



Contenido:

¿Cómo puedo saber si el suelo contiene lo que necesita una planta?

¿Cuáles síntomas de deficiencias debería de estar buscando?

¿Cómo puedo asegurar suministro adecuado de nutrientes para el crecimiento de mis cultivos?

Relación entre sistemas de cultivos y fertilidad de suelo

por *Robert D. Harter, PhD*
Profesor Emérito, University of New Hampshire
Durham, New Hampshire

Publicada 2009



Agricultores tanzanos aplicando fertilizantes a sus cultivos de frijoles. Foto por Tim Motis.

Todas las plantas necesitan de ciertos elementos minerales para el crecimiento y desarrollo adecuado, y mantenimiento. La estructura básica de todos los organismos es construido de carbono (C), oxígeno (O) e hidrogeno (H). Las plantas obtienen estos elementos del agua (H₂O) en el suelo y del dióxido de carbono (CO₂) en el aire, entonces no requieren ninguna inversión más que asegurar suministro adecuado de agua para cumplir estas necesidades. Convertir el H₂O y CO₂ en componentes básicos orgánicos es, sin embargo, un proceso complejo que requiere ayuda de por lo menos 13 elementos adicionales.

Tres elementos, nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K), son requeridos en cantidades relativamente altas y se refieren como **nutrientes primarios** o **macronutrientes**. N es un componente importante de todas proteínas, y es integral para la estructura de una planta. P es un componente menor de proteínas, pero es integral para los moléculas que controlan el flujo de energía dentro de la planta y es un componente del material genético. El papel de K parece ser mantener la concentración correcta de sal en la savia. N, P, y K, en proporciones variables, son los elementos principales de todos los fertilizantes químicos. **Dependiendo del origen del fertilizante, sus cantidades se pueden expresar como N, P₂O₅, y K₂O.**

Elementos de un segundo grupo son necesarios en cantidades menores, y se refieren como **nutrientes secundarios**. Estos incluyen azufre (S), calcio (Ca), y magnesio (Mg). Azufre es otro constituyente de proteínas. Aunque es menos prevalente que N, debe ser presente o no se pueden formar las proteínas correctas. El papel primario de Ca es ayudar a unir células para formar la estructura de la planta. Sin Ca suficiente, una planta tiende a “deshacerse.” Magnesio es un componente de la molécula clorofila, y sin este ion la planta no puede capturar energía de la luz para crear azúcares y soltar oxígeno (O₂). Se puede obtener S de la polución de S en el aire. (Los efectos perjudiciales de azufre en el aire normalmente son más significativos que los beneficios.) Pero con la reducción de polución de S en muchas partes del mundo, se ha vuelto necesario fertilizar con S. Como la adición de compuestos de Ca es la manera principal de control de pH, mantener pH en niveles correctos para el crecimiento de plantas normalmente asegura que Ca adecuada está disponible para las necesidades de la planta. Frecuentemente Mg también está presente en mezclas de cal. Si no se encuentra en estos materiales, se puede agregar en forma de sales inglesas (MgSO₄).

Un tercer grupo consiste de elementos necesarios en cantidades muy pequeñas, y se refieren como **oligoelementos**. El más notable de estos nutrientes es hierro (Fe). Fe en animales es el ion central de la hemoglobina y sin él, el O₂ no puede ser transportado a las células. Tiene un papel análogo en plantas, siendo una parte integral de las enzimas necesarias para la formación

de clorofila y también algunas de las enzimas que controlan el uso de oxígeno. Sin Fe suficiente, no se puede extraer C de CO₂ y no se puede utilizar O₂ correctamente en la planta. Los tonos amarillos y rojos de la mayoría de suelos se deben a los compuestos de Fe, así que la mayoría de suelos tienen contenido suficiente de Fe para las necesidades de las plantas. Sin embargo pueden surgir problemas en las habilidades de ciertas plantas de extraer el Fe necesario. El hecho de que Fe le da al suelo su color significa que se queda Fe cuando otros elementos solubles se remueven por filtración. Fe es menos soluble en suelos secos de pH alto (alcalinas) y más soluble en suelos húmedos de bajo pH (ácidos). Esto significa que una planta adaptada para un suelo húmedo y ácido tal vez no pueda obtener hierro adecuado en un suelo húmedo a seco con pH cerca de neutral (7.0). Ocasionalmente, arroz cultivado en un suelo de arrozal bajo en hierro puede volverse deficiente en hierro debido a la precipitación de sulfuro de hierro. Esto se puede corregir fácilmente con la adición de clavos usados u otra fuente de hierro al suelo.

Los otros oligoelementos son boro (B), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo), cloruro (Cl), y níquel (Ni). Los oligoelementos son usados comúnmente en una variedad de enzimas de plantas para controlar y facilitar los procesos de crecimiento y desarrollo. Algunos, en particular Fe, Mn, y Cu, son importantes en reacciones de transferencia de electrones dentro de la planta. Como estos nutrientes son necesarios en cantidades minúsculas, la mayoría de suelos inicialmente contiene cantidades suficientes para el crecimiento de plantas. Sin embargo, en algunos casos pueden estar ausentes o presentes en cantidades tan pequeñas que con algunos años de removerlos en cosechas puede resultar en agotamiento del nutriente hasta el punto que la planta no pueda obtener la cantidad adecuada para crecimiento apropiado y desarrollo.

Frecuentemente es útil desarrollar ayuda-memorias para recordar una lista de cosas. Una ayuda que me ha servido para recordar los nutrientes esenciales para las plantas es: **C HOPKNS CaFe Mg B Mn CuZn Mo Cl Ni** (leído: 'See Hopkins Café Managed by my cousins Moe, Cloe, and Nick').

Además de los 16 elementos requeridos para todas las plantas, algunas plantas pueden necesitar nutrientes adicionales. Por ejemplo, arroz y caña requieren de un suministro adecuado de silicio (Si) que endurece los tallos. El maíz y la caña requieren de sodio (Na). Algunas plantas requieren de cobalto (Co) y otras, vanadio (V). Otros elementos pueden ser necesitados por plantas específicas para el crecimiento y desarrollo apropiado. Bacterias fijadoras de nitrógeno requieren de cobalto, lo cual significa que un beneficio en micronutrientes puede ser observado aun cuando la planta no ocupa un nutriente específico.

¿Como puedo saber si el suelo contiene lo que necesita una planta?

Análisis de suelo es la manera más precisa de determinar si nutrientes suficientes están presentes. Se hace antes de plantar semillas para que sea posible agregar nutrientes requeridos, si es necesario, antes de que comience a crecer la planta. Esto asegura condiciones óptimas para crecimiento y desarrollo máximo. Mientras este método tiene grandes ventajas en optimizar rendimiento, también tiene algunas desventajas. Primero, un análisis de suelo tiene que ser interpretado. El suelo se analiza extrayendo químicamente los nutrientes y determinando cuanto hay. El próximo paso es interpretar los resultados. En caso ideal, la solución usada para extraer los nutrientes remueve la cantidad de nutriente disponible a la planta. Desafortunadamente, nunca es un mundo ideal, así que lo mejor que se puede esperar es encontrar el extractor que removerá el nutriente en proporción a lo que está disponible para la planta. La proporcionalidad puede ser diferente para diferentes especies de plantas en distintas regiones del mundo, o incluso en diferentes tipos de suelo. Entonces vale poco saber cuánto de cada elemento se remueve sin tener idea de la proporcionalidad. Entonces, es necesario investigar para tener un estimado de cuanto crecimiento resulta de fertilización en relación a la cantidad de nutriente extraída. Todo esto tiene su precio, y solo tiene valor si los recursos financieros existen para comprar los fertilizantes necesarios. Mientras los economistas enseñan que es mal manejo no maximizar rendimiento, en muchas partes del mundo, los recursos financieros para la compra de fertilizantes necesarios sencillamente no están disponibles. En tales lugares sería una pérdida de recursos invertir en análisis de suelo, porque el análisis mismo puede ser caro.

Dicho todo esto, se debe notar que existen algunos **kits portátiles de análisis de suelo**. Mientras pueden ser caros, son convenientes y para un número grande de muestras pueden resultar más baratos por muestra que mandar las muestras a un laboratorio profesional. Sin contar el costo, estos kits comparten la desventaja de no ser tan precisos en reproducir resultados de laboratorio. Además, los kits normalmente son desarrollados para uso en una región específica y serán incluso menos precisos cuando se usan en otras regiones del mundo. Si se van a usar, los químicos deben mantenerse frescos y los resultados se deben considerar una aproximación de la cantidad de nutriente disponible. Una persona entrenada puede usar uno de estos kits a lo mejor, pero debería de invertir tiempo en algunas pruebas sencillas para la reacción de plantas a las adiciones de fertilizantes. En general, la compra de un kit no es necesaria. Una porción significativa de su costo normalmente es el paquete llamativo. Con la ayuda de un Químico de Suelos, usuarios entrenados deberían poder, a un costo más bajo, desarrollar un kit útil para la región donde trabajan y empaquetarlo en una caja de herramientas común.

Otro método de análisis es **analizar nutrientes en plantas jóvenes**. Este método tiene la ventaja de mostrar si suficiente nutriente está disponible para proveer el nutriente en cantidad suficiente para mantener plantas saludables. Igual tiene que ser

interpretado, pero las bases de datos ahora contienen información sobre concentraciones de nutrientes en plantas saludables y no-saludables para la mayoría de especies. Si no están disponibles los datos para una planta específica, normalmente se puede estimar basado en los datos para especies similares. Como las plantas pueden estar ya estresadas debido a nutrientes insuficientes, son bastante jóvenes para recibir el beneficio de la adición de nutrientes que faltan. Este método, sin embargo, tiene la posible desventaja de ser caro. Kits para el campo están disponibles en un costo relativamente bajo para analizar concentraciones de macronutrientes en la savia de una planta, pero como los kits para analizar suelo, dan solo un estimado de suficiencia de nutrientes. Analizar para oligoelementos necesarios normalmente requiere la sofisticación – y costo – de análisis de laboratorio. Debido a su costo, el análisis en laboratorio es factible solamente para cultivos anuales de alto valor, pero puede ser de valor como herramienta diagnóstica y viable económicamente para perennes de larga vida como árboles frutales.

Un tercer método, que es a lo mejor el más práctico en muchos lugares de los trópicos, es observar **síntomas de deficiencia en las plantas** y adquirir conocimientos de que indican los síntomas. El mayor inconveniente de este método es que a la altura de que se pueden observar los síntomas, la planta usualmente ya está con estrés severa de deficiencia y se perjudica la productividad aun si se agrega inmediatamente el nutriente. De otro lado, no cuesta más que tiempo observar, y la adición inmediata del nutriente requerido puede por lo menos salvar algo de la producción. Con los conocimientos obtenidos, las correcciones se pueden hacer antes de plantar el siguiente cultivo.

¿Cuales síntomas de deficiencia debería de estar buscando?

Interpretar síntomas de deficiencia es, antes de todo, más un arte que una ciencia. Muchos síntomas se parecen y un síntoma puede enmascarar deficiencia de otros nutrientes. Además, corregir una deficiencia puede causar deficiencia de otro nutriente. Hace ciento cincuenta años, Leibig, un químico alemán famoso, expresó lo que se ha llamado “La Ley del Mínimo.” Esencialmente, dice que el desarrollo de una planta será controlado por cualquier nutriente que le limita más. Entonces, por ejemplo, plantas de maíz pueden mostrar síntomas de deficiencia de nitrógeno, entonces se agrega nitrógeno y las plantas empiezan a mostrar deficiencia de fósforo. Arreglar esta deficiencia puede hacer manifestarse otro síntoma de deficiencia. Puede, entonces, requerir de varios años para descubrir y corregir y balancear todas las necesidades del cultivo. Se puede hacer algunas generalizaciones, pero los síntomas de deficiencia también varían ampliamente con diferentes especies. Uno debe familiarizarse con los síntomas específicos de deficiencia del cultivo de interés. Dado estas notas de precaución, trataremos algunos síntomas generalizados (Bennett, 1996; Prasad y Power, 1997).

Justo como un médico puede saber mucho sobre la salud de un paciente observando síntomas visuales, un agricultor puede saber mucho sobre la salud de sus cultivos observando características de crecimiento. Primero, realmente necesita saber cómo se ve una planta saludable. Esto es bastante importante si una variedad o cultivo nuevo se está introduciendo, como no todas las plantas saludables se verán iguales. Con esta información básica, los síntomas de deficiencia de nutrientes se pueden reconocer más fácilmente. Algunas características para examinar son:

- a. Salud General de Hojas. ¿Se ven de igual salud las hojas viejas cerca de la base de la planta o rama y las hojas nuevas cerca del punto de crecimiento, o más o menos iguales?
- b. Clorosis — pérdida de pigmento verde. Las hojas pueden ser totalmente o en parte un verde pálido o amarillo. En casos severos las hojas se pueden volver hasta blancas.
- c. Uniformidad de Hojas — ¿Se parecen la parte entre las venas y las venas mismas? O ¿hay diferencia significativa de color?
- d. Necrosis — muerte. ¿Están muriendo las hojas, que sean hojas enteras o secciones de hojas?
- e. Morfología — forma y estructura. ¿Se ven las partes de la planta (hojas, tallos, raíces) como deberían? Muchas veces una deficiencia (o toxicidad) de nutriente causa un cambio de morfología. Las raíces pueden ser mal desarrolladas; los tallos pueden ser o muy largos o cortos entre las ramas; las hojas pueden ser enanas, enroscadas, o secas y café en los bordes.

Todas estas características son síntomas de una planta no-saludable si no son características conocidas de la planta saludable. Lo mismo es cierto para la siguiente lista de **deficiencias de nutrientes**:

Nitrógeno: La deficiencia normalmente se indica con venas centrales amarillentas (con clorosis) en las hojas más viejas. Si no se corrige la deficiencia, el amarillo se extenderá poco a poco hacia todos lados; en casos de deficiencias severas las hojas más viejas se mueren. El punto de crecimiento de la planta tiene prioridad para el uso de nitrógeno, entonces si no está disponible este nutriente en el suelo se removerá de las hojas más viejas, extrayendo primero el N cerca de la vena central. Pérdida de N causa que el área de la hoja se vuelve amarillo o clorótico.

Fósforo: El síntoma clásico de P insuficiente en una planta es un color anormal de verde oscuro o carmesí que se desarrolla en las hojas, normalmente avanzando de la punta de la hoja y el borde hacia la vena central y el tallo. Esto será más obvio en plantas jóvenes, y como el problema anterior de N, los síntomas se desarrollan primero en las hojas más viejas. Otros síntomas incluyen mal desarrollo, tanto de raíces como de las partes superiores de la planta, y maduración retrasada.

Potasio: Deficiencia de este nutriente usualmente se manifestará con márgenes de hojas que se secan y se broncean y con hojas que se enroscan. En casos severos manchas muertas pueden aparecer en las hojas. Las frutas pueden tener una vida útil más corta.

Azufre: Síntomas de deficiencia son similares a los de N, con la excepción de que S es menos transportable entonces las hojas más jóvenes tienden a volverse amarillas mientras las hojas más viejas se mantienen verdes. Sin embargo, puede haber excepciones a estos síntomas. Diferentes especies de plantas responden diferentes, pero en general la deficiencia de S se indica con un color amarillo pálido y plantas enanas con tallos delgados. Como los síntomas son similares a los de deficiencia de N hay tendencia a suponer que hay poco suministro de N. En este caso, los síntomas no desaparecen con aplicación de N.

Calcio: Este nutriente es inmóvil en una planta, y por eso cuando hay insuficiente calcio el brote terminal no se desarrollará apropiadamente, resultando en hojas nuevas distorsionadas. Además, en algunas plantas manchas muertas se encontrarán en la vena central o en el tallo. En maíz, las puntas de hojas nuevas pueden ser cubiertas con una sustancia pegajosa que hace que las hojas se adhieren, dando la apariencia de una escalera a la planta.

Magnesio: Los síntomas de deficiencia son similares a aquellos de N, pero las venas tienden a permanecer verdes, con las hojas amarillentas de la punta hacia las venas, en vez del opuesto. Manchas café y muertas pueden aparecer en los márgenes y puntas de las hojas.

Hierro: Este nutriente tiende a ser menos móvil en la planta, y por eso el amarillo o blanco se encuentra en hojas jóvenes, no en hojas viejas. En casos de deficiencia severa en viveros de arroz, las plantas sembradas directamente de semillas, o parcelas de sorgo, las plantas enteras se pueden volver un amarillo pálido o blanco debido a clorosis en las venas del tallo.

Boro: También bastante inmóvil en la planta, deficiencia de B muchas veces resultará en muerte de brotes terminales. Otros síntomas incluyen formación de rosetas, derrame de flores o frutas, raíces de mala calidad, y enfermedad de manchas café en la familia de los coles.

Manganeso: Síntomas de deficiencia de Mn muchas veces no son obvios, pero tienden a causar clorosis donde las venas permanecen verdes. En caso de deficiencias severas, blanqueada y muerte de hojas puede ser observado. Melones, por ejemplo, parecen ser susceptibles a deficiencias de Mn. Puede también ocurrir en palmeras de coco, especialmente en meses de primavera después de un invierno muy frío. Cuando ocurre deficiencia de Mn, los síntomas son más pronunciados en las hojas más nuevas de la planta.

Cobre: Crecimiento atrofiado y muerte de brotes de hojas terminales se pueden asociar con deficiencia de Cu, como la formación y composición química de las paredes celulares pueden ser afectados. Otros síntomas a veces observados son puntas de hojas blancas y hojas delgadas y enroscadas.

Zinc: Zn es un componente de auxina, una hormona que regula el crecimiento de la planta, así que una cantidad insuficiente en la planta puede resultar en crecimiento atrofiado. Coloración pálida a blanca de hojas nuevas se puede observar, como brotes blancos y líneas blancas en hojas de maíz. Descoloración rojiza (como oxidación) de hojas en arroz, una enfermedad conocida como Khaira, es causada por deficiencia de Zn. Maíz, frijoles, cítricos, y arroz son plantas indicadoras de deficiencia de Zn.

Molibdeno: La deficiencia de Mo se parece a síntomas de deficiencia de N. La enfermedad conocida como "whip tail" en coliflor se asocia con insuficiencia de Mo. Este nutriente en especial es crítico en leguminas; es un componente esencial de reductasa de nitrato y nitrogenasa, entonces es importante en convertir nitrógeno en la atmósfera en un nutriente útil en el suelo.

Cloruro: Este nutriente pocas veces es deficiente en condiciones de campo; los síntomas son observados más en condiciones de invernadero. Cuando ocurre una deficiencia muchas veces es indicado por hojas cloróticas y necrosis de hojas.

¿Como puedo asegurar suministro adecuado de nutrientes en el suelo?

Cuando se cosechan cultivos, se remueven nutrientes. Estos nutrientes, y también los que se pierden con filtración, necesitan ser restaurados de alguna forma o la sostenibilidad de la agricultura resulta amenazada. La restauración se puede lograr en una variedad de formas. Con suficientes recursos financieros, los nutrientes perdidos pueden reemplazarse agregando fertilizantes comerciales. Si se incorporan animales en el sistema, los nutrientes pueden reemplazarse en parte dispersando el estiércol producido. En un sistema cambiante de agricultura el desgaste de piedras y acumulación de vegetación es necesario para

reponer nutrientes. En muchos casos se usa una combinación de métodos para mantener el suministro de nutrientes. Una de las herramientas útiles usadas para desarrollar estrategias de manejo sostenible de nutrientes es el presupuesto de nutrientes, que equilibra ingresos a y extracciones de un área de interés. Estudios de balance de nutrientes proveen resultados rápidos, pero normalmente son basados en estudios de poco tiempo, y dependen de varias suposiciones relacionadas con la dinámica de sistemas (Roy y Misra, 2002). Siempre se puede desconfiar de la validez de las suposiciones y la fiabilidad de los datos, pero por lo menos hay una base para estimar si y a qué nivel se están consumiendo los nutrientes. Este modelo frecuentemente se expande o se contrae, dependiendo de la disponibilidad de datos. A lo mínimo el nutriente removido en el cultivo debe ser estimado y balanceado por las adiciones de nutrientes. A continuación se presentan datos típicos usados en el desarrollo de un presupuesto de nutrientes.

La clave a la productividad sostenible es reemplazar nutrientes removidos del campo con las cosechas. Con el tiempo el removido de nutrientes puede ser substancial. Muchos suelos tropicales tienen un suministro de nutrientes naturalmente limitado y los suelos se pueden agotar rápidamente en su habilidad de sostener crecimiento adicional de cultivos si las provisiones no se expanden para reemplazar los nutrientes quitados. Algunos ejemplos de removido de nutrientes con cultivos se encuentran en la Tabla 1 abajo.

Tabla 1. Nutriente removida vía cosecha de algunos cultivos en parcelas pequeñas (Mueller-Samana y Kotschi, 1994).

Cultivo	Rendimiento	N	P	K	Ca	Mg
kg ha ⁻¹						
maíz (grano)	1100	17.1	3.0	3.0	0.2	0.2
arroz (arrozal)	1100	13.6	3.5	3.9	0.9	1.5
maní (nuez)	550	28.5	2.4	3.0	0.3	1.0
(cáscara)	220	2.2	0.2	1.8	0.7	
casava (raíces)	11,000	25.0	3.0	66.0	5.9	
batata (raíces)	11,000	38.6	3.0	39.9	0.7	
banana	11,000	30.7	4.5	63.2	0.7	
cacao (vainas)	550	13.6	3.2	11.4		
(cáscara)	550	11.4	1.2	25.0		

Es importante retener e incorporar en los suelos tanto de los residuos de los cultivos como sea posible. Cuando se sacan los residuos, la pérdida de nutrientes puede ser considerable, como en muchos casos puede haber más nutrientes en los residuos que en el componente cosechado (Tabla 2). La quema también puede resultar en bastante pérdida de nutrientes, aunque a veces el agricultor debe comparar la pérdida de nutrientes con los beneficios de la quema para control de enfermedades e insectos, y para la liberación rápida de nutrientes contenidos.

Tabla 2. Contenido promedio de nutrientes en residuos de cultivos seleccionados, coleccionados en el este y sur de África (Palm y otros., 1997)

	N	P	K
kg t ⁻¹ (seco)			
Maíz, stover	6	<1	7
Frijol, basura	7	<1	14
Banana, hojas	19	2	22
Batata, hojas	23	3.6	–
Cana, basura	8	<1	10
Café, cascaras	16	4	–

El contenido de nutrientes de estiércol puede variar, como se indica en la Tabla 3. La variabilidad de la calidad del estiércol depende de la dieta del animal y el manejo. Mientras cambiar la dieta puede, de manera limitada, afectar la calidad del estiércol,

las prácticas de manejo de estiércol pueden afectar bastante la cantidad de nutrientes disponibles para devolver al suelo. Por ejemplo, el contenido de nitrógeno en la orina es más alto que de sólidos, entonces la retención de orina se vuelve importante. En general, estiércol más fresco tiene más contenido de nutriente por unidad materia seca; tiempo de almacenamiento afecta la calidad.

Tabla 3. Composición química de estiércol de una variedad de fuentes del Oeste de África (Tarawali y otros, 2001).

Fuente de Estiércol	N	P	K
	kg t ⁻¹ (seco)		
Ganado	6 – 25	2 – 3	2 – 5
Ovejas	14 – 23	2 – 11	14
Chivos	14 – 22	4 – 7	–

La contribución de estiércol a las necesidades de nutrientes a pequeña escala puede ser considerable, pero en escala de país o continente el estiércol producido no suministrará las necesidades de todos los terrenos agrícolas. Varios estimados, por ejemplo, han indicado que solo un 10 por ciento de las necesidades de nutrientes en África pueden satisfacerse con la adición de estiércol (Tarawali y otros, 2001). Está claro, entonces, si los recursos no están disponibles para comprar fertilizantes químicos, la producción debe ajustarse a un uso de baja intensidad de la tierra. Sin embargo, como destacó Bunch (2002), intensidad baja no significa necesariamente productividad baja en áreas tropicales. Cultivos de cobertura e inter-cultivación se pueden ocupar efectivamente para mantener fertilidad. La productividad continua de la tierra puede ser facilitada con la incorporación de leguminosas y otros tipos de materias vegetativas en combinación con rotación de parcelas de cultivación.

¿Como puedo asegurar suministro adecuado de nutrientes para el crecimiento de mis cultivos?

Ha habido mucha discusión durante los últimos años sobre la mejor manera de “alimentar” a las plantas. Primero hay que enfatizar que las plantas no son animales, y se puede olvidar del concepto de “alimentarlas.” Hay evidencia que en caso de deficiencias severas de nutrientes, una planta puede ser capaz de absorber nutrientes suficientes a través de los stomata de las hojas para aliviar los síntomas de deficiencia, **pero con pocas excepciones, todos los nutrientes menos C, H, y O entran por las raíces.** Además, la mayoría entran por las raíces en solo una o dos formas. Entonces, por ejemplo, sin importar la cantidad de N agregado al suelo, a lo mejor entrará a la planta primariamente como nitrato (NO₃⁻) o amonio (NH₄⁺), y sin importar la forma de P agregado al suelo, entrará a la planta como fosfato (HPO₄²⁻ o H₂PO₄⁻). No, alimentar las plantas no es el tema, sino mantener el suelo en una condición física propicia al crecimiento de plantas que se logra con las prácticas de manejo de nutrientes. **En la mayoría de casos, la clave para el mantenimiento de buenas condiciones físicas requiere manejo de material orgánico en el suelo.** En la mayoría de suelos, la materia orgánica forma el “pegamento” que junta las partículas pequeñas para formar agregados más sustanciales, y así disminuye la densidad del suelo y lo abre para más facilidad de movimiento de aire y agua. En algunos lugares tropicales el hierro puede volverse el “pegamento”, y estos suelos necesitan cuidados especiales para prevenir desestabilización, pero incluso estos suelos pueden beneficiarse con manejo de materia orgánica. **Fertilizantes inorgánicos pueden ser y han sido utilizados exitosamente para proveer nutrientes necesarios para plantas, pero para mayor efectividad el manejo de suelos debe incluir reincorporación de residuos orgánicos y debe minimizar el batido del suelo, que ayuda a deshacer agregados.**

Dicho esto, se reconoce que en la agricultura de subsistencia, como se practica en muchos de los trópicos, poco o nada de los nutrientes de las plantas se agregarán en fertilizantes comerciales. En estas circunstancias, el sistema de cultivación se vuelve de mayor importancia en mantener la fertilidad.

Relacion entre sistemas de cultivos y fertilidad de suelos

Los sistemas de agricultura en todos lados, desde los trópicos a las canastas de Europa y Norteamérica, son evaluados basados en su potencial por mantener tasas adecuadas de crecimiento en productividad a largo plazo. El sistema tradicional de cultivación en muchas áreas de los trópicos era agricultura migratoria. Este sistema es sostenible solo mientras el periodo en barbecho es suficiente para que la tierra reestablezca un ecosistema clímax, que permite renovar nutrientes de suelo hasta aproximadamente los niveles existentes antes de limpieza para unos años de cultivación. Sin embargo, mientras suben las presiones sobre la población, las presiones sobre la tierra también suben y el periodo de tiempo que está ocupada la tierra

por la vegetación nativa ya no es suficiente para reestablecer un ecosistema clímax. Al comienzo de los 1990, por ejemplo, la cultivación migratoria verdadera se había vuelto rara en África, y la práctica se había vuelto más precisamente un sistema de barbecho rotacional con matorral (IITA, 1992). Este sistema ha sido relativamente exitoso porque mantiene una capa continua de residuos orgánicos en la superficie del suelo, y así protege el suelo de daños estructurales y erosión causados por las altas temperaturas y lluvias torrenciales. Sin embargo, mientras la necesidad para la producción aumenta, una variedad de tecnologías alternativas han sido propuestas para reemplazar el sistema de barbecho con matorral. Cualquier alternativa debe todavía manejar la materia orgánica del suelo de tal manera que mantiene y regenera la capacidad productiva del suelo (IITA, 1992). Entonces es necesario encontrar maneras de maximizar el uso de fuentes locales de materiales biológicos, que se pueden suplementar con fertilizantes donde estén disponibles.

Manejo apropiado de materia orgánica del suelo es el factor principal en mantener la fertilidad de suelos en áreas tropicales, como la materia orgánica es la fuente primaria de nutrientes para las plantas. Dick y otros (2001) han indicado que aumentar materia orgánica también puede disminuir absorción de fósforo por el suelo y aumentar disponibilidad de fósforo para las plantas. Sin embargo, materia orgánica en el suelo es muy lábil (se deshace rápidamente), y se pierde rápido cuando se ventila con la cultivación. La pérdida de materia orgánica puede ser reducida minimizando disturbios del suelo, pero productividad a largo plazo solo se puede asegurar con un programa de manejo que incluye adiciones de materia orgánica al suelo. Algo de materia orgánica se agregará al suelo cuando estiércol u otras fuentes orgánicas se usan. El manejo de estos materiales, sin embargo, será basado en contenido de nutrientes y la cantidad de materia orgánica agregada será inadecuada para mantener la materia orgánica en el suelo. El mantenimiento de materia orgánica solo se puede lograr con prácticas apropiadas de manejo.

El uso de leguminas herbáceas ha sido efectivo especialmente en el mantenimiento e incluso en el aumento de materia orgánica en el suelo. *Mucuna pruriens* var. *utilis*, *Desmodium heterocarpon*, *Mucuna pruriens*, *Centrosema pubescens*, *Psophocarpus palustris*, y *Pueraria phaseoloides* han sido útiles en programas de manejo donde se necesita cobertura rápida de suelos y harán aumentar la materia orgánica en el suelo. Adicionalmente, todas estas especies tienen un efecto positivo sobre las propiedades de la química del suelo (IITA, 1992). Algunos son mejores que otros en aumentar el contenido de materia orgánica del suelo. *Psophocarpus palustris* y *Pueraria phaseoloides* contribuyen más que otras leguminas al carbón orgánico y el nitrógeno total (IITA, 1992).

Leguminas herbáceas han sido especialmente efectivos en la técnica de manejo de estiércoles verdes. En este sistema un cultivo comestible se planta directamente entre un cultivo de cobertura establecida sin labranza o destrucción de la vegetación en barbecho. Cuando se usan como estiércol verde, leguminas herbáceas pueden rendir hasta 300 kg de nitrógeno por hectárea. Maíz cultivado en estiércol verde ha mostrado poca a ninguna respuesta a fertilizantes de nitrógeno. Además de suministrar nitrógeno, leguminas herbáceas en estiércol verde suprimen malas hierbas, previenen erosión, y agregan materia orgánica al suelo. Estiércol verde utilizando leguminas ha sido efectivo en minimizar la pérdida de rendimiento asociada normalmente con cultivación continua en suelos tropicales. *Pseudovigna argentea* es un candidato prometedor para sistemas de estiércol verde porque no sube fácilmente a estacas ni reprime otros cultivos (IITA, 1992).

En las Américas, agricultura tala/mantillo o “tapado” era la práctica tradicional. Mientras quemar la tala para obtener nutrientes en la ceniza no era desconocido, los agricultores comúnmente limpiaban parcelas del bosque y plantaban cultivos en el mantillo que quedaba. En vez de quemar, ocupaban el mantillo como fuente de nutrientes. **La tala en descomposición parece sostener fertilidad de suelo durante el ciclo de cultivación mejor que la ceniza de la quema (Thurston, 1994).** El uso de leguminas herbáceas también muestra potencial en combinación con sistemas de tala/mantillo. Velvet bean (*Mucuna pruriens* var. *utilis*), por ejemplo, ha producido cerca de 30 T biomasa ha⁻¹ año⁻¹, 90-100 kg N ha⁻¹ año⁻¹, y aumentado mantillo 0.5 pulgadas año⁻¹ (Holt-Giménez y Rubén, 1994). En adición a velvet bean, jack bean (*Canavalia ensiformis*), lablab o hyacinth bean (*Lablab purpureus* subsp. *purpureus*), alverjilla (*Lathyrus nigrivalvis*), tropical kudzu (*Pueraria phaseoloides*) y scarlet runner bean (*Phaseolus coccineus*) han sido ocupados exitosamente en combinación con tala/mantillo (Bunch, 1994).

Cultivación en franjas es otro sistema de manejo que muestra bastante potencial. Con cultivación en franjas, cultivos arables se ponen en “callejones” entre setos de arbustos y árboles, preferiblemente leguminosos, plantados. Los setos se mantienen con poda para prevenir demasiada sombra para los cultivos acompañantes. Según Escobar-Munera y otros (1994) la cultivación en franjas aumenta materia orgánica y contenido asociado de nutrientes y sus ciclos; aumenta la capacidad para intercambio de y humedad de suelo; reduce temperatura del suelo, aparición de malas hierbas y pérdida de suelo. Las podas son fuentes de mantillo, y el nitrógeno en los recortes se suplementa con el que está fijado por las especies leguminosas vivas en el seto. Los setos entonces funcionan de manera similar a los árboles y arbustos en matorral barbecho, reciclando nutrientes, suprimiendo malas hierbas, y controlando erosión en terrenos pendientes. *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium* parecen ser las especies leñosas más prometedoras para cultivación en franjas en África (IITA, 1992). La biomasa y rendimiento de nutrientes de estas especies se presentan en la Tabla 4 y se comparan con dos especies diferentes utilizadas como setos. En Costa Rica *Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium* se usan en cultivación en franja. En un estudio *Erythrina poeppigiana* produjeron hasta 18.5 ton ha⁻¹ año⁻¹ materia seca con densidad de 280 árboles ha⁻¹. En densidad de 555 árboles *E. poeppigiana* produjo un promedio de 9.74 toneladas materia seca ha⁻¹, que se tradujo a ingresos de nutrientes (kg ha⁻¹ yr⁻¹) de 229 N, 23.2 P, 144.6 K, 77 Ca y 47 Mg (Escobar-Munera y otros, 1994).

Tabla 4. Biomasa y rendimiento de nutrientes para cuatro especies de seto cultivados en franjas con maíz y cowpea en el sudoeste de Nigeria (Kang y Shannon, 2001)

Especies	Rendimiento biomasa t ha ⁻¹ año ⁻¹	Rendimiento nutriente							
		N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn
		kg ha ⁻¹ año ⁻¹				g ha ⁻¹ año ⁻¹			
<i>Alchornea cordifolia</i>									
recortes	3.89	86.8	7.0	38.9	20.8	6.8	4.60	1058	97
madera	1.33	8.7	1.5	24.3	12.8	1.7	—	266	21
<i>Dactyladenia barteri</i>									
recortes	2.11	28.0	2.7	19.3	5.9	3.7	2.11	125	38
madera	0.31	1.7	0.2	1.8	1.0	0.4	—	10	5
<i>Gliricidia sepium</i>									
recortes	5.75	226.0	14.5	160.0	72.0	25.0	10.35	431	115
madera	4.55	46.0	2.3	40.0	44.0	5.5	—	137	59
<i>Leucaena leucocephala</i>									
recortes	8.37	301.0	19.3	156.0	67.0	36.0	24.27	594	209
madera	5.62	28.6	1.7	33.1	18.0	3.9	—	225	51

Sumario

Un misionero que trabajaba en agricultura me explicó que cuando el hombre abandonó el estilo de vida de nómada cazador/recogedor prefiriendo un estilo de vida sedentario cultivando plantas, se hizo con conocimientos íntimos de las condiciones necesarias para crecimiento y prosperidad de plantas. Por eso intentó duplicar las condiciones en parcelas cultivadas. Por eso las culturas “primitivas” siguen cultivando la tierra bajo estos principios, pero se han olvidado o ignorado mayormente en el mundo desarrollado.

Podemos cultivar plantas saludables (hidropónicamente) en arena estéril o nada más que agua – pero ¿a qué costo? Una de las fallas mayores de la agricultura del siglo veinte fue el intento de exportar tecnologías modernas del Oeste a las sociedades que seguían usando tecnologías del siglo dieciséis (o antes) – el intento, por ejemplo, de introducir cosechadoras de granos cuando una guadaña era una mejora apropiada sobre el hoz que todavía se usaba para cosechar granos.

Similarmente, es fácil decir que todo lo que necesita hacer un agricultor es agregar fertilizante y cosechará suficiente para dar de comer a su familia con exceso para vender. Sin embargo, si no tiene recursos y no ha podido dar de comer suficientemente a su familia, no estará preocupándose por alimentar a su familia y a la familia de algún vecino. En un artículo de Science, Foley, y otros (2005) han indicado que las prácticas de agricultura moderna requieren aplicaciones grandes de fertilizantes químicos y la diversión de agua a tierras marginales no son sostenibles. Bunch (2002) también ha destacado que la fertilización de suelos tropicales puede ser incluso contra-productivo, dependiendo del cultivo y el suelo.

Hay necesidad de volver a entender las condiciones para crecimiento de cultivos, en especial en los trópicos. Durante muchos siglos la agricultura de tala y quema era exitosa porque dependía de la vegetación, no el suelo, como fuente primaria de nutrientes. Mientras no es posible, ni aconsejable, volver a este tipo de sistema de agricultura, mantener una cobertura vegetativa para el suelo sigue siendo un principio cultural válido y vital. Plantas vivas acumulan nutrientes y la basura se vuelve una fuente de nutrientes soltados poco a poco para el cultivo. Junto, el material de las plantas vivas y muertas da sombra al suelo y lo protegen de los efectos de erosión de la lluvia. El elemento clave final de sostenibilidad es conciencia de nutrientes removidos con un cultivo. Estos nutrientes necesitan ser reemplazados, si con desgaste de rocas, ingresos de la atmósfera, o con fertilizantes. Bunch (2002) correctamente dice que la adición de fertilizantes no es mala, en sí, pero en suelos tropicales los nutrientes deben ser agregados en forma orgánica. Los agricultores en los trópicos tienen una variedad de opciones para reponer nutrientes en forma orgánica, incluyendo estiércol, estiércol verde y cultivos de cobertura, residuos de plantas y recortes, etc.

Bibliografía

- Bennett, William F. (Ed.) 1996. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants (Deficiencias de nutrientes y toxicidades en cultivos). APS Press. St. Paul, MN.
- Bunch, Roland. 1994. The Potential of slash/mulch for relieving poverty and environmental degradation (El potencial de tala/mantilla para aliviar la pobreza y degradación ambiental). En *Tapado Slash/mulch: how farmers use it and what researchers know about it*. Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development (CIIFAD). Cornell University. Ithaca, NY.
- Bunch, Roland. 2002. Nutrient quantity or nutrient access? A new understanding of how to maintain soil fertility in the tropics (Cantidad de nutrientes o acceso a nutrientes? El nuevo entender de cómo mantener fertilidad de suelos en los trópicos). ECHO Development Notes. 74:1-7.
- Dick, Richard P., Charles Yamoah, Mateugue Diack, and Aminata N. Badiane. 2001. Soil microorganisms and soil fertility (Microorganismos y fertilidad de suelos). In *Sustaining Soil Fertility in West Africa*, Guanglong Tian, Fusako Ishida, and Dyno Keatinge (Eds). SSSA Special Publication number 58. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Escobar-Muñera, Milagro León, Carlos Ramírez, and Donald Kass. 1994. Nitrogen in alley cropping using *Erythrina poeppigiana* and *Gliricidia sepium* with common bean *Phaseolus vulgaris* (Nitrógeno en cultivación en franjas usando *Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium* con frijol común *Phaseolus vulgaris*). In *Tapado Slash/mulch: how farmers use it and what researchers know about it*. Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development (CIIFAD). Cornell University. Ithaca, NY.
- Foley, Jonathan A.; DeFries, Ruth; Asner, Gregory P.; Barford, Carol; Bonan, Gordon; Carpenter, Stephen R.; Chaplin, F. Stuart; Coe, Michael T.; Dailly, Gretchen C.; Gibbs, Holly K.; Helkowski, Joseph H.; Holloway, Tracey; Howard, Erica A.; Kucharik, Christopher J.; Monfreda, Chad; Patz, Jonathan A.; Prentice, I. Colin; Ramankutty, Navin and Snyder, Peter K.. 2005. Global Consequences of Land Use (Consecuencias Globales Del Uso de Tierras). *Science*. 309:570-574.
- Holt-Giménez, Eric and Rubén Pasos C. 1994. "Farmer to farmer:" The potential for technology generation and transfer for farmers in Rio San Juan, Nicaragua ("Agricultor a agricultor." El potencial para generación y transferencia de tecnología para agricultores en Rio San Juan, Nicaragua). In *Tapado Slash/mulch: how farmers use it and what researchers know about it*. Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development (CIIFAD). Cornell University. Ithaca, NY.
- IITA (International Institute of Tropical Agriculture). 1992. Sustainable food production in sub-Saharan Africa 1 (Producción sostenible de comidas en África subsahariana). IITA's contributions. IITA, Ibadan, Nigeria. 208 pp.
- Kang, B.T. and Dennis A. Shannon. 2001. Agroforestry with focus on alley cropping (Agroforestería con enfoque en cultivación en franjas). In *Sustaining Soil Fertility in West Africa*, Guanglong Tian, Fusako Ishida, and Dyno Keatinge (Eds). SSSA Special Publication number 58. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Maynard, Donald N. and George J. Hochmuth. 1997. *Knott's Handbook for Vegetable Growers* (Guía de Knotts para Cultivadores de Vegetales), 4th Ed. John Wiley and Sons, New York, NY.
- Mueller-Samana, Karl M. and Johannes Kotschi, 1994. *Sustaining growth. Soil fertility management in tropical small holdings* (Sosteniendo crecimiento. Manejo de fertilidad de suelos en parcelas pequeñas tropicales). Margraf Verlag, Weikersheim, Germany. 486pp.
- Palm, Cheryl A., Robert J.K. Myers, and Stephen M. Nandwa. 1997. Combined use of organic and inorganic nutrient sources for soil fertility maintenance and replenishment (Uso combinado de fuentes orgánicas e inorgánicas de nutrientes para mantenimiento y relleno de fertilidad de suelos). In *Replenishing soil fertility in Africa*. Roland J. Buresh, Pedro A. Sanchez, and Frank Calhoun (Ed.). Soil Science Society of America Special Publication No. 51. Madison, WI.
- Prasad, Rajendra and James F. Power. 1997. *Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture* (Manejo de Fertilidad de Suelos para Agricultura Sostenible). Lewis Publishers, New York, NY. 356 pp.
- Roy, R.N. and R.V. Misra. 2002. Review on assessment of soil nutrient depletion and requirements - approach and methodology (Revista sobre evaluación de depleción y requerimientos de nutrientes de suelo – enfoque y metodología). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. (Draft). <http://www.fao.org/ag/agl/agll/nutrientmining/docs/assessmentof-soilnutrientdepletion.doc>.

Tarawali, Shirley A., Asamoah Larbi, Salvador Fernandez-Rivera, and Andre Bationo. 2001. The contribution of livestock to soil fertility (La contribución de ganado en fertilidad de suelos). In *Sustaining soil fertility in West Africa*. Guanglong Tian, Fusako Ishida and Dyno Keatinge (Ed.). Soil Science Society of America Special Publications No. 58. Madison, WI.

Thurston, H. David. 1994. Slash/mulch systems: Neglected sustainable tropical agroecosystems (Sistemas de tala/mantilla: Agro-ecosistemas tropicales sostenibles olvidados.) In *Tapado Slash/mulch: how farmers use it and what researchers know about it*. Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development (CIIFAD). Cornell University. Ithaca, NY.