

APORTES CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL INIA A LAS **TRAYECTORIAS AGROECOLÓGICAS**

Editores: Georgina Paula García-Inza, José Paruelo y Roberto Zoppolo



Segunda sección
La agroecología y el manejo sustentable
de los recursos naturales en los sistemas
agropecuarios

Editora: Verónica Ciganda

Introducción

Tecnología aplicada a los recursos naturales y al cuidado del ambiente

Verónica Ciganda

Las líneas de trabajo e investigación del INIA, orientadas al aumento de la productividad de los distintos sistemas y rubros de producción, han incorporado históricamente la mejora de la eficiencia en el uso de los recursos naturales y de su preservación como uno de los ejes centrales. Si bien el uso del término “agroecología” se remonta a los años 70, es relativamente novedosa su inserción en los planes de trabajo de INIA. Más allá de los términos, las bases teóricas y los conceptos clave asociados a la agroecología han sido frecuentemente incluidos, con énfasis variables, y han formado parte del desarrollo de las líneas de investigación de INIA.

La FAO ha planteado en 2018 diez elementos de la agroecología a fin de brindar orientaciones a los países para que transformen sus sistemas agrícolas y alimentarios, integren la agricultura sostenible a gran escala y contribuyan al logro de varios de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Estos diez elementos recopilados por la FAO están interrelacionados y son interdependientes, y se los propone como una herramienta analítica que puede ayudar a los países a poner en práctica la agroecología. Entre ellos, y en línea con el marco de esta sección del libro, se destacan la diversidad productiva, la coinnovación agrícola, las sinergias de los sistemas alimentarios, la eficiencia de utilización de los recursos, el reciclaje y la resiliencia de los ecosistemas para lograr sistemas de agricultura sostenible. A su vez, dentro de esta sección se contemplan varias de las dimensiones planteadas por Garibaldi *et al.* (2019), entre las que se destacan la promoción de la diversidad específica aérea y subterránea, el mantener o restaurar áreas naturales o seminaturales, la protección y el uso eficiente de los recursos naturales, y el aumento de la oferta de

servicios ecosistémicos, la reducción de aplicaciones de productos sintéticos, así como la perspectiva de una sola salud.

En particular, esta sección se focaliza en temáticas relacionadas con la biodiversidad, el secuestro de carbono en el suelo, los servicios ecosistémicos, la eficiencia en el uso del agua, la importancia de los bioinsumos y la fijación biológica de nitrógeno, así como prácticas de manejo agropecuario que favorecen la transición hacia la agroecología.

El suelo, en especial por su capacidad de acumular carbono (C), es clave para la sostenibilidad productiva. Procesos de intensificación ecológica que aumentan o mantienen los contenidos de carbono orgánico en el suelo tienden a maximizar la disponibilidad y eficiencia en el uso de nutrientes, promueven el reciclaje interno de estos y favorece la retención de agua. Esto permite minimizar la dependencia de fertilizantes sintéticos y mejora la eficiencia en el uso del agua. Una práctica de manejo, ampliamente difundida hoy, que permite conservar y aumentar el almacenaje de C en el suelo es la siembra directa de cultivos y pasturas. Esta práctica permite reducir las pérdidas de carbono por erosión y descomposición, y la utilización de cultivos de cobertura que mejoran el balance de carbono, no solo reduciendo su pérdida, sino también aumentando su ingreso al suelo. Los diversos experimentos de largo plazo instalados en el INIA, en distintos momentos a partir del año 1963 y con diversos objetivos, han permitido conocer cuantitativamente los cambios ocurridos en el suelo como respuesta al gradiente de sostenibilidad productiva de los sistemas evaluados. Claramente, los sistemas de rotación de cultivos y pasturas han mostrado ser prácticas de manejo agronómico con un impacto directo y positivo en la conservación de las características físicas, químicas y biológicas del recurso suelo, las cuales afectan directamente su sostenibilidad y capacidad productiva (Díaz *et al.*, 2009).

El uso eficiente del agua en el sector agropecuario es un factor clave para mejorar la sostenibilidad y la estabilidad de la producción. En este sentido, el desarrollo de tecnologías para un adecuado manejo del agua, asociado al manejo del suelo, es un factor crucial para incrementar la producción sostenible de alimentos. La búsqueda de la maximización de la eficiencia del uso del agua es de importancia central y atraviesa todas las escalas que afectan al sistema de producción: desde la cuenca, la subcuenca, el predio y la chacra. Mayor aprovechamiento y eficiencia en el uso del agua aportan directamente a la generación de trayectorias agroecológicas. El manejo agronómico del cultivo o de la pastura para alcanzar los rendimientos potenciales contribuye directamente a hacer

un uso más eficiente del agua, ya sea aprovechando al máximo la precipitación, o el agua aplicada (García y Otero, 2020). Al mismo tiempo, la cuantificación de la disponibilidad de agua del sistema para riego, el cálculo de la superficie del cultivo o de la pastura a regar, la definición de la lámina de agua y la selección de un adecuado sistema de riego a utilizar, así como el momento de aplicación, son todas variables críticas que contribuyen directamente al uso eficiente de los recursos naturales y en las cuales el INIA viene trabajando para su correcta definición en las diversas situaciones productivas.

Las trayectorias agroecológicas de nuestros sistemas de producción agropecuaria requieren de una gradual independencia de la utilización de productos químicos, como los fitosanitarios y los fertilizantes sintéticos. En este sentido, el conocimiento sobre la estructura y la función de las comunidades microbianas de la rizósfera y del suelo y los microorganismos endófitos y simbioses (el microbioma) ha permitido el desarrollo de tecnologías que promueven el papel del microbioma en la nutrición y la sanidad de las plantas (Altier *et al.*, 2013b; Trivedi *et al.*, 2021). El microbioma interviene en diversos procesos ecosistémicos importantes y determinantes de la salud y la productividad de los cultivos. Por lo tanto, las prácticas agronómicas que tienen en cuenta el funcionamiento del microbioma y utilizan las tecnologías desarrolladas sobre la base de microorganismos benéficos claramente favorecen las trayectorias agroecológicas y mejoran la producción, la calidad y la salud de las plantas, así como las características biológicas del suelo y el ambiente. En el INIA, a partir del 2006 se viene trabajando en líneas de investigación que apuntan a hacer disponibles tecnologías basadas en los bioinsumos; por ejemplo, se han desarrollado cepas de bacterias solubilizadoras de fósforo del suelo, aumentando su disponibilidad para la planta, así como biofungicidas y bioplaguicidas. A su vez, la fijación biológica de nitrógeno del aire por bacterias específicas (*Rhizobium* sp.) para cada cultivo de leguminosas, lograda a través de la práctica de inoculación de la semilla y consecuente formación de nódulos radiculares, es ampliamente utilizada en nuestro país, a la vez que las cepas se encuentran en permanente mejora y cuidado en las instalaciones del INIA.

El desarrollo de alternativas de uso sostenible del territorio necesita del conocimiento de la estructura y del funcionamiento de los ecosistemas. Esto incluye una adecuada cuantificación de su diversidad. Al mismo tiempo, la gestión sostenible del territorio requiere de herramientas e indicadores que, con costos y plazos razonables, cuantifiquen el desem-

peño ambiental en línea con una transición agroecológica. En este sentido, diversos trabajos de investigación del INIA han llevado al desarrollo de índices que permiten cuantificar los efectos del sistema de producción sobre distintos aspectos de la estructura y el funcionamiento del ecosistema. El Índice de Integridad Ecosistémica (Blumetto *et al.*, 2019), descrito en detalle en uno de los capítulos de esta sección, integra distintos indicadores para interpretar el estado y el funcionamiento del agroecosistema, comparándolo con situaciones de referencia en una ecorregión.

Los pastizales naturales son un hábitat amenazado, tanto por la expansión de la agricultura y la forestación como por la degradación. Las trayectorias agroecológicas en sistemas ganaderos que se basan en el uso del campo natural deben apoyarse en la evaluación de su estado de conservación y en la incorporación de prácticas de manejo que minimicen los procesos de deterioro y/o promuevan la restauración, preserven la oferta de servicios ecosistémicos y favorezcan la biodiversidad. En este sentido, diversos proyectos financiados por el INIA han contribuido al desarrollo de herramientas tecnológicas que permiten reconocer, mapear y manejar los distintos tipos de pastizales naturales del Uruguay (Lezama *et al.*, 2019) así como sistematizar la caracterización del estado de conservación de los hábitats naturales (Altesor *et al.*, 2019).

Es importante destacar, además, los aportes que el INIA ha hecho a las trayectorias agroecológicas de los sistemas de producción a través de la coinnovación (Altesor *et al.*, 2019), posicionando al productor como centro y referente del trayecto hacia la agroecología.

Referencias

- Altesor, A., Gallego, F., Ferrón, M., Pezzani, F., López-Mársico, L., Lezama, F., Baeza, S., Pereira, M., Costa, B. y Paruelo, J. M.** (2019a), “An inductive approach to build State-and-Transition Models for Uruguayan grasslands”, en *Rangeland Ecology & Management*, 72, pp.1005-1016. <<https://doi.org/10.1016/j.rama.2019.06.004>>.
- Altier, N., France, A., Correa de Mello, S., Peticari, A. y Rodríguez, P.** (2013b), *Documento Base: Recursos Microbianos*. Procisur, IICA. 35 pp. Disponible en: <http://www.procisur.org.uy/adjuntos/procisur_libro-microbianos_e3b.pdf>.
- Blumetto, O., Castagna, A., Cardozo, G., García, F., Tiscornia, G., Ruggia, A., Scarlato, S., Albicette, M., Aguerre, V. y Albin, A.** (2019), *Ecosystem Integrity Index, an innovative environmental evaluation tool for agricultural production systems Ecological Indicators*, vol. 101, pp. 725-733.

Díaz, R., Quincke, A., Morón, A., Sawchik, J., Ibáñez, V. y Balzarini, M. (2009), “Efecto de la degradación del carbono orgánico del suelo en la productividad potencial de los cultivos”, en Morón, A. (coord.), *Efectos de la agricultura, la lechería y la ganadería en el recurso natural suelo: impactos y propuestas: resúmenes expandidos*, Serie Actividades de Difusión 587, INIA, Montevideo.

García, C. y Otero, O.

(2020), “¿Es una alternativa la utilización de riego en el sistema agropecuario de Uruguay?”, en Rodrigues L. N. y Zaccaria, D. (eds.), *Agricultura irrigada Um breve olh*, Inovagri, Fortaleza (CE Brasil), pp. 132-137.

Garibaldi, L. A., Pérez-Méndez, N., Garratt, M. P. D., Gemmill Herren, B., Míguez, F. E. y Dicks, L. V.

(2019), “Policies for ecological intensification of crop production”, en *Trends in Ecology & Evolution*, 34 (4). pp. 282-286. ISSN 0169-5347. Disponible en: <doi:https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.01.003>.

Lezama, F., Pereira, M., Altesor, A. y Paruelo, J. M.,

(2019), “Grasslands of Uruguay: classification based on vegetation plots”, en *Phytocoenologia*. Disponible en: <https://doi.org/10.1127/phyto/2019/0215>.

Trivedi, P., Mattupalli, C., Eversole, K. y Leach, J. E.

(2021), “Enabling sustainable agriculture through understanding and enhancement of microbiomes”, *New Phytol*, 230, pp. 2129-2147. <https://doi.org/10.1111/nph.17319>.