



Simposio
Fertilidad
2019 Conocer más.
Crecer mejor.



8 y 9 de Mayo

Rosario, Santa Fe. Argentina.

www.fertilizar.org.ar


FERTILIZAR
ASOCIACION CIVIL

Cultivos de servicios y nutrición del sistema: sincronizando los ciclos de los nutrientes

Gervasio Piñeiro^{1,2}, Priscila Pinto¹ y Sebastián Villarino³

¹ IFEVA-Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, CONICET.

² Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica, Uruguay.

³ Unidad integrada Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP) – INTA, CONICET.
pineiro@agro.uba.ar

Introducción

Uno de los aspectos más controversiales de la agricultura actual es el remplazo de ecosistemas maduros (ecosistemas naturales) por ecosistemas inmaduros (agroecosistemas). Este remplazo ocurre porque los ecosistemas inmaduros poseen una alta productividad primaria, que puede ser cosechada por los agricultores. Sin embargo, estos ecosistemas presentan una baja diversidad, pocas interacciones entre especies, baja resiliencia y ciclos de los nutrientes abiertos, entre otras propiedades ecológicas (Chapin et al., 2012). Debido a estas características, los ecosistemas inmaduros dejan de proveer algunos de los servicios ecosistémicos que llamamos de regulación y soporte, ya que están básicamente diseñados para producir servicios de abastecimiento (alimentos, fibras, biocombustibles, etc.) (Millenium Ecosystem Assessment, 2003). La falta de servicios de regulación y soporte, como el ciclado de los nutrientes, control de la erosión, mantenimiento de propiedades físicas del suelo, mantenimiento de polinizadores y la formación de materia orgánica del suelo, ha provocado un deterioro de los agroecosistemas (Ptacnik et al., 2005). Para mantener la productividad de los agroecosistemas, este deterioro ha sido contrarrestado con aumentos en el uso de insumos externos, provocando contaminación en los ecosistemas circundantes (Foley et al., 2005). Es por ello que resulta crucial el diseño de agroecosistemas que logren imitar algunas

de las propiedades de los ecosistemas maduros para poder revertir el deterioro ambiental y mantener la producción en el largo plazo (Crews & Rumsey, 2017). En este artículo nos centraremos en discutir los aspectos centrales del manejo y diseño de los agroecosistemas para mejorar el ciclado de los nutrientes.

El ciclo de la materia

En los agroecosistemas, los ciclos de los nutrientes son abiertos porque intercambian mucha materia (nutrientes) con el exterior (Figura 1). Las salidas están dadas principalmente por las cosechas de los cultivos (flechas amarillas en Figura

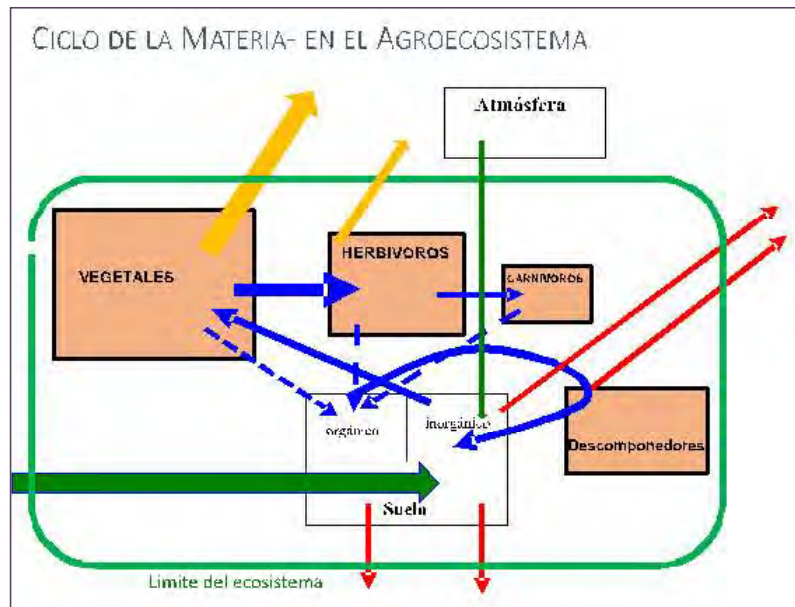


Figura 1. Esquema conceptual simplificado del ciclo de la materia (o de los nutrientes) en un agroecosistema, usando como ejemplo el ciclo del nitrógeno. Las flechas azules muestran el reciclado interno del agroecosistema, las flechas rojas las pérdidas, las amarillas las extracciones por cosecha y la verde la entrada de nutrientes por fertilización o por deposición atmosférica.

1), pero también porque ocurren pérdidas de nutrientes provocadas por la desincronización temporal entre la oferta y la demanda de nutrientes (flechas rojas en **Figura 1**) y la incapacidad del suelo de retenerlos. Las entradas por fertilización (flecha verde) generalmente son menores a las salidas porque suelen responder a la demanda del cultivo y sólo se realizan para continuar produciendo cuando se agotan las reservas del suelo (Matson et al., 1997). Pero una alternativa sería pensar en fertilizar al ecosistema por medio de la reposición de todos los nutrientes exportados y mantener su reserva en la materia orgánica del suelo. Si bien cada elemento o nutriente posee un ciclo biogeoquímico particular, que es importante conocer para lograr su reciclaje en el ecosistema, en este artículo utilizaremos al nitrógeno como ejemplo, ya que es uno de los nutrientes que más limita el crecimiento de los cultivos.

La única forma de reponer sustentablemente las extracciones de nutrientes provocadas por las cosechas consiste en lograr que la materia cicle entre el campo y los puntos de consumo de los productos cosechados, que generalmente son las ciudades o los corrales de engorde de animales (feedlots) (Elser & Bennett, 2011). Para esto deberíamos capturar los nutrientes en los residuos sólidos y líquidos de los puntos de consumo para volverlos a utilizar como fertilizante en los campos agrícolas. Actualmente existen muchas tecnologías de reciclaje pero su aplicación suele ser muy limitada, principalmente por razones de gobernanza y económicas (Marald, 2002). Sin embargo, este reciclaje que es el eje central de la economía circular, representa la única opción que permitirá mantener la producción agropecuaria en el largo plazo y al mismo tiempo la provisión de diversos servicios ecosistémicos de regulación (Jurgilevich et al., 2016). Por lo tanto, aunque todavía pueda parecer difícil de lograr, deberíamos realizar nuestro máximo esfuerzo para alcanzarlo.

Sincronizar la liberación y absorción de nutrientes

Además de las extracciones por cosechas, los agroecosistemas poseen pérdidas de nutrientes que pueden y deben ser evitadas (flechas rojas en **Figura 1**). Estas pérdidas de nutrientes de los agroecosistemas no solo disminuyen los conteni-

dos de nutrientes disponibles para la producción agropecuaria, sino que además provocan contaminación en el ambiente donde se acumulan, generalmente en cursos de agua, lagos y océanos (Nixon et al., 1996). Para disminuir al mínimo estas pérdidas, y parecerse a los ecosistemas naturales, es necesario diseñar agroecosistemas que posean sincronizada la oferta y la demanda de nutrientes. Para ello se debería pensar en la nutrición del suelo para mantener altas las reservas de nutrientes y energía almacenadas en la materia orgánica del suelo (Blanco-Canqui et al., 2015). De este modo, se podría favorecer una liberación de nutrientes más acoplada con la demanda de los cultivos debido a los diversos mecanismos que regulan la mineralización de la materia orgánica. A su vez, la materia orgánica del suelo cumple un rol fundamental en la provisión de otros servicios ecosistémicos que soportan la producción de los cultivos (descompactación y aireación del suelo, retención de agua, etc.) (Daily et al., 1997).

En los sistemas actuales de nuestra región con un cultivo al año, principalmente soja, la oferta de nutrientes por descomposición de residuos y la demanda de nutrientes por los cultivos se encuentra totalmente desacoplada. Por ejemplo, a principios de otoño, durante la senescencia y la cosecha de los cultivos de verano, se produce una gran liberación de los nutrientes contenidos en los tejidos vegetales. Si bien parte de estos nutrientes pueden ingresar y ser almacenados en la materia orgánica del suelo, otra parte importante es perdida principalmente como formas inorgánicas (lixiviación de nitratos o desnitrificación, por ejemplo, en el caso del ciclo del nitrógeno) (Caride et al., 2012). La cantidad de nutrientes que se pierden en ese momento del ecosistema, depende de la calidad y cantidad de los residuos aportados y del estado de "salud" del suelo, que determinará su capacidad de retener o no esos nutrientes en la materia orgánica edáfica (asumiendo que no hay cultivos de invierno que puedan tomar esos nutrientes). Solo estos dos factores determinarán las pérdidas ya que en ese momento no existe demanda de nutrientes por otros cultivos (pero si podrían aparecer, y lo hacen habitualmente, malezas que absorban esos nutrientes). Durante el fin del otoño, el invierno y principio de la primavera, se produce la descomposición de los residuos aportados por los cultivos, lo cual provoca que, en ausencia

de malezas, se acumulen nutrientes en formas inorgánicas en el suelo (amonio, nitratos, fósforo, potasio, cloro, calcio, magnesio y toda la tabla periódica!) que son altamente propensos a perderse del ecosistema, generando contaminación en los cursos de aguas. Sincronizar la oferta de nutrientes inorgánicos derivados de la descomposición de residuos vegetales, con la demanda de nutrientes generadas por el crecimiento de otros cultivos, debería ser un objetivo clave del diseño de la fertilización y la rotación de cultivos. Para esto, la cantidad y calidad de los residuos aportados y la dinámica de la materia orgánica son aspectos centrales a comprender.

Nutrición del suelo y formación de la materia orgánica edáfica

La materia orgánica del suelo es un componente central en el reciclaje y almacenaje de los nutrientes en el ecosistema y, por lo tanto, debe ser considerada al momento de diseñar los sistemas productivos (Reeves, 1997). Si bien esto parece obvio, solo una minoría de productores agropecuarios, consideran a la materia orgánica del suelo un componente central en la nutrición de los cultivos. Esto podría deberse a que la dinámica de la materia orgánica del suelo es muy compleja, dificultando la estimación de su capacidad de aportes de nutrientes y de los manejos que son necesarios para restituirla. Sin embargo, en los últimos años se han realizado una serie de avances conceptuales que plantean nuevas estrategias para su manejo y monitoreo, facilitando la comprensión de su dinámica y la estimación de su aporte potencial de nutrientes (Schmidt et al., 2011). Los modelos más recientes, sugieren que la materia orgánica del suelo esta compuesta por dos fracciones bien distintas en cuanto su composición y dinámica dentro suelo, que pueden separarse por su tamaño de partícula mediante el uso de tamices (Abramoff et al., 2018). La fracción particulada (POM, por su siglas en inglés particulate organic matter), que está compuesta por restos vegetales aún no descompuestos y la fracción asociada a los minerales (MAOM, por su siglas en inglés mineral associated organic matter), que está compuesta principalmente por moléculas de origen microbiano retenidas (mediante cargas) y protegidas físicamente de la descomposición por las partículas de arcillas y limos en suelo (Cambardella & Elliott, 1993). Contrario a lo que se pensaba

anteriormente, ambas fracciones pueden aportar nutrientes a los cultivos, pero difieren radicalmente en las posibles estrategias para formarlas. Es por lo tanto importante considerar la "nutrición" del suelo necesaria para reponer ambas fracciones y lograr entonces que continúen aportando nutrientes en tiempo y forma para los cultivos.

Pensar la "nutrición" del suelo, es decir la cantidad y calidad de los residuos aportados, es clave para la formación de la materia orgánica edáfica. La calidad de los residuos depende fuertemente de su estequiometría, es decir de la relación que hay entre los distintos elementos en la biomasa (Cotrufo et al., 2015; Silver & Miya, 2001). Por ejemplo, la estequiometría de la mayoría de los tejidos animales es en general 100C/10N/1P. Diez a uno para carbono/nitrógeno (C/N) y cien a uno para carbono/fósforo (C/P). Los residuos vegetales varían en su estequiometría dependiendo de la especie, el estado fenológico y el tipo de órgano que les dio origen (Figura 2). Residuos de alta C/N, es decir de baja calidad, son difíciles de descomponer por los microorganismos del suelo, ya que para formar tejidos microbianos se necesita una C/N de 10 (10 carbonos/1 nitrógeno). Como los microorganismos necesitan energía para desarrollarse y la obtienen de los enlaces de carbono de los residuos que comen, un re-



Figura 2. Relación carbono/nitrógeno de rastrojos y otros materiales orgánicos (Tomado de USDA, soils.usda.gov/sqj).

lación C/N de 24 es la que más eficientemente forma microorganismos (Manzoni et al., 2008). Residuos con esa estequiometría estimularán el crecimiento de poblaciones de microorganismos, que son las que luego, morirán o producirán exoenzimas y otras sustancias que formarán parte de la MAOM (Figura 3). Por el contrario, residuos de alta C/N tendrán una descomposición lenta y, por lo tanto, favorecerán la formación de POM (Figura 3) (Cotrufo et al., 2013).

En los últimos años también se ha avanzado en la comprensión de la eficiencia de formación de materia orgánica del suelo que tienen los distintos componentes de las plantas. La eficiencia de formación de la materia orgánica (comúnmente llamada humificación) de las raíces es cerca de 5 veces superior a la de la biomasa aérea dejada en superficie (Jackson et al., 2017; Mazzilli et al., 2015). En términos generales podemos decir que solamente el 5% de los rastrojos dejados en superficie terminarán formando materia orgánica del suelo al plazo de uno o dos años. Sin

embargo, casi el 50% de la biomasa de raíces estará formando materia orgánica del suelo en el mismo plazo. Esta mayor eficiencia de formación de la materia orgánica por parte de las raíces se debe a diversas razones. Por un lado, a una mayor recalcitrancia (es decir que su composición química dificulta la descomposición) y a un contacto íntimo con los agregados del suelo, lo cual aumenta la eficiencia de formación de POM. Por otro lado, la rizodeposición (los aportes de sustancias orgánicas por exudados radicales y aportes de biomasa por crecimiento y muerte de raíces finas) favorece la formación de MAOM (Villarino et al., en preparación). Es así como la producción de raíces es altamente eficiente en la formación de ambas fracciones de la materia orgánica del suelo. Es por ello que deberíamos aumentar los aportes de biomasa subterránea en los agroecosistemas sembrando cultivos que presenten una alta partición raíz/tallo.

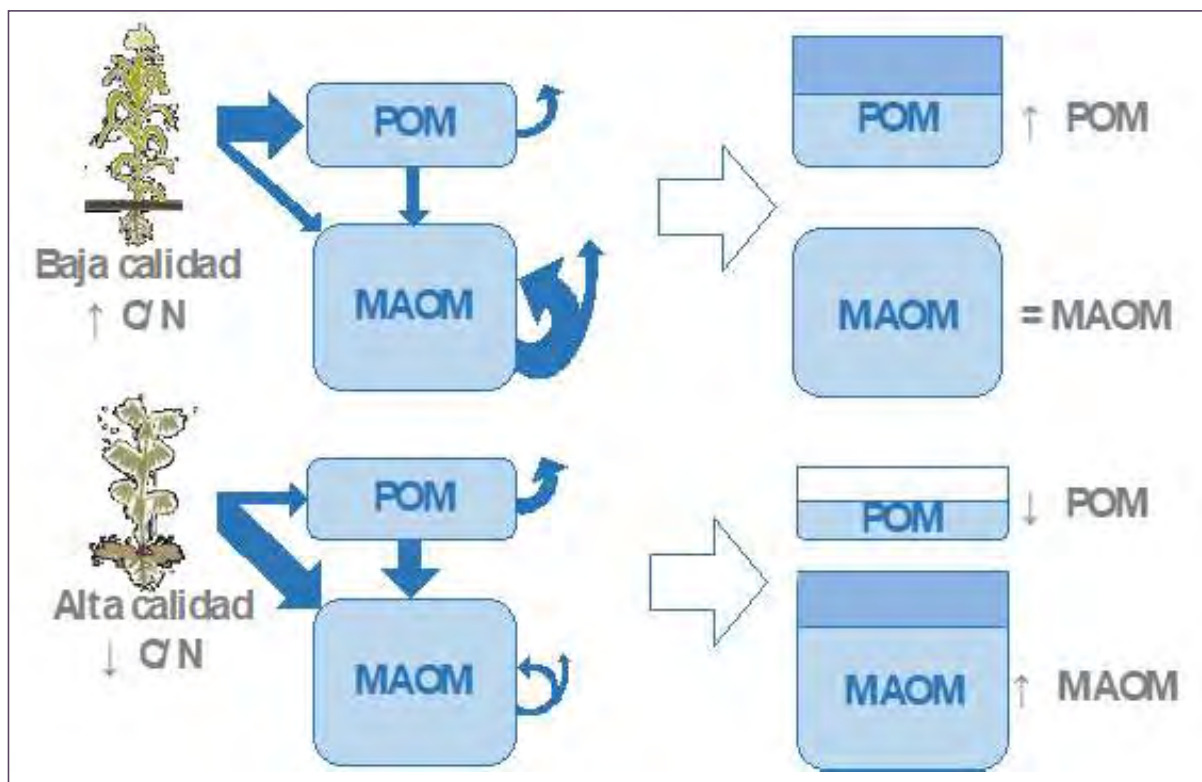


Figura 3. Efectos del agregado de residuos de cultivos de distinta calidad en la formación de materia orgánica particulada (POM) y asociada a los minerales (MAOM) Residuos de baja calidad aumentan la formación de POM y el reciclaje de MAOM. Residuos de alta calidad disminuyen la formación de POM, pero aumentan la formación de MAOM.

Conocer la cantidad de nutrientes que puede aportar la materia orgánica del suelo a los cultivos es clave para el manejo de la fertilización. Distintos métodos estiman la capacidad potencial de aporte de nitrógeno de la materia orgánica del suelo. Uno de los más utilizados es el "Nan", o nitrógeno potencialmente mineralizado en condiciones anaeróbicas (Reussi Calvo et al., 2018). El análisis de Nan representa una herramienta muy útil para estimar los aportes totales de N (y por lo tanto de otros nutrientes) durante la descomposición de la materia orgánica del suelo. Recientemente, este indicador se ha utilizado en combinación con las técnicas de fraccionamiento de tamices que separan la POM y la MAOM, lo cual ha permitido estimar el nitrógeno potencialmente mineralizable en cada fracción. En la mayoría de los estudios, el Nan aumenta al aumentar la POM, lo cual ha llevado a pensar que los mayores aportes de nitrógeno para el cultivo provienen de la POM. Sin embargo, trabajos recientes muestran que la mayor parte del nitrógeno aportado por la materia orgánica del suelo a los cultivos proviene de la MAOM (Figura 4) (Talab et al., en preparación). Estos resultados sugieren que manejos que mantengan o aumenten los contenidos de MAOM ayudarán a mantener una adecuada nutrición de los cultivos.

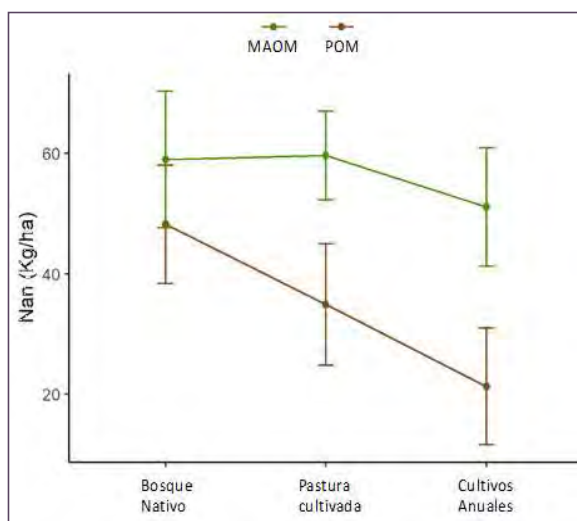


Figura 4. Nitrógeno anaeróbico mineralizado (Nan) por las distintas fracciones de la materia orgánica del suelo bajo distintos usos en el Chaco Semiárido, Santiago del Estero, Argentina. POM es materia orgánica del suelo particulada y MAOM es materia orgánica del suelo asociada a los minerales.

La provisión de nutrientes para los cultivos puede provenir de cuatro fuentes distintas: pueden ser aportados por la materia orgánica del suelo, por los residuos de otros cultivos en descomposición, por los fertilizantes (ya sean orgánicos o inorgánicos) o mediante deposiciones atmosféricas. En el caso del nitrógeno se podría sumar una quinta fuente por medio de las leguminosas que pueden tomar este elemento del aire. Los cultivos absorberán los nutrientes del pool inorgánico del suelo, un pool pequeño y generalmente muy lábil, que es abastecido por alguna de las cuatro fuentes mencionadas anteriormente (asumiendo que la meteorización de las rocas es un proceso muy lento que no aporta nutrientes significativamente a escalas temporales cortas). A su vez, los nutrientes de los fertilizantes, de las deposiciones atmosféricas y de los residuos vegetales pueden pasar a formar parte de la materia orgánica del suelo. Si no son descompuestos formarán parte de la POM (solo para los residuos vegetales y para los fertilizantes orgánicos) y si son inmovilizados por microorganismos pueden luego formar parte de la MAOM (Cotrufo et al., 2015). Es importante entonces, considerar estas cuatro fuentes de nutrientes al diseñar las rotaciones y las estrategias de fertilización en los agroecosistemas.

A modo de síntesis, la estrategia de nutrición de los cultivos debería estar basada tanto en la sincronización del ciclo de los nutrientes como, en la generación de materia orgánica del suelo. Es decir, que por un lado deberíamos intentar sincronizar la oferta de nutrientes, que se liberan por medio de la descomposición de los residuos vegetales, con la demanda de los cultivos. De este modo, no solo garantizará una buena nutrición de los cultivos, sino que también se evitarán las pérdidas de nutrientes del sistema y la contaminación de cursos de agua. Pero a la vez, deberíamos pensar en mantener los reservorios de materia orgánica de manera de que sean capaces de abastecer la demanda de los cultivos. En este sentido, es importante aumentar la producción de raíces de los cultivos para maximizar la eficiencia de formación de la materia orgánica (Rasse et al., 2005). A su vez, los aportes de residuos al suelo deberán contener calidades adecuadas, relaciones C/N cercanas a 24, y ser relativamente constante en el tiempo. Los pulsos de aportes provocarán pulsos de descomposición, liberando gran cantidad de nutrientes inorgánicos que, si no son absorbidos por los vegeta-

les o inmovilizados por los microorganismos, serán perdidos del sistema. El aporte de residuos de alta C/N favorecerá la formación de POM, pero podrá aumentar la descomposición de la MAOM, ya que los microorganismos tomarían los nutrientes de esta fracción para descomponer los residuos aportados (fenómeno conocido como priming por nitrógeno) (Figura 3). Ya que la MAOM es la fracción que aporta más nutrientes a los cultivos, parecería importante aportar residuos de baja C/N en proporciones importantes. Sin embargo, aportes de residuos con muy baja C/N podrían provocar un aumento en la descomposición de la POM (fenómeno conocido como priming por energía) (Figura 3). Por lo tanto, lograr una nutrición balanceada del suelo parecería ser la mejor estrategia para formar de manera eficiente (es decir, sin pérdidas de nutrientes del sistema), la mayor cantidad de materia orgánica del suelo en ambas fracciones.

Los cultivos de servicios para nutrir el sistema

Los cultivos de servicio pueden ser una herramienta viable para concretar esta nueva estrategia de nutrición sistémica, porque logran mejorar diversos procesos del ciclado de nutrientes que favorecen la nutrición de los cultivos. Por un lado, pueden nutrir el suelo y formar materia orgánica, pueden capturar nutrientes plausibles de perderse y pueden ser usados también para nutrir directamente a los cultivos de renta subsiguientes. Apuntar a formar materia orgánica del suelo para que ésta garantice la provisión de nutrientes durante del desarrollo de los cultivos, representa un primer paso en la visión sistémica de la fertilización. Para lograr este objetivo, será necesario incluir cultivos de servicios en la rotación que aporten residuos con relaciones C/N cercanas a 24 al momento de su supresión. Esto podría lograrse variando las especies en las mezclas de los cultivos de servicios o cambiando la fecha de supresión. Además, sería importante sembrar cultivos de servicios que produzcan grandes cantidades de raíces finas. La medición de la producción de raíces y la rizodeposición de los cultivos de servicios debería ser una prioridad en las agendas de investigación y desarrollo de estos cultivos (¡incluso también de los cultivos de renta!) (Kell, 2011). Por otro lado, los cultivos de servicio podrían crecer en los momentos de alta disponibilidad de nutrientes, como ser

durante la senescencia de los cultivos de renta, para aumentar la captura de nutrientes y reducir las pérdidas (Thapa et al., 2018). Por lo tanto, es importante evaluar estrategias de siembras pre-cosecha de los cultivos de servicio, para sincronizar la oferta de nutrientes realizada durante la descomposición de los cultivos de renta con la absorción de los cultivos de servicio. Finalmente, si el objetivo es nutrir directamente al cultivo de renta, la finalización del cultivo de servicio deberá realizarse en el momento adecuado para lograr sincronizar su descomposición y liberación de nutrientes con los momentos de máxima demanda de los cultivos de renta.

El consumo de agua por parte los cultivos de servicios, debe ser evaluado con precisión para no comprometer el agua disponible para los cultivos de renta. Diversos trabajos muestran como los cultivos de servicios pueden consumir agua en sus etapas finales afectando negativamente el agua disponible para el cultivo siguiente. Otros trabajos muestran como los cultivos de servicios aumentan el agua disponible para los cultivos siguientes, principalmente a través de mejoras en la infiltración y disminuciones en la evaporación directa por efectos del restrojo del cultivos de servicio (Unger & Vigil 1998). El balance entre ambos efectos dependerá de varios factores, como el tipo de suelo, las precipitaciones, el momento de supresión, el consumo de agua por parte del cultivo de servicio, etc. Los cultivos de servicios, pueden ser usados además para brindar otros servicios como, bajar las napas en casos de excesos hídricos, control malezas, descompactar, reducir la erosión, etc.

Es necesario establecer líneas de investigación en fertilización sistémica de agroecosistemas y el manejo de cultivos de servicios, las cuales solo pueden ser realizadas mediante articulaciones de largo plazo entre instituciones públicas y privadas. Las instituciones públicas de investigación tienen un rol fundamental en la investigación sistémica y de tecnologías de procesos, por lo cual debería ser una prioridad para estas instituciones. Las instituciones privadas de investigación, que desarrollan principalmente tecnología de insumos, deberían complementarse adecuadamente con las instituciones públicas para lograr la sustentabilidad de la producción. Las organizaciones de productores y el Estado deberían ayudar a compatibilizar ambos objetivos.

Bibliografía

- Abramoff, R. et al.**, 2018. The Millennial model: in search of measurable pools and transformations for modeling soil carbon in the new century. *Biogeochemistry*, 137(1–2), pp.51–71. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0409-7>.
- Blanco-Canqui, H. et al.**, 2015. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agronomy Journal*, 107(6), pp.2449–2474.
- Cambardella, C.A. & Elliott, E.T.**, 1993. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma*, 56(1–4), pp.449–457.
- Caride, C., Piñeiro, G. & Paruelo, J.M.**, 2012. How does agricultural management modify ecosystem services in the Argentine Pampas? The effects on soil C dynamics. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 154.
- Chapin, F.S., Matson, P.A. & Vitousek, P.M.**, 2012. Principles of terrestrial ecosystem ecology.
- Cotrufo, M.F. et al.**, 2013. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? *Global Change Biology*, p.n/a-n/a. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/gcb.12113> [Accessed February 28, 2013].
- Cotrufo, M.F.F. et al.**, 2015. Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. *Nature Geoscience*, 8(10), pp.776–779. Available at: <http://www.nature.com/doi/10.1038/ngeo2520>.
- Crews, T.E. & Rumsey, B.E.**, 2017. What agriculture can learn from native ecosystems in building soil organic matter: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 9(4), pp.1–18.
- Daily, G.C., Matson, P.A. & Vitousek, P.M.**, 1997. Ecosystem services supplied by soil. In *Natures services*.
- Elser, J. & Bennett, E.**, 2011. Phosphorus cycle: A broken biogeochemical cycle. *Nature*, 478(7367), pp.29–31.
- Foley, J. a J.J. a et al.**, 2005. Global Consequences of Land Use. *science*, 309(July), pp.570–574. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3345016&tool=pmcentrez&render-type=abstract> [Accessed July 31, 2013].
- Jackson, R.B. et al.**, 2017. The Ecology of Soil Carbon : Pools , Vulnerabilities , and Biotic and Abiotic Controls. , (August), pp.419–445.
- Jurgilevich, A. et al.**, 2016. Transition towards circular economy in the food system. *Sustainability (Switzerland)*.
- Kell, D.B.**, 2011. Breeding crop plants with deep roots: their role in sustainable carbon, nutrient and water sequestration. *Annals of botany*, 108(3), pp.407–18. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pub-med/21813565> [Accessed August 23, 2011].
- Manzoni, S. et al.**, 2008. The global stoichiometry of litter nitrogen mineralization. *Science*, 321(5889), pp.684–6. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18669860>.
- Marald, E.**, 2002. Everything circulates: Agricultural chemistry and recycling theories in the second half of the nineteenth century. *Environment and History*.
- Matson, P. a et al.**, 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science (New York, N.Y.)*, 277(5325), pp.504–9. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20662149>.
- Mazzilli, S.R. et al.**, 2015. Greater humification of belowground than aboveground biomass carbon into particulate soil organic matter in no-till corn and soybean crops. *Soil Biology and Biochemistry*, in press.
- Millenium Ecosystem Assessment**, 2003. *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment- Summary*. Island Press, Washington, DC.
- Nixon, S. et al.**, 1996. The fate of nitrogen and phosphorus at the land-sea margin of the North Atlantic Ocean. *Biogeochemistry*, 35(1), pp.141–180. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02179826>.
- Pacnik, R. et al.**, 2005. Applications of ecological stoichiometry for sustainable acquisition of ecosystem services. *Oikos*, 109(1), pp.52–62. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.0030-1299.2005.14051.x>.
- Rasse, D.P., Rumpel, C. & Dignac, M.-F.**, 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil*, 269(1–2), pp.341–356. Available at: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s11104-004-0907-y> [Accessed December 27, 2010].
- Reeves, D.W.**, 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.*, 43, pp.131–167.
- Reussi Calvo, N.I. et al.**, 2018. Erratum: Predicting Field-Apparent Nitrogen Mineralization from Anaerobically Incubated Nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*.
- Schmidt, M.W.I. et al.**, 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478(7367), pp.49–56. Available at: <http://www.nature.com/doi/10.1038/nature10386> [Accessed October 5, 2011].
- Silver, W.L.W. & Miya, R.K.R.**, 2001. Global Patterns in Root Decomposition : Comparisons of Climate and Litter Quality Effects. *Oecologia*, 129(3), pp.407–419. Available at: <http://www.springerlink.com/index/V91JGQDVR1RCFXXT.pdf> [Accessed January 30, 2012].
- Thapa, R., Mirsky, S.B. & Tully, K.L.**, 2018. Cover Crops Reduce Nitrate Leaching in Agroecosystems:A Global Meta-Analysis. *Journal of Environment Quality*.
- Unger, P.W. & Vigil, M.F.**, 1998. Cover crop effects on soil water relationships. *Journal of Soil and Water Conservation*. ◀