



## El ciclo de los nutrientes

Por Carlos Armenio Khatounian. Fuente: Diccionario de Agroecología y Educación.

19/02/2025

### Nutrientes minerales en las plantas

Todos los seres vivos estamos compuestos principalmente por tres elementos químicos: carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H). En las plantas, estos tres elementos constituyen alrededor del 95% de la materia seca, proviniendo el H y el O del agua y el C del dióxido de carbono del aire. En el 5% restante, hay una serie de otros elementos químicos, denominados colectivamente nutrientes minerales. Entre los nutrientes minerales, tres son necesarios en mayor cantidad: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), designados como macronutrientes minerales primarios; seguidos del calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), llamados macronutrientes secundarios. Las plantas también necesitan, en cantidades mucho menores, boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), cobalto (Co), níquel (Ni) y zinc (Zn), denominados micronutrientes. El silicio (Si) también es muy común y se considera esencial para algunas plantas.

Para crecer y completar su ciclo satisfactoriamente, las plantas necesitan recibir todo el conjunto de nutrientes. Como las plantas están fijadas en el suelo, todos estos nutrientes deben estar disponibles donde se desarrollan sus estructuras de absorción, particularmente las raíces. Para poder ser absorbidos, los nutrientes deben estar disueltos en la solución del suelo que permea los espacios capilares. De



esta solución pasan a las raíces y suben a los lugares donde participan en la fisiología de la planta.

Los suelos de diferentes regiones contienen diferentes cantidades de nutrientes minerales y también pueden contener elementos tóxicos, como aluminio (Al) libre. Como las plantas están fijadas al suelo por sus raíces, debieron desarrollar, a lo largo de su evolución, mecanismos para adaptarse a las proporciones en que se encuentran los nutrientes minerales en cada región, y también estrategias para convivir con elementos tóxicos.

Por este motivo, aunque todas las especies vegetales necesitan los mismos nutrientes minerales, difieren en las proporciones de cada elemento que precisan. También se diferencian por su capacidad para extraer nutrientes del suelo y su tolerancia a elementos tóxicos. Por tanto, las plantas que evolucionaron en diferentes ambientes, como el trigo en suelos calcáreos bajo un clima templado semiárido y el arroz en suelos ácidos en los trópicos húmedos, desarrollaron diferentes adaptaciones. En consecuencia, requieren condiciones diferentes para expresar plenamente su potencial productivo.

### **Particularidades de la dinámica del P, K y N en el sistema suelo-planta.**

#### ***Fósforo***

Los nutrientes minerales tienen comportamientos químicos muy diferentes. Debido a su importancia, aquí consideramos los tres macronutrientes principales.

Como regla general, el P en suelos no cultivados proviene esencialmente de la roca madre, la fuente original para ser absorbido por las plantas e incorporado a su biomasa. Cuando esta biomasa se descompone, el P se libera a la solución del suelo en forma de aniones fosfato. De esta forma, reacciona fácilmente con cationes, particularmente con aluminio y hierro en suelos tropicales. Los fosfatos formados a partir del aluminio y el hierro son prácticamente insolubles, por lo que el fósforo deja de estar disponible para la mayoría de los cultivos agrícolas. Este proceso se llama fijación de fósforo. Para que no se fije, el P liberado debe ser fácilmente reabsorbido por una planta en crecimiento, lo que requiere raíces activas.

Cuando el fósforo se aplica como fertilizante mineral, sufre el mismo proceso de fijación, por lo que su aprovechamiento por el cultivo normalmente es sólo del 5 al 10%. El P fijado puede volver a ponerse en circulación mediante cultivos que han desarrollado la capacidad de extraerlo de estos fosfatos insolubles, como la yuca, el gandul, la mucuna y la haba minera.

La exportación de P por cosecha normalmente es del orden de unas pocas decenas de kg por hectárea. Como las concentraciones de P en la solución del suelo son bajas, las pérdidas por lixiviación tienen poca importancia en la escala de tiempo agrícola. La vía más importante de pérdida de P es la erosión del suelo, en el cual el P está asociado al material particulado, por lo que el control de la erosión es la principal medida para prevenir las pérdidas de P.



## **Potasio**

De la misma forma que para el P, la fuente original de K es la roca madre del suelo. Liberado de la roca, el potasio aparece predominantemente como catión  $K^+$ , que a diferencia del P forma sales muy solubles. Después del sodio (Na), el K es el metal que forma las sales más solubles en agua y, por tanto, está presente en todos los líquidos de las plantas.

En el suelo, los minerales arcillosos y el humus forman una esponja química con cargas negativas, que es capaz de retener en su superficie iones cargados positivamente, como  $K^+$ . En la química del suelo, esta retención superficial se llama adsorción y los iones adsorbidos pueden luego ser absorbidos por las raíces de las plantas. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una medida de la capacidad del suelo para retener nutrientes cargados positivamente.

Como el K tiene una fuerte afinidad por el agua, una lluvia intensa es capaz de retirar el K de las hojas y llevarlo al suelo, donde será absorbido por el complejo arcilla-humus. Si la cantidad de agua es muy alta, y la CIC es reducida, parte de este K puede ser arrastrado por la lluvia, o por el riego, y descender a capas más profundas del suelo con el agua de percolación. Este arrastre con el agua de percolación se denomina lixiviación. Si el K se lixivía a una profundidad más allá del alcance de las raíces, estará perdido a efectos de la nutrición mineral de la planta.

En climas húmedos, la lixiviación suele provocar la pérdida de una fracción importante de K. Cuanto más profundo y denso sea el sistema radicular, menor será esta pérdida.

La exportación de K en el producto cosechado normalmente varía entre varias decenas y algunos cientos de kg por hectárea, dependiendo del tipo y cantidad del producto cosechado. Como el K tiene una fuerte afinidad por el agua, la exportación es significativamente menor en productos secos, como los cereales, que en productos húmedos como la caña de azúcar, los plátanos o la yuca.

## **Nitrógeno**

A diferencia del P y el K, el N en los sistemas naturales no proviene de la roca madre del suelo, sino del aire, en el cual su forma gaseosa  $N_2$  representa alrededor del 80%. Su incorporación al suelo puede producirse mediante descargas eléctricas y, sobre todo, mediante la actividad de organismos capaces de convertir su forma gaseosa  $N_2$  en formas orgánicas. Esta conversión se denomina "fijación biológica de nitrógeno" (FBN). Observe que aquí el término "fijación" tiene un significado diferente que cuando se utiliza para el fósforo. Entre los diversos sistemas de fijación biológica para N, la asociación de leguminosas con bacterias, conocidas como rizobios, es la más común en la agricultura.

Después del agua, el N suele ser el factor que favorece de forma más rápida y visible el desarrollo de las plantas. Junto con C, H y O, el N es una parte integral de las proteínas, que forman enzimas, herramientas que median en todo el metabolismo del mundo vivo, incluida la fotosíntesis. Una vez incorporada a la biomasa de las leguminosas, el N participará en el desarrollo de la planta. Al final del ciclo, una



parte irá a las semillas, y otra parte quedará en los restos vegetales que serán trabajados por los descomponedores.

En un ambiente bien ventilado, el N de los restos vegetales se convierte en nitrato ( $NO_3^-$ ), un anión con extrema afinidad por el agua, de modo que, al igual que el  $K^+$ , está sujeto a lixiviación. Sin embargo, al tener carga negativa, el nitrato no queda retenido en el complejo de intercambio del suelo, por lo que las pérdidas son muy elevadas, a menos que exista un sistema radicular lo suficientemente denso como para absorberlo antes de que sea lixiviado. Como los terrenos sometidos a uso agrícola pasan largos periodos sin vegetación alguna, las pérdidas de nitratos por lixiviación suelen ser muy importantes.

Debido a esta dinámica química, la reposición de N en el suelo fue un requerimiento natural para recuperar el potencial productivo de las tierras agrícolas a lo largo de la historia de la agricultura. Para esta recuperación, la principal estrategia fue el barbecho o “descanso”, que exigía dejar la tierra sin cultivo durante varios años. Con la invención de los fertilizantes nitrogenados sintéticos se pudo prescindir de largos periodos de barbecho y la tierra pudo ocuparse año tras año con cultivos agrícolas. Esta fue la razón por la que el Premio Nobel de Química de 1918 fue otorgado a Fritz Jacobus Haber, un alemán de origen judío que desarrolló el proceso químico de fijación del N.

Este proceso, adaptado a la industria por Carl Bosch, es utilizado hasta hoy día para la producción de la urea que se ofrece en el mercado de fertilizantes. Con el tiempo, el uso continuado de fertilizantes nitrogenados sintéticos trajo problemas imprevistos, de modo que hoy en día son evitados en la agricultura ecológica y prohibidos en la *producción orgánica*. Pero este tema está más allá del enfoque de este texto.

Volviendo a la dinámica del N, tanto la urea como otros fertilizantes nitrogenados sintéticos se convierten en nitrato si el ambiente está bien aireado, de la misma forma que el N en restos vegetales, por lo que las pérdidas por lixiviación son igualmente importantes.

Además de la lixiviación, el N puede perderse del sistema por otras vías. Cuando los tejidos vegetales que contienen N o el propio nitrato son sometidos a condiciones químicamente reductoras, como es el caso de ambientes cubiertos por agua y con abundante materia orgánica, el N se convierte en otras formas químicas, especialmente amoníaco ( $NH_3$ ) o gas nitrógeno ( $N_2$ ). Así, en situaciones como los campos de arroz de regadío o las lagunas para almacenar efluentes de granjas porcinas, el N contenido en el material se pierde a la atmósfera por volatilización.

Otra forma de pérdida es a través de la orina de los animales. En sistemas con grandes poblaciones de animales grandes, como el ganado vacuno, esta puede ser la mayor fuente de pérdidas de N. Los animales concentran el N digerido en la orina, y al orinar la depositan en una pequeña zona, normalmente una mancha circular de menos de un metro de diámetro. En el centro del lugar, la concentración de N puede exceder los quinientos kg por hectárea, aplicados de una sola vez, lo que resulta en lixiviación, debido a que el pasto no es capaz de absorber tal cantidad de N inmediatamente.



En una situación de sequía, la pérdida de  $N$  tiende a ser aún mayor. La alta concentración de  $N$  en forma de urea, sumado al  $K$  y  $Na$  presentes en la orina, crean un ambiente altamente salino, de modo que el pasto se quema en el centro de la mancha. Desde el centro hasta los bordes de la mancha, la concentración de sal disminuye; el pasto no muere, es fertilizado por  $N$  e irrigado por agua de orina, formando un halo verde azulado alrededor del centro quemado. En el centro quemado, la urea se convierte en  $NO_3^-$ , que se acumula allí. Con el regreso de la lluvia, las sales de  $K$  y  $Na$  y el  $NO_3^-$  se disuelven y descienden en el perfil del suelo con el agua de percolación.

El resultado neto de este proceso es una pérdida de  $N$  en el sistema cada vez que un animal orina. Esta es la principal forma en que este nutriente se pierde en las pasturas y conduce a un empobrecimiento continuo. Los agricultores no ven esta pérdida y la mayoría de los agrónomos no la conocen, pero el empobrecimiento de las pasturas se percibe claramente.

Esta pérdida continua de  $N$  crea condiciones favorables para el establecimiento de plantas capaces de realizar FBN, particularmente leguminosas, que reponen el  $N$  del suelo tomándolo del aire. En los sistemas de pastoreo rotacional convencionales, el  $N$  se repone aplicando urea cada vez que se retira el ganado del potrero.

En tierras ocupadas con producción agrícola, la sustracción de  $N$  es cuantitativamente elevada, ya sea por exportaciones del producto cosechado o por pérdidas, especialmente por lixiviación. Por esta razón, la inclusión de leguminosas en la rotación/asociación de cultivos es esencial en los sistemas de base ecológica.

Llegados a este punto, el lector probablemente se haya dado cuenta de que la dinámica química del  $N$  es compleja, y que su adecuada gestión requiere mucho mayor estudio y planificación que la de otros nutrientes. No hay consejos. Este texto es sólo un estímulo para preparar un plan de manejo adecuado a su sistema productivo, comenzando por lo más simple y subiendo hasta el nivel de complejidad requerido.

Comparando los movimientos de  $N$ ,  $P$  y  $K$  en los ecosistemas, es evidente que, en la escala de tiempo agrícola, sólo el  $N$  presenta entradas periódicas, que justifican hablar de "ciclo". Para el  $P$ ,  $K$  y todos los demás nutrientes, en la escala temporal agrícola, lo que en realidad se observa es un movimiento de la tierra al mar. Este movimiento es un flujo de pérdidas, que deben ser compensadas de alguna manera por la acción humana en los sistemas de agricultura permanente. En los temas que siguen, tratamos de comprender mejor estos movimientos para minimizar las pérdidas y así reducir la necesidad de reposición.

## **Ciclo de nutrientes minerales en sistemas naturales y agrícolas**

Los nutrientes minerales están en movimiento constante y complejo, y requieren que el agricultor los conozca bien para poder gestionarlos bien. Estos movimientos se deben a las características químicas de cada nutriente, a factores naturales,



como el clima y la fauna, y también a la actividad humana. Para facilitar la exposición, dividimos estos movimientos en tres categorías designadas como ciclos naturales, automáticos e intencionales.

Aunque el término ciclo puede resultar inadecuado desde el punto de vista del fenómeno natural, conviene llamar la atención del lector sobre la necesidad de reutilizar todos los materiales disponibles local y regionalmente para orientarlos hacia la optimización de la producción vegetal.

### ***Ciclo natural de los nutrientes minerales***

En cada punto de la superficie del planeta, la vegetación natural allí presente está plenamente adaptada a las condiciones de crecimiento del lugar, ya que cualquier especie poco adaptada es eliminada por otra con mejor adaptación. Cada planta germina, crece, se reproduce y para ello realiza la fotosíntesis para generar biomasa, capturando  $CO_2$  del aire, y agua y nutrientes minerales del suelo. Muerta, la planta se descompone, el  $CO_2$  regresa al aire y los nutrientes minerales regresan al suelo, donde serán absorbidos nuevamente por otra planta en crecimiento. Este proceso ocurre continuamente en los ecosistemas naturales y es una parte esencial del funcionamiento de la naturaleza.

Al producir biomasa mediante la fotosíntesis, a partir de agua y  $CO_2$ , la planta absorbe e incorpora nutrientes minerales, que pasan a formar parte de ella. La biomasa producida es fuente de alimento para herbívoros y descomponedores y, al descomponerse, libera nutrientes minerales simultáneamente con la liberación de  $CO_2$  y agua. Los nutrientes suben del suelo a la planta y luego bajan de la planta al suelo. Así, en los ecosistemas naturales, el ciclo de los nutrientes minerales está acoplado al ciclo de la biomasa y los nutrientes se mueven predominantemente de forma vertical. Este es el ciclo "natural" de los nutrientes minerales.

### ***Ciclo automático de los nutrientes minerales***

En ambientes gestionados por humanos ocurren los mismos procesos de fotosíntesis, absorción de nutrientes minerales, producción y descomposición de biomasa. Sin embargo, en el funcionamiento del sistema de producción agrícola se acaba produciendo un intenso movimiento horizontal de la biomasa producida a lo largo del terreno, y parte de esta biomasa se exporta como producto agrícola.

Además, las tierras agrícolas tienden a permanecer desnudas o con poca vegetación fuera del período de cultivo, por lo que los nutrientes pueden perderse por erosión y lixiviación. Por estas razones, el ciclo en tierras agrícolas implica muchas más pérdidas, por lo que la reposición de nutrientes se convierte en una necesidad, incluso en la agricultura ecológica. En esta situación, la gran pregunta es cómo minimizar las pérdidas para minimizar la necesidad de reposición.

En los sistemas donde se crían animales, la biomasa y los nutrientes minerales se trasladan desde las zonas donde crecen sus alimentos hasta los espacios donde depositan sus desechos, concentrándose allí. Una parte de la tierra se fertiliza a costa del empobrecimiento de la otra parte. Retiros, caballerizas, pocilgas y gallineros son espacios de concentración de nutrientes minerales. Estos nutrientes no tienen utilidad en la producción mientras permanezcan en este espacio, porque



la presencia constante de los animales impide el desarrollo de las plantas. Por este motivo, la forma en que se recogerá el estiércol y se transportará a las zonas de producción vegetal merece especial atención por parte del agricultor.

En sistemas de producción animal intensiva, para la alimentación de aves o cerdos en un galpón de 1.000 a 2.000 m<sup>2</sup> durante un año se necesitan de doscientas a cuatrocientas hectáreas de soja y maíz. Esto significa que la biomasa extraída de estos cientos de hectáreas tendrá que pasar por un embudo muy estrecho, por lo que cualquier pérdida en este embudo es muy relevante.

Una de las formas más comunes de desplazamiento de nutrientes minerales en los sistemas agrícolas, y que muchas veces pasa desapercibida, es su concentración en las proximidades de la casa del agricultor. El granjero trae leña para su estufa y luego arroja las cenizas en algún lugar cercano. Lleva maíz a los animales, quienes son tratados y depositados allí sus desechos. Trae frutas, verduras, pajas, cuyos residuos acaban quedando allí. Como resultado, con el tiempo, el entorno de la casa se vuelve más rico en nutrientes y biomasa.

Este movimiento que se produce como consecuencia del funcionamiento de la propiedad, normalmente sin que el agricultor se dé cuenta, se llama ciclo automático. Se produce, sobre todo, de forma horizontal, empobreciendo los espacios destinados a la producción vegetal y enriqueciendo los espacios donde se concentran los animales y el entorno de la casa.

### *Ciclo intencional de los nutrientes minerales*

Cuando el agricultor aplica estiércol, residuos vegetales, cenizas, etc. en el entorno de crecimiento de las plantas, dirige intencionalmente el movimiento de nutrientes a puntos del sistema que son de interés. Idealmente, el ciclo intencional mejora el uso de nutrientes presentes en el sistema, ya sean preexistentes o introducidos, y optimiza su uso para la producción biológica y económica del sistema.

La recolección de residuos de la producción vegetal y animal para aplicarlos en jardines y plantaciones forma parte de este ciclo intencional. Pero existe un gran potencial para mejorar el uso de nutrientes en el sistema. Hacer realidad este potencial requiere, como punto de partida, que el agricultor identifique la oportunidad y luego ajuste la gestión y/o estructura del sistema para capturar los beneficios.

El uso de estiércol suele ser reducido, debido a la dificultad de recogerlo. Para mejorar este uso, las instalaciones deben diseñarse teniendo en cuenta el uso de estiércol y el manejo debe tener en cuenta el patrón de eliminación de orina y heces. La situación más difícil para la recolección de estiércol ocurre cuando los animales se crían en plena libertad. Y lo más fácil cuando se crían completamente encerrados. Por otro lado, la cría completamente al aire libre requiere mucho menos trabajo y comida, ya que los animales buscan satisfacer sus necesidades por sí solos, mientras que la cría en régimen cerrado depende enteramente del cuidado humano.

Sin embargo, también existen situaciones intermedias. Acostumbrar a las aves a dormir dentro de un gallinero permite recoger el estiércol producido durante la noche. Una manada de 20 a 30 pollos, el número habitual en la producción para el



consumo interno de los agricultores, puede generar suficiente estiércol para un huerto de 50 a 200 m<sup>2</sup>, eficiente para abastecer de hortalizas a una familia durante todo el año. Del mismo modo, la recogida nocturna de ganado grande o pequeño permite utilizar el estiércol producido con relativa facilidad hasta la mañana siguiente.

### *Características y cuidados del estiércol*

Como punto de partida, es necesario conceptualizar qué significa el término “estiércol”. Cuando se recolecta estiércol de ganado o caballo en una pastura, manglar o retiro, el material consiste esencialmente en heces con diferentes cantidades de humedad y estados de descomposición. Las heces son la fracción no digerida de los alimentos, rica en celulosa e impregnada de pequeñas cantidades de nutrientes minerales (*N, P, K, Ca, Mg* etc.) que el proceso de digestión no pudo extraer.

Cuando los animales se mantienen confinados, sobre suelos impermeables y con camas, se utiliza el término estiércol para designar la mezcla que incluye, además de las heces, material de cama y orina. En este caso, su composición y dinámica química y biológica son diferentes. En primer lugar, está el material de cama, como virutas de madera, cáscaras de maní, cáscaras de arroz, pajas, etc. En segundo lugar, está la orina, solución a la que el organismo del animal dirige los productos de desecho de su metabolismo, en particular los productos finales de la digestión de sustancias nitrogenadas y los excedentes de sales solubles en agua, especialmente *K* del forraje y *Na* de sal de mesa. A diferencia de los nutrientes de las heces, que sólo están disponibles para las plantas después de semanas o meses a medida que los microorganismos los descomponen, los nutrientes de la orina están fácilmente disponibles. El principal compuesto nitrogenado de la orina es la urea, por lo que la orina diluida tiene efectos en las plantas similares a los de la urea de origen industrial. La orina pura es muy salina y puede matar las plantas.

Los excrementos de cerdo siguen el mismo patrón que los excrementos de ganado, actuando las heces más lentamente que la orina. Sin embargo, como la dieta de los cerdos se compone principalmente de tejidos vegetales ricos en almidón y proteínas, principalmente cereales, sus heces se descomponen mucho más rápidamente que las de los herbívoros, cuyo componente principal son las fibras de celulosa. Al igual que en el caso del ganado vacuno, el mejor aprovechamiento de los nutrientes de los excrementos porcinos se obtiene con suelos impermeables y camas ricas en material celulósico (aserrín de madera, virutas de madera, paja picada, etc.). Con el constante hozar de los cerdos, la orina y las heces terminan mezcladas con el material de la cama.

Con el tiempo, este material se humedece, por lo que es necesario retirarlo antes de que se convierta en una pasta que ensucie a los animales. El material extraído es una mezcla preparada para el desarrollo de bacterias termófilas, de modo que, al acumularse en una pila, se calienta inmediatamente. Este calentamiento es muy beneficioso desde el punto de vista de la salud, porque elimina los propágulos de organismos patógenos comunes al cerdo y al hombre. La eliminación es más eficaz cuantas más veces se voltea la pila.

El tiempo de reposición de la cama varía con la relación entre la capacidad de absorción de humedad del material utilizado y la cantidad de humedad excretada



por los animales en heces y orina. Como referencia, una capa de polvo de 20 cm en un espacio de 3 x 3 m<sup>2</sup> es suficiente para una camada destetada durante uno o dos meses.

Desde el punto de vista nutricional, cerdos y pollos se alimentan con el mismo tipo de productos, lo que haría pensar en estiércol de características similares. Sin embargo, hay dos particularidades en el sistema digestivo de las gallinas que hacen diferente su estiércol: la molleja y el ácido úrico. En las aves, la fragmentación del alimento se produce en la molleja, una diferenciación del estómago, con músculos potentes, que reduce el material ingerido a una pasta mucho más fina que la que pueden formar los dientes de los cerdos. Las aves y los reptiles experimentaron un ambiente muy seco durante su pasado evolutivo, lo que indujo un sistema para eliminar los desechos nitrogenados en un compuesto insoluble en agua, el ácido úrico. Así, mientras los mamíferos necesitan mucha agua para eliminar la urea, las aves no desperdician agua para eliminar el ácido úrico. En una placa de excrementos de pollo, las heces son la placa más grande y más oscura, y el ácido úrico es la parte clara con forma de coma en la parte superior de la placa. Esta coma clara es el equivalente a la orina de cerdo y vaca.

La fragmentación más fina y la presencia de ácido úrico hacen que los excrementos de pollo sean más ricos en N y se descompongan mucho más rápido que las heces de cerdo y ganado. Por lo tanto, si hay humedad, los excrementos de pollo son rápidamente atacados por bacterias que descomponen el ácido úrico en agua, dióxido de carbono y amoníaco (gas amoníaco). El olor fuerte, acre y tóxico de los gallineros se debe precisamente a la volatilización del amoníaco.

Para aprovechar bien el N procedente de los excrementos de pollo, el material debe deshidratarse rápidamente, lo que se puede lograr con cama seca. Cuando el estiércol de ave se almacena húmedo y puro para el curtido, la mayor parte del N se pierde en forma de amoníaco, por lo que el producto curtido es una buena fuente de P y K, pero no de N. Las pérdidas de N son menores en el estiércol seco.

Al estar más concentrado, el estiércol puro de ave debe utilizarse con más cuidado, para no dañar las plantas. En huertos no conviene pasar de uno a dos litros de material seco por metro cuadrado de lecho. Comparativamente, el estiércol de aves presenta menos preocupaciones para la salud humana que el estiércol de cerdo.

Una cuestión que siempre surge en este tema es el uso de excrementos humanos como material fertilizante. Efectivamente, este material se ha utilizado durante miles de años en sistemas agrícolas centrados en el arroz en Oriente, mientras que en Occidente sigue siendo un tabú.

Desde el punto de vista de su composición y riesgos para la salud, los excrementos humanos son muy similares a los excrementos de cerdo, y se aplican las mismas consideraciones. El compostaje de heces humanas desinfecta el material, haciéndolo seguro como material fertilizante. La orina humana es mucho más fácil de recolectar que la de cualquier otro animal y puede usarse como fuente de N para cualquier cultivo. El cuidado es simplemente diluirlo en agua, para evitar la salinidad, siendo una dilución 1:10 bien tolerada por la mayoría de los cultivos.

En Oriente, tradicionalmente los excrementos humanos se aplican de forma directa a los cultivos, en particular a las bandejas de arroz, sin convertirlos en abono. Esto



da como resultado una contaminación ambiental generalizada por organismos presentes en las heces humanas. Para superar este inconveniente, los pueblos orientales, especialmente los chinos, beben agua hervida, en forma de té, y las verduras se someten a algún tipo de tratamiento térmico antes de consumirlas.

### *Descomposición de la biomasa y compostaje*

En el funcionamiento de un sistema de producción agrícola siempre hay importantes movimientos de biomasa de forma horizontal, y parte de esta biomasa puede acabar amontonada en determinados puntos del sistema. Este material sufrirá la acción de organismos de distintos tamaños, dando como resultado un producto oscuro, frágil, de olor agradable y con alto potencial fertilizante.

Cuando el material amontonado es rico en sustancias que son fácilmente atacadas por microorganismos, como carbohidratos simples y compuestos nitrogenados, y la pila está aireada, se produce un calentamiento rápido hasta poco más de 60°C. Este calentamiento selecciona bacterias termófilas, que se convierten en los principales descomponedores. El calentamiento de la pila no es uniforme; ocurre en una capa debajo de su superficie. En la superficie falta agua y en el centro falta aireación. Al cabo de unas semanas, esta capa se enfría porque se ha agotado el material allí presente que puede ser degradado por las bacterias termófilas. Si la pila se voltea, se calienta de nuevo, ya que el material del exterior y del centro, redistribuido, se ubican ahora en la capa de calentamiento. Así, cuanto más frecuente sea el volteo, más rápida será la descomposición y más eficaz será el tratamiento térmico sobre toda la masa de la pila. El material resultante de este proceso se denomina compost, tiene un alto potencial fertilizante, reestructurante y recolonizador del suelo.

Cuando la pila está formada predominantemente por materiales celulósicos con bajo contenido de N, como paja de cereales, hojas de árboles senescentes y residuos de aserradero, no se produce calentamiento. Falta alimento para las bacterias termófilas. En este caso, la descomposición involucrará a otros organismos, se producirá frío y se necesitará mucho más tiempo para llegar al material fertilizante, similar al compost. Una variedad mucho mayor de organismos trabajará sobre el material, de forma similar a lo que ocurriría con la basura forestal. En este caso, la eliminación de propágulos patógenos es menos eficiente porque no existe tratamiento térmico.

La dinámica del N, P y K sigue patrones diferentes en las pilas, independientemente de si la descomposición se produce en frío o en caliente. El N siempre se pierde, ya sea en forma de amoníaco volatilizado o de nitrato lixiviado. Se puede intentar reducir las pérdidas, pero detenerlas por completo es imposible. El P permanece en el material, siendo las pérdidas muy pequeñas. La situación del K varía en función de la cantidad de agua que se filtra a través de la pila. Como el K es muy soluble, el agua de percolación lo lleva al suelo debajo de la pila, concentrándolo allí.

El resultado conjunto de estos procesos es un cambio en la proporción entre los nutrientes N, P y K. En comparación con el material colocado en la pila, el compost terminado es proporcionalmente más rico en P y más pobre en N y K. Para el K, el agotamiento es mayor cuanto más agua se ha filtrado a través de la pila.



Como resultado, la aplicación continua de compost aumenta los niveles de P en el suelo, pero no de N o K. El mismo fenómeno de aumento de los niveles de P ocurre con cualquier otra forma de aplicación de biomasa, aunque a un ritmo más lento.

### **Cenizas**

De la biomasa seca de las plantas, como referencia, el 95% está formada por C, H y O, y el 5% restante por nutrientes minerales. Desde el punto de vista químico, quemar significa reaccionar con el oxígeno, de modo que los elementos presentes en la biomasa se convierten en óxidos. Los óxidos que son gaseosos se volatilizan, como es el caso del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el agua (H<sub>2</sub>O) y el óxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Los óxidos que son sólidos permanecen en el lugar de la quema, y en conjunto se denominan cenizas, siendo los principales el calcio (CaO), el magnesio (MgO), el potasio (K<sub>2</sub>O) y la sílice (SiO<sub>2</sub>). Las proporciones entre estos óxidos dependen del tipo de biomasa quemada.

La sílice es un material inerte que, en forma líquida, forma vidrio. En la paja de la caña de azúcar, el 70% de la ceniza es sílice, por lo que en los hornos de los molinos se forman piedras de vidrio. A diferencia de la sílice, los óxidos de calcio, magnesio y potasio son muy reactivos. Cuando se humedecen, forman los respectivos hidróxidos, con una reacción fuertemente alcalina. Por lo tanto, cuando se aplican al suelo, no sólo aportan nutrientes sino también una acidez correcta. Aplicados sobre las plantas previenen el ataque de hongos que, por lo general, prefieren ambientes ácidos. Además, el K es el elemento con mayor efecto protector, contribuyendo en gran medida a la salud de las plantas.

Por estos motivos, la ceniza es un recurso valioso, cuyo uso merece especial atención en el sistema productivo.

### ***Ciclo de los nutrientes, consumo doméstico y seguridad alimentaria***

Un espacio privilegiado para la producción vegetal, pero poco utilizado, es el entorno de la casa, el cual mencionamos en el ciclo automático. Además de biomasa y nutrientes minerales, en este espacio hay mayor disponibilidad de trabajo y agua. La biomasa, los nutrientes minerales, el trabajo y el agua hacen de este entorno la zona con mayor potencial de producción en la mayoría de los sistemas agrícolas.

Pero este espacio tiende a ser poco utilizado, por la falta de percepción de este potencial y por la presencia de animales sueltos. Los agricultores se dan cuenta de que los pollos y cerdos criados en el interior no producen tan bien como los criados al aire libre, por lo que se muestran reacios a encerrarlos. Pero los animales sueltos impiden el pleno aprovechamiento del potencial productivo del entorno de la casa.

Una alternativa para conciliar el uso del potencial de producción con los animales en libertad es cercar un área cercana a la casa y cultivarla intensivamente. Para fertilizar este recinto, todos los residuos que llegan a las proximidades de la casa se dirigen conscientemente, convirtiendo esta parte del ciclo automático en ciclo intencional. La proximidad a la vivienda permite transformar cualquier pequeña cantidad de tiempo disponible en producción de hortalizas. Una pequeña parte del recinto, a criterio del agricultor, puede recibir hortalizas que requieran riego.



Un recinto de 1.000 a 2.000 m<sup>2</sup>, con 20 a 100 m<sup>2</sup> irrigados, así ubicado y gestionado, puede abastecer la mayor parte de los alimentos para una familia de tres a cinco personas durante todo el año. En la parte sin riego se pueden cultivar productos como yuca, maíz, maíz para palomitas, maní, calabaza, frijol, batata, okra, jengibre, pimienta, etc. En la pequeña fracción de regadío se puede producir, según la estación del año y la región, col rizada, repollo, lechuga, zanahoria, judía verde, cebolla, cebolla de verdeo, etc. Los alrededores y el propio cerco son un espacio privilegiado para plantas como el gandul y plantas trepadoras, como frijol de lablab (*Dolichos lablab*), habas, maracuyá, cayote, etc. En la experiencia personal del autor de este texto, una hora de trabajo al día puede ser suficiente para gestionar un recinto de este tipo, dependiendo de las dimensiones y complejidad de las plantas cultivadas y de los conocimientos y habilidades de las personas involucradas.

### Una visión general

A la luz de los variados aspectos puestos de relieve en este texto, se comprende cómo y por qué la organización de la propiedad y el manejo de los cultivos y de los animales afectan el uso de los nutrientes minerales disponibles en el sistema de producción.

En la agricultura ecológica, una parte importante del éxito reside en el conocimiento que tiene el agricultor sobre cómo se comporta cada nutriente, de modo que las cantidades actuales de cada nutriente puedan utilizarse de la mejor manera posible. Por ejemplo, esforzarse por evitar pérdidas de potasio bajo las pilas de biomasa, gestionar el ganado para optimizar el uso del estiércol y regular el destino de los materiales de desecho que llegan a la residencia para fertilizar el recinto.

El conocimiento potencia el aprovechamiento de los nutrientes, incluso cuando están en cantidades limitadas. Esto no significa, sin embargo, que la incorporación de material fertilizante, químico u orgánico, procedente del exterior del sistema sea indeseable. Un suelo pobre en fósforo, como es habitual en Brasil, puede producir bien mandioca, arroz y gandul, por ejemplo. Pero si se fertiliza con este nutriente puede producir una mayor variedad de cultivos. De manera similar, la aplicación de piedra caliza para neutralizar el aluminio libre puede ampliar la gama de especies cultivables en el sistema.

En las últimas dos décadas se ha producido una notable expansión en el uso de polvos de roca, además de la tradicional caliza y los fosfatos naturales. El polvo de roca, aplicado adecuadamente, puede promover la remineralización del suelo, aumentando el flujo de nutrientes que circulan en el sistema. La llamada fertilización “química” también puede contribuir en la misma dirección.

Sin embargo, el punto central de este texto es llamar la atención del lector sobre los procesos involucrados, de modo que, cualquiera que sea el tamaño del stock de nutrientes en el sistema, el agricultor tenga los elementos para manejarlo lo más eficientemente posible.



**Para saber más:**

Con el objetivo de permitir al lector volar más alto y al mismo tiempo profundizar en el tema, comentamos a continuación tres obras, sin ánimo de agotar el tema.

[1] JENKINS, J. The humanure handbook. White River Junction, VT, Chelsea Green Publishing, 1999. 301p. Es un texto práctico y humorístico de un compostador autodidacta, que desde finales de los años 1970 ha estado compostando los excrementos de su propia familia y utilizando el compost para producir alimentos.

[2] KHATOUNIAN, C. A. A reconstrução ecológica da agricultura. Botucatu: Editora Agroecológica/ Instituto Agrônômico do Paraná, 2001. 345p. Texto básico sobre agricultura de base ecológica, que ha servido de base para la estructuración y gestión de sistemas productivos orientados a este paradigma. Basado en la experiencia de primera mano del autor.

[3] NOVAIS, R. F. et al. (ed.) Fertilidade do solo. Viçosa (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p. Libro organizado por la Sociedad Brasileña de Ciencias del Suelo, cubre un amplio espectro de aspectos de la química del suelo, dinámica de nutrientes y nutrición mineral de las plantas.

Republicado del libro “Dicionário da Agroecologia e Educação”, 1.<sup>a</sup> edición: septiembre de 2021. Editora Expressão Popular LTDA / Traducido del portugués y editado por RAÍCES. Disponible en el siguiente [https://www.epsjv.fiocruz.br/sites/default/files/dicionario\\_agroecologia\\_nov.pdf](https://www.epsjv.fiocruz.br/sites/default/files/dicionario_agroecologia_nov.pdf)

---