaje de los elementos que son nutrientes de las plantas están contenidos en la materia orgánica del suelo [restos de plantas, hojarasca, rastrojos de cultivos, estiércoles (materia orgánica no descompuesta), humus (complejo orgánico ya descompuesto y relativamente estable), y tejidos de organismos vivos y muertos, etc.], como parte de sus estructuras moleculares o adsorbidos en formas intercambiables con la solución del suelo.

A excepción de una parte del nitrógeno, los elementos nutrientes contenidos en la materia orgánica producida y devuelta en un determinado lugar son nutrientes reciclados en el sistema y, por lo tanto, no

deben ser considerados como entrada o aporte.

En el caso del nitrógeno, el aporte puede ocurrir a través de la fijación del N directamente de la atmósfera por las bacterias fijadoras de N, las cuales actúan en asociación simbiótica con las plantas de la familia de las leguminosas. Se estima, sin embargo, que no todo el nitrógeno de las leguminosas es aportado al sistema a través de la fijación bacteriana. Una parte del nitrógeno es absorbido directamente del suelo, del N que ya está en el sistema. El complejo planta leguminosa-bacteria posee diferentes capacidades o eficiencias para la fijación del nitrógeno atmosférico. Es muy eficiente, por ejemplo, en la soya, en la cual prácticamente no se necesita de otros aportes de N (cuando se realiza la inoculación de la bacteria en la semilla). En cambio, es poco eficiente en el frijol, en el cual el aporte de N por esta vía es muy escaso, desde el punto de vista práctico-económico.

c. Salidas de nutrientes del sistema suelo-planta-animales

La vía más significativa y permanente de salidas de nutrientes del sistema es a través de las cosechas de los productos de la finca. De manera general, se puede estimar que el 40% de los nutrientes absorbidos por los cultivos se concentra en las estructuras reproductivas (semillas y frutos), las cuales son cosechadas y exportadas del sistema. Los nutrientes de la leche, carne y huevos contienen los nutrientes que han sido extraídos del suelo por las plantas y, luego, consumidos como forrajes, granos o concentrados. En todos los casos, los nutrientes extraídos del suelo y almacenados en los productos de cosecha, son sacados del área de producción, como parte integrante de dichos productos. Cuando se trata de cosecha de plantas enteras (tallos + hojas + estructuras reproductivas), tal como ocurre con la caña de azúcar, el sorgo forrajero (ensilaje o guate), pasto para heno, etc., la cantidad de nutrientes sacados del área es más grande y, en consecuencia, el reciclaje hacia el suelo es menor.

En los cuadros 2 y 3, se presentan ejemplos de extracción y acumulación de nutrientes del suelo en frijol y maíz.

Cuadro 2: Ejemplo de acumulación de N-P-K en tejidos de frijol, para un rendimiento de granos de 13,5 qq/mz. Adaptado de Gallo & Miyasaka (1961).

Partes de la planta	Cantidad acumulada en los tejidos (libras/mz)					
	N	%	P	%	K	%
Raíces	7,5	42,3	0,3	51,4	4,2	69,9
Tallos	11,9		0,7		14,2	
Hojas (*)	4,0		1,2		8,5	
Vainas	11,0		1,5		15,6	
Granos	46,8	57,7	3,5	48,6	18,3	30,1
TOTAL	81,2	100,0	7,2	100,0	60,8	100,0

(*) Excepto las hojas caídas antes de la cosecha.

Cuadro 3: Ejemplo de extracción de N-P-K del suelo por el maíz, para un rendimiento de 117 qq/mz de tallos y hojas y 96 qq/mz de granos. Adaptado de Muzilli et al. (1991).

Partes de la planta (*)	Cantidad acumulada en los tejidos (libras/mz)					
	N	%	P	%	K	%
Tallos y hojas	105	42	23	44	137	81
Granos	145	58	29	56	32	19
TOTAL	250	100	52	100	169	100

(*) No se han considerado los nutrientes extraídos y almacenados en las raíces del maíz.

En estos dos ejemplos, un 45% de los nutrientes N-P-K extraídos del suelo por el frijol y el maíz se acumula en los granos y es cosechado. Como se trata de meros ejemplos puntuales, sus valores deben ser tomados con cautela. Sin embargo, ellos se aproximan al porcentaje promedio de nutrientes que generalmente es cosechado y exportado del sistema.

Cabe señalar que existen grandes variaciones entre los nutrientes. El potasio, por ejemplo, queda en un 70% y 81% en los rastrojos de maíz y frijol, respectivamente. Ello significa que, si dejamos los rastrojos en el suelo, las necesidades de reposición de potasio serán mínimas.

Cuanto mayor es el rendimiento de granos cosechados, las cantidades de nutrientes extraídas del suelo tienden a ser más grandes, puesto que las concentraciones de nutrientes en los granos, por especie, tienden a ser relativamente constantes. Esto conlleva a la conclusión de que, cuanto mayor el rendimiento de un cultivo, tienden a ser más grandes las retiradas de nutrientes del suelo y, por lo tanto, mayores serán las necesidades de reposición.

Después de la cosecha, la erosión hídrica es, quizás, el mecanismo de salida de nutrientes más importante en las zonas de ladera, pues es un proceso selectivo en el que la fracción de suelo que se pierde es la más fina (arcilla y materia orgánica) y superficial (horizontes O y A), exactamente aquella más rica en nutrientes.

La lixiviación de nutrientes es el proceso de lavado interno del perfil por el agua, donde los nutrientes bajan a profundidades donde las raíces de las plantas ya no los alcanzan. Este proceso de pérdida puede

ser particularmente importante para aquellos nutrientes más móviles como el N, S y K.

La volatilización es otro proceso de salida de nutrientes del sistema. Puede ser de naturaleza biológica, cuando en los procesos de descomposición y mineralización, nutrientes como el N ó S pasan por formas químicas volátiles (NO, N₂O, NO₂, SO₂) y se pierden hacia la atmósfera como gases. También, la quema de las plantas produce la volatilización de N y S, principalmente. Además, en la quema se pierde el carbono orgánico, principal componente de la materia orgánica, cuya importancia en el suelo ya fue mencionada. La ceniza resultante es rica en algunos nutrientes (K, Ca, Mg y P, principalmente), porque concentra los nutrientes no volátiles que antes contenían las plantas. Por eso, los agricultores ven en la quema una manera de abonar sus tierras, aunque a largo plazo los perjuicios (pérdida de N y S, destrucción de la materia orgánica, favorecimiento de la erosión, etc.), son mayores que los beneficios de esta práctica (reciclaje de algunos nutrientes de forma rápida y limpieza barata y fácil del terreno).

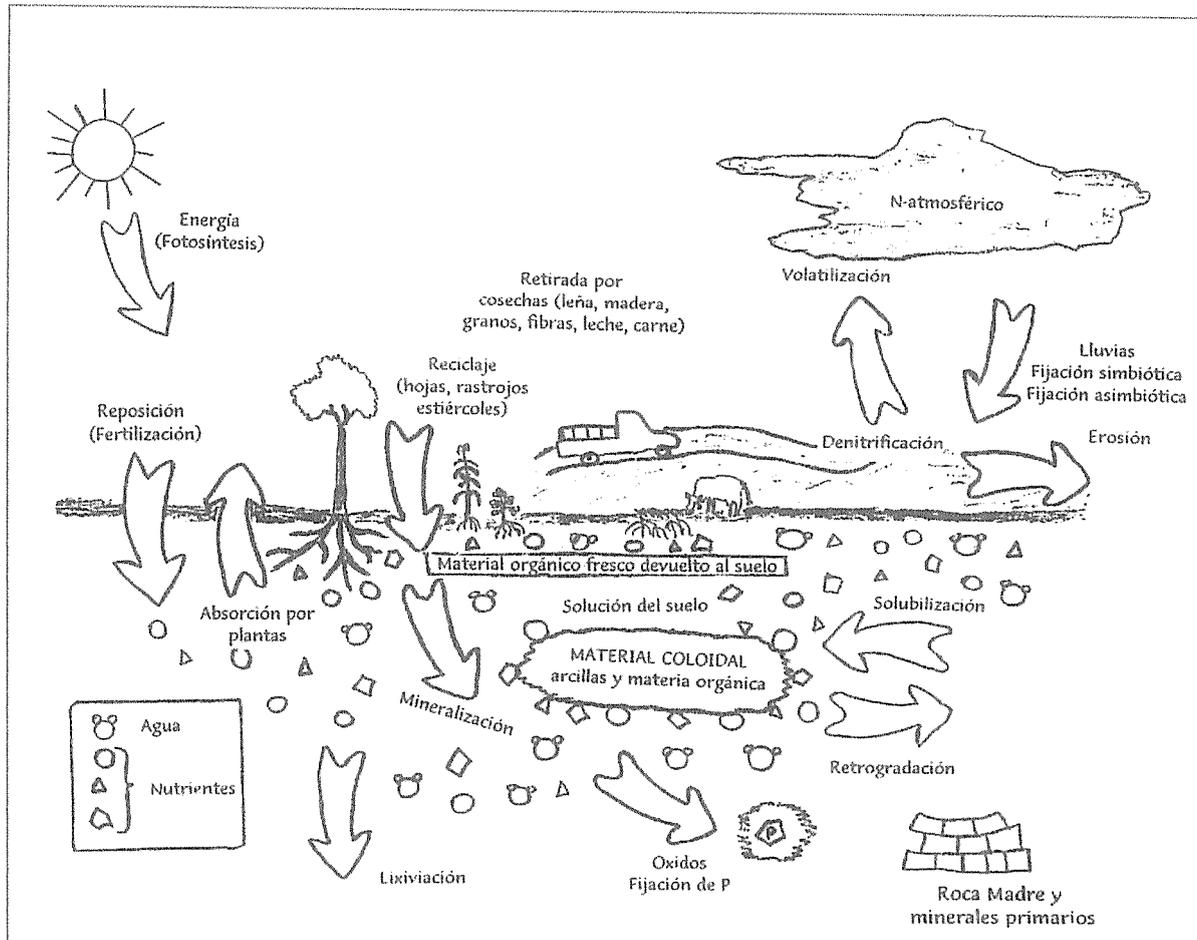
Algunos suelos ricos en óxidos de hierro y manganeso presentan la característica de enlazar químicamente el fósforo soluble, dejándolo en formas prácticamente indisponibles para las plantas. Este proceso se denomina fijación de fósforo. El nutriente no se pierde del suelo, pero tampoco sirve para alimentar las plantas.

El balance entre adiciones y retiradas de nutrientes del sistema a través de los diferentes mecanismos citados define los contenidos de cada nutriente disponible en el suelo. Dentro de un sistema de producción particular, si las adiciones por las diferentes formas son mayores que las retiradas, los contenidos de nutrientes disponibles en el suelo tienden a ir en aumento. Las necesidades de reposición a través de fertilizantes pueden ser reducidas a mediano y largo plazos. Al contrario, si las retiradas por las diferentes formas son mayores, la disponibilidad de los nutrientes se reduce y en cada ciclo de cultivo las necesidades de fertilizantes minerales (que son los que poseen las mayores concentraciones de nutrientes) van en aumento.

Los contenidos desarrollados hasta aquí ayudan a comprender la importancia de tener en cuenta los factores que contribuyen, de un lado, a aumentar las entradas de nutrientes al sistema y, de otro, a reducir sus salidas, para mantener la calidad del suelo y contribuir a garantizar mejores cosechas, a costos razonables y adaptadas a las posibilidades socioeconómicas y biofísicas de los agricultores.

La Figura 3 ilustra, de forma esquemática, las diferentes entradas, reciclajes y salidas de nutrientes de un sistema suelo-planta-animales.

FIGURA 3: Esquema cualitativo simplificado del ciclo de nutrientes en un sistema de producción (Adaptado de FAO-SNAP, 1995).



1.5.3. Disponibilidad de nutrientes

1.5.3.1 Formas disponibles

Los nutrientes se encuentran en el suelo en estado “nativo” (como resultado de la meteorización de las rocas y del reciclaje de la materia orgánica). También pueden ser adicionados al suelo. La forma en que los nutrientes están presentes en el suelo es muy variable. Un nutriente está **disponible** para la planta solamente cuando está presente en una determinada “**forma, lugar y tiempo**”, en la que puede ser absorbido por las raíces.

Forma

La forma en que los nutrientes son absorbidos por las plantas, tanto aquellos cuya origen es la materia orgánica, como los de origen mineral (meteorización, fertilizantes, etc.) es la **iónica**. Por ejemplo, los

macronutrientes son absorbidos como:

- N: como NO_3^- y, en menor escala, como NH_4^+
- P: principalmente como H_2PO_4^-
- K: como K^+
- Ca: como Ca^{++}
- Mg: como Mg^{++}
- S: como SO_4^{--}

Lugar

Los nutrientes, para que puedan ser absorbidos por las raíces, deben estar en la **solución del suelo**, es decir, en la mezcla de agua y minerales (algunos de los cuales son los nutrientes) que ocupa el espacio poroso del suelo en la zona de contacto suelo-raíz.

Tiempo

Los nutrientes, para ser considerados disponibles, deben estar en la solución del suelo, en la forma iónica, es decir, en la forma en que pueden ser absorbidos por las raíces, **cuando** la planta los necesita y **en una cantidad** que pueda dar abasto a la tasa de absorción (cantidad absorbida en un cierto tiempo). Si la planta presenta una tasa de absorción de un nutriente de, por ejemplo, $0,001 \mu\text{g}/\text{h}$, debe existir un equilibrio entre la forma intercambiable de dicho nutriente y la solución, de tal manera que se pueda mantener en solución una concentración que dé abasto a la tasa de absorción referida.

A continuación, se describen las formas más comunes en que se presentan los nutrientes en el suelo:

Nutriente estructural: Es el nutriente que hace parte de la estructura cristalográfica del material mineral (rocas, minerales primarios o secundarios) o de la estructura molecular del material orgánico no descompuesto (cualquier material orgánico no descompuesto) y del material orgánico ya estable (huminas). El nutriente, en esta forma, puede ser considerado **no disponible** para las plantas porque no puede ser absorbido por ellas en esta forma y tampoco en el tiempo que necesitan. Los nutrientes, en la forma estructural, están en un equilibrio muy lento con la solución del suelo.

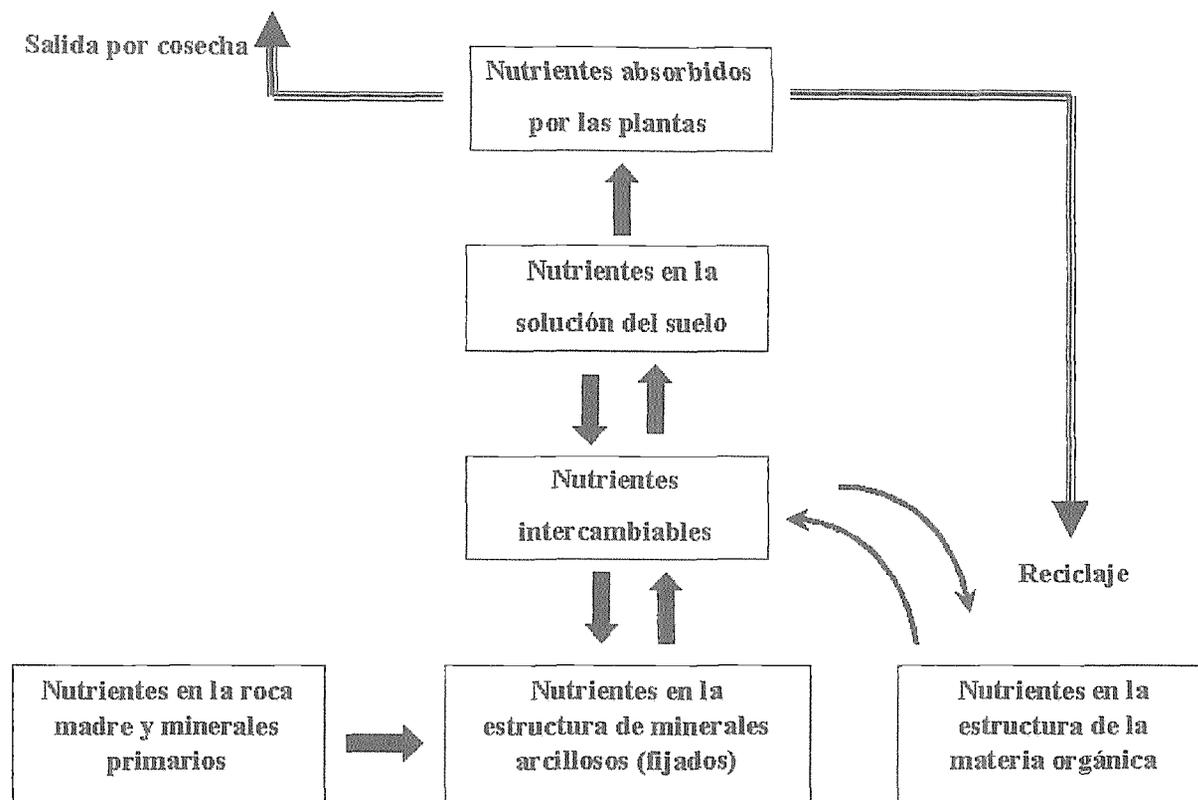
Nutriente intercambiable: Es el nutriente que se encuentra adsorbido (enlazado químicamente) a las moléculas orgánicas del suelo o a las arcillas. Permanece en equilibrio con la solución del suelo, de manera muy dinámica. Generalmente es el nutriente medido por los métodos corrientes de laboratorio.

Nutriente en la solución: Es el nutriente que se encuentra disuelto en la solución del suelo en equilibrio con la forma intercambiable. Puede ser absorbido por las raíces.

Nutriente fijado: Es el P que ya estuvo soluble y disponible por algún tiempo y volvió a ser parte de la estructura de ciertos minerales arcillosos (principalmente óxidos de hierro, aluminio y alófana, en suelos volcánicos). Como tal, no está disponible para las plantas.

La Figura 4 presenta una visión de las formas y equilibrios de los nutrientes en el suelo.

Figura 4: Esquema simplificado de las formas y equilibrios de los nutrientes en el sistema suelo-planta.



1.5.3.2. Principales factores que afectan la disponibilidad de nutrientes

Algunos factores son importantes para definir la disponibilidad de los nutrientes para las plantas. A continuación, se presentan los principales.

a. Humedad del suelo

La humedad del suelo es fundamental para definir la disponibilidad de los nutrientes. Primero, porque las raíces absorben los nutrientes que están presentes en formas iónicas en la solución del suelo. Si no hay solución, no hay posibilidad de que haya nutrientes disponibles. Sin que haya humedad, los nutrientes no se solubilizan (fertilizantes minerales), deja de existir la reacción de equilibrio entre la fase sólida (nutriente intercambiable) y la solución, y tampoco ocurre la mineralización de la materia orgánica.

Además, los procesos de absorción de nutrientes por las plantas son dependientes del agua.

b. Aireación

La aireación del suelo a nivel de la superficie radicular es otro factor importante para definir la disponibilidad de los nutrientes. La falta de aireación en el suelo ocurre generalmente por exceso de agua (anegamiento). Con deficiente oxígeno presente, las raíces no logran crecer ni absorber nutrientes de forma suficiente. Los organismos del suelo responsables por la oxidación del nitrógeno amoniacal (NH_4) a NO_3 y del S_2 a SO_4 , dejan de hacerlo. Por el contrario, microorganismos aeróbicos utilizan el oxígeno de estas formas oxidadas, perdiéndose los nutrientes en formas como N_2O , NO_2 , NH_3 y H_2S .

Las excepciones son los cultivos adaptados a condiciones anaeróbicas, tales como el arroz, la azola y otros.

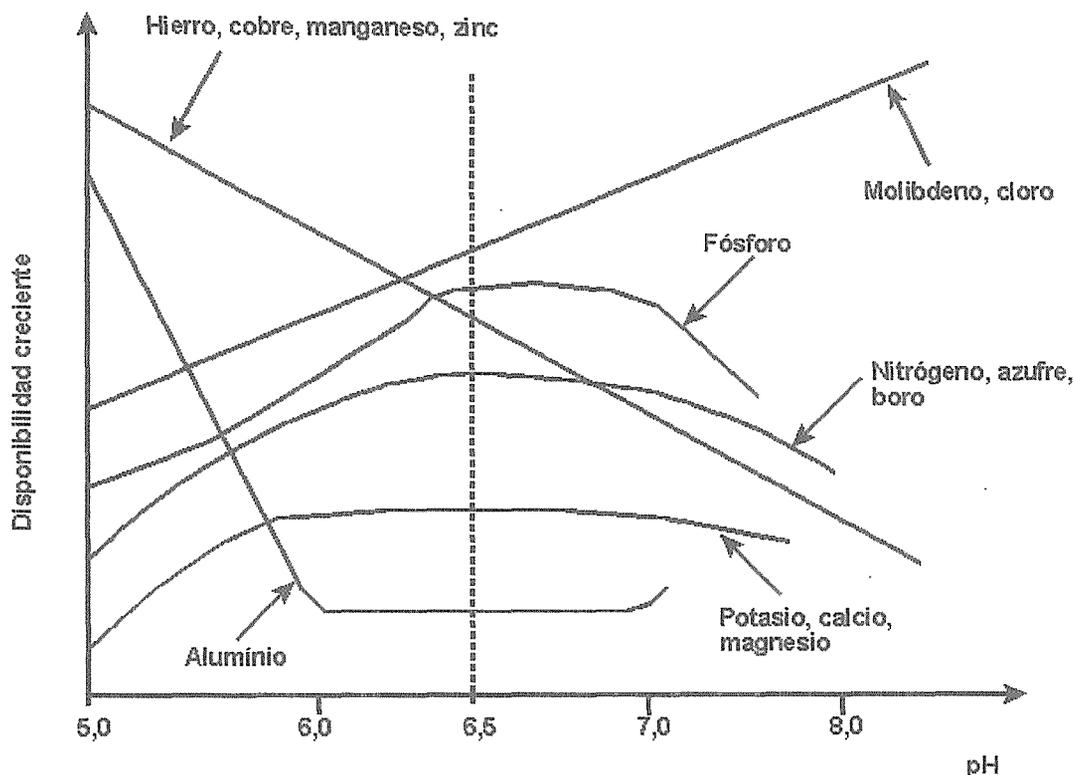
El balance entre las condiciones de falta o exceso de agua (condiciones aeróbicas o anaeróbicas) es definitorio en la disponibilidad de algunos cationes que sufren procesos de oxidación-reducción. En condiciones anaeróbicas (deficiencia de oxígeno), el hierro está en la forma Fe_2 , disponible para las plantas. En condiciones secas, el hierro es oxidado a la forma Fe_3 , menos disponible. Lo contrario pasa con el manganeso.

Cabe señalar que la concentración excesiva de un determinado nutriente en la forma disponible puede ser tóxico para las plantas, transformándose en un perjuicio, en vez de un beneficio. Ello es más común entre los micronutrientes, los cuales poseen fajas de concentraciones óptimas muy estrechas, con límites de deficiencia y de toxicidad en valores relativamente cercanos.

c. pH del suelo

El nivel de pH (acidez o alcalinidad del suelo) es un factor que afecta la disponibilidad de prácticamente todos los nutrientes. En la Figura 5, se muestra el comportamiento promedio de la disponibilidad de los nutrientes en función del pH.

Figura 5: Comportamiento promedio de la disponibilidad de los nutrientes en función del pH del suelo (Extraído de Malavolta et al., 1989).



Se podría decir que el nivel de pH, en el que se da una disponibilidad promedio elevada para todos los nutrientes, está entre 6,0 y 6,5. El pH influye principalmente sobre la forma (iónica, precipitada, soluble, etc.) en que se encuentra el nutriente en el suelo.

d. Materia orgánica

La materia orgánica posee una gran capacidad de mantener nutrientes adsorbidos en la forma intercambiable y en equilibrio fácil y rápido con la solución del suelo. Su presencia favorece la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, manteniéndolos en esta forma y no en otras menos disponibles y sin que se pierdan por percolación o volatilización.

1.5.3.3 Movilidad de los nutrientes

Los nutrientes y sus diferentes formas iónicas presentan diferentes movilidades en el suelo y en el interior de la planta. En el suelo, la movilidad es importante para determinar la mejor ubicación de los fertilizantes. En la planta, la movilidad es importante para reconocer el comportamiento y los síntomas

de deficiencias o toxicidad, para seleccionar el método de corrección, etc. A continuación se presentan los patrones de movilidad de algunos nutrientes:

En el suelo: Poco móviles: P, Ca
Móviles: Mg, K, NH₄
Muy móviles: SO₄, NO₃, Cl

En la planta: No móviles: Ca, B
Poco móviles: S, Cu, Fe, Mn, Zn
Móviles: N, P, K, Mg, Cl, Mo

En el suelo, la movilidad de los nutrientes depende mucho de la forma en que se encuentran. Los nutrientes o formas de estos que permanecen en mayores concentraciones en la solución del suelo tienden obviamente a ser tener más movilidad.

Es importante conocer la movilidad en un plan de fertilización integral, puesto que contribuye para la ubicación correcta de los fertilizantes y acondicionadores de suelo.

1.5.3.4. Procesos de transporte de nutrientes en la zona de contacto suelo-raíz

Se entiende por absorción el proceso según el cual el nutriente pasa de la solución del suelo al interior de una célula de la raíz (o de la solución con nutrientes depositada en las hojas hacia una célula de la hoja, si es por vía foliar).

Para que ocurra la absorción vía radicular, es necesario que haya el contacto de la paredes de la raíz con el ión nutriente. En este sentido, hay tres formas básicas de cómo el nutriente entra en contacto con la superficie de la raíz:

Intercepción radicular: La raíz, al crecer, entra en contacto con el nutriente en la solución del suelo.

Flujo de masa: La solución del suelo (agua + iones diversos) moviéndose de las partes más húmedas, más alejadas de las raíces, hacia partes menos húmedas cerca de la superficie de las raíces, traen consigo los nutrientes disueltos, los cuales son absorbidos por éstas, juntamente con el agua.

Difusión: En una solución del suelo más o menos estacionaria, el nutriente se mueve de los puntos de mayor concentración, más alejadas de las raíces, hacia partes de menor concentración, cerca de la superficie de las raíces, donde son absorbidos por las mismas.

El predominio de un u otro proceso depende de la especie vegetal.

1.5.4. Fuentes de nutrientes para fertilización de los cultivos

Los nutrientes para la fertilización de los cultivos pueden provenir de varias fuentes. Las diferentes fuentes y sus posibilidades de aportar nutrientes se describen a continuación.

a. Fijación y absorción biológica

Fijación simbiótica de nitrógeno: Las plantas leguminosas poseen la capacidad de asociarse a bacterias del género *Rizobium* y con ello lograr el aprovechamiento del N-atmosférico (N_2), cuya absorción directa no es posible. Las bacterias colonizan las raíces de las plantas leguminosas formando pequeñas estructuras redondeadas denominadas nódulos (chibolitas). Ellas utilizan para su crecimiento y reproducción el tejido y los nutrientes de la planta colonizada; mientras tanto, metabolizan el N-atmosférico y lo transforman en iones nitrogenados asimilables por la planta que han colonizado (NO_3). Este intercambio se denomina simbiosis.

El N-atmosférico que pasa a ser parte de los tejidos vegetales de las leguminosas es incorporado al suelo (**aporte al sistema**) como N-orgánico, si los residuos de estas plantas son dejados en el terreno para que se descompongan. Al descomponerse la materia orgánica (tejidos vegetales), el N-orgánico es mineralizado a N-mineral (NH_4 , NO_3) y puede ser absorbido por nuevas plantas. En este caso, no se trata de **reciclaje**, sino de **aporte** de N al sistema suelo-planta, puesto que antes el N-atmosférico estaba presente pero, no disponible. Se estima, de manera general, que el 30-35% del N presente en la biomasa de una leguminosa es producto de la fijación simbiótica (**aporte**) y el restante 65-70% es N absorbido del propio suelo (**reciclaje**), variando desde simbiosis muy eficientes (como en soya-bacteria) hasta poco eficientes (frijol-bacteria).

Por ello, las prácticas de asocio de cultivos o pastos con plantas leguminosas son deseables y recomendables.

Hay evidencias científicas de otras asociaciones microbiológicas con plantas gramíneas para la absorción de N. Sin embargo, las evidencias, aunque reales, todavía no están traducidas en tecnologías aplicables a nivel de campo.

Absorción biológica de fósforo: La absorción de P por las plantas puede ser aumentada a través de los hongos denominados Micorrizas. Estos hongos colonizan el sistema radicular de las plantas y, a través de sus micelas, aumentan la superficie específica de absorción de P y logran absorber formas de P del suelo que las plantas absorben con baja eficiencia o simplemente no absorben. Parte del P absorbido por el hongo es aprovechado por la planta. En este caso, no se trata de un aumento neto del nutriente en el suelo (**aporte**), sino de un aumento del complejo hongo-planta en la eficiencia de absorción del nutriente del suelo. En la práctica, los hongos micorrízicos tienen una utilización todavía limitada en el país. Su mayor potencial a corto plazo está en los frutales y café.

b. Abonos orgánicos

Se consideran abonos orgánicos tanto los productos de origen vegetal como animal, puros o mezclados. Por su origen, la mayoría de ellos contienen todos los elementos (micro y macronutrientes), aunque no necesariamente en una relación balanceada u óptima para el crecimiento de los cultivos. Los abonos orgánicos, además de mejorar las condiciones químicas del suelo, agregan materia orgánica, la cual contribuye a mejorar las propiedades físicas. La relación carbono/nitrógeno (C/N) de los abonos orgánicos indica si sus nutrientes están disponibles en poco tiempo para los cultivos ($C/N < 20$) o si necesitan más tiempo para su mineralización ($C/N > 20$). Si un material

orgánico tiene una baja relación C/N, el proceso de transformación y mineralización de los nutrientes es rápida. En cambio, los que tienen una relación C/N elevada, presentan una descomposición y mineralización de los nutrientes más lenta.

A continuación, se presenta una comparación entre algunos materiales orgánicos usados comúnmente como abonos (simples o mezclados), tomando en cuenta su velocidad de descomposición:

Tipo de material	Relación C/N	Velocidad de descomposición
Chacha de frijol	baja	rápida
Pulpa de café	baja	rápida
Pirracha de henequén	baja	rápida
Estiércol de ganado	baja	rápida
Estiércol de gallina o pollo	baja	rápida
Hojas y ramas jóvenes de madre cacao	baja	rápida
Plantas de abonos verdes: mucuna, canavalia, vigna, dolichos.	baja	rápida
Rastrojo de maíz	alta	lenta
Rastrojo de sorgo	alta	lenta
Granza de arroz	muy alta	muy lenta
Aserrín de madera	muy alta	muy lenta
Gallinazas	depende del material utilizado como cama	depende del material utilizado como cama

Al mezclarse materiales de descomposición lenta con materiales de descomposición rápida, la velocidad de descomposición de la mezcla tiende a ser un valor intermedio, lo que también depende de la proporción utilizada de cada material.

Los abonos orgánicos, si tienen su origen en el mismo sistema, **reciclan** nutrientes, es decir, no constituyen adición de nutrientes nuevos. Si provienen de fuera del sistema, constituyen un **aporte**, pero significan una **salida** del sistema de donde provienen y, por ende, crean la necesidad de reposición en el sistema que los produjo.

Por ejemplo, la aplicación de pulpa de café en el cafetal que lo produjo es un **reciclaje** de nutrientes. Sin embargo, si se aplica la pulpa en una parcela de maíz, se trata de un **aporte** en la parcela de maíz y

una **retirada del cafetal**. Una gran limitante de los abonos orgánicos es que el origen de sus nutrientes se encuentra en los mismos suelos cultivados.

A continuación, se describen los materiales orgánicos más comúnmente encontrados en el país y con mayor potencial para ser utilizados como abonos:

Pulpa de café: Subproducto del beneficio del fruto de café. Tiene contenidos variables de nutrientes, siendo más rico en N y K, pudiendo alcanzar cerca de 3% de cada uno de estos nutrientes en base seca.

Bagazo de caña: Subproducto de la industria de la caña, el bagazo puede ser utilizado como fertilizante (puede alcanzar entre 2-3% de K). Podría tener aplicación más efectiva como fuente de energía en los ingenios (economía de electricidad, carbón o leña en las calderas) y en la alimentación animal (pelets).

Pirracha de henequén: Subproducto del proceso de extracción de la fibra de henequén o maguey. Se caracteriza por ser un material abundante, muy acuoso y de fácil descomposición. Puede tener aplicación en aquellos sistemas en los que este cultivo es importante. Puede ser aprovechado en la misma área de henequén o para áreas de hortalizas, frutales, etc.

Gallinaza: Cuando se habla de gallinaza, se puede estar hablando de tres materiales diferentes:

- la gallinaza o escreta pura de gallinas mantenidas en jaulas;
- la gallinaza, producto de la mezcla de escreta de gallinas ponedoras con los materiales utilizados como cama en los gallineros; el predominio de heces es grande y los materiales de la cama ya están semi descompuestos, debido a su larga permanencia en el lugar; y
- la pollinaza, producto de la mezcla de escreta de pollos de engorde con los materiales utilizados como cama en los gallineros, con predominio de los materiales de la cama poco descompuestos, debido a que la permanencia en el lugar es corta (45 días). Las concentraciones de nutrientes en estos productos depende del tipo de cama que se utiliza (materiales). Varía de 0,5 a 3,0% para el N, <1,0% para el P y de 1,0 a 3,0% para el K.

Estiércoles de animales: El estiércol almacena una buena parte de los nutrientes utilizados en la alimentación. En el caso de cerdos, la cerdaza llega a tener un 50% del contenido que ha sido ingerido por el animal. Económicamente es quizás más efectivo utilizar este material como alimento para el ganado en el verano o para gallinas, que utilizarlo como abono. El estiércol de ganado es el más importante en cantidad. No es muy rico en nutrientes (< de 2,5% para los macronutrientes).

Residuos de cultivos: Los residuos de cultivos (chacha de frijol, granza de arroz, chacha de cacahuete, hojas y ramas de leguminosas, etc.), pueden ser utilizados como fuentes de nutrientes. La cantidad de nutrientes varía en cada material, pudiendo llegar a un 3% de N en los residuos de leguminosas. La granza de arroz es pobre en N. El P normalmente se sitúa alrededor de 0,5% y el K entre 0,5 y 2,5%.

Compost: Se entiende por compost la mezcla de diferentes materiales orgánicos (todos los anteriores, por ejemplo) que son dejados en un proceso de descomposición semi-controlado (temperatura, humedad y aireación). Estos materiales pueden ser enriquecidos con fuentes minerales de nutrientes (ceniza, cal, roca fosfática, urea), para acelerar la descomposición y aumentar las concentraciones de nutrientes en el producto final descompuesto.

c. Fertilizantes minerales (inorgánicos o químicos)

Los fertilizantes minerales o químicos son las fuentes de nutrientes que tienen un origen mineral (inorgánico), ya sean naturales o sintéticos.

Los fertilizantes minerales naturales son los productos que están presentes en la naturaleza, en depósitos geológicos, con altas concentraciones de nutrientes, los cuales son extraídos para ser utilizados como fuentes de nutrientes y/o acondicionadores en tierras dedicadas a la producción. Se puede citar los depósitos de rocas fosfáticas (fuentes de P y Ca, dependiendo del tipo); de rocas potásicas (fuente de K), las dolomitas (fuentes de Ca y Mg), calcitas (fuentes de Ca), los depósitos de sales, como el salitre de Chile (fuente de K y N), etc. En El Salvador no hay disponibilidad de estos materiales, excepto de dolomita, utilizada como correctivo de la acidez del suelo y fuente de Ca y Mg.

Los fertilizantes minerales sintéticos son los productos de origen industrial, cuyas materias primas para la fabricación son las mismas reservas naturales ya citadas: el petróleo y el N-atmosférico. A través de procedimientos industriales (materia prima + energía = fertilizante mineral + residuos), la materia prima es transformada en productos concentrados (altos contenidos de nutrientes por peso total) y solubles.

Los fertilizantes minerales más disponibles en el país a nivel de los mercados locales, para utilización por los agricultores, son:

Sulfato de Amonio: Su fórmula química es $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$. Es una fuente de N y S para los sistemas agrícolas. Posee cerca de 21% de nitrógeno y 24% de S. Es totalmente soluble. En el suelo sufre inicialmente un proceso de hidrólisis (es iónicamente separado en medio acuoso), “liberando” el N en la forma amoniacal de NH_4 y el SO_4 . El ión NH_4 es de naturaleza ácida, es decir, las reacciones y procesos que lo involucran tienden a reducir el pH del medio. En el caso del sulfato de amonio también se forma $\text{H}_2 \text{SO}_4$. El N en la forma de NH_4 es oxidado a N en la forma de NO_3 , en la cual es mayormente absorbido por las plantas.

Urea: Su fórmula química es $\text{CO} (\text{NH}_2)_2$. Es una fuente de N para los sistemas agrícolas. Posee cerca de 45% de nitrógeno. Es totalmente soluble. En el suelo sufre inicialmente el proceso de hidrólisis, formando carbonato de amonio, el cual es químicamente inestable. Este producto se descompone casi inmediatamente dando origen a $\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{agua}$. El N, en la forma de NH_3 , es entonces oxidado a N, en la forma de NO_3 , y absorbido por las plantas.

Fertilizantes formulados: Los fertilizantes formulados son mezclas químicamente equilibradas de fertilizantes minerales simples. En el país, las fórmulas corrientes que se encuentran en el mercado son:

16-20-0: significa que posee 16% de N, 20% de P_2O_5 y nada de K_2O .

15-15-15: significa que posee 15% de cada nutriente, es decir, de N, P_2O_5 y K_2O .

Las empresas producen otras formulaciones por encargo, dependiendo de las cantidades requeridas. Su disponibilidad en el mercado no puede ser considerada dentro del sistema de producción de granos básicos en laderas.

Se mencionan otros fertilizantes minerales:

-**Super fosfato simple y super fosfato triple:** cerca de 20 y 30% de P_2O_5 , respectivamente;

-**Fosfato monoamónico:** 11% de N y 48% de P_2O_5 ;

-**Fosfato diamónico:** 21% de N y 53% de P_2O_5 ;

-**K-Mag:** fuente de potasio y magnesio solubles; y

- **Cloruro de potasio:** 66% de K_2O .

Estos fertilizantes no se encuentran fácilmente en el mercado salvadoreño. Podrían ser parte importante de una estrategia de fertilización mejorada de los cultivos, por las diferentes posibilidades de combinaciones que representan. Algunos de ellos son parte en las fórmulas, pero como están mezclados en proporciones pre-establecidas no son manipulables aisladamente, lo que sería interesante y económico en muchos casos.

Fertilizantes foliares: Las plantas poseen capacidad para absorber ciertas cantidades de nutrientes por la superficie foliar. Sin embargo, la fertilización por esta vía debe ser tomada como un afinamiento de la nutrición del cultivo o corrección de ciertas deficiencias específicas, nunca como un sustituto de la

fertilización vía suelo, puesto que las cantidades de nutrientes requeridas por un cultivo serían difíciles de suplir exclusivamente por vía foliar. Por ejemplo, para una necesidad de 100 libras/mz de N, con una concentración máxima de la mezcla de 2%, serían necesarios 2.250 litros/mz de agua. En el país hay disponibilidad de nutrientes foliares en el mercado, con cantidades variables de macro y micronutrientes.

d. Acondicionadores (enmiendas) del suelo

Algunos materiales presentan otros efectos sobre el suelo, más allá del simple suministro de nutrientes. La cal dolomítica, por ejemplo, además de suplir Calcio y Magnesio al suelo, su reacción con el agua provoca la liberación de iones básicos OH⁻, lo que aumenta el pH del suelo (reducción de la acidez). Como consecuencia de ello, afecta la actividad biológica, la estructura y la disponibilidad de todos los demás nutrientes.

Los productos orgánicos, si son utilizados en grandes cantidades (nivel de ton/mz) mejoran las condiciones de estructura, porosidad y almacenamiento de agua, entre otros, y son también considerados acondicionadores de suelo.

Los materiales que poseen la capacidad de cambiar propiedades y características del suelo son conocidos con el nombre de **acondicionadores del suelo**.

Finalmente, cabe señalar que los nutrientes están presentes en la naturaleza de manera espontánea, en diversas formas:

- **Formas orgánicas:** En este caso, los nutrientes están presentes como parte de las estructuras vegetal y animal (incluso de la fauna y flora microbiana del suelo); en los residuos de dichas estructuras; y en la materia orgánica edáfica (humificada). Cumplen funciones diversas en complejos moleculares, como iones transportadores, activadores, etc., tal como ya se señaló anteriormente.
- **Formas minerales:** En este caso, los nutrientes están presentes como constituyentes de las estructuras cristalográficas de las rocas y minerales, adsorbidos o solubles en la solución del suelo, como iones, sales, ácidos, bases y otros, y disueltos en la atmósfera, como gases.
- **Formas organo-minerales:** En este caso, los nutrientes están presentes como constituyentes de diversos procesos bioquímicos existentes en el suelo y en los organismos vivos, en las formas de quelatos, polímeros, etc.

Por lo tanto, ni los nutrientes y ni los fertilizantes minerales (químicos) sintéticos son venenos para el ambiente, como a veces se sostiene, poniéndolos a la par de los pesticidas sintéticos. Los fertilizantes minerales sí poseen nutrientes en concentraciones más altas a las encontradas en la naturaleza y, obviamente, si son mal utilizados, pueden contaminar las aguas superficiales y/o subsuperficiales, quizás en la misma proporción que los residuos orgánicos, si son mal utilizados o mal manejados.

Si se traza un paralelo entre fertilizantes orgánicos y minerales, ambos presentan fortalezas y debilidades. La ciencia y la racionalidad socioeconómica y ambiental apuntan a la utilización

complementaria de ambas fuentes, aprovechando las fortalezas de cada uno.

Como política de desarrollo agrícola, la fertilización orgánica es insuficiente, pues se trata, como hemos visto, de un reciclaje de nutrientes y no de aportes efectivos. Tampoco la fertilización mineral (química) es suficiente, pues requiere ser complementada con los principios del reciclaje orgánico.

2. Manejo integrado de la fertilidad del suelo

El concepto tradicional de fertilidad del suelo está más enfocado al componente químico de las relaciones entre el suelo y la planta, en su proceso de absorción de nutrientes y nutrición. Igualmente, está más enfocado a la nutrición del cultivo que a la calidad general del suelo.

Sin embargo, con el tiempo, el concepto tradicional ha resultado insuficiente, pues en los procesos que rigen la disponibilidad de nutrientes en el suelo, el crecimiento radicular y la absorción de nutrientes por las plantas, están involucrados aspectos de naturaleza física (agua, aire, temperatura, textura, estructura, espacio poroso, etc.) y biológica (descomposición, reacciones y transformaciones bioquímicas, relación C/N, competencia y simbiosis, etc.), sobre todo si se tiene presente una visión de sistema de producción, más que de cultivo aislado específico.

Es así como se ha desarrollado un enfoque más amplio de manejo integrado de la fertilidad del suelo, lo cual involucra, de manera muy sucinta, los siguientes elementos:

- la relación interactiva y manejo integral de las variables de naturaleza química, física y biológica del suelo, las cuales tienen que ver con la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas;
- la relación interactiva y manejo integral de las variables agronómicas/zootécnicas del sistema de producción, orientadas a equilibrar, mantener y reciclar los nutrientes en el sistema;
- la corrección de las deficiencias de nutrientes dentro del sistema de producción, buscando la racionalidad y el equilibrio entre los componentes económico, social y ambiental.

Todo lo anterior, orientado a la optimización del aprovechamiento de nutrientes dentro de los sistemas de producción, desde una óptica de aumento de utilidades, ajuste a las circunstancias socioeconómicas y preservación de los recursos naturales, principalmente suelo y agua.

Obviamente que el enfoque integrado no abandona los conceptos anteriores que rigen la química de los elementos en la naturaleza y sus relaciones en el sistema suelo-planta. Trata de ampliarlos, buscando integrar nuevas variables que ayudan a explicar el comportamiento de todo el sistema de producción a lo largo del tiempo.

Este enfoque de manejo integrado involucra fuertemente los siguientes aspectos, entre otros:

- el estado físico y biológico del suelo para posibilitar o facilitar el crecimiento de las raíces (aireación, humedad, compactación, canales y galerías, organismos beneficiosos y dañinos);
- el contenido y la calidad de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes en el sistema de

- producción;
- las relaciones de sustitución de fuentes de fertilización y suministro de nutrientes (fertilizantes minerales, abonos orgánicos de origen animal y vegetal);
- los sistemas de labranza; y
- los mecanismos de pérdidas de nutrientes (erosión, volatilización, lixiviación).

En este contexto, hacen parte del manejo integrado de la fertilidad de suelos en el sistema de producción granos básicos + ganadería, los siguientes aspectos:

- reciclaje de los rastrojos de maíz y sorgo en el terreno;
- producción de alimento alternativo para el ganado en verano, incluyendo las formas de conservación de forraje;
- aumento y enriquecimiento de los rastrojos de gramíneas con especies leguminosas (abonos verdes);
- aprovechamiento de los rastrojos de frijol;
- aprovechamiento del estiércol del ganado;
- reducción de las pérdidas de suelo y nutrientes por erosión;
- suministro adecuado de nutrientes (dosis y época), según las características del suelo y de los cultivos, en base a una expectativa de producción;
- ubicación correcta de fertilizantes; y
- selección de fuentes de nutrientes más adecuadas y baratas.

MODULO 2

MANEJO ADECUADO DE LOS RASTROJOS DE GRANOS BASICOS

1. Objetivos del módulo

El Módulo 2 presenta dos objetivos principales:

- Precisar el papel que cumplen los rastrojos de granos básicos en la producción y conservación de la tierra dentro del sistema de producción;
- Presentar opciones tecnológicas acerca de cómo aumentar la producción de rastrojos y/ o mantenerlos en la superficie del suelo.

2. Contenidos del módulo

Para cumplir con los objetivos señalados, este Módulo presenta los siguientes contenidos:

- Definición e importancia de los rastrojos para una serie de variables, características y propiedades del suelo, agua y sistema de producción;
- Cómo aumentar la producción de rastrojos, con el fin de disponer de mayor cantidad de biomasa para el ganado y para la cobertura del terreno;
- Cómo mantener los rastrojos en la superficie del terreno;
- Estimaciones de costos y beneficios de las opciones presentadas;
- Un breve análisis de la sostenibilidad de las opciones presentadas, según sus atributos y componentes.

3. Definición e importancia de los rastrojos

Los rastrojos son los restos de los cultivos que no son consumidos como productos de cosecha. Así, dentro del sistema de producción tradicional de granos básicos-ganadería de doble propósito en zonas de ladera, los materiales considerados como rastrojos son:

- raíces, tallos y hojas del maíz
- raíces, tallos y hojas del sorgo
- chacha del frijol (raíces, tallos, hojas y vainas vacías)

En una visión un poco más amplia, también podría ser considerados rastrojos el olote y la tuza del maíz y los restos del aporreo del sorgo, que generalmente son residuos de la cosecha procesada fuera de la superficie cultivada.

Tal como se ha discutido en el Módulo 1, los rastrojos cumplen diversas funciones importantes, y de su manejo depende una serie de variables ligadas al balance de nutrientes en el sistema de producción.

3.1. Cobertura del terreno

Los rastrojos que son dejados sobre la superficie del terreno, cubriéndolo, influyen decisivamente sobre el comportamiento del suelo y, por ende, sobre el comportamiento de los cultivos.

El mejor ejemplo en El Salvador es el de Guaymango-Metalío, en donde, desde hace varios años, los productores dan una utilización diferente a los rastrojos de granos básicos, a diferencia de otras zonas del país.

Allí, un programa sistemático impulsó el uso de tecnologías sencillas (eliminar la quema y dejar los rastrojos como mantillo, uso de variedades e híbridos mejorados, siembra con población y distribución adecuada de plantas en el terreno y utilización modesta de fertilizantes), las cuales proporcionaron un incremento sostenido de la producción de maíz y sorgo en 4,6 y 3,5 veces, respectivamente, en un período de 25 años.

a. Control de la erosión del suelo

La calidad y estabilidad de la estructura, el volumen de macroporos y el número de canaliculos y galerías construidos por mesorganismos definen en gran medida la cantidad y la velocidad con que el agua penetra y se mueve en el suelo. Mientras más agua penetra en el perfil del suelo, menos agua sobra sobre la superficie del terreno.

Las gotas de lluvia o de riego por aspersión chocan contra la superficie del suelo como si fueran pequeñas “bombas”. Su energía cinética está en función de su tamaño (masa), velocidad y ángulo de choque. Al impactar contra la superficie, **destruyen los agregados superficiales** y promueven la salpicadura de estas minúsculas partículas desagregadas con gotículas de agua. Al caer nuevamente a la superficie del suelo, las partículas forman una delgada capa de material muy fino que contribuye a **sellar y taponar los poros y canales superficiales**, con la consecuente reducción de la infiltración de agua en el perfil.

Los suelos francos, ricos en limo, son particularmente susceptibles a la desagregación y sellamiento superficial.

El agua que no logra infiltrarse en el perfil empieza a desplazarse por la superficie, al inicio con baja velocidad y energía. Hasta el momento arrastra material muy fino (arcillas y materia orgánica). A esta mezcla de agua con suelo se le denomina **escorrentía**. Buscando los puntos más bajos del terreno, la escorrentía se va acumulando y desplazando cada vez con más velocidad, ya con energía suficiente para arrastrar más suelo y formar surcos. El aumento de la capacidad de arrastre de suelo por la escorrentía es progresivo, dependiendo de su volumen y velocidad. Cuando la velocidad de la escorrentía se reduce, su capacidad de arrastre de suelo también disminuye, provocando la sedimentación del material contenido en ella. Primero, se depositan los materiales más densos (arenas)

y después los materiales finos. Muchos de los materiales más ricos y útiles para la producción, como son las partículas coloidales de arcillas y de materia orgánica, quedan en suspensión y se van a los ríos y embalses.

Los rastrojos son capaces de interceptar las gotas de lluvia o de riego, evitando que choquen directamente con la superficie del suelo. Al interceptarlas, la cobertura de rastrojos reduce su energía cinética a prácticamente cero, posibilitando que el agua entre en contacto con el suelo de manera suave, sin causar daños a su estructura superficial. Se mantienen los poros, canales y galerías “abiertos”, lo que permite que el agua penetre más rápido y se mueva más fácilmente en el perfil del suelo.

Además de este efecto, los rastrojos aumentan la “rugosidad” de la superficie, creando barreras al desplazamiento del agua “sobrante”, formando pequeñas pozas superficiales, lo que permite que el agua permanezca sin moverse por ratos y tenga más tiempo para infiltrarse en el perfil. Igualmente, los rastrojos reducen la velocidad y, por ende, la energía de la escorrentía, cuando ésta se inicia.

El agua infiltrada tiene gran importancia para los objetivos de producción y de conservación, puesto que queda disponible para las plantas, posibilita los procesos de transformación y reciclaje en el suelo y la absorción de nutrientes. Además, recarga los acuíferos que abastecen los manantiales superficiales y se reducen los daños por escorrentía y las pérdidas de nutrientes y suelo por erosión.

Para las condiciones de ladera de El Salvador, se ha demostrado que un 70 % de cobertura del terreno por rastrojos es capaz de promover un eficiente control de la erosión.

La tasa de cobertura anterior se puede lograr con una cantidad aproximada de 55 a 65 qq/mz de rastrojos de maíz y sorgo. Estos cultivos en laderas pueden producir entre 30 y 150 qq/mz de rastrojos dependiendo de las variedades sembradas, población de plantas y desarrollo de las plantas. Cultivos bien manejados y nutridos tienden a producir más biomasa (granos y rastrojos) que cultivos mal manejados y mal nutridos.

En este sentido, donde los cultivos de granos básicos producen cantidades de rastrojo por encima de los 65 qq/mz, los productores pueden hacer uso controlado de parte éstos para alimentar el ganado, sin que baje el grado de cobertura del terreno por debajo de un 75%. Si se trata del comienzo del verano (suelo todavía húmedo), no se recomienda introducir el ganado en la milpa, pues podría compactar bastante el suelo. Con el verano ya bien avanzado, el suelo seco y resistente a la compactación, el ganado podría pastorear controladamente la milpa.

b. Regulación de la temperatura y humedad del suelo

La cobertura de rastrojos crea una superficie aislante entre el perfil del suelo y la atmósfera, lo que conlleva a los siguientes resultados:

- El rastrojo evita que la radiación solar alcance directamente la superficie del suelo. Las temperaturas en el perfil cubierto por el rastrojo normalmente se mantienen más bajas (entre 5 y 10 ° C en las horas-pico), en comparación con el comportamiento de las temperaturas en el suelo desnudo, bajo las mismas condiciones.

- La cobertura de rastrojos reduce la pérdida de agua del suelo por evaporación, al evitar que el viento sople directamente sobre la superficie y transporte el aire con mayor saturación de agua.

Como consecuencia práctica de lo anterior, el suelo cubierto por los rastrojos permanece más fresco y húmedo, presentando así condiciones más favorables para el crecimiento vegetal y para la vida de la fauna y flora del suelo en los trópicos.

c. Reducción de malezas

Otro efecto de los rastrojos sobre la superficie del terreno es el “control” que ejerce sobre las malezas. Donde los rastrojos cubren suficientemente el terreno, generalmente hay menor presencia de malezas que en áreas alledañas con suelo descubierto. Este efecto se debe probablemente a la reducción de luz a nivel de la superficie del suelo, lo cual limita la germinación y el crecimiento inicial de las semillas de estas plantas. Igualmente, se conoce que los extractos de descomposición de plantas pueden inhibir la germinación de otras plantas, en este caso de las malezas.

3.2. Materia orgánica y reciclaje de nutrientes

Tal como se ha mencionado anteriormente, las plantas absorben los nutrientes del suelo y los incorporan en sus tejidos. Se estima, como promedio general, que un 60% de los nutrientes extraídos del suelo por las plantas son acumulados en las partes que se consideran como rastrojos. (Véanse Cuadros 2 y 3, ya presentados).

El asocio maíz-sorgo produce entre 30 y 150 qq/mz de rastrojos, sin considerar el peso del sistema radicular. El frijol también produce una buena cantidad de rastrojos (20 qq/mz), solamente que, debido al método de cosecha, son totalmente retirados del terreno. Los rastrojos de estos cultivos, si son dejados en el terreno, permitirían disponer de una buena cobertura del suelo, mejorar sus condiciones físicas, ofrecer mejor ambiente para el desarrollo del componente biológico y ayudar a mantener los niveles de nutrientes en el perfil.

Los rastrojos son atacados por los microorganismos del suelo y los nutrientes pasan de la forma orgánica a la forma mineral y así pueden ser reabsorbidos por las plantas y reiniciar el ciclo.

En el ejemplo de los cuadros 2 y 3, la cantidad de nitrógeno contenida en los rastrojos de maíz equivale a 525 libras de sulfato de amonio. En frijol, a 175 libras. Si se retiran los rastrojos del terreno, significa que cada año estas cantidades de nutrientes salen del sistema. Si no hay una reposición anual de estas cantidades, el suelo va paulatinamente perdiendo sus contenidos de nutrientes, puesto que la fuente natural de reposición, a través de la meteorización de la roca madre, es de larguísimo plazo, sin consecuencias prácticas para generaciones humanas o el proceso agrícola.

Lo anterior permite concluir que dejar los rastrojos y otros residuos de las plantas (granza, pulpa, cachaza, etc.) en el mismo terreno en que han sido producidos es una medida que debe ser considerada en los planes de manejo integrado de fertilidad y de agricultura sostenible, con consecuencias positivas en lo económico y ambiental, principalmente.

El ejemplo del Cuadro 4 confirma la importancia de dejar los rastrojos en el terreno, como una forma de racionalizar el uso de fertilizantes.

Cuadro 4: Destino de los nutrientes N-P-K en el cultivo de maíz en lbs/mz (Fuente: Adaptado de PASOLAC, PCaC, GPAE, 1996)

	Entrada vía fertilizantes (a)	Salidas vía granos (b)	N-P-K en los rastrojos (c)	Balance de nutrientes		
				Rastrojo sacado a-(b+c)	Rastrojo quemado* a-(b+0,5c)	Con rastrojos a-b
N	56	34	28	- 6	- 6	+ 22
P	30	12	8	+ 10	+ 14	+ 18
K	10	12	72	- 74	- 38	- 2
TOTAL	96	58	108	- 70	- 30	+ 38

* Se asume que todo el N se pierde con la quema y la mitad del P-K en la ceniza se pierde arrastrada por la lluvia o llevada por el viento.

Primeramente, se puede observar que el aporte de nutrientes vía fertilización (96 lbs) fue menor que la cantidad extraída por el cultivo (58 + 108 = 166 lbs), lo que implica que el cultivo extrajo 70 lbs de nutrientes que ya estaban en el suelo (166 - 96 = 70 lbs). Del total de N-P-K extraídos, un 35% se encuentra en los granos y salen del sistema y un 65% en los rastrojos. El destino de esta gran cantidad de nutrientes contenida en los rastrojos depende del agricultor. Si los saca del terreno, significa que la necesidad de reposición mínima el próximo año será mayor. Si los quema, parte de los nutrientes se pierden y necesitarán ser repuestos. El mejor balance y, por ende, la menor necesidad de reposición ocurre cuando el agricultor deja los rastrojos pudriéndose en el terreno.

Cabe señalar que en los ejemplos presentados, dos tercios de K se mantienen en los rastrojos de los granos básicos. Lo anterior indica que, si se mantienen los rastrojos en el terreno, la reposición de K vía fertilización es insignificante en la mayoría de las situaciones en El Salvador, cuyos suelos son generalmente ricos en K.

Obviamente, el balance no es tan simple. También se deben tomar en cuenta otras fuentes de entradas y salidas de nutrientes en el sistema, tales como:

- las pérdidas de suelo (con sus nutrientes) por erosión, las cuales a menudo pueden ser muy elevadas, sobre todo en zonas de ladera sin un manejo adecuado del suelo y agua y otras prácticas de conservación.
- las pérdidas principalmente de nitrógeno, azufre, potasio y magnesio por lixiviación, por acción del agua que percola en el perfil. Esto ocurre, sobre todo, en suelos más arenosos.
- las pérdidas de nitrógeno por las diversas formas de volatilización;

- las pérdidas de nitrógeno, azufre y carbono por quema de la vegetación y de los rastrojos;
- las entradas de nutrientes vía precipitación y los procesos de fijación simbiótica y asimbiótica de nitrógeno.

3.3. Biología del suelo

El tejido vegetal (los rastrojos, en este caso) está formado por compuestos orgánicos de diversos tipos y estructuras moleculares: azúcares, aminoácidos, proteínas, almidones, ligninas, celulosa, entre los más importantes.

Los innumerables organismos (bacterias, hongos, lombrices, larvas, etc.) presentes en el suelo “atacan” y se alimentan del tejido vegetal, como una fuente primaria de carbono orgánico y nutrientes para sus procesos vitales. Los rastrojos generalmente favorecen el crecimiento poblacional de los organismos del suelo, puesto que les sirven como alimento y, además, favorecen las condiciones de temperatura y humedad, aspectos fundamentales para ellos.

Al “atacar” y alimentarse de los tejidos vegetales, los organismos van “quebrando” las cadenas carbónicas grandes y complejas, transformando el material orgánico “*in-natura*” en compuestos orgánicos más o menos estables (huminas, ácidos fúlvicos y húmicos). Larvas y lombrices literalmente “comen” el tejido vegetal y sus heces son materiales orgánicos más simples. En estos procesos de transformación (descomposición) de los rastrojos en el suelo ocurren los siguientes aspectos importantes:

- se van liberando nutrientes para la solución del suelo, los cuales pueden ser reabsorbidos por nuevas plantas;
- el complejo material orgánico en descomposición-microorganismos, principalmente los hongos, favorece la aglutinación de las partículas de suelo, con lo que se tiende a mejorar la estructura del suelo, con consecuencias beneficiosas sobre la aireación, infiltración, etc;
- los meso-organismos, al moverse de la superficie hacia al subsuelo y viceversa, para alimentarse, abren canales y galerías que favorecen la infiltración del agua y el enriquecimiento orgánico de las capas que están bajo la superficie;
- los organismos vivos incorporan nutrientes a sus tejidos y, al morir, los liberan nuevamente al suelo. Se trata de otro ciclo dentro del ciclo.

El crecimiento poblacional de organismos en el suelo es un proceso no muy selectivo. Aunque la propia diversidad pueda ejercer un autocontrol de las poblaciones entre las diferentes especies, el crecimiento de los organismos beneficiosos y de aquellos potencialmente dañinos, es un factor no fácilmente controlable. Si se parte de una situación inicial de desequilibrio entre especies en el suelo, aquella de mayor población en ese momento podrá verse muy beneficiada por las condiciones bajo los rastrojos.

Si esta población beneficiada pertenece a una especie-plaga o especie-patógeno, su población puede alcanzar más rápidamente los niveles de daño económico al cultivo. Por eso, hay que estar siempre

atento y monitoreando los cambios que se hacen en los sistemas de producción, principalmente aquellos que tienen que ver directamente con las variables del “*habitat*” de las poblaciones presentes.

4. Producción de rastrojos

En el sistema de producción granos básicos-ganadería, hay competencia por el rastrojo. De un lado, los rastrojos son extremadamente beneficiosos si son mantenidos en el terreno donde han sido producidos. De otro, el ganado, con insuficiente alimentación durante los meses secos, necesita alimentarse de los rastrojos de granos básicos.

¿Cómo mantener los rastrojos en la superficie del suelo, si el ganado lo necesita como alimento durante el período seco?

Una de las estrategias es aumentar la producción de rastrojos dentro del sistema de producción, para que haya suficiente material para mantener buena cobertura del suelo y alimentar el ganado.

A continuación, se presentan algunas prácticas que podrían contribuir al aumento de la cantidad de rastrojos:

- Selección de variedades de los granos básicos
- Densidad de siembra de los cultivos
- Siembra en asocio o relevo
- Mejoramiento de la fertilización y nutrición de los cultivos.

4.1. Selección de variedades de los granos básicos

Aunque las opciones actuales de variedades de maíz, sorgo y frijol no dejan mucho margen para una selección en cuanto a la producción de rastrojos, es posible escoger y sembrar variedades más productoras de rastrojos, principalmente de sorgo. Las opciones son reducidas, porque las variedades más productoras de rastrojos, de porte más alto, son más susceptibles al acame.

En este sentido, un reto para la investigación en granos básicos sería la producción de materiales con una relación biomasa/grano más favorable para la producción de rastrojos (sin reducir la producción de granos), junto con la búsqueda de algunas características agronómicas y socioeconómicas importantes para las condiciones de los sistemas de producción en laderas, como las siguientes:

- opciones de materiales de maíz de polinización libre, para que los pequeños productores puedan tener la opción de producir su propia semilla; y
- materiales tolerantes o resistentes a las principales enfermedades y plagas, y a la sequía.

4.2. Densidad de siembra de los cultivos

Las densidades de siembra recomendadas por el CENTA en sus Guías Técnicas (CENTA, 1995), para variedades mejoradas en sistema de siembra manual de ladera, son presentadas en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Espaciamiento y población promedio de plantas en variedades mejoradas (CENTA, 1995).

Cultivo y Sistema	Distancia (cm) entre		Semillas por postura	Población de plantas/manzana
	Hileras	Posturas		
Maíz	80	40-50	2	35.000
Sorgo en asocio o relevo	80 - 100	40	4 - 5	87.500
Sorgo solo	60	8 - 17	variable	70.000 – 116.000
Frijol en relevo	20 - 25	10 - 20	1 - 2	165.000
Frijol solo	40 - 50	10	1	155.000

La densidad de siembra es una variable importante para la definición del rendimiento de biomasa del cultivo (granos y otros) y la cobertura del terreno, tanto durante el ciclo como después de la cosecha. Durante el ciclo, un cultivo más denso cubre más rápidamente el terreno y presenta una mayor uniformidad de cobertura del mismo. Después de la cosecha, la biomasa adicional de rastrojos producida contribuye a cubrir el suelo más eficientemente.

Los productores de ladera suelen sembrar poblaciones de plantas más bajas que las recomendadas, dejando muchos claros en la cobertura del terreno, con reducción de la producción de biomasa verde y por, ende, de rastrojos. Ello por los motivos que se describen a continuación:

- economía de semillas y fertilizantes, puesto que abonan por postura y no por área;
- en condiciones de bajos insumos, las poblaciones altas tienden a mostrar deficiencias de nutrientes más temprano y más severas;
- existe una tendencia a que, en las poblaciones más altas de plantas, haya mayor competencia por agua y, por ende, el cultivo es más afectado en condiciones de escasez de agua en el suelo;
- economía de mano de obra en la siembra.

Todos estos argumentos son aparentemente valederos. Sin embargo, en un análisis más detallado del sistema, se puede advertir que algunos de los motivos mencionados son contradictorios. La mayor competencia por agua y nutrientes es una tendencia real cuando se tienen más plantas por área, manejadas con los mismos insumos. Sin embargo, los agricultores siembran más de una planta por postura (mínimo 2, en el caso del maíz, y hasta 12, en el caso del sorgo). En estas condiciones, la competencia por agua, nutrientes y luz entre las plantas de cada postura es muy alta. Además, quedan partes del terreno no explotadas, en las que crecen malezas que compiten con el cultivo. Por lo tanto, el argumento de la competencia es sólo parcialmente válido, puesto que hay mayor competencia en el

sistema de siembra utilizado tradicionalmente por los agricultores. Aunque siembren con baja población de plantas por área, lo hacen con una elevada población de plantas por postura.

En este contexto, se trata de aumentar las poblaciones a los niveles recomendados, con una mejor distribución de las plantas en el terreno. Habría mejor aprovechamiento de agua, nutrientes y luz, además de mejor cobertura.

El argumento de que la siembra con más posturas y con menos semillas por postura (mejor distribución de las plantas en el terreno) consume más mano de obra es correcto. En todo caso, este costo adicional puede ser fácilmente compensado por la producción adicional. Además, más plantas de un cultivo sobre el terreno significa menos malezas y menos mano de obra para su control.

En la microcuenca Matara (Sensuntepeque - Agencia del CENTA de Guacotectí), un agricultor comparó una parcela de maíz con dos plantas por postura con una parcela con una planta por postura. En la parcela con una planta por postura el maíz produjo mazorcas más grandes y uniformes.

Otros agricultores, asistidos por otras agencias de extensión, podrían hacer las mismas pruebas y verificar en cada caso qué resulta más ventajoso.

4.3. Siembra en asocio o relevo

La siembra de dos o más cultivos en una misma área, simultáneamente o con desfase de fechas en función de los ciclos de las mismas, es altamente beneficioso para aumentar la producción de biomasa, la cobertura y la productividad de la tierra. Un área sembrada bajo la modalidad de asocio o relevo normalmente genera más beneficios que la misma área sembrada en monocultivo.

De hecho, la gran mayoría de los agricultores ya cultivan los granos básicos en asocio o relevo. Dicho sistema se puede mejorar aún más sembrando otras especies de plantas destinadas a la producción de biomasa de alta calidad, fijadoras de nitrógeno y eficientes para ayudar a cubrir el terreno, como los abonos verdes o frijol abono.

En la campaña agrícola de 1996, diversas agencias de extensión del CENTA llevaron a cabo cerca de 140 parcelas de validación de abonos verdes con cuatro diferentes especies de leguminosas. Las preferidas por los agricultores resultaron ser: canavalia (*Canavalia ensiformis*) y mucuna (*Stizolobium deeringianum* o *S. niveum* o *Mucuna pruriens* (la clasificación botánica correcta de la mucuna es incierta, pues hay diferentes nombres para el mismo material).

A continuación se citan los principales aspectos señalados por agricultores y técnicos para seleccionar las dos especies mencionadas:

- crecimiento vigoroso
- poco atacadas por plagas y enfermedades
- supresión de malezas
- sirven para alimentar el ganado
- tolerantes a la sequía

La *Vigna* (*Vigna sp.*) y el *Dolichos* (*Dolichos lab-lab*) en casi todos los casos tuvieron problemas de germinación, crecimiento y ataque de plagas (sompopo y tortuguillas, principalmente).

La canavalia y la mucuna son leguminosas que generalmente producen buena cantidad de biomasa y pueden ser sembradas en asocio con los granos básicos. Como leguminosas logran, a través de la simbiosis con las bacterias en sus raíces, absorber el N-atmosférico y reciclarlo posteriormente al suelo como N-orgánico en sus rastrojos. En esta forma orgánica, el nitrógeno es “atacado” por los organismos del suelo que lo pasan a forma mineral (proceso de mineralización de la materia orgánica), en la que puede, como iones NH_4 y NO_3 , ser absorbido por cualquier otra planta.

En el Cuadro 6, se presentan los contenidos promedios de nutrientes en tejidos de estas dos especies de abonos verdes durante el período de floración. Estos contenidos obviamente deben ser tomados con cierta cautela, puesto que se trata de ejemplos. Pueden ser un poco mayores o menores, dependiendo de la fertilidad del suelo y fase de crecimiento de las plantas, entre otras variables.

Los contenidos de nutrientes en los tejidos de los abonos verdes suelen ser más elevados en el período de floración y formación de vainas. Pasado este período, los nutrientes que son móviles dentro de la planta empiezan a trasladarse a las vainas y granos. Si el agricultor cosecha los granos, los nutrientes salen del área y no son reciclados al suelo.

Cuadro 6: Contenido promedio de nutrientes en los tejidos de dos especies de abonos verdes en floración, que pueden ser reciclados para ayudar al mantenimiento de los niveles de nutrientes del suelo (Adaptado de Calegari, 1995).

Material	Contenido de Nutrientes (% de la biomasa seca)				
	N	P	K	Ca	Mg
Plantas de mucuna (negra y crema)	2,5	0,14	1,4	1,15	0,27
Planta de canavalia	3,2	0,15	5,6	1,35	0,63

En el caso del nitrógeno, tomando un contenido de 3% y una biomasa seca de abono verde de 60 qq/mz, se llegaría a una cifra de 180 lbs/mz de N, equivalente a 900 lbs/mz de sulfato de amonio o 400 lbs/mz de urea. De estas 180 libras de nitrógeno, se puede estimar que el 30 a 50% es N-atmosférico fijado por las bacterias fijadoras y la otra parte es absorción del N-suelo. Por ende, se podría estimar que unas 60-90 lbs/mz corresponden a nitrógeno nuevo en el sistema, nutriente realmente aportado. Las demás 90-120 lbs/mz son producto de la absorción del nitrógeno del propio suelo, elemento que ya estaba en el sistema; por lo tanto, se trata de reciclaje y no de un aporte (adición) desde afuera del sistema. Aunque no sea un aporte, no deja de ser importante, tomando en cuenta que el N-suelo, en la forma mineral de NO_3 (nitrato), es químicamente muy móvil y puede perderse fácilmente por lixiviación. Cuando el $N-NO_3$ es absorbido por una planta, como en el caso del abono verde, y después vuelve al suelo, como parte integrante de sus rastrojos, se mantiene más tiempo como N-orgánico, no susceptible a pérdidas por lixiviación.

Cabe señalar que no todo el N fijado por las bacterias y reciclado al suelo es aprovechado por los cultivos siguientes. Parte de este N se pierde por las diferentes formas ya mencionadas anteriormente.

La canavalia y la mucuna pueden ser sembradas en asocio o relevo con los granos básicos, dependiendo del sistema específico de cada agricultor. El cultivo de abono verde debe respetar y mejorar el sistema de cultivo principal del agricultor y no competir con él.

a. Siembra en cultivo de maíz + sorgo en asocio

Para el maíz sembrado en mayo/junio, con asocio de sorgo a partir de julio/agosto, se recomienda lo siguiente:

- **Epoca de siembra del abono verde:** cuando el sorgo ya posee una altura de unos 30-40 cm, sembrar el abono verde. No se recomienda una siembra más temprana, porque el abono verde puede “dominar” el sorgo, principalmente si se trata de la mucuna. Si se trata de canavalia, la siembra puede ser más temprana, porque esta especie no es tan trepadora.
- **Densidad de siembra del abono verde:** un espaciamiento de 80 cm entre líneas y 50 cm entre posturas en la línea, con 2 semillas por postura.

b. Siembra en cultivo de maíz en monocultivo (sin asocio con sorgo o frijol)

Para el maíz en monocultivo sembrado en mayo/junio, se recomienda lo siguiente:

- **Epoca de siembra del abono verde:** en la dobla del maíz, sembrar el abono verde con posturas próximas a las matas de maíz para que esta planta pueda absorber y reciclar el fertilizante mineral (químico) residual aplicado en el cultivo de maíz. El abono verde, principalmente la canavalia, puede ser sembrado más temprano, mucho antes de la dobla. Sin embargo, la cosecha del maíz deberá realizarse antes de que el abono verde crezca y cubra el maíz, principalmente si se trata de la mucuna. Si las mazorcas de maíz quedan cubiertas por la vegetación del abono verde y hay un período largo de lluvias, pueden podrirse más fácilmente.
- **Densidad de siembra del abono verde:** un espaciamiento de 80 cm entre líneas y 50 cm entre posturas en la línea, con 2 semillas por postura.

En el caso de la siembra más temprana del abono verde, antes de la dobla del maíz, se recomienda aumentar la distancia de siembra: por ejemplo, a 160 cm entre líneas x 80 cm entre posturas, principalmente para el caso de la mucuna. En la canavalia, no es necesario.

En los casos de maíz en monocultivo sembrado en postrera (a partir de agosto), donde el terreno queda en barbecho de mayo a julio, se recomienda lo siguiente:

- **Epoca de siembra del abono verde:** en mayo, como monocultivo en el área. Chapodarlo una semana antes de la siembra del maíz y sembrar el cultivo sin labrar el suelo.

- **Densidad de siembra del abono verde:** un espaciamiento de 80 cm entre líneas y 50 cm entre posturas en la línea, con 2 semillas por postura.

En este caso, el cultivo de maíz aprovecha el beneficio del abono verde ya en el primer año.

c. Siembra en cultivo de maíz + frijol en relevo

Para el maíz sembrado en mayo/junio, con relevo de frijol en agosto/septiembre, no existe mucha experiencia en relación a la siembra de abonos verdes. Existe el riesgo de que el abono verde, si es sembrado muy temprano, “domine” el frijol o dificulte su cosecha. Sin embargo, se puede hacer el siguiente cálculo: un frijol sembrado en la segunda quincena de agosto estaría saliendo del campo en la primera semana de noviembre, ya a la entrada del verano. El abono verde, en este caso, podría ser sembrado unos 30 días antes de la cosecha del frijol, sin riesgo de que compita con este cultivo. Dado que estos dos abonos verdes (Canavalia y Mucuna), sembrados a 80 cm x 50 cm, con 2 semillas por postura, requieren cerca de 60 días para “cerrar” el terreno y que, en este caso, se contaría con apenas unos 40 días de lluvias antes de comenzar el período seco. Se recomienda, por lo tanto, considerar la posibilidad de realizar una siembra más densa (50 x 50 cm, siempre con 2 semillas por postura).

d. Siembra en áreas de descanso (barbecho)

También se pueden establecer abonos verdes en áreas en descanso. En este caso, se recomienda lo siguiente:

- **Epoca de siembra del abono verde:** a partir de mayo, cuando se establezcan las lluvias, hasta agosto.

- **Densidad de siembra del abono verde:** En un barbecho que se va a dejar más de un año, la siembra del abono verde debe hacerse a más distancia entre postura para permitir una diversidad mayor de otras especies en el área. Por ejemplo, a 3 x 3 m, con 2 semillas por postura. Si se trata de un barbecho de un solo ciclo, por ejemplo el descanso de mayo a julio para siembra de postrera, se recomienda la siembra de abonos verdes a distancias de 80 x 50 cm.

Es importante señalar que, si se plantea extender el uso de abonos verdes, es fundamental que los agricultores produzcan su propia semilla. Para ello, se recomienda la siembra en áreas separadas de los cultivos, con densidades de siembra más amplias, principalmente en el caso de la mucuna. Este material también necesita tutor para producir más semilla. Por tal razón, las áreas de barbecho son excelentes para tal finalidad.

Cuando el agricultor siembra un abono verde para alimentar su ganado o cosecha toda la semilla, gran parte de los nutrientes sale del área y necesita ser repuesta, igual que en cualquier otro cultivo.

La canavalia y la mucuna no son consideradas plantas forrajeras, aunque, según la experiencia de los agricultores, el ganado las consume con gran voracidad. Obviamente que, en las condiciones de hambruna que vive el ganado en verano, la aceptación de estos materiales ricos en proteína digestible es buena. Sin embargo, estos materiales poseen algunos principios tóxicos que no permiten recomendar

su consumo crudo por animales y humanos. La literatura señala que estos principios tóxicos afectan principalmente el crecimiento de quienes los consumen.

Las otras dos especies evaluadas no poseen principios tóxicos y pueden ser consumidas por humanos (vainas y granos de la vigna) y animales (rastrosos de la vigna y plantas enteras de dolichos).

Vale la pena evaluar a nivel local la siembra de dolichos asociado al sorgo para guate o ensilaje, sembrados simultáneamente. Seguramente se trata de un forraje más rico en proteínas y mejor equilibrado nutricionalmente.

4.4. Mejoramiento de la fertilización y nutrición de los cultivos

Cultivos bien nutridos producen más biomasa, tanto de granos como de los demás tejidos (hojas, tallos, raíces y flores). Al producir más biomasa, proporcionan mejores niveles de cobertura del terreno y absorben más cantidades de nutrientes del suelo, los cuales reciclan a través de sus rastrosos. Se podría afirmar que el reciclaje en un cultivo bien nutrido y con más biomasa involucra mayores cantidades de nutrientes que en un cultivo mal nutrido y con poca producción de biomasa. Por otra parte, hay que considerar que el cultivo bien nutrido y con mayor producción de granos (u otro producto de cosecha) exporta más nutrientes del área de cultivo.

La nutrición de los cultivos depende de diversas variables. Las más importantes se presentan a continuación:

- nivel de nutrientes en el suelo
- nivel de acidez o alcalinidad del suelo
- presencia o ausencia de elementos en niveles tóxicos
- condiciones físicas y biológicas del suelo que afectan el crecimiento radicular, el reciclaje y la absorción de nutrientes
- contenido de agua en el suelo
- época de fertilización vs. época de extracción de nutrientes
- dosis de fertilización
- tipos de fertilizantes
- ubicación de los fertilizantes

Dada la importancia de la fertilización y nutrición de los cultivos en una estrategia para producir más y conservar el ambiente, el tema es tratado en detalle en el Módulo 3 de este manual.

5. Mantenimiento de rastrosos

Como ya se mencionó, en el sistema de producción granos básicos-ganadería hay competencia por el rastrojo. ¿Cómo mantener más rastrosos sobre la superficie del suelo, si el ganado lo necesita como alimento durante el periodo seco?

Además de la alternativa, ya analizada, de aumentar la producción de rastrosos, a continuación se presentan algunas prácticas que permiten mantener los rastrosos dentro del área de producción, reciclando nutrientes y protegiendo el suelo.

- Evitar la quema de los rastrojos
- Evitar el carrileo de los rastrojos
- Siembra de pastos mejorados
- Conservación de forrajes
- Producción de pastos de corte
- Siembra de barreras vivas de doble propósito
- Siembra de árboles forrajeros y de uso múltiple.

5.1. Evitar la quema de los rastrojos

La quema es el método más barato y rápido con que cuenta un pequeño agricultor para limpiar su terreno para la siembra de los cultivos. Además, la ceniza resultante de la quema es un material rico en nutrientes (véase Cuadro 7), con una respuesta positiva rápida para los cultivos. La quema recicla inmediatamente algunos de los nutrientes del material orgánico quemado hacia el suelo, lo que hace que la ceniza actúe como un fertilizante mineral (químico) y, en algunos casos, aumente el pH del suelo. Estos son los motivos por los cuales los agricultores tradicionalmente queman sus terrenos.

Cuadro 7: Contenidos de nutrientes en ceniza de una vegetación de barbecho de 11 años (Adaptado de Aldunate & Mejía, 1991).

Material	Contenido de Nutrientes (libras/mz)				
	N	P	K	Ca	Mg
Ceniza de barbecho de 11 años	1,8	13,9	215,6	238,7	47,7

La quema, sin embargo, tiene efectos colaterales muy negativos para la sostenibilidad del sistema de producción a mediano y largo plazo, como los siguientes:

- Destruye la materia orgánica que ha sido producida durante el ciclo de crecimiento vegetal (cultivo o barbecho) e, incluso, una parte de la materia orgánica de la capa superficial del suelo. De esta manera se pierden las ventajas que tiene la materia orgánica como tal: adsorber nutrientes, almacenar agua, mejorar la estructura del suelo, entre otras.
- El carbono orgánico se pierde en la atmósfera en forma de gas (dióxido y monóxido de carbono), contaminando el aire y contribuyendo al efecto invernadero.
- Lo mismo ocurre con el nitrógeno y el azufre, que se pierden en la atmósfera en diferentes formas gaseosas. En el Cuadro 7, se puede observar que la ceniza prácticamente no contiene nitrógeno.
- Los nutrientes que permanecen en la ceniza pueden ser absorbidos nuevamente por las plantas. Sin embargo, la ceniza que queda sobre la superficie del suelo después de la quema es fácilmente lavada por las lluvias o llevada por el viento.

- La falta de cobertura del terreno después de la quema conlleva a un proceso de erosión más severo.
- Al no existir adición de materia orgánica y al ser quemada la capa superior del suelo, se reducen las poblaciones de organismos en el suelo, con todo lo que ello conlleva: la reducción de la biodiversidad; la consiguiente mayor posibilidad de que alguna población específica se sobreponga a las demás y alcance los umbrales de daño como plaga o patógeno; la vulnerabilidad de los cultivos al constituir el único material orgánico disponible como “alimento” para dichos organismos; la reducción de canaliculos y galerías; un menor reciclaje de nutrientes, entre otros.
- A mediano y largo plazos, en un suelo cuya vegetación es quemada con frecuencia, se reducen los niveles de materia orgánica y de nutrientes, pudiendo llegar a extremos de no posibilitar la producción agropecuaria o forestal económicamente rentable.

En conclusión, la quema debe ser evitada en las áreas agrícolas, aunque la ceniza pueda representar una “fertilización” en el corto plazo.

Lo anterior no quiere decir que la ceniza no deba ser utilizada. La ceniza producida en las cocinas, ladrilleras, hornos, etc., puede y debe ser utilizada, principalmente en aboneras orgánicas y su posterior utilización en almácigos, huertos, frutales, etc. como fuente de nutrientes.

5.2. Evitar el carrileo del rastrojo

Muchos técnicos recomiendan y muchos agricultores adoptan la práctica de carrilear los rastrojos a nivel, como una manera de controlar la escorrentía superficial. Sin embargo, tomando como base lo dicho hasta el momento, se puede concluir que el carrileo de los rastrojos es, en su esencia, una técnica no recomendable. Algunos argumentos que sustentan esta afirmación son presentados a continuación:

- Los rastrojos dispersos en la superficie presentan un efecto mucho más positivo en el control de la erosión que si son carrileados puesto que actúan desde el principio del proceso erosivo: evitan la desagregación de las partículas de suelo y el sellado superficial. Además, reducen el escurrimiento en su fase inicial. En cambio, cuando son carrileados, la superficie del suelo permanece desnuda y expuesta a la erosión. El proceso erosivo se establece y los rastrojos carrileados actúan para retener la escorrentía y forzar la sedimentación de los materiales arrastrados. En este caso, sin embargo, el proceso erosivo entre los carriles de rastrojo ya ha ocurrido.
- Los rastrojos dispersos en la superficie reducen los altibajos de la temperatura del suelo y mantienen mejor la humedad. En cambio, cuando los rastrojos son carrileados, estos efectos beneficiosos se producen solamente bajo los carriles, no así en las áreas donde están los cultivos, entre los carriles.
- Los rastrojos dispersos sobre la superficie se descomponen y reciclan los nutrientes en toda el área. Carrileados, los nutrientes son liberados solamente en la zona de los carriles, creando algunas líneas de suelo más fértiles y empobreciendo la zona entre los carriles, precisamente donde se siembran los cultivos.

5.3. Sembrar pastos mejorados

La siembra de pastos de mayor capacidad productora de forraje y de mejor calidad que los pastos nativos o naturalizados, es una alternativa fundamental para el mantenimiento de los rastrojos en la superficie del terreno destinada a granos básicos. Con mayor disponibilidad de biomasa de mejor calidad bromatológica, el productor no necesitaría hacer uso de los rastrojos para alimentar su ganado.

Como ya fue señalado, el sub-sistema de granos básicos está íntimamente ligado al sub-sistema de ganadería de doble propósito, ya que los residuos (rastrojos) del primero sirven como insumo (alimento) para el segundo. Aunque, en general, el aprovechamiento de residuos no sea una mala práctica dentro de los sistemas de producción, en el caso específico de este sistema de producción en zonas de ladera sí lo es, debido a que el suelo del que se sacan los rastrojos queda desnudo y pisoteado por el ganado y, por lo tanto, mucho más susceptible a la erosión hídrica. Además, las salidas de nutrientes son mucho mayores que las reposiciones, lo que contribuye a reducir la fertilidad del suelo.

Para mantener el ganado alimentado en el período seco, sin utilizar los rastrojos de los granos básicos (o utilizándolos de manera controlada), el mejoramiento de los pastos es una práctica necesaria.

Hay que considerar, igualmente, que la alimentación del ganado a base de rastrojos por un período de cinco meses no satisface sus exigencias nutricionales. Ello constituye uno de los motivos de la baja productividad y de los pobres índices zootécnicos en esta modalidad de ganadería.

El mejoramiento de los pastos contribuiría a mantener en mejores condiciones los suelos cultivados con granos básicos y aumentar la productividad de la ganadería.

Las especies de pasto que han sido probadas y cuentan con mayor aceptación por los productores son presentadas en el Cuadro 8.

La *Brachiaria brizantha* (pasto brizantha) es una gramínea de rápido crecimiento, que produce gran cantidad de forraje de buena calidad. En las condiciones de El Salvador, su período de descanso antes de un nuevo pastoreo se sitúa entre 30-35 días. Cuando sobrepasa los 50-60 cm de altura, es menos apetecida por el ganado, además de que los tallos y el follaje se ponen más duros y no son bien aprovechados.

Cuadro 8: Principales características de las especies de pasto más promisorias para la siembra en sistemas de producción ganaderos de doble propósito (Informaciones proporcionadas por el Programa de Producción Animal del CENTA).

Especie	Nombre común	Crecimiento	Propagación	Semilla/mz	Espaciamiento	Siembra	Primer pastoreo
<i>Brachiaria brizantha</i>	Pasto brizantha	Erecto (cepas)	Semilla sexual o cepitas	6,5 lbs	50 cm entre surcos o al voleo	mayo a agosto	70 - 90 días
<i>Brachiaria decumbens</i>	Pasto decumbens	Estolonífero	Semillas sexuales o estolones	6,5 lbs	50 cm entre surcos o al voleo	mayo a agosto	70 - 90 días
<i>Digitaria swazilandensis</i>	Pasto swazi	Estolonífero	Estolones	45 qq	50 cm entre surcos, al chorro	mayo a agosto	70 - 90 días
<i>Andropogon gayanus</i>	Pasto carimagua	Erecto (cepas)	Semilla sexual y cepas	16 lbs	50 cm entre surcos o al voleo	mayo a agosto	70 - 90 días

La principal ventaja del pasto brizantha es que se mantiene como forraje verde hasta bastante entrado el verano, época en que el ganado lo consume con excelente aceptación.

El pasto brizantha produce semilla sexual viable, pero su cosecha es difícil a nivel de finca no especializada, siendo ésta una limitante de la especie para pequeños ganaderos de escasos recursos económicos. La semilla sexual disponible en el mercado es relativamente cara para pequeños productores, aunque el beneficio a corto plazo pueda ser grande.

El pasto brizantha también puede ser sembrado a través de las macollas extraídas de las plantas madres. Los tallos presentan poco enraizamiento. El proceso de siembra con material vegetativo requiere bastante mano de obra, razón por la cual es factible solamente en áreas pequeñas. Cada productor debe evaluar sus posibilidades y seleccionar el método que más le conviene.

La *Brachiaria decumbens* (pasto decumbens) es también una gramínea de rápido crecimiento. Produce buena cantidad de forraje de buena calidad, aunque menos que el pasto brizantha. En las condiciones de El Salvador, su período de descanso antes de un nuevo pastoreo se sitúa entre 30-35 días. Posee hábito estolonífero, lo que le permite cubrir mejor y más rápido el terreno, en comparación con el pasto brizantha, lo cual se convierte en una ventaja, principalmente en zonas de ladera.

La reproducción se hace tanto por semilla sexual como por estolones, los cuales se enraízan con mucho más facilidad que los tallos del pasto brizantha.

Es más tolerante a sequía, en comparación con los pastos nativos y el jaraguá. El pasto decumbens es susceptible al “salivazo”, principalmente cuando es manejado muy alto. En cambio, el pasto brizantha es tolerante a esta plaga de los pastos.

La *Digitaria swazilandensis* (Pasto Swazi) ha sido muy aceptada por los productores que la han probado en sus fincas. De hábito estolonífero, esta gramínea forma un colchón verde sobre el terreno, con forraje muy suave y apetecido por el ganado. Entre un pastoreo y otro se debe esperar entre 28 a 35 días, para un buen aprovechamiento.

En términos de producción total de forraje, en general el pasto swazi produce menos que el pasto brizantha. Sin embargo, en las condiciones de manejo de los sistemas de producción de doble propósito, sin un control adecuado de pastoreo, el pasto swazi suele ser aprovechado mayormente, puesto que su forraje es más aceptado por el ganado cuando ha pasado su punto óptimo de pastoreo.

Por su textura suave, es de fácil henificación mediante procesos manuales. El heno resultante es aceptado por el ganado en el verano.

Aunque resista menos a la sequía que el brizantha, el pasto swazi se mantiene verde durante el principio del verano, por lo menos hasta enero-febrero. Comparado con brizantha y decumbens, el pasto swazi exige mejor nivel de fertilidad en el suelo.

El *Andropogon gayanus* (Pasto Carimagua) es un pasto con alta producción de forraje, aunque su calidad sea inferior a las brachiarias. Su crecimiento es rápido y el forraje, de textura suave, es aceptado muy bien por el ganado. El hábito de crecimiento es cespitoso y erecto, lo que facilita su utilización también como pasto de corte. Algunos productores lo henifican en manojos, en vez de pacas, lo que facilita el procedimiento de henificación manual.

El carimagua produce abundante cantidad de semillas viables, lo que favorece su multiplicación a nivel de la finca y de las comunidades de escasos recursos. De esta manera, a partir de una pequeña parcela, el productor puede reproducir fácilmente las semillas y expandir las áreas con pastos.

El pasto carimagua también es llamado, en el país, jaraguá mejorado. Sin embargo, botánicamente no tiene nada que ver con esta especie de pasto.

En el caso de los pequeños productores de escasos recursos económicos, la mejor estrategia para el establecimiento de las cuatro especies citadas es la siembra de pequeñas parcelas para su multiplicación hacia otras áreas de la finca.

El hecho de citar solamente cuatro especies de pastos mejorados en este manual no significa que otras especies no puedan ser promovidas a nivel de fincas. Para más detalles sobre el establecimiento de pastos y manejo adecuado del pastoreo se recomienda consultar a los investigadores del Programa de Producción Animal del CENTA y materiales con información más especializada.

5.4. Conservación de forrajes

Como un complemento del mejoramiento de los pastos, la conservación de forrajes para alimentar el

ganado en el período seco es otra opción para reducir el consumo de rastrojos de granos básicos y la presión sobre el suelo.

La conservación de forrajes se puede hacer a partir de dos fuentes distintas: de áreas sembradas específicamente para producir forrajes para conservación y almacenamiento o a partir de los excedentes de producción de forrajes de los pastos durante el período lluvioso.

La conservación de forrajes se puede hacer de diferentes maneras, siendo la henificación y el ensilaje las más comunes.

La henificación consiste en la deshidratación (secado) del forraje fresco, cuando éste todavía posee buena calidad nutritiva. El material seco es acondicionado en la forma de pacas o manojos y almacenado en galeras protegidas de la humedad para su posterior consumo por el ganado durante la época de escasez de forraje fresco.

En las condiciones de El Salvador, se podría producir heno más fácilmente en dos diferentes épocas del año: heno de primera, para secado durante el período de la canícula; y heno de segunda, para secado en la mera entrada del verano. En otros períodos del invierno también se puede producir el heno, aunque se requiera que el productor esté pendiente de las condiciones de sol y lluvias para extender el forraje, recogerlo, cubrirlo, re-extenderlo, etc, aspectos que aumentan los costos y riesgos.

El ensilaje consiste en la fermentación anaeróbica y controlada del forraje fresco y su conservación como material fermentado para alimentar el ganado en el período de escasez. Hay diferentes tipos de silos que pueden ser utilizados. El que parece ser más barato y accesible para pequeños agricultores de escasos recursos es el silo de montón. Este silo consiste básicamente de la compactación del forraje picado en forma de un montículo compacto, el cuál es cubierto por una lona plástica y una capa de tierra. El lugar del silo debe estar protegido de la entrada de agua de lluvia o escorrentía y tener un suelo con buen drenaje.

Para el ensilaje vale la pena cultivar áreas específicas con plantas de alto rendimiento de forraje. El CENTA posee diferentes variedades de sorgo forrajero que se prestan para esta finalidad, tal es el caso del sorgo CENTA-S2.

5.5. Producción de pasto de corte

Con el mismo propósito de sustituir el rastrojo de los granos básicos como forraje y a la vez mermar la hambruna del ganado en el período seco, una opción complementaria a las anteriormente mencionadas es la de sembrar y mantener áreas de pasto para corte durante el verano.

Hay muchas especies de pasto de corte. Las más recomendadas son:

Pennisetum purpureum e híbridos - Pasto King-grass, Pasto Merkerón, etc. (perennes)

Saccharum officinarum - Caña de azúcar (perenne)

Sorghum bicolor – Sorgo forrajero (anual) – CENTA S2, CENTA SS43

Aunque muchos zootecnistas no consideren la caña de azúcar como una planta forrajera por excelencia, esta especie presenta una ventaja relativa muy grande dentro de la pequeña finca ganadera, pues se puede utilizar en la alimentación de cerdos y aprovechar en otras múltiples formas por la familia campesina (jugo, miel, azúcar, etc.).

¿Cómo calcular la cantidad de forraje necesario para alimentar el hato durante un determinado período de tiempo? Una Unidad Animal (U.A.), representada por una vaca adulta con un peso vivo entre 900 y 1000 libras, consume diariamente alrededor de un 10% de su peso vivo en forraje fresco (verde - húmedo), equivalente a 90 -100 libras de material. Para saber la cantidad de forraje que se necesita disponer durante un determinado período (el verano, por ejemplo) se hace el siguiente cálculo:

$$\text{N}^\circ \text{ de U.A.} \times 90 \text{ lbs.} \times \text{N}^\circ \text{ de días de alimentación} = \text{Cantidad de forraje necesaria en lbs.}$$

El número de unidades animales en el hato se calcula por:

1 toro adulto	=	1,20 U.A.
1 vaca adulta	=	1,00 U.A.
1 novillo(a)	=	0,80 U.A.
1 ternero(a) sobre año	=	0,50 U.A.
1 ternero(a) año	=	0,25 U.A.
1 equino	=	1,50 U.A.

5.6. Siembra de barreras vivas de doble propósito

La siembra de barreras vivas de doble propósito es otra opción factible de ser utilizada por los pequeños productores de este sistema de producción para aumentar la disponibilidad de forraje en el verano y reducir la presión sobre los rastrojos de granos básicos.

Las barreras vivas son líneas de vegetación densa sembradas en curvas a nivel para cumplir primariamente con la función de reducir la velocidad de la escorrentía superficial y retener los sedimentos. Si la especie vegetal sembrada también sirve como forrajera, entonces la barrera viva puede cumplir una doble función: controlar la escorrentía y alimentar el ganado.

A nivel del Proyecto CENTA-FAO, se está impulsando, con buena aceptación por los agricultores, la siembra de barreras vivas con *Brachiaria brizantha*, el mismo pasto brizantha ya mencionado anteriormente.

Se siembran 1, 2 ó 3 líneas del pasto a nivel, separadas cada 20 cm. Estas líneas de pasto forman la barrera. La distancia entre cada barrera puede ser entre 15 ó 20 metros, dependiendo de la pendiente del terreno. Aunque la distancia entre las barreras vivas dependa de la pendiente del terreno, desde el punto de vista práctico, ningún agricultor va a sembrar barreras vivas a menos de 15 metros una de otra, por la pérdida de área de siembra que representa. Tampoco conviene hacerlas a una distancia superior a 20 metros, puesto que el daño causado por la escorrentía puede ser grande y el beneficio de la barrera viva muy reducido.

Sembrando las barreras cada 15 metros, 1 manzana de terreno tendrá cerca de 470 metros lineales de barrera viva. Si la barrera tiene 1 sola línea de pasto, el consumo de semilla de *brizantha* será de 0,18 - 0,20 libras/mz. Con 2 líneas, será de 0,36 - 0,40 lbs/mz. Con 3 líneas, de 0,54 - 0,60 lbs/mz.

El agricultor que siembra la barrera viva con *brizantha*, puede utilizar el pasto para alimentar el ganado durante el invierno y verano, ya sea como pasto de corte o heno. Se recomienda una poda alta (15 a 20 cm del suelo) para que las cepas puedan cumplir la función de retener los sedimentos. Además, el pasto *brizantha* no tolera bien los cortes muy bajos.

La producción de forraje verde de *brizantha* en parcelas de validación con barreras vivas de 3 líneas, es de alrededor de 100 lbs/10 m lineales/corte, pudiéndose hacer de 2 a 3 cortes al año.

Las barreras vivas también pueden ser de caña de azúcar o de pasto *king-grass*, dependiendo de los objetivos del productor, facilidad de manejo, sombra sobre los cultivos, etc.

Entre otras especies que pueden ser utilizadas como barrera viva y que presentan doble propósito está la piñuela o piña de cerco y el izote.

El vetiver (*Vetiveria zizanioides*), muy utilizado en el país como barrera viva, es excelente material para retener los sedimentos de la escorrentía. Presenta el inconveniente de no tener otro aprovechamiento económico complementario.

5.7. Siembra de árboles forrajeros y de uso múltiple

La siembra de árboles forrajeros es otra opción importante para mejorar la alimentación del hato y reducir la presión sobre los rastrojos. Si el árbol seleccionado posee otras funciones en la finca (leña, madera, estacones, cerca, sombra, etc.), tanto mejor.

Por las experiencias existentes en el país, las especies que presentan mejor comportamiento como forrajeras, además de su facilidad de multiplicación y utilización múltiple, son el madrecaao (*Gliricidia sepium*) y el pito (*Erythrina berteroana*). Son especies que pueden ser multiplicadas por semilla sexual o estacas y producen forraje de buena calidad. El madrecaao también sirve como leña y madera para ciertos usos.

Otras especies de árboles, exóticas o nativas, también pueden ser utilizadas como forrajeras, tomando en cuenta la zona del país y el conocimiento local sobre su manejo.

Hay muchas formas de sembrar los árboles en un sistema de producción agrosilvopastoril: dispersos en el pasto, en bloques de pastoreo controlado, en bloques de sombra y como cercas vivas.

Cabe señalar que no se debe confundir una cerca viva de árboles, u otra especie, con la barrera viva ya descrita anteriormente. La barrera viva está formada por líneas de plantas que son sembradas a nivel dentro de un terreno, a fin de posibilitar la reducción de velocidad y la retención de los sedimentos de la escorrentía superficial. La cerca viva también está formada por líneas de plantas, las cuales, sin embargo, no necesariamente cumplen la función de controlar la erosión. Éstas pueden estar sembradas en las orillas del terreno, a nivel o en el sentido de la pendiente, ser aprovechadas como cercas para los

animales, madera, leña, sombra, forraje, etc. Cuando la cerca viva también cumple con la función de reducir la velocidad de la escorrentía y retener sedimentos (vegetación densa a nivel), entonces también es una barrera viva

Ninguna de estas prácticas utilizada de manera aislada dentro del sistema de producción es suficiente para reducir la presión sobre los rastrojos. Ellas son complementarias. La aplicación de este enfoque de complementariedad e integración de diferentes prácticas a nivel del sistema de producción permitirá lograr el deseado impacto sobre la reducción en la utilización de los rastrojos de los granos básicos.

6. Algunas estimaciones de costos y beneficios

Dejar los rastrojos de maíz, sorgo y frijol sobre la superficie del terreno implica el cambio de diversas relaciones dentro del sistema de producción, las cuales pueden afectar tanto los costos como los beneficios de dicho sistema. Algunos de estas relaciones o variables se describen a continuación.

6.1. Reciclaje de nutrientes y reducción del uso de fertilizantes minerales (químicos)

Como ya se mencionó, los rastrojos poseen una buena cantidad de nutrientes en sus tejidos.

Tomándose en cuenta solamente el nitrógeno, que es, como sabemos, uno de los nutrientes más requeridos por las plantas cultivadas, se puede hacer el siguiente balance:

- Para una producción de rastrojos de maíz y sorgo de 150 qq/mz;
- con un promedio de 0,5% de N;
- representa: $15000 \text{ libras} \times 0,005 = 75 \text{ lbs/mz de N}$;
- con una descomposición parcial de 60% en los primeros 3 meses de invierno;
- $75 \text{ lbs/mz de N} \times 0,6 = 45 \text{ lbs/mz de N}$;
- para un aprovechamiento de 50% por las nuevas plantas;
- $45 \text{ lbs/mz de N} \times 0,5 = 22,5 \text{ lbs/mz de N}$;
- para una demanda de N para el maíz de 140 lbs/mz;
- una posibilidad de ahorro de fertilizante mineral de 16% ($22,5/140$) en la primera siembra.

Este ahorro presenta la tendencia de aumentar en los años siguientes, en la medida que el suelo va incrementando sus contenidos de N reciclado vía rastrojos.

En los suelos con N muy bajo, los rastrojos de plantas como el maíz y sorgo, de alta relación Carbono/Nitrógeno (Relación C/N), pueden causar una deficiencia temporal de N al nuevo cultivo que se siembra. Ello porque los microorganismos, al multiplicarse para descomponer este rastrojo, consumen una parte del N disponible en el suelo, lo que determina que falte para el cultivo. Este efecto es más frecuente en los suelos muy pobres en N. Dejando los rastrojos de manera continuada en el suelo, este efecto tiende a desaparecer, puesto que la cantidad de N en el suelo va en aumento.

6.2. Reducción de las pérdidas de suelo y nutrientes por erosión

Se puede hacer la siguiente estimación realista para un terreno de ladera en El Salvador:

- En un suelo con 0,15% de N total, 10 ppm de P y 200 ppm de K intercambiables;
- en una capa de 1 mm, en el área de 1 manzana, hay las siguientes cantidades de NPK:
 - 31 lbs de N total;
 - 0,2 lbs de P “intercambiable”
 - 4,2 lbs de K intercambiable

Si esta capa de 1 mm de suelo se pierde debido a la erosión, porque el terreno está descubierto en una situación de ladera, la pérdida equivale a 1,5 qq/mz de sulfato de amonio, o aproximadamente 1,0 q/mz de una fórmula 30 - 0,2 - 4 de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente.

Hay que considerar que los valores de P y K son “intercambiables”, no son valores totales en el suelo.

Sin embargo, más que los nutrientes perdidos, el suelo que queda para el cultivo es cada vez más pobre, principalmente en términos de contenido de materia orgánica, que, tal como ya se ha dicho, es responsable por lo menos del 70% de la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Un suelo con un contenido de 3% de materia orgánica posee en una capa de 1 mm cerca de 600 lbs/mz de este material.

Con el empobrecimiento paulatino del suelo (menos materia orgánica, arcillas, nutrientes y vida microbiana), la producción se reduce año con año y los costos de producción aumentan, pues es necesario poner más fertilizantes minerales (químico) para recuperar la producción. Además, como el suelo ha perdido parte de su capacidad de intercambio de cationes (pérdida de materia orgánica y arcillas), el fertilizante mineral pierde eficiencia y tampoco responde como debería.

6.3. Reducción del costo correspondiente al control de malezas

El terreno cubierto por rastrojos dificulta la germinación y crecimiento de las malezas. Por este motivo, el agricultor puede reducir los costos por concepto de mano de obra y herbicidas, principalmente en la preparación (limpieza) del terreno para la siembra de primera y durante los primeros días del cultivo.

6.4. Aumento de producción por área

Otro beneficio tangible que tiene dejar los rastrojos en la superficie del terreno es el aumento paulatino de la producción de los cultivos. Este aumento de la producción ocurre por la interacción de diversos factores:

- Mantenimiento de la materia orgánica del suelo, con sus consiguientes efectos sobre la descomposición, reciclaje de nutrientes, biodiversidad en el perfil, estructura y porosidad, infiltración y almacenamiento del agua, entre otros.
- Protección del suelo, evitando las pérdidas por erosión.
- Reducción de la temperatura del suelo, lo que se traduce en menores tasas de pérdidas de agua por evaporación y menores posibilidades de estrés para el cultivo. El suelo bajo rastrojo permanece más húmedo y fresco que el suelo limpio en las mismas condiciones.
- Menor competencia de las malezas con el cultivo, puesto que los rastrojos generalmente

reducen o retardan la germinación de las malezas por reducir la entrada de luz hasta la superficie del suelo.

En parcelas de validación conducidas por el Proyecto CENTA-FAO-Laderas, en 23 localidades de Cabañas, Norte de Usulután y Morazán, en las que se dejan los rastrojos de maíz y sorgo sobre la superficie del terreno, se está produciendo un 30% más de maíz, en comparación con parcelas en las que los rastrojos son retirados del terreno (véase Cuadro 9). Esto a escasos 3 años de iniciado el manejo de las parcelas con tales tratamientos. La tendencia es a un aumento paulatino de la producción en las parcelas en las que se mantienen los rastrojos en la superficie y a una reducción paulatina de la misma en las parcelas en las que el suelo queda desnudo.

Cuadro 9: Producción de granos de maíz en parcelas con rastrojos sobre la superficie y en parcelas en las que han sido removidos, en diferentes rangos de pendientes y suelos, en tres Departamentos de El Salvador (Adaptado de Proyecto CENTA-FAO/Laderas).

Forma de manejo de los rastrojos	Cabañas		Usulután		Morazán	
	qq/mz	%	qq/mz	%	qq/mz	%
Sin rastrojos - rastrojos removidos del terreno	36,1		48,0		26,0	
Con rastrojos dejados en la superficie	48,3 (+12,2)	+ 33,8%	57,6 (+ 9,6)	+ 20,0%	37,2 (+ 11,2)	+ 43,1%

Incluso a aquellos agricultores que venden los rastrojos a los ganaderos y que obtienen unos ≈ 500 /mz por este concepto, les conviene dejar los rastrojos sobre el terreno, no solamente porque los aumentos de producción del maíz pagan sobradamente el valor de venta de los rastrojos ($\approx 500 \div \approx 100 = 5$ qq/mz de maíz, es menor que las diferencias observadas en el cuadro), sino que también porque, dejando los rastrojos sobre el terreno, la reposición de nutrientes en el cultivo de maíz siguiente puede ser más pequeña.

6.5. Aumento de la capacidad de carga animal

El mejoramiento de los pastos y el aumento de la disponibilidad de forraje de mejor calidad posibilita el aumento de la carga animal en el sistema. De los 0,6 U.A./mz actuales para por lo menos 1 U.A./mz. Si el agricultor mantiene el mismo hato, tendrá un 30% del área dedicada a la ganadería liberada para otras actividades productivas y de protección. Si él toma la decisión de aumentar el hato en función de la mayor disponibilidad de forraje, tendrá mayores ingresos en el rubro ganadería, aunque se mantengan los mismos niveles de productividad de leche, carne y animales de cría.

Obviamente, el mejoramiento de los pastos tiene un costo inicial. Sin embargo, si el agricultor lo hace

asociado a un cultivo, este costo puede ser pagado parcialmente por el rendimiento del cultivo.

La conservación de forrajes, en particular la henificación, prácticamente no representa un costo adicional para el productor, puesto que la mano de obra requerida para cortar el rastrojo, recogerlo y acondicionarlo para alimentar el ganado, equivale a la mano de obra empleada para la henificación. Representa un costo real si es comparada con el pastoreo descontrolado de los rastrojos, práctica muy dañina, tal como se ha señalado anteriormente.

6.6. Aumento del costo de labranza o siembra con tracción animal

Cuando el agricultor utiliza labranza del terreno o hace la siembra mecánica, utilizando equipos no adaptados para la operación en superficie con rastrojos (no posee un disco cortador del rastrojo), éstos representan un estorbo para la ejecución de las mencionadas operaciones, puesto que se producen problemas de atascamiento y retrasos del trabajo. Sin embargo, con el huizute o chuzo los rastrojos no representan ningún estorbo.

7. Análisis de factibilidad de adopción de las prácticas recomendadas

Las prácticas recomendadas en este Módulo presentan diferentes factibilidades de adopción según el régimen de tenencia de la tierra y las variantes del sistema de producción de granos básicos y ganadería en laderas.

Los propietarios suelen poseer lazos mucho más fuertes con la tierra que los arrendatarios, principalmente en función del corto tiempo de los acuerdos de alquiler, los cuales están restringidos al período de cultivo. Asimismo, por lo general, los propietarios suelen tener más disponibilidad económica (propia, mayor acceso al crédito) que los arrendatarios.

Lo anterior conlleva a que los propietarios suelen estar más dispuestos a adoptar e invertir en prácticas para producir más y a la vez, mejorar sus tierras.

Por el contrario, los arrendatarios no pueden o se ven menos motivados a adoptar e invertir en prácticas con resultados a mediano y largo plazos. Normalmente tienden a invertir en prácticas ligadas al manejo del propio cultivo.

En este sentido, sería fundamental añadir en los objetivos de trabajo de los extensionistas, la concientización y motivación de los productores para establecer acuerdos de alquiler de tierras más duraderos. Los arrendatarios serían beneficiados por la mayor seguridad que ello representa y probablemente estarían más dispuestos a invertir y conservar la tierra para producir más. Por otro lado, los propietarios serían beneficiados por la mejor conservación de sus tierras.

En el cuadro 10, se presenta un ejercicio de factibilidad de adopción de las prácticas recomendadas en este Módulo.

Cuadro 10: Análisis de la factibilidad de adopción de las prácticas recomendadas en el Módulo 2 en relación al régimen de tenencia de la tierra y las variantes del sistema de producción de granos básicos y ganadería en zona de ladera.

PRACTICAS	RÉGIMEN DE TENENCIA DE LA TIERRA Y VARIANTES DEL SISTEMA			
	Propietarios			Arrendatarios
	Granos básicos + ganadería	Granos básicos	Ganadería	Granos básicos
1. Selección de variedades más productoras de granos básicos y rastrojos.	La selección de materiales con tales características es un reto del componente de investigación. Los propietarios de la tierra, principalmente medianos y grandes, pueden tener fácil acceso a semillas, tanto de materiales híbridos (maíz y sorgo) como de polinización libre. Propietarios pequeños tendrán mayor acceso a materiales de polinización libre, los cuales posibilitan la producción de semilla artesanal.		No pertinente.	Tendrán mayor acceso a materiales de polinización libre, los cuales posibilitan la producción artesanal de semillas.
2. Densidad de siembra de los cultivos de granos básicos.	Los propietarios con posibilidades de comprar pequeños equipos de siembra podrían variar la densidad para cualquier modificación deseada. Los que siembran manualmente quedan un poco restringidos, aunque pueden también mejorar las poblaciones de plantas y distribuir mejor las posturas en el terreno.		No pertinente.	Quedan un poco restringidos, aunque pueden mejorar las poblaciones de plantas y distribuir mejor las posturas en el terreno.
3. Siembra en asocio o relevo.	Adaptada. Produce más rastrojos para cubrir mejor el suelo y alimentar el ganado.	Adaptada. Produce más rastrojos para cubrir mejor el suelo.	No pertinente.	Adaptada. Es menos favorable para la siembra asociada de abonos verdes por los resultados solo a mediano plazo. Para leguminosas comestibles puede ser más favorable.
4. Mejoramiento de la fertilización y nutrición de los cultivos de granos básicos.	Los propietarios medianos y grandes no tendrán grandes limitaciones en relación a la aplicación de más fertilizante y su utilización más correcta. Los pequeños pueden utilizar más correctamente las dosis actuales. Pueden utilizar el estiércol de ganado.	Los propietarios medianos y grandes no tendrán grandes limitaciones en relación a la aplicación de más fertilizante y su utilización más correcta. Los pequeños pueden utilizar más correctamente las dosis actuales.	No pertinente.	Difícilmente los arrendatarios tendrán condiciones para aumentar cantidades de fertilizantes. Pueden utilizar más correctamente las dosis actuales.
5. Evitar la quema de los rastrojos.	Adaptada.	Adaptada.	No pertinente.	Adaptada.
6. Evitar el carrileo de los rastrojos.	Adaptada.	Adaptada.	No pertinente.	Adaptada.

PRACTICAS	RÉGIMEN DE TENENCIA DE LA TIERRA Y VARIANTES DEL SISTEMA			
	Propietarios			Arrendatarios
	Granos básicos + ganadería	Granos básicos	Ganadería	Granos básicos
7. Sembrar pastos mejorados.	Adaptada. Reduce la necesidad de utilizar los rastrojos para el ganado y mejora la nutrición del hato.	Si poseen tierra suficiente, pueden pensar en vender heno y ensilaje o alquilar pastos.	Adaptada. Reduce la necesidad de comprar rastrojos o utilizar los de terrenos en arriendo. Mejora la nutrición del hato.	No pertinente.
8. Conservación de forrajes	Adaptada. Reduce la necesidad de utilizar los rastrojos para el ganado y mejora la nutrición del hato.	Si poseen tierra suficiente, pueden pensar en vender heno o ensilaje.	Adaptada. Reduce la necesidad de comprar rastrojos o utilizar los de terrenos en arriendo. Mejora la nutrición del hato.	No pertinente.
9. Producción de pasto de corte.	Adaptada. Reduce la necesidad de utilizar los rastrojos para el ganado y mejora la nutrición del hato.	Si poseen tierra suficiente, pueden pensar en vender forraje fresco o ensilaje.	Adaptada. Reduce la necesidad de comprar rastrojos o utilizar los de terrenos en arriendo. Mejora la nutrición del hato.	No pertinente.
10. Siembra de barreras vivas de doble propósito.	Adaptada. Reduce la necesidad de utilizar los rastrojos para el ganado y mejora la nutrición del hato. Reduce la escorrentía.	Adaptada. Reduce la escorrentía. Pueden pensar en vender forraje fresco o heno, si se trata de pasto brizantha.	No pertinente.	La siembra de la barrera viva puede ser parte del acuerdo de alquiler, para aumentar la disponibilidad de forraje para el ganado del propietario y utilizar menos rastrojo. El interés del arrendatario podría ser el de tener un terreno que produzca más.
11. Siembra de árboles forrajeros y de uso múltiple.	Adaptada. Puede aumentar la disponibilidad de forraje, leña, madera y sombra para el ganado.	Adaptada. Puede aumentar la disponibilidad de leña y madera.	Adaptada. Puede aumentar la disponibilidad de forraje, leña, madera y sombra para el ganado.	Difícilmente los arrendatarios se sentirán motivados a sembrar árboles.

8. Sostenibilidad

Para finalizar este Módulo 2, se podría hacer un análisis cualitativo de las relaciones entre la práctica de mantenimiento de los rastrojos de granos básicos en la superficie del terreno (a través del conjunto de prácticas mencionadas) y algunos de los atributos y componentes de sostenibilidad para el sistema de producción en discusión.

8.1. Atributos de sostenibilidad

Productividad: Las prácticas tenderán a aumentar la productividad del sistema de producción por las siguientes vías:

- Aumento de la producción de granos básicos y ganadera;
- Reducción de costos de algunos rubros (fertilizantes, control de malezas);
- Reducción del uso de insumos externos (fertilizantes minerales, herbicidas).

Estabilidad: Las prácticas tenderán a aumentar la estabilidad del sistema de producción por las siguientes vías:

- Mayor disponibilidad de agua en el suelo;
- Mantenimiento de mejores niveles de fertilidad del suelo y aprovechamiento más eficiente de los nutrientes.

Elasticidad: Las prácticas tenderán a aumentar la elasticidad del sistema de producción por las siguientes vías:

- Cultivos y animales mejor nutridos.

Equidad: Las prácticas tenderán a mejorar la equidad en el sistema de producción, por las siguientes vías:

- Posibilidad de reducción del uso de insumos externos;
- Posibilidad de obtener mayores ingresos;
- Posibilidad de liberación de áreas ocupadas con la ganadería para la siembra de granos básicos u otros rubros menos intensivos.

8.2. Componentes de sostenibilidad

Rentabilidad Económica: La rentabilidad del sistema podrá ser aumentada principalmente debido a:

- el aumento de la productividad;
- la reducción de costos.

En la ganadería, la siembra de pastos mejorados involucra mayores costos iniciales. Sin embargo, estos costos pueden ser compensados por el aumento del soporte del pasto y la liberación de áreas para otras actividades más productivas.

Aceptabilidad (Adecuabilidad) Social: Las prácticas propuestas pueden ser socialmente aceptadas, en razón de que:

Para los propietarios, agricultores-ganaderos, la sustitución de la alimentación del ganado (rastros por forrajes de mejor calidad) es ventajosa para la producción de ganado; igualmente, porque produce más granos básicos y conserva mejor el suelo y el

agua.

- Para los propietarios, agricultores-no ganaderos, que venden los rastrojos a otros ganaderos, la sustitución de la venta de rastrojos por la venta de heno o ensilaje también puede ser ventajosa.
- Para los agricultores arrendatarios, que dejan los rastrojos a los ganaderos dueños de la tierra, la permanencia de los rastrojos en el terreno significará la posibilidad de cultivar granos básicos en suelo menos deteriorado a mediano plazo y la posibilidad real de ahorrar insumos y producir más.

Calidad Ambiental: Las prácticas tenderán a mejorar la calidad ambiental en las áreas de concentración del sistema de producción, de diversas formas, principalmente por:

- Aumento de la infiltración del agua y reducción de la erosión;
- Mayor posibilidad de recarga de los manantiales;
- Posibilidad de reducir el uso de agroquímicos.

MODULO 3: MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN EN LOS CULTIVOS DE GRANOS BÁSICOS

1. Objetivos del Módulo

El Módulo 3 presenta dos objetivos principales:

- Precisar el papel que deben cumplir las fertilizaciones para la producción de los cultivos y el balance y mantenimiento de la fertilidad del suelo;
- Presentar parámetros técnicos y económicos para auxiliar la toma de decisión de los extensionistas y agricultores sobre la fertilización de los granos básicos.

2. Contenido del módulo

Para cumplir con los objetivos propuestos, este módulo presenta el siguiente contenido:

- Importancia del manejo integrado de la fertilidad, como estrategia para entender las relaciones entre variables de un sistema de producción y de los recursos naturales, principalmente suelo y agua;
- La disponibilidad de nutrientes en los suelos de El Salvador;
- La absorción y acumulación de los nutrientes por los cultivos de granos básicos, como mecanismo de definición de dosis, épocas y modo de aplicación de fertilizantes;
- Algunas relaciones sobre costos de fertilización y de fertilizantes, como apoyo a la toma de decisión por parte de extensionistas y agricultores.
- Análisis del contenido presentado en cuanto a posibles impactos sobre componentes y atributos de sostenibilidad.

3. Importancia del manejo integrado de la fertilidad

Sobre la importancia de los nutrientes para las plantas, animales y humanos se ha dicho ya bastante en los capítulos anteriores de este manual. En pocas palabras, sin los nutrientes, no hay posibilidad de crecimiento y reproducción de los seres vivos. Por lo tanto, sin los nutrientes no hay posibilidad de vida.

Desde el punto de vista económico de la producción agrícola, pecuaria o forestal, sin una adecuada oferta de nutrientes, las plantas y animales no producen según su potencial, con las consiguientes pérdidas para los productores. El logro de una producción rentable pasa por un manejo adecuado de la fertilidad del suelo y, por ende, por una disponibilidad adecuada de nutrientes para las plantas.

Tomando en cuenta que los sistemas de producción son "abiertos", es decir, que siempre hay salidas de nutrientes, de igual manera siempre habrá la necesidad de reposición (entradas) de nuevos nutrientes al sistema. De no ser así, los nutrientes en este sistema tenderán a decaer a lo largo del tiempo, con consecuencias negativas para la producción de granos y menor producción de biomasa (menos materia orgánica producida), lo que genera un ciclo decreciente que tiene como resultado una "tierra cansada", tal como dicen los productores.

Si bien es cierto que las fuentes de salidas de nutrientes de los sistemas de producción pueden ser manejadas, algunas más otras menos (volatilización, lixiviación, erosión, fijación, residuos de cosechas, rastrojos, etc.), la salida de nutrientes a través de los productos cosechados (granos, leche, carne, etc.) siempre significará una necesidad de reposición al sistema con nuevos nutrientes.

Obviamente, dentro del concepto de manejo integrado de la fertilidad del suelo, todos los mecanismos para mejorar la eficiencia en la utilización de los nutrientes deben ser utilizados, principalmente los siguientes:

- Reducir las pérdidas de nutrientes por las diferentes medidas ya citadas: reciclaje de los rastrojos, cobertura del terreno, asociación para reducir y reciclar nutrientes lixiviados, fertilización adecuada para reducir la volatilización y la fijación, entre otras.
- Crear y mantener en buen estado las condiciones físicas del suelo (estructura, porosidad, aireación, temperatura, etc.), principalmente a través del manejo de rastrojos y manejo del ganado, para:
 - permitir un óptimo crecimiento de las raíces de los cultivos;
 - mejorar la infiltración y almacenamiento del agua en el perfil;
 - aumentar la disponibilidad de los nutrientes; y
 - reducir la erosión.

Crear y mantener las condiciones físicas y químicas del suelo (estructura, porosidad, aireación, temperatura, humedad, pH, biomasa vegetal, etc.), principalmente a través del manejo adecuado de los rastrojos y del ganado y correcciones de pH (si necesario), que permitan un óptimo desarrollo de la flora y fauna del suelo, para que éstas cumplan funciones importantes dentro del proceso, tales como:

residuos orgánicos (fertilizantes orgánicos), etc.

Podría decirse que un suelo que posee las características citadas es un suelo “saludable”, en el que las necesidades de reposición de nutrientes serán mínimas, básicamente lo retirado por las cosechas. En cambio, un suelo en el que los rastrojos no son reciclados, la cobertura es pequeña, la erosión alcanza niveles severos, la estructura está compactada y la flora y la fauna es escasa. Se podría hablar, en este caso, de un “suelo enfermo”, el cual requerirá mayor reposición de nutrientes y, sobre todo, no tendrá las condiciones necesarias para permitir una buena eficiencia de aprovechamiento de los nutrientes existente y añadidos.

4. La disponibilidad de nutrientes en los suelos de El Salvador

A continuación se presenta de manera muy general la disponibilidad promedio de los nutrientes en los suelos de El Salvador. Situaciones particulares de fincas que han sido fertilizadas regularmente pueden ser completamente diversas.

Nitrógeno

La disponibilidad de N depende mucho del contenido de materia orgánica que exista en el suelo y de los estados de humedad que haya. Los suelos de El Salvador poseen generalmente contenidos medianos y altos de materia orgánica (>3,0%), lo cual les proporciona buenas cantidades de N total, en la forma de N-orgánico estructural. Sin embargo, para que este N esté disponible es necesario que la materia orgánica se descomponga, el N sea mineralizado a NH_4 y NO_3 . En suelos muy secos, la mineralización es insignificante, mientras en suelos muy húmedos (empapados) ocurre denitrificación, con la consiguiente pérdida de N por volatilización y lixiviación.

Como las cantidades totales y las tasas de absorción de N por los cultivos son elevadas y muy marcadas en tiempos relativamente cortos, la mineralización frecuentemente no llega a ser la adecuada para mantener suficiente N-disponible (principalmente NO_3) para las plantas. Por ello, casi siempre es necesario la suplementación de N en la forma de fertilizantes minerales u orgánicos para los cultivos.

Fósforo

Los suelos de El Salvador son generalmente pobres en P. En la mayoría de los casos, el P es considerado bajo (insuficiente) para los cultivos. Constituyen una excepción aquellos suelos que han recibido durante años fertilizaciones con P.

El P bajo se debe a dos factores básicos: la presencia de roca madre pobre en P, cuya meteorización originó suelos igualmente pobres en P; y la fijación del P por minerales del suelo, en formas no disponibles para las plantas. El P es fijado por los minerales arcillosos derivados de la meteorización de las rocas (óxidos de hierro, aluminio, manganeso, titanio) y/o por minerales arcillosos provenientes de ceniza volcánica, principalmente la alófana. Este P fijado no es medido por el método laboratorial corriente, aunque esté presente en el suelo.

Potasio

Los suelos salvadoreños son generalmente ricos en K, con niveles por encima de los 160 ppm de K intercambiable. Ello por la riqueza de K en las rocas madres de la mayoría de los tipos de suelos. Los agricultores del sistema de producción de granos básicos en ladera, si mantienen los rastrojos sobre el terreno (los rastrojos acumulan por lo menos un 70% de K absorbido), pueden despreocuparse de la fertilización con K, en la gran mayoría de los casos. No así en lugares en los que el nivel de K esté por debajo de los 120 ppm o donde haya cultivos altamente extractores de K (café, caña de azúcar, etc.)

Calcio y Magnesio

En suelos cuyo pH está por encima de 5,5, por lo general no hay problemas de disponibilidad de estos dos nutrientes. Las rocas ígneas básicas (como los basaltos) y los suelos desarrollados a partir de ceniza volcánica, generalmente presentan contenidos satisfactorios de Ca y Mg.

Azufre

Igual que el N, el S está muy ligado al contenido y metabolismo de la materia orgánica en el suelo. Los suelos ricos en materia orgánica (>3%) normalmente no tienen problemas de deficiencia de S, a excepción de casos en los que haya ciertos cultivos, como las crucíferas, las cuales son altamente exigentes en azufre.

Micronutrientes

Si el suelo posee un nivel de materia orgánica por encima de 3% y un nivel de pH alrededor de 6,0, no se presentarán problemas de deficiencias de micronutrientes en los cultivos de granos básicos, tomando en cuenta los niveles de rendimiento y otros factores limitantes en los sistemas de producción de laderas.

5. Absorción y acumulación de nutrientes por los cultivos de granos básicos

Los cultivos no absorben los nutrientes de manera constante durante su ciclo. Cada cultivo (a veces, cada variedad del cultivo) y cada nutriente es absorbido y acumulado en los tejidos vegetales de manera particular.

Normalmente, en los primeros 8-10 días de vida, las plantitas utilizan las reservas nutricionales de la propia semilla para empezar a diferenciar y desarrollar sus tejidos (tallos y raíz primaria). Por ello, la semilla es una base importante para la producción. Si las semillas poseen pocas reservas nutricionales, la plantita va a iniciar su desarrollo de forma retardada, con bajo vigor para el crecimiento, lo que, a su vez, retrasa el aprovechamiento eficiente de los nutrientes del suelo.

A partir de este período inicial, las plantas presentan curvas de absorción y acumulación de nutrientes distintas para los diversos nutrientes.

En las Figuras 6 y 7, se pueden observar las curvas de absorción de algunos nutrientes por el maíz y el frijol.

En maíz, hay un aumento significativo de los niveles de absorción de N, P y K a partir de los 20-25 días de la siembra, ocurriendo el máximo de absorción a los 50, 55 y 70 días para el K, N y P, respectivamente.

Figura 6: Curvas de absorción de N, P y K por el maíz. (Adaptado de Potash Institute of North America, 1972).

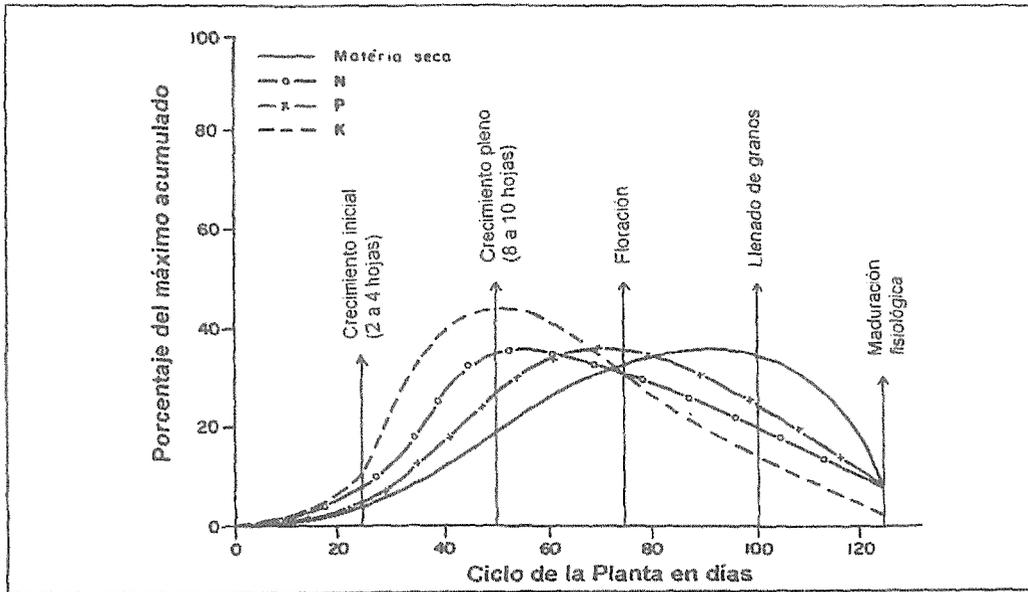
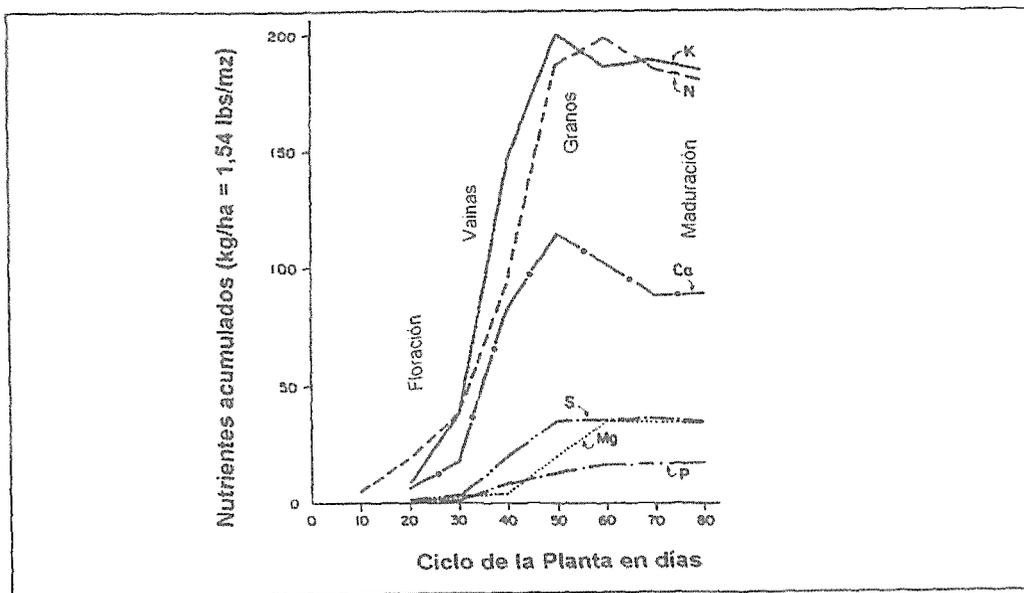


Figura 7: Curvas de absorción de macronutrientes por el frijol. (Adaptado de Haag, 1967).



En frijol, la absorción de N y K sube vertiginosamente a partir de los 20 días de la siembra. El P presenta una absorción lenta a partir de 30 días, mientras; el Ca y S, a partir de los 30 días; y el Mg, a partir de los 40 días.

En variedades de ciclo más corto o más largo que las probadas en estos dos casos presentados, pueden variar las fechas de inicio de absorción más fuerte. Por ello, estos datos deben ser tomados como una simple indicación.

Las curvas de absorción son importantes en la definición de la mejor época para la fertilización. Tomando en cuenta la solubilidad del fertilizante a utilizar, el extesionista puede ofrecer indicaciones más precisas al productor sobre las épocas en las que la fertilización puede ser mejor aprovechada por el cultivo.

6. Dosis de nutrientes a aplicar

La definición de las dosis de nutrientes a aplicar depende de diversos factores, entre ellos, los que se describen a continuación, considerados los más importantes:

- nivel de los nutrientes disponibles en el suelo, verificado mediante un proceso de muestreo y análisis del mismo (análisis de suelo);
- comportamiento de los cultivos anteriores (deficiencias, toxicidad);
- historial de uso del área (cultivos anteriores) y biomasa presente, lo cual permite establecer una expectativa de liberación de nutrientes;
- cultivo o variedad a ser sembrada (exigentes en fertilidad, tolerantes a mediana o baja fertilidad);
- sistema de manejo y expectativa de producción (las dosis pueden ser definidas para una expectativa de producción menos optimista, en un sistema de producción en donde hay otros factores limitantes, por ejemplo, control de malezas o calidad de semillas).

6.1. Parámetros para la dosificación de nutrientes

a. Niveles de nutrientes en el suelo

A continuación, en el Cuadro 11, se presentan las categorías y respectivos rangos de valores de macronutrientes, pH y materia orgánica en el suelo, según los criterios de disponibilidad del Laboratorio de Suelos del CENTA.

Cuadro 11: Niveles de macronutrientes, pH y materia orgánica en el suelo, según los criterios del Laboratorio de Suelos del CENTA.

Categorías de disponibilidad	Rango de valores		
	Fósforo (ppm)		Potasio (ppm)
Muy bajo	0 - 8		-
Bajo	9 - 12		0 - 59
Alto	13 - 30		60 - 200
Muy alto	> 30		> 200
Acidez		Materia Orgánica	
Categorías de pH	Rangos de valores	Categoría	Rangos de valores (%)
Extremadamente ácido	4,1 - 4,4	Bajo	< 2
Muy fuertemente ácido	4,5 - 5,0	Medio	2 - 4
Fuertemente ácido	5,1 - 5,5	Alto	> 4
Moderadamente ácido	5,6 - 6,0		
Ligeramente ácido	6,1 - 6,5		
Neutro	6,6 - 7,3		
Medianamente alcalino	7,4 - 8,0		
Fuertemente alcalino	8,1 - 9,0		
Extremadamente alcalino	> 9,0		

Los cultivos tienden normalmente a producir mejor cuando los nutrientes en el suelo se encuentran en los siguientes niveles:

- **P y K altos:** Este rango parece ser el mejor; sin embargo, los niveles muy altos pueden presentar problemas de precipitación (químicamente hablando) de otros nutrientes o competencia entre nutrientes.
- **Rango de pH entre 5,7 y 6,5:** En este rango de pH, la mayoría de los nutrientes está en estado iónico de máxima disponibilidad o en un nivel por lo menos suficiente; normalmente no son frecuentes las deficiencias de Ca y Mg; igualmente, se posibilita un buen nivel de mineralización de la materia orgánica, lo que contribuye a aumentar los contenidos de N, S y micronutrientes asimilables por las plantas. Tampoco existe la posibilidad de toxicidad provocada por el aluminio libre, la cual dificulta o llega a impedir el crecimiento de las raíces de las plantas susceptibles.
- **Nivel de materia orgánica por encima de los 3,5%:** En este caso se habla de equilibrio

dinámico, puesto que, de un lado, se desea que la materia orgánica del suelo se mineralice para posibilitar la disponibilidad los nutrientes inmobilizados en la biomasa; de otro lado, no se desea que se reduzca la materia orgánica del suelo, lo que implica, en primer lugar, producir cantidades de biomasa (fotosíntesis) y, en segundo lugar, mantenerla, a través de reciclaje (no quema, mantenimiento de los rastrojos) y condiciones no tan oxidantes (no incorporación al suelo, no labranza).

Aunque estos valores sirven como un indicador importante de la fertilidad del suelo, para la recomendación de fertilización son insuficientes, ante la aparente ausencia en el país de información sobre curvas de respuesta de los cultivos a dosis crecientes de nutrientes en diferentes circunstancias de suelo y niveles de fertilidad

b. Niveles de nutrientes en los tejidos

Los niveles de nutrientes en los tejidos de granos básicos pueden representar una excelente fuente de información para diagnosticar deficiencias nutricionales e indicar correcciones, siempre y cuando haya suficiente agilidad operativa entre el muestreo, análisis y aplicación de medidas de corrección. Si no hay tal agilidad, la recomendación para una corrección eventual puede llegar tarde. En este caso, la información solamente serviría para el próximo año.

Los niveles promedios óptimos de nutrientes en tejidos de granos básicos se presentan en el Cuadro 12.

Cuadro 12: Contenido adecuado de macronutrientes en tejidos de hojas de algunos cultivos de granos básicos (Adaptado de Malavolta et al., 1989).

Cultivo	Contenido adecuado de nutrientes (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Maíz	2,75-3,25	0,25-0,35	1,75-2,25	0,25-0,40	0,25-0,40	0,15-0,20
Sorgo	1,3-1,5	0,4-0,8	2,5-3,0	0,4-0,6	0,4-0,6	0,08-0,10
Frijol	3-5	0,2-0,3	2,0-2,5	1,5-2,0	0,4-0,7	0,5-1,0
Arroz	2,5-3,0	0,25-0,40	2,5-3,5	0,75-1,0	0,50-0,70	0,15-0,20

c. Respuestas de los cultivos a nutrientes

Las curvas de respuesta (rendimientos físicos y económicos) de los cultivos a dosis crecientes de nutrientes, bajo diferentes situaciones de suelo, clima, sistema de manejo, etc., son indicadores importantes para la fertilización de los cultivos.

En suelos tropicales con niveles deficientes (bajos o muy bajos) de nutrientes, normalmente los cultivos responden económicamente (rango óptimo) a cantidades de macronutrientes, según muestra el Cuadro 13.

En el Cuadro 13, principalmente los valores más altos corresponden a cultivos con alta tecnología de

manejo (semillas de buena calidad, siembra mecanizada, alta densidad de siembra, eficiente control de malezas, suelos profundos y con buena disponibilidad de agua).

Cuadro 13: Rangos de fertilización en suelos con niveles bajos de nutrientes en que los cultivos de maíz, frijol y sorgo suelen responder de manera económicamente positiva, en valores promedios y las recomendaciones del CENTA (CENTA, 1995, 1996).

Cultivo		Nutriente (libras/mz)		
		N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)
Maíz	Rango promedio	130 a 230	60 a 140	< 100
	Recomendación CENTA	160	60 a 100	60
Frijol	Rango promedio	30 a 120	110 a 150	0 a 70
	Recomendación CENTA	60 a 115	60 a 95	60
Sorgo para grano	Rango promedio	-	-	-
	Recomendación CENTA	120 a 160	60 a 80	60 a 80

d. Extracción (absorción y acumulación) de nutrientes del suelo por los cultivos

En el Cuadro 12, se señalan los valores promedios de extracción de nutrientes por los cultivos del maíz y frijol (no se encontraron los valores para el sorgo). Estos datos deben ser tomados como una guía y con cierta cautela, puesto que las cantidades de nutrientes extraídas dependen de factores como: el nivel de fertilidad del suelo en el que se realiza el ensayo (sub-consumo de nutrientes o consumo de lujo), las fertilizaciones recibidas, etc.

Cuadro 14: Rangos aproximados de cantidades de nutrientes extraídos del suelo por los cultivos de maíz y frijol. Fuentes: Guías Técnicas del CENTA (1995, 1996) y Muzilli et al. (1991), Gallo y Miyasaka (1961).

Cultivo	Tipo de material	Extracción de nutrientes (libras/quintal de grano producido)		
		Nitrógeno	Fósforo (como P)	Potasio (como K)
Maíz	Granos	1,5	0,5	0,3
	Total	3,0	1,0	1,9 - 3,0
Frijol	Granos	3,5	0,3	1,4
	Total	6,0	0,5	4,5

Los nutrientes totales extraídos son aquellos absorbidos por la planta para cumplir su ciclo vital. Los contenidos de nutrientes en los granos son aquellos nutrientes absorbidos (son parte del total) que se localizan en las estructuras de los granos. Estos salen del sistema, al ser consumidos por la familia, vendidos, etc., y deben ser repuestos en las fertilizaciones siguientes.

Una parte de los nutrientes (total menos granos) se queda en las otras estructuras del vegetal (raíces, hojas, tallos, etc.). Si estos restos de plantas (rastros) vuelven al terreno, reciclan esta parte de los nutrientes y su reposición no es necesaria.

Si los rastros son retirados o quemados, la cantidad total debe ser considerada como retirada del terreno y la reposición debe ser más grande. Por ejemplo, si una siembra de maíz produce 20 qq/mz de granos (productividad promedio en laderas), el nitrógeno extraído sería el siguiente:

- Total extraído por el cultivo: $20 \text{ qq/mz} \times 3 \text{ libras de N/qq} = 60 \text{ libras de N/mz}$.
- Exportado del terreno en los granos: $20 \text{ qq/mz} \times 1,5 \text{ libras de N/qq} = 30 \text{ libras de N/mz}$.

Si, además de los granos, también los rastros son retirados del terreno, para reponer el N retirado serían necesarias aproximadamente 60 lbs/mz de N. Si los rastros son dejados, la reposición sería de cerca de 30 lbs/mz. Esto para reponer el nivel de N anterior al cultivo, no para aumentar los niveles de disponibilidad de N en el suelo.

6.2. Recomendación de fertilización para granos básicos

Teniendo como base los parámetros hasta ahora presentados y principalmente las recomendaciones del CENTA, se podrían recomendar **niveles mínimos de fertilización** para los sistemas de producción de granos básicos en laderas, considerando las siguientes expectativas de producción mejorada para los tres cultivos:

Maíz = 60 qq/mz (el promedio diagnosticado en laderas es de 20 qq/mz)
Frijol = 15 qq/mz (el promedio diagnosticado en laderas es de 8 qq/mz)
Sorgo = 25 qq/mz (el promedio diagnosticado en laderas es de 15 qq/mz)

El lector podría preguntarse:

¿Por qué la expectativa de producción está muy inferior al potencial de los cultivos?

Los sistemas de producción en ladera involucran una serie de condiciones limitantes, las cuales rara vez permiten la expresión del potencial de producción obtenido en zonas cuyas condiciones son más favorables. Por ejemplo, en los sistemas de producción en ladera generalmente están presentes las siguientes limitantes:

- pequeña profundidad del perfil del suelo;
- baja capacidad de almacenamiento de agua en el suelo;
- baja calidad de semillas;
- inadecuada población y distribución de plantas;

- inadecuado control de malezas;
- baja capacidad económica para recurrir a insumos externos.

Por ello, una fertilización económica en laderas no debe alcanzar los mismos niveles requeridos para altas producciones. Estas pueden lograrse poco a poco con mejoramientos anuales de la fertilidad del suelo y de la remoción paulatina de las demás limitantes

Fertilización del maíz

Nitrógeno

- N total utilizado por el cultivo (60×3) = 180 lbs/mz
- N retirado del terreno en los granos ($60 \times 1,5$) = 90 lbs/mz
- N devuelto por la descomposición de los rastrojos ($180 - 90$) = 90 lbs/mz
- N perdido en diferentes formas (descomposición de la materia orgánica -denitrificación - nitratos lixiviados, volatilización no biológica) = 20 lbs/mz (estimado de manera muy aproximada)
- N suplementario para enriquecer el sistema y aumentar las expectativas de producción a mediano plazo (10% del requerimiento/año) = 18 lbs/mz

$$\text{Reposición necesaria} = 90 + 20 + 18 = 128 \text{ lbs de N/mz}$$

Si el año es bueno, en términos de humedad del suelo; si el agricultor utiliza buena semilla y si el cultivo muestra un buen potencial de producción, se puede aumentar la expectativa de producción y la fertilización en las mismas proporciones.

Se ha considerado que todo el rastrojo del año anterior se descompondrá hasta el período de máxima absorción de N por el maíz (30-45 días después de la siembra). De no ser así, se debe considerar mayor necesidad de reposición, principalmente si el cultivo empieza a mostrar señales de deficiencia de N (hojas verde amarillo, principalmente las más viejas).

Fósforo

- P total utilizado por el cultivo ($60 \times 1,0$) = 60 lbs/mz = 137 lbs/mz de P₂O₅.
- P retirado del terreno en los granos ($60 \times 0,5$) = 30 lbs/mz = 69 lbs/mz de P₂O₅.
- P devuelto por la descomposición de los rastrojos = 30 lbs/mz = 69 lbs/mz de P₂O₅.
- P suplementario para enriquecer el sistema y aumentar las expectativas de producción a mediano plazo:
 - P bajo o muy bajo (20% del requerimiento/año) = 27 lbs/mz de P₂O₅.
 - P alto o muy alto = 0 (cero).

$$\text{Reposición necesaria} = 69 + 27 = 96 \text{ lbs de P}_2\text{O}_5/\text{mz (P bajo o muy bajo)}$$

$$69 \text{ lbs de P}_2\text{O}_5/\text{mz (P alto)}$$

En los suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas o arcillosos, con niveles de P bajos o muy

bajos, gran parte del fósforo queda fijado por alófanos y otros minerales. En estos suelos quizás se deba aumentar las dosis de P en un 20%, principalmente si se han notado deficiencias de P en los cultivos anteriores (hojas y tallos de color morado).

Potasio

- K total utilizado por el cultivo ($60 \times 2,5$) = 150 lbs/mz = 180 lbs/mz de K₂O.
- K retirado del terreno en los granos ($60 \times 0,3$) = 18 lbs/mz = 22 lbs/mz de K₂O.
- K devuelto por la descomposición de los rastrojos = 132 lbs/mz = 160 lbs/mz de K₂O.

Reposición necesaria = 22 lbs de K₂O/mz (si el K en el suelo es <120 ppm)

Los suelos salvadoreños por lo general son muy ricos en K (>200 ppm). Sin embargo, las retiradas y la no fertilización con K pueden bajar los niveles de este nutriente en muchos suelos cultivados por largo tiempo. Cabe dar seguimiento al nivel de K en el suelo y empezar a reponer K en aquellos sitios donde el contenido de K esté por debajo de 120 ppm.

Fertilización del frijol

Nitrógeno

- N total utilizado por el cultivo ($15 \times 6,0$) = 90 lbs/mz
- N retirado del terreno en los granos ($15 \times 3,5$) = 52 lbs/mz
- N fijado por simbiosis (fijación biológica - estimado = 10 lbs/mz*)
- N devuelto por la descomposición de los rastrojos ($90 - 52$) = 38 lbs/mz
- N perdido en diferentes formas (descomposición de la materia orgánica -denitrificación - nitratos lixiviados, volatilización no biológica) = 20 lbs/mz (estimado de manera muy aproximada)
- N suplementario para enriquecer el sistema y aumentar las expectativas de producción a mediano plazo (10% del requerimiento/año) = 10 lbs/mz

Reposición necesaria = $52 + 20 + 10 - 10 = 72$ lbs de N/mz

(*) La simbiosis bacteria-frijol es reconocidamente poco eficiente para fijar nitrógeno.

Si el año es bueno, en términos de humedad en el suelo; si el agricultor utiliza buena semilla y si el cultivo muestra un buen potencial de producción, se puede aumentar la expectativa de producción y la fertilización en las mismas proporciones. Se ha considerado que todo el rastrojo del frijol regresará al terreno. De no ser así, la reposición deberá ser aumentada en 38 lbs/mz, diferencia entre $90 - 52 = 38 =$ N en los rastrojos.

Fósforo

- P total utilizado por el cultivo $(15 \times 0,5) = 7,5 \text{ lbs/mz} = 17 \text{ lbs/mz de P}_2\text{O}_5$.
- P retirado del terreno en los granos $(15 \times 0,3) = 4,5 \text{ lbs/mz} = 10 \text{ lbs/mz de P}_2\text{O}_5$.
- P devuelto por la descomposición de los rastrojos $= 3,0 \text{ lbs/mz} = 7 \text{ lbs/mz de P}_2\text{O}_5$.

Las cantidades totales de P absorbidas por el frijol son relativamente pequeñas (alrededor de 17 lbs/mz de P₂O₅ para una producción de granos de 15 qq/mz). El frijol parece ser una planta con baja eficiencia de aprovechamiento de P, puesto que la literatura revela respuestas entre 60 y 110 lbs/mz de P₂O₅. El CENTA recomienda 60 y 90 lbs/mz de P₂O₅, respectivamente, para niveles de P bajo y P muy bajo en el suelo. Por eso, el P suplementario para frijol, para enriquecer el sistema, se puede calcular en por lo menos 6 veces el P₂O₅ retirado por el cultivo.

- P suplementario para enriquecer el sistema y aumentar las expectativas de producción a mediano plazo:

P bajo o muy bajo $(6 \times \text{P}_2\text{O}_5 \text{ retirado}, 10 \text{ lbs/mz}) = 60 \text{ lbs/mz de P}_2\text{O}_5$.

**Reposición necesaria = 10 + 60 = 70 lbs de P₂O₅/mz (si P es bajo o muy bajo)
10 lbs de P₂O₅/mz (si P es alto o muy alto).**

Potasio

- K total utilizado por el cultivo $(15 \times 4,5) = 67,5 \text{ lbs/mz} = 82 \text{ lbs/mz de K}_2\text{O}$.
- K retirado del terreno en los granos $(15 \times 1,4) = 21 \text{ lbs/mz} = 25 \text{ lbs/mz de K}_2\text{O}$.
- K devuelto por la descomposición de los rastrojos $= 46,5 \text{ lbs/mz} = 56 \text{ lbs/mz de K}_2\text{O}$.

Reposición necesaria = 25 lbs de K₂O/mz (si el K en el suelo es <120 ppm).

Los suelos salvadoreños por lo general son muy ricos en K (>200 ppm). Sin embargo, las retiradas y la no fertilización con K pueden bajar los niveles de este nutriente en muchos suelos cultivados por largo tiempo. Cabe dar seguimiento al nivel de K en el suelo y empezar a reponer K en aquellos suelos donde el contenido de K esté por debajo de 120 ppm. El CENTA recomienda hasta 60 lbs/mz de K₂O cuando el K está bajo (< 60 ppm). Sin embargo, 60 ppm es un límite en el que ya pueden ocurrir deficiencias más o menos severas. Por esta razón, sería prudente iniciar reposiciones antes, cuando el nivel de K baje de los 120 ppm.

Fertilización del sorgo

Gran parte de los pequeños agricultores de ladera suelen no fertilizar el sorgo. Lo consideran un cultivo rústico, casi como un subproducto dentro del asocio o relevo con maíz. De hecho, el sorgo en relevo o

asocio aprovecha parte de la fertilización residual realizada para el maíz. Sin embargo, el sorgo sembrado temprano puede competir por nutrientes con el maíz, sobre todo porque las fertilizaciones del maíz suelen ser meramente de reposición, casi nunca en cantidades suficientes que puedan dejar cantidades residuales apreciables en el suelo que sirvan al sorgo.

Nitrógeno, Fósforo y Potasio

El CENTA recomienda para el sorgo los niveles de fertilización indicados en el Cuadro 15.

Cuadro 15: Niveles de fertilización de sorgo propuestos por el CENTA (CENTA, 1995).

Tipo de sorgo	N(lbs/mz)	P (P ₂ O ₅) lbs/mz		K (K ₂ O) lbs/mz	
		Muy bajo o bajo	Alto o muy alto	Bajo	Alto o muy alto
Granos, variedades insensibles al fotoperíodo, en monocultivo	80 + 80		✓		✓
	80 + 80	80			✓
	75 + 80	75		75	
Sorgos sensibles* o insensibles** al fotoperíodo en asocio o en relevo con el maíz	60 + 60		✓		✓
	60 + 60	60			✓
	60 + 60	60		60	

* Criollos, Texistepeque.

** Isiap-Dorado, RCV, Soberano, Oriental.

En todos los casos, la reposición calculada no toma en cuenta otros parámetros que puedan afectar las dosis de fertilización, tales como: la eficiencia de aplicación (solubilidad del fertilizante, ubicación, humedad del suelo, etc.), pérdidas inmediatas por lavado, lixiviación, etc.

6.3. Dosis de nutrientes versus fuentes de nutrientes

Las dosis de fertilizantes a aplicar varían en cada caso, dependiendo de la fuente de fertilizante utilizada, puesto que cada fertilizante posee concentraciones diferentes de nutrientes. Para calcular la cantidad de fertilizante a aplicar hay que conocer los siguientes parámetros:

- La cantidad del nutriente que se quiere aplicar;
- La fuente de nutriente que va ser utilizada;
- La concentración del nutriente en la fuente que va a ser utilizada.

Con estos tres parámetros, se hacen los cálculos de manera muy sencilla. Por ejemplo:

Cantidad de N a aplicar: 80 lbs/mz

Fuente: Sulfato de amonio

Concentración de N en el sulfato de amonio: 21%

Entonces:

Si 100 libras de sulfato de amonio contienen 21 libras de N, para tener 80 libras de N se hace el siguiente cálculo:

100 lbs de sulfato ---- 21 lbs de N
X lbs de sulfato ---- 80 lbs de N

Resultado: **X = 381 lbs de sulfato de amonio**

Si la fuente es urea (45% de N):

100 lbs de urea ---- 45 lbs de N
X lbs de urea ---- 80 lbs de N

Resultado: **X = 178 lbs de urea**

Si la fuente es un compost (promedio de 2,5% de N en base seca):

100 lbs de compost (seco) ---- 2,5 lbs de N
X lbs de compost (seco) ---- 80 lbs de N.

Resultado: **X = 3200 lbs de compost seco**

Un compost, al final de su proceso de descomposición, posee por lo menos un 50% de humedad. Así, X pasaría a ser más o menos igual a 6000 - 6500 lbs de compost con humedad ambiente.

Si la fuente es una fórmula 16-20-0 (16% de N y 20% de P₂O₅):

100 lbs de fórmula ---- 16 lbs de N
X lbs de fórmula ---- 80 lbs de N

Resultado: **X = 500 lbs de la fórmula 16-20-0.**

En este caso, se están añadiendo:

100 lbs de fórmula ---- 20 lbs de P₂O₅
500 lbs de fórmula ---- Y lbs de P₂O₅

Resultado: **Y = 100 lbs de la fórmula P₂O₅**

7. Épocas de fertilización y ubicación de los fertilizantes

La definición de las épocas de fertilización y la ubicación correcta de los fertilizantes dependen de diversos factores, entre ellos los que se describen a continuación, considerados los más importantes:

Época de fertilización:

- curva de absorción de los nutrientes por los diferentes cultivos;
- tipo de fertilizante utilizado (mineral, orgánico, más soluble, menos soluble, etc.);
- humedad del suelo en la época recomendada.

Ubicación de los fertilizantes

- movilidad del nutriente en el suelo y en la planta;
- solubilidad del fertilizante utilizado y comportamiento en el suelo (fijación);
- humedad del suelo en la época de fertilización.

Tomando en cuenta lo anterior, las recomendaciones para los cultivos de maíz, frijol y sorgo son las siguientes.

7.1. Fertilización orgánica

Se recomienda aplicar el fertilizante orgánico (compost, estiércoles, pulpas, parracha, bagazos, etc.) **antes de la siembra de los cultivos de granos básicos, en el fondo del surco u hoyo de siembra y mezclarlo con el suelo.** Otra forma es la aplicación **al voleo antes de la labranza** (áreas semi-planas con tracción animal).

Los fertilizantes orgánicos necesitan estar en contacto pleno con el suelo (humedad y organismos) para seguir el proceso de descomposición, principalmente la nitrificación (transformación de $N-NH_4$ en $N-NO_3$). Como la disponibilidad de los nutrientes ocurre de manera paulatina, es necesario aplicarlo antes de la siembra para que haya suficiente nutriente disponible en el suelo en la época de máxima absorción por las plantas.

Hay que tener el cuidado de no poner productos orgánicos mal descompuestos cerca de las semillas. La descomposición puede generar exceso de calor y “quemar” las plantas tiernas. Igualmente, hay que evitar adicionar al suelo productos orgánicos de alta relación C/N (carbono/nitrógeno) sin descomponerse o descompuestos parcialmente (aserrín de madera y granza de arroz, por ejemplo). Además del calor que generan estos materiales al descomponerse, la población de microorganismos puede crecer en función de la disponibilidad de carbono orgánico, lo cual provoca un consumo de nitrógeno del suelo para equilibrar la relación C/N de sus estructuras moleculares (cerca de 10/1). En

este caso, la “fertilización” consume nutrientes del suelo, provocando en algunos casos severas deficiencias de N en los cultivos.

La fertilización con productos orgánicos sobre la superficie del suelo debe ser evitada debido a que reduce su eficiencia de aprovechamiento. La excepción en este caso es el reciclaje de los rastrojos de los cultivos de granos básicos y/o abonos verdes en áreas de ladera, cuyos beneficios son mucho mayores si son dejados sobre la superficie del terreno: control de erosión, descomposición lenta, reducción de temperatura y mantenimiento de la humedad, entre otros.

7.2. Fertilización mineral

Los fertilizantes minerales son generalmente solubles a corto plazo, es decir, en contacto con el agua del suelo se hidrolizan, quedándose en la solución como iones libres o recombinados con otros iones, los cuales permanecen en equilibrio con la fase sólida (materia orgánica y arcillas), bajo diferentes tipos de enlaces, los cuales determinan el grado de rapidez de las reacciones de equilibrio. Algunos iones, como el H_2PO_4 , HPO_4 y PO_4 , por ejemplo, dependiendo del material arcilloso presente, pueden pasar de la solución a la fase sólida, a través de enlaces químicos, cuya reacción de equilibrio es muy lenta, por lo que se los puede tratar como iones fijados por la fase sólida y no disponibles como nutriente para las plantas.

En función de la época de absorción, de la movilidad en el suelo y en la planta, la fertilización mineral de los cultivos de granos básicos debe ser realizada como se describe a continuación.

Fertilización en maíz

Las dosis de **P** y **K** deben ser colocadas a la siembra, en el fondo del surco o del hoyo de siembra. Como los agricultores no disponen de equipos para hacerlo (los fertilizantes no deben estar en contacto directo con la semilla), la alternativa es la fertilización 8-10 días después de la siembra. Sin embargo, se recomienda realizarla enterrando el fertilizante a 5-10 cm de profundidad y alejado 3-4 cm de las primeras raíces de las plantitas, para que haya una solubilización y aprovechamiento más rápido de los nutrientes. Si se tira el fertilizante en la superficie, gran parte se pierde por el lavado de las lluvias o por volatilización.

Las dosis de N se recomienda colocarlas de la siguiente manera:

- 1/3 en el momento de la siembra, junto con P y K
- 2/3 entre los 30 y 40 días después de la siembra

El agricultor puede seguir el comportamiento del cultivo. Si el maíz se ve vigoroso y de color verde oscuro (azulado, como dicen los agricultores), se puede atrasar un poco la fertilización de N hasta los 40 días. Si el maíz se ve verde-pálido-amarillento, se recomienda hacer la aplicación de N más temprano, a los 30 días. El comportamiento del cultivo en relación al N es muy variable con la lluvia. El seguimiento es un buen medio para determinar la época de fertilización con N dentro del rango recomendado.

En los suelos de textura más gruesa (arenosos), la segunda fracción de N puede ser dividida en dos aplicaciones: a los 30 y 45 días después de la siembra.

Algunos agricultores llegan a hacer fertilización con N en el período de floración o post-floración del maíz, lo cual es muy tarde.

Se recomienda **enterrar los fertilizantes, especialmente los nitrogenados**, por los mismos motivos ya expuestos.

El **suelo húmedo**, ni seco y ni mojado (empapado), es la mejor condición de humedad del suelo para aprovechar la fertilización.

Fertilización en frijol

Las dosis de P y K deben ser colocadas en el momento de la siembra, en el fondo del surco o del hoyo de siembra. Como los agricultores no disponen de equipos para hacerlo (los fertilizantes no deben estar en contacto directo con la semilla), **la alternativa es la fertilización 8-10 días después de la siembra, enterrando el fertilizante a 5-10 cm de profundidad y alejado 3-4 cm de las primeras raíces de las plantitas**, para que haya un aprovechamiento más rápido de los nutrientes y para evitar que éstos se pierdan por lavado de las lluvias o por volatilización.

La dosis de N se recomienda aplicarla de la siguiente manera:

- **la mitad a la siembra, junto con P y K**
- **la otra mitad en préfloración, 20-25 días después de la siembra**

Al igual que en maíz, el agricultor debe seguir el comportamiento del cultivo para verificar la necesidad de adelantar o retrasar la fertilización con N, así como hacerla **enterrada y con suelo húmedo**.

Fertilización en sorgo (grano)

Las dosis de P y K deben ser colocadas en el momento de la siembra, en el fondo del surco o del hoyo de siembra. Como los agricultores no disponen de equipos para hacerlo (los fertilizantes no deben estar en contacto directo con la semilla), **la alternativa es la fertilización 8-10 días después de la siembra, enterrando el abono a 5-10 cm de profundidad y ubicándolo 3-4 cm de las primeras raíces de las plantitas**.

La dosis de N se recomienda aplicarlas de la siguiente manera:

- **entre 1/3 y la mitad a la siembra, junto con P y K**
- **2/3 y la mitad, a los 30-35 días después de la siembra**

En asocio con maíz, el N debe ser fraccionado de la siguiente manera: una mitad a la dobla del maíz y otra mitad 25-30 días después.

En este caso, hay que buscar una alternativa en el mercado para fertilizar con P (superfosfato simple) en el momento de la siembra, sin adicionar N. Esta alternativa es de difícil disponibilidad en el mercado local. Ante la falta de superfosfato simple, las opciones son: hacer la primera fertilizada con fórmula a la dobla del maíz y la segunda sólo con N.

Para el sorgo sembrado en relevo al maíz, se recomienda P y K colocados a la siembra, en el fondo del surco o del hoyo de siembra. Como los agricultores no disponen de equipos para hacerlo, la alternativa es la fertilización 8-10 días después de la siembra, ubicándolo igual que en los casos anteriores.

La dosis de N se recomienda aplicarla de la siguiente manera:

- entre 1/3 y la mitad a la siembra, junto con P y K
- entre 2/3 y la mitad, a los 30-35 días después de la siembra

Al igual que en maíz, los agricultores deben seguir el comportamiento del cultivo para verificar la necesidad de adelantar o retrasar la fertilización con N, así como hacerla enterrada y con suelo húmedo.

8. Algunas relaciones sobre costo de fertilización y fertilizantes

8.1. Costos de fertilizantes

Es común que los pequeños agricultores analicen los precios de los fertilizantes, comparándolos por quintal, entre los distintos productos disponibles, sin tomar en cuenta las respectivas concentraciones de nutrientes de los mismos. Como lo que interesa en el fertilizante son los nutrientes, los costos de los fertilizantes deben ser analizados, comparándolos por nutriente.

Para ilustrar el planteamiento anterior, a continuación se compara el precio del N en dos fuentes minerales corrientes en el país: el sulfato de amonio y la urea.

Los agricultores prefieren utilizar el sulfato de amonio porque dicen que es más barato que la urea. El precio de un saco de sulfato de amonio de 220 lbs es de aproximadamente ₡ 165 ó ₡ 75 por quintal. La urea cuesta aproximadamente ₡ 220 el saco de 150 lbs ó ₡ 146,67 por quintal. Sin embargo, el sulfato posee apenas 21% de N, mientras la urea 45%. Así, un quintal de sulfato posee 21 lbs de N y uno de urea posee 45 lbs de N. Si se calcula ahora el precio del N en cada uno de los fertilizantes, se llega a los siguientes valores:

Sulfato de amonio: $₡ 75 \div 21 \text{ lbs de N} = ₡ 3,57 \text{ por libra de N}$

Urea: $₡ 146,67 \div 45 \text{ lbs de N} = ₡ 3,26 \text{ por libra de N}$.

Al final, la alternativa que parecía ser la más barata para fertilizar con N, utilizando sulfato de amonio,

resulta ser ligeramente más cara, aunque el sulfato tiene a su favor el hecho de poseer también azufre como nutriente. Sin embargo, si el agricultor utiliza en la siembra una fórmula 16-20-0 o triple 15, éstas poseen azufre suficiente para el cultivo (13 y 11%, respectivamente). También, si el suelo posee un buen nivel de materia orgánica en descomposición, el azufre no es un problema.

Además, la cantidad de urea es más pequeña, lo cual significa reducir el costo y trabajo de transporte desde el agroservicio hasta la milpa.

Si se hace el mismo cálculo, comparando los costos relativos entre una fórmula N-P-K (por ejemplo, la más corriente: 16-20-0) y otro fertilizante, como la gallinaza, se llega a los valores que se presentan a continuación.

Fórmula 16-20-0:

- 220 libras de esta fórmula tienen un costo de alrededor de ₡ 230 ó ₡ 104,50 el quintal .

- 1 quintal posee 16 lbs de N, 20 lbs de P₂O₅ y 13 lbs de S.
- La unidad de N, P y S (16 + 20 + 13 = 49 lbs) cuesta ₡ 2,13 (₡ 104,50 ÷ 49)

Gallinaza:

- 1 quintal de gallinaza con 3% de N; 1% de P; 2% de K; 0,5% de S, cuesta aproximadamente ₡ 20.
- 1 quintal de gallinaza posee al menos 25% de humedad gravimétrica.
- 1 quintal de gallinaza con 25% de humedad gravimétrica posee 80 lbs de materia seca.
- 80 lbs de materia seca de gallinaza con tales concentraciones de nutrientes posee 2,4 lbs de N; 1,8 lbs de P₂O₅; 1,9 lbs de K₂O; 0,4 lbs de S = 6,5 lbs de N, P, K y S.
- La unidad de N,P,K,S en la gallinaza cuesta ₡ ± 3,00 (₡ 20 ÷ 6,5).

Aunque se añada K a la fórmula, su costo seguiría siendo más bajo y favorable que el de la gallinaza. Se podría señalar que la gallinaza posee otros nutrientes, pero estos tienen concentraciones pequeñas y no cambiarían mucho la relación. Igualmente, se podría agregar que la gallinaza actúa como un acondicionador orgánico del suelo. Sin embargo, para actuar como tal se requiere de grandes cantidades por manzana.

En definitiva, no puede decirse que la gallinaza cuesta 5 ó 10 veces menos que el fertilizante mineral, porque no es cierto.

Los cálculos presentados no significan la recomendación de un determinado tipo de fertilizante ni el rechazo a otros. Se trata solamente de una advertencia para que los extensionistas y agricultores consideren con más cuidado los precios de los diferentes productos, pues el que aparentemente es barato puede ser más caro o viceversa, dependiendo de las concentraciones de nutrientes, humedad del producto, calidad del producto (tipo de cama utilizada en el galerón, por ejemplo).

8.2. Relación costo de fertilización/precio de producto

Para apoyar al agricultor en la toma de decisiones, a continuación se hacen algunas comparaciones entre el costo de una fertilización y los precios de los productos de los cultivos fertilizados:

1) Costos de una fertilización promedio con fertilizantes minerales:

-	4 qq de fórmula 16-20-0	₡ 418
-	3 qq de sulfato de amonio	₡ 225
-	transporte	₡ 25
-	mano de obra para manejo y aplicación	₡ 100
-	costo de oportunidad del capital (12% a.a.)	₡ 89
	TOTAL	₡ 857

2) Venta de la producción en la finca a los siguientes precios por quintal: maíz, ₡ 100; frijol, ₡ 350 y; sorgo, ₡ 70. Los quintales adicionales de producto que la fertilización

debe contribuir a aumentar, como mínimo deben ser los siguientes:

- Maíz: $\text{¢ } 857 \div \text{¢ } 100 = 8,57$ quintales de maíz
- Frijol: $\text{¢ } 857 \div \text{¢ } 350 = 2,45$ quintales de frijol
- Sorgo: $\text{¢ } 857 \div \text{¢ } 70 = 12,2$ quintales de sorgo

Si como resultado de la fertilización considerada en este ejemplo, no se logra una producción adicional de granos en los niveles presentados, entonces la fertilización no se está ni siquiera pagando, lo cual es perjudicial para el agricultor.

8.3. Algunas opciones para reducir los costos de fertilización con insumos externos

Las diferentes opciones que pueden contribuir a reducir los costos de fertilización en los cultivos han sido presentadas a lo largo de este manual. Sin embargo, vale la pena enumerarlas rápidamente a título de recordatorio y cierre:

a) Análisis de suelo

Aunque el análisis de suelo represente un pequeño costo, éste puede pagarse con el fertilizante que se ahorra o la producción que se pueda lograr, gracias a una recomendación más correcta y segura de fertilización.

b) Reciclaje de los rastrojos

Los rastrojos dejados en el suelo pueden economizar por lo menos un 30-40% de los costos de fertilización a mediano y largo plazo.

c) Siembra de abonos verdes

La siembra de abonos verdes (leguminosas), como canavalia y mucuna, pueden reducir substancialmente las necesidades de N externo, puesto que logran fijar y reciclar grandes cantidades de este nutriente. Su cultivo representa un costo interno a la finca, no desembolsable, pero al aportar N al sistema, reduce costos externos desembolsables.

d) Selección correcta de los fertilizantes

Los fertilizantes deben ser seleccionados tomando en cuenta su eficiencia y ajuste a cada caso. Asimismo, sus precios deben ser calculados y comparados en relación a las cantidades de nutrientes que contienen y no en relación al peso total del producto.

e) Utilización correcta de los fertilizantes para su mejor aprovechamiento

Si los fertilizantes son bien utilizados (en términos de época, ubicación, humedad del suelo, control de malezas, etc.), su eficiencia de aprovechamiento es mejor y su respuesta sobre la producción mayor, lo cual redunda en una mejor relación beneficio/costo.

f) Reducir las pérdidas

Los nutrientes del suelo o aplicados vía fertilización pueden perderse debido a: erosión, volatilización, lixiviación (percolación). Mantener el suelo cubierto para reducir la erosión, enterrar los fertilizantes en el suelo con buen grado de humedad y sembrar cultivos en asocio, relevo o rotación para extraer y reciclar diferentes nutrientes de diferentes profundidades del suelo, son medidas que pueden reducir las mencionadas pérdidas. **Organización para la compra**

Los grupos de agricultores organizados para comprar fertilizantes en mayores cantidades pueden reducir los costos por unidad comprada, disminuir los costos de transporte, etc.

9. Análisis de factibilidad de adopción de las prácticas recomendadas

Las prácticas recomendadas en este Módulo presentan diferentes factibilidades de adopción según el régimen de tenencia de la tierra y las variantes del sistema de producción de granos básicos y ganadería en laderas.

En este caso, como se trata de prácticas con respuesta a corto plazo para aumentar la producción de los cultivos, los arrendatarios podrán estar más motivados a adoptarlas, excepto aquellas que representan costos mayores.

En el cuadro 16, se presenta un ejercicio de factibilidad de adopción de las prácticas recomendadas en este Módulo.

Cuadro 16: Análisis de la factibilidad de adopción de las prácticas recomendadas en el Módulo 3 para fertilización de los granos básicos, en relación al régimen de tenencia de la tierra y las variantes del sistema de producción de granos básicos y ganadería en zona de ladera.

PRACTICAS	RÉGIMEN DE TENENCIA DE LA TIERRA Y VARIANTES DEL SISTEMA		
	Propietarios		Arrendatarios
	Granos básicos + ganadería	Granos básicos	Granos básicos
1. Dosificación correcta de fertilizantes en los cultivos de granos básicos.	Los medianos y grandes pueden hacer análisis de suelo y corregir más fácilmente las fertilizaciones y aumentar las cantidades de fertilizantes, si es necesario. Los pequeños tendrán mayores dificultades para aumentar fertilizaciones; ellos pueden trabajar con perspectivas más modestas de producción. Los que poseen ganadería pueden mejorar la utilización del estiércol de ganado.		Difícilmente los arrendatarios tendrán condiciones de aumentar cantidades de fertilizantes. Pueden utilizar más correctamente las dosis actuales.
2. Fertilizar los granos básicos en épocas adecuadas.	Adaptada. Los medianos y grandes pueden eventualmente contratar mano de obra externa para realizar las aplicaciones de fertilizantes en épocas más adecuadas.		Adaptada. Eventualmente puede faltar mano de obra para fertilizar todo el cultivo en las épocas más adecuadas.
3. Ubicación correcta de los fertilizantes en granos básicos.	Adaptada. Cualquier agricultor puede ubicar correctamente los fertilizantes para su mejor aprovechamiento; sin embargo, aquellos que tienen mejor capacidad financiera para comprar pequeños equipos podrían hacerlo de mejor manera. La mano de obra adicional puede ser una limitante.		Adaptada. Principalmente si las áreas son pequeñas, la mejor ubicación del fertilizante es apenas una cuestión de decisión.
4. Aplicar fertilizantes con humedad adecuada del suelo.	Adaptada.		Adaptada.
5. Selección de una fuente más adecuada de fertilización de los granos básicos.	Adaptada. Aunque las fuentes de fertilizantes disponibles en los mercados locales no siempre son las más adaptadas en términos de balance de nutrientes versus necesidad de los cultivos, es posible seleccionar mejor las fuentes, pensando en eficiencia y costos. En cantidades grandes se pueden formular los fertilizantes según las necesidades. La organización para la compra comunal puede viabilizar la compra en otros mercados, adecuar formulaciones y reducir costos. Los ganaderos pueden pensar en aprovechar mejor el estiércol de ganado, aunque en áreas de granos básicos en laderas ello es poco factible.		Adaptada. La organización para la compra comunal puede viabilizar la compra en otros mercados, adecuar formulaciones y reducir costos.
6. Organización para la compra de fertilizantes.	Adaptada. Es básica para los pequeños.		Adaptada. Es básica para viabilizar el mejoramiento de la fertilización.

10. Sostenibilidad

Para finalizar, se podría hacer un análisis cualitativo sobre las relaciones entre las prácticas de manejo de nutrientes y de fertilización de granos básicos y los atributos y componentes de sostenibilidad para el sistema de producción en discusión.

10.1. Atributos de sostenibilidad

Productividad

Las prácticas de manejo de la fertilidad y las reposiciones adecuadas de nutrientes tenderán a aumentar la productividad del sistema de producción por la siguiente vía:

- Aumento de la producción de granos básicos.

Estabilidad

Las prácticas tenderán a aumentar la estabilidad del sistema de producción por la siguiente vía:

- Cultivos mejor nutridos y menos susceptibles al estrés.

Elasticidad

Las prácticas tenderán a aumentar la elasticidad del sistema de producción por la siguiente vía:

- Cultivos mejor nutridos poseen mayor capacidad de recuperación.
-

Equidad

Las prácticas de reposición de la fertilidad y fertilización, si están basadas solamente en insumos externos a la finca, no contribuirán claramente a la equidad dentro de la cadena de producción.

10.2. Componentes de sostenibilidad

Rentabilidad Económica

La rentabilidad del sistema podrá ser aumentada principalmente en función de:

- los aumentos de productividad.

Aceptabilidad (Adecuabilidad) Social

Las prácticas propuestas pueden ser socialmente aceptadas puesto que:

- los niveles de reposición de la fertilidad propuestos por los diferentes métodos son factibles de ser utilizados por los agricultores;
- la relación entre los costos de fertilización y los ingresos potenciales por los aumentos de rendimiento físicos de cosecha son compensadores.
-

Calidad Ambiental

Las prácticas de mantenimiento y recuperación de la fertilidad tenderán a mejorar la calidad ambiental en las áreas de concentración del sistema de producción de diversas formas, principalmente por:

- Aumento de cobertura del terreno debido a un mejor crecimiento de las plantas y mayor producción de biomasa (materia orgánica), con todos sus efectos benéficos (mayor reciclaje, biodiversidad en el suelo, control de erosión, etc.);

Aunque se pueda afirmar que los fertilizantes minerales (químicos) contribuyen al deterioro ambiental, ellos en realidad no son “venenos”, como los demás productos agroquímicos. Si son adecuadamente utilizados, tomando en cuenta los principios señalados en este manual, los fertilizantes minerales pueden significar un beneficio más que un daño al ambiente, principalmente por el aumento de biomasa vegetal. Además, los fertilizantes minerales, incluyendo los naturales (rocas molidas y productos de minería), son fuentes que realmente aportan nutrientes nuevos a los sistemas, con excepción del N, que puede ser fijado biótica y abióticamente. Todas las demás fuentes constituyen formas de reciclaje al interior o entre sistemas de producción.

Literatura consultada

- ALDUNATE, J. y R. MEJIA. (1991). Dinámica de nutrimentos con bajos insumos, sistemas arroz-caupi en el subtrópico húmedo de la Provincia Carrasco, Bolivia. In: SMYTH, T.J., W.R. RAUN y F. BERTSCH. II TALLER LATINO AMERICANO DE MANEJO DE SUELOS TROPICALES, NCSU, San José, julio, 1990, p. 15-22.
- ARGUETA, M.T. (1996). Análisis de la producción y utilización de rastrojos y su relación con riesgos de erosión en Morazán. UCA, San Salvador, 60 p. (Tesis)
- ARIAS, M., O. (1986). Efecto de los factores meteorológicos sobre la fisiología de las plantas. In: CATIE. Agroambiente. Turrialba, CATIE, p.189-201. (Serie Materiales de Enseñanza N° 13).
- BARBER, R. (1996). Linking the production and use of dry-season fodder to improved soil conservation practices in El Salvador. Proyecto CENTA-FAO- HOLANDA, San Andrés, 9 p. (Artículo presentado en 9° ISCO Conference, Alemania).
- BERTSCH, F. (1995). La fertilidad de suelo y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, 157 p.
- CALEGARI, A. (1995). Leguminosas para adubacao verde de verao no Paraná. IAPAR, Londrina, 117 p. (Circular N° 80).
- CENTA. (1995). Guía técnica del cultivo del maíz. Centa, San Andrés, 21 p.
- CENTA. (1995). Guía técnica del cultivo del sorgo. Centa, San Andrés, 31p.
- CENTA. (1996). Guía técnica del cultivo del frijol. Centa, San Andrés, 40 p.
- DIRECCIÓN GENERAL DE ECONOMÍA AGROPECUARIA-DGEA. (Varios años). Anuarios Estadísticos de El Salvador. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San Salvador. (Varios números).
- EBENEZER. (1996). Módulo de capacitación en agroecología. Rancho agroecológico Ebenezer. Nicaragua.
- FABIAN, R.R.; A. GERMAIN y R. GOCHEZ (1996). La situación ecológica de El Salvador en cifras. UCA, San Salvador, 187 p.
- FAO-SNAP. (1995). Fertisuelos: manejo de suelos y nutrición vegetal en sistemas de cultivos. Proyecto Fertisuelos GCPF/BOL/018/NET, 105 p. (Documento de Campo N° 16).
- FASSBENDER, H.W. (1975). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA, Turrialba, 398 p.

- GALLO, J.R. y S. MIYASAKA. (1961). Composicao química do feijoeiro e absorcao de elementos nutritivos, do florescimento a maturacao. *Bragantia*, 20:867-884.
- GONZALEZ A., S. y E. GUZMAN. (1988). Diagnóstico de fertilidad de los suelos de El Salvador. CENTA, San Salvador, 119 p.
- HAAG, H.P.; E. MALAVOLTA; H. GARGANTINI & H.G. BLANCO. (1967). Absorcao de nutrientes pela cultura do feijoeiro. *Bragantia*, Campinas, 26:381-391.
- KOLMANS E. y D. VASQUEZ. (1996). Manual de agricultura ecológica. MAELA-SIMAS, 222 p.
- MALAVOLTA, E.; G.C. VITTI & S.A. OLIVEIRA. (1989). Avaliacao do estado nutricional das plantas. Principios e aplicacoes. ABPPF, Piracicaba, 201 p.
- MUZILLI, O.; E.L. OLIVEIRA & A. CALEGARI. (1991). Manejo da fertilidad do solo. In: IAPAR. A cultura do milho no Paraná. IAPAR, Londrina, p. 97-123. (Circular Técnica Nº 68).
- PRIMAVESI, A. (1984). Manejo ecológico del suelo. El Ateneo. Buenos Aires, 449 p.
- SAIN, G. E. y H. J. BARRETO. (1996). The adoption of soil conservation technology in El Salvador: Linking productivity and conservation. *J. Soil and Water Cons.* 51 (4): 313 – 321.
- SALAZAR, J.R. (1979). Manual técnico de fertilización. CENTA, San Andrés, 43 p. (Manual Técnico Nº 2).
- SOSA, H.; V. MENDOZA; A. G. ALVARADO; F. CALDERON; H. BARRETO y W. RAUN. (1990). Experiencias con labranza de conservación. MAG-CENTA, 30 p.
- TOBAR, J.M. (1998). Resultados del diagnóstico participativo en la zona de influencia del proyecto. Proyecto CENTA-FAO- HOLANDA, San Andrés, 50 p. (Documento de Campo Nº 7).

NOTA DE LOS AUTORES

Gran parte de los conceptos, enfoques y datos presentados en este manual son recopilación de la literatura citada arriba. Con el propósito de facilitar la lectura, se decidió no referenciar la literatura consultada en el texto, excepto en el caso de las figuras y cuadros.

GLOSARIO (Incluya los términos del manual que considera que deben explicarse en esta sección).

Turgencia

Excipiente

Capacidad de Intercambio de Cationes

Consistencia del suelo

pF

Relación entre carbono y nitrógeno

Flujo de masa