

CAPÍTULO 7

EVALUACIÓN DE CULTIVOS ANTECESORES DE PRIMAVERA VERANO; EN LA SUCESIÓN DE CULTIVOS HORTÍCOLAS DE OTOÑO INVIERNO Y DE PRIMAVERA BAJO MANEJO AGROECOLÓGICO



Jorge A. Ullé¹



Hector R. Martí ¹



Esteban J. Rubio²

¹ INTA. Centro Regional Buenos Aires Norte . Estación Experimental Agropecuaria San Pedro, Buenos Aires Argentina.

² INTA EEA AMBA Ituzaingo Bs As Argentina

Correo electrónico: ulle.jorge@inta.gob.ar

Resumen

El consorcio de plantas gramíneas y leguminosas, así como otras familias botánicas, consiste en una de las principales estrategias de diversificación productiva y ecológica. Su utilización en el diseño de antecesores, rotaciones, hace al estado de salud y conservación de los suelos y manejo de las pequeñas y medianas propiedades hortícolas. Las ventajas de los consorcios de plantas y sus arreglos espaciales y temporales tienen efectos favorables en las propiedades físico, químico, biológicas de los suelos. La implementación de manejos agroecológicos en sistemas hortícolas, necesita disponer de prácticas agronómicas que permitan generar grandes cantidades de biomasa vegetal (cultivo de cobertura), en pequeñas superficies en diferentes épocas del año, y que alternen con el ciclo del cultivo de hortalizas. En este capítulo se describen tópicos relacionados con estas prácticas agroecológicas, el manejo de los abonos verdes, cultivos de cobertura y los efectos que estos residuos prestan a el continuo de la materia orgánica del suelo. Aspectos como la descomposición de residuos y su aporte de nutrientes, así como los cambios provocados en la biota del suelo por aportes de residuos de cultivos de cobertura y abonos verdes son analizados a los fines de brindar criterios para la planificación de los antecesores en los sistemas agroecológicos. También la diversificación de cultivos antecesores, cultivos consociados y su ubicación en la rotación como herramientas claves de la diversificación productiva son aspectos analizados y validados por experiencias desarrolladas en ensayos de mediana y larga duración durante el período 2012 a 2017.

Palabras clave: cultivo de cobertura, consorcios, rotaciones, calidad de suelo

Summary

The association between grasses and legumes, as well as with other botanical families, is one of the main strategies of ecological and productive diversification. Its use in the design of preceding crops and crop rotations has an impact on soils health and conservation and on management of small and medium vegetable enterprises. The advantages of plant associations and its temporal and spatial arrangements have benefits for soil physical, chemical and biological properties. Agroecological management in vegetable crops systems call for agronomic practices which result in high amounts of plant biomass (cover crops) in small areas in different seasons, alternating with crops cycles. In this chapter topics related to agroecological practices, green manure handling, cover crops and the effects of its residues on the soil organic matter continuum are described. Some aspects such as residue decompositions and its effects on nutrient release, as well as changes on soil biota due to cover crops and green manure residues are analyzed to set up criteria for designing of preceding crop sequences in agroecological systems. Preceding crop diversification, associated crops and its order in the rotation as key tools for productive diversification are also analyzed and validated through medium and long term experiments between 2012 and 2017.

Keywords: cover crops, crop associations, crop rotation, soil quality

Las características agroclimáticas de los sistemas agrícolas, su estructura social productiva en la región norte de Pcia de Buenos Aires

Las características agroecológicas y socio económicas de una región son fundamentales en la definición de estrategias de uso, manejo conservación y prácticas agroecológicas asociadas a los sistemas de producción. Dentro de la gran región Norte de la Pcia de Bs As existen variados sistemas de producción, desde aquellos netamente agrícolas intensivos, agrícolas ganaderos, ganaderos y de pequeños productores hortícolas, frutícolas, y viveros. Dentro de esta región la cuenca del Río Arrecifes es una de más importante con una superficie de 1.278.000 has de las cuales 919.000 has, presentan diversos grados de erosión. En su mayoría se sitúa dentro de la fisiografía de la Pampa Ondulada, caracterizada en general por un paisaje ondulado, permitiendo el escurrimiento del exceso hídrico (cuencas abiertas) y presentando pendientes pronunciadas en el centro y en el este de la zona. En áreas planas y en épocas de altas precipitaciones se observan problemas de anegamiento por falta de drenaje con un horizonte B_{2t} con 57 % de arcilla (INTA CRBAN PTR 2005-2008). El clima de la región es templado – húmedo con una temperatura media anual de 17,1 °C, la precipitación media anual es de 1071 mm, la humedad relativa media mensual es de 75%. La fecha promedio de la primera helada agronómica es el 30 abril y la última en 09 de octubre, lo que determina un período libre de heladas, de 200 días. Los meses desde septiembre a diciembre, presentan temperaturas de suelo superiores a 15 °C (0-5 cm) con aumento del fotoperíodo, lo que posibilita la siembra e implantación de cultivos de maíz, soja, batata, sorgos, hortalizas de frutos, legumbres, tanto de primera como de segunda época. Los meses de diciembre enero presentan los valo-

res máximos de evapotranspiración por Penman de 167 y 168 mm respectivos, con períodos de sequía estival, deficiencias hídricas, que pueden afectar el rendimiento de los cultivos estivales, sin uso de riego complementario (INTA EEA SAN PEDRO, 1965-2017). Los suelos de esta sub-zona son en general arcillosos del tipo de los Argiudoles verticos con predominancias de texturas franco-arcillo-limosa a franco-limosa, con un perfil bien desarrollado. La serie de suelos predominantes se caracteriza por poseer un epipedon mólico de 25 a 30 cm. de espesor, medianamente bien provisto de materia orgánica. La transición hacia el horizonte B₂ T es gradual y suave. Este es de textura arcillosa con 56 % de arcilla y se extiende desde los 40 hasta los 130 cm. de profundidad. El pH es medianamente ácido en superficie con aptitud para numerosos cultivos. Los lotes con pendiente pueden sufrir daños por erosión hídrica si no son manejados adecuadamente (INTA, 1978). El 80% de los suelos tienen buena aptitud agrícola (clases I y II), sin embargo presentan tendencia a la degradación física química, cuando en el sistema convencional, son mal manejados por excesos de laboreos y falta de aportes de materia orgánica. Durante la década del 50 hasta el 80, la quema de rastrojos; los laboreos convencionales primarios con reja vertedera, seguido con labranzas secundarias de discos excéntricos y refinamiento de la cama de siembra con rolos desterronadores, fueron unas de las principales causa de degradación. En los años 80 la introducción de la labranza vertical, con arado cincel, la utilización de vibro-cultivadores y el uso de sistemas de labranza mínima, con disminución de labores, permitió introducir prácticas conservacionistas para control de la ero-

sión. A partir de los 90, los cultivos de granos, con el incremento de uso de herbicidas se comenzaron a realizar a través de la Siembra Directa, lo que en muchos casos llevó a la mono-cultura de soja con bajos aportes de carbono y compactación de capas sub-superficiales. Actualmente el principal problema ambiental es la degradación físico-química de suelos bajo agricultura continua realizada sin la utilización de prácticas conservacionistas y la preponderancia de modelos productivos con monocultivo de soja. Esto se traduce en balance negativo de carbono, con pérdida de la estabilidad estructural, compactación de la superficie del suelo, balance de nutrientes negativo y acidificación. Además existen riesgos de erosión hídrica, como también de contaminación del ambiente por inadecuado uso de agroquímicos, inadecuado manejo de envases de plaguicidas en producciones agrícolas e intensivas (hortalizas, frutales) y efluentes derivados del con-

finamiento animal. La intensificación de la producción aumentó los riesgos de contaminación difusa y puntual lo que puede llegar a amenazar los acuíferos. La intensificación de la producción también llevó a una pérdida de biodiversidad productiva y ecológica, en el sentido que productores de pequeñas a medianas superficies, con acervos más conservacionistas de la tierra y su patrimonio comenzaron a utilizar en sus predios paquetes tecnológicos de gran escala y en esquemas de arrendamientos de las tierras, lo que los llevó a una gran pérdida la calidad de suelos

En el caso particular de región norte de Pcia de Bs los sistemas frutícolas y hortícolas y viveros, representan casi un el 45 % correspondiente a pequeños productores de la cuenca Rio Arrecifes. Este sector ribereño del río Paraná, se diferencia por una zona de cultivos intensivos fruti-hortícolas que se extiende a lo largo de la costa del río

	Enero	Feb	Mar	Abril	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temp aire media anual (°C) 17,1	24,0	22,8	20,7	17,1	13,8	10,8	10,3	11,8	14,0	17,1	20,1	22,8
Temp.media del suelo (°C) 18,5	25,9	25,1	23,2	19,1	15,3	12,1	11,1	12,2	14,7	18,2	21,4	24,3
Precipitación media mensual (mm) 1071,4	118,3	126,3	128,2	97,7	64,6	44,2	45,7	43,2	63,6	117,4	111,5	110,7
Evaporación rea estimada mm 1090,5	168,2	127,6	104,1	61,6	36,3	23,8	28,4	48,6	74,6	108,0	142,1	167,2
Promedio días con heladas agronómicas 42,19	0,00	0,00	0,02	1,15	4,15	9,96	10,90	9,58	5,25	1,00	0,17	0,00

Tabla 1. Valores promedios de temperatura del aire, temperatura de suelos, precipitación evapotranspiración, y período libre de heladas en San Pedro, Pcia de BsAs para la serie histórica (INTA EEA SAN PEDRO, 1965- 2017).

abarcando una franja de unos 15 a 20 Km. de ancho con epicentro los partidos de San Pedro, Zárate, San Nicolás de la Pcia de Bs As. Las principales actividades agropecuarias regionales comprenden la producción de cereales, oleaginosas, carnes (bovinos, aves y porcinos). Se destaca la importante producción de hortalizas, frutas, maderas, flores y miel, así como un gran número de actividades de incipiente desarrollo, como frutales no tradicionales (arándanos, pecan), aromáticas, producciones orgánicas y diferenciadas y actividades como el turismo rural, entre otros. En estas superficies medianas a pequeñas de agricultores familiares, el manejo del suelo y su estado de salud es una variable altamente discriminante de la competitividad y la economía de sus predios (INTA CRBAN PTR 2005-2008). La introducción de principios de la agroecología y su aplicación en prácticas de rutina, hace con que comiencen más fácilmente a transitar el camino de la transición agro-ecológica, inicialmente motivados por la gran disminución de insumos químicos.

La práctica milenaria de la agricultura con abonos verdes y sus contribuciones significativas en el Cono SUR.

El hombre intuitivamente desde sus saberes en las antiguas civilizaciones de China, Oriente y Occidente (Grecia, Roma) hace más de dos mil años, utilizaron en la práctica agrícola plantas como abonos verdes cuyo objetivo era restituir la fertilidad de los suelos. En el esquema del palíndromo *Sator Arepo Tenet Opera Rotas* curioso cuadrado mágico, en un número bastante amplio de hallazgos arqueológicos esparcidos por toda Europa, se interpreta una clara mención a “*el agricultor sabio siempre hace rotaciones*” (Rossi & Donizeti, 2014). Las civilizaciones precolombinas y mesoamericanas antes de la llegada de los europeos ya habían desarrollado sistemas de plantas y cultivos, haciéndolos más eficiente en su crecimiento de acuerdo a ambientes agroclimáticos específicos y basados también en el conocimiento empírico de muchas plantas compa-

ñeras, tales como mandioca, batata, papa y el maíz (Marzoca, 1990). También en el pasaje de la Europa medieval hacia la edad moderna, la práctica más común era el cultivo de dos parcelas, una en descanso (barbecho) otra en cultivo (Andrade, 2001); pero luego con tres parcelas de cultivo, el hombre advirtió a cerca de distintas condiciones de fertilidad de los suelos y de familias de plantas que en algunas épocas, de otoño invierno o primavera verano, restituían mejor la productividad de los suelos en el tiempo. Mucho más tarde los descubrimientos científicos de la existencia de nitrógeno en el aire, Lavoisier (1743- 1794) y el mundo de la bacterias y la microbiología, Pasteur (1842- 1895), Koch (1843-1910), posteriormente demostraron, que los nódulos de raíces de leguminosas y el aislamiento definitivo de estos microorganismos, Beijerinck (1851-1931), abrieron el camino a la gran familia de leguminosas, como fijadoras del nitrógeno del aire, tanto en climas tropicales como templados. Muchos trabajos de leguminosas fueron publicados en el mundo antes y después de la primera guerra mundial en varios países, pero los nitratos materia prima en la fabricación de explosivos pasaron luego de la primera guerra a ser producidos como fertilizantes químicos aprovechando la capacidad instalada de las fábricas existentes. También la influencia de la agricultura americana de los años 50 comenzaba mundialmente a propagarse en la difusión de los llamados “paquetes tecnológicos”, lo que llevó mediante mecanización, fertilizantes, agroquímicos, selección varietal de semillas, a que muchos programas de estímulo oficial de los gobiernos, dieran subsidios a fertilizantes químicos y a interpretar esta nueva modalidad basada en insumos como la conocida base de la revolución verde (Rossi & Donizeti, 2014). Todo esto incidió en desmedro de otras prácticas y conocimientos que realizaban intenciones y agricultores con grandes aportes de materia orgánica a los suelos agrícolas y cultivos consociados que daban reales ventajas económicas al no depender de insumos externos. En el caso de climas templados en 1943, el Ing Molina en Argentina, inició el estudio de la microbiología del suelo bajo

la dirección del Profesor Santos Soriano. En esta disciplina consiguió una notable experiencia, que lo llevó a fundar la Asociación Amigos del Suelo. Desde ahí promovió una campaña para reemplazar la habitual práctica de quema de los rastrojos por su utilización como cobertura y protección del suelo. Sus investigaciones sobre procesos de descomposición de la celulosa favorables al mejoramiento del suelo fueron llevadas a la aplicación práctica en numerosos campos argentinos (País, 1994). En Argentina el Proyecto INTA de Agricultura Permanente: “desarrollo y difusión de tecnologías conservacionista” tuvo una importante expresión en la zona pampeana (Buenos Aires, Córdoba, Santa Fé, Entre Ríos) promoviendo la posibilidades de utilización de sistemas de agricultura permanente basados en la utilización de abonos verdes. El mismo brindaba a los productores una serie de artículos técnicos con actualizaciones y grados de avance acerca de tipos de especies, implantación, fechas de siembra y aportes de nitrógeno. Entre las mismas se destacaban, *Lupino blanco, Vicia, Trebol de Alejandría, Trebol Persa, Trticale, Avena, Meliolumos albus*, por sus aportes en materia seca y nitrógeno (Cordone et al 1986). Muchos años después de vistos los efectos colaterales del monocultivo de soja, emergen otras publicaciones, como ej. en el *área* de Suelos Manejo y Conservación de Recursos naturales, el Boletín Informativo semestral año 1- 15/12/2017 en INTA EEA Marcos Juárez. Este boletín tiene como objetivo divulgar las novedades, vinculadas a diferentes alternativas asociadas a mejorar la sustentabilidad de los sistemas de producción agrícolas y mixtos. Además presenta un claro eje en el cultivo de cobertura , aspectos de biología y calidad de suelos. Salvagiotti *et al* (Ediciones INTA, 2017) consigue aunar y compilar la obra “Ensayos de larga duración en Argentina : un aporte al logro de sistemas agrícolas sustentables”, la que otorga la posibilidad de comprender las complejas interacciones que ocurren entre el suelo, las comunidades vegetales y el clima. Según Andriulo (2017), en prologo de la edición, destaca como esta obra permite responder preguntas relacionadas con el desfase entre la

causa y su efecto, encontrar umbrales críticos, determinar tendencias cíclicas y conocer qué eventos son raros y/o extremos. Aspectos relativos a sistemas integrados, rotaciones, labranzas, cultivos de cobertura, parametros de calidad de suelos, son tópicos claves de este libro.

En Brasil tambien varios institutos públicos se ocuparon de la tematica de abonos verdes siendo el estado de Sao Pablo pionero en estas experiencias. En “Aubos verdes” (D’utra, 1919) se destaca la cantidad de ventajas de sembrar plantas acordes al clima y la naturaleza del terreno y advierte de gran cantidad de utilidades que brindan para suelos pobres. Camargo & Herrmann (1928) hace clara alusión a como los abonos verdes pueden contribuir a las “ tierras cansadas y agotadas de la agricultura”. En la decada de 60 a 70, en Brasil ya existe una clara influencia de la “revolución verde”, sin embargo en la decada de los 80 - 90 hay una clara expansión y conciencia generalizada donde institutos públicos como IAPAR en Parana (Derpsch & Callegari , 1985) y EPAGRI en Santa Catarina (Monegat, 1991) retoman fuertemente esta temática con nuevos proyectos. En la decada de 1990, incluso una importante ONG de fuerte actuación en Agroecología en Brasil: AS-PTA (Servicios a Proyectos en Agricultura Alternativa) logra compendiar (Costa, 1992) todos los avances en “Adubação verde no Sul de Brasil”, que reúne las principales experiencias de investigación, enseñanza y extensión en aspectos de cobertura de suelo y mejoramiento y mantenimiento de las propiedades físico, químico, biológicas del suelo. En 2005 EMBRAPA lanza mediante la “Coleção saber” la obra “Adubo verde com leguminosas” (Espíndola et al , 2005) y en 2008 Shiro Miyasaka del Instituto Agronómico de Sao Paulo lanza el libro “ Manejo da biomassa e do solo visando a sustentabilidade da agricultura brasileira”. Sin dudas todas estas obras dejan bien reflejada la necesidad de re-pensar los sistemas de la agricultura actual.

La tematica de abonos verdes y cultivos de cobertura tambien es muy destacada en el hemisferio norte y en especial, como principal práctica de soporte en producciones orgánicas y agroeco-

logicas. En “Covercrops for California Agriculture” (UC 1989) se analizan diferentes opciones acerca de como leguminosas de invierno, tales como *Vicia*, *Trifolium*, *Melilotus*, pueden integrarse en rotaciones anuales con sistemas irrigados. También otras como *Medicago*; *Lotus*, de diferente perennidad y duración, como se integran en sistemas de cereales y ganado. En “Agricultural Sustainability Institute UC Davis” 2017, en su apartado “cover crops” pueden encontrarse muchas citas de trabajos de investigación en este sentido.

Importancia de los abonos verdes, cultivos de cobertura y residuos, en el continuo de la materia orgánica del suelo.

La experiencia de productores y extensionistas durante muchos años ha sido comprobar cómo la incorporación de materia orgánica, puede ayudar a los suelos a mantener altos niveles de productividad en forma más sostenida que con la simple utilización de fertilizantes químicos. La descomposición de residuos de las plantas y sus raíces aportan grandes cantidades de materia orgánica a la fracción estable o humus. Las condiciones de humedad, temperatura y aireación favorecen el desarrollo de microorganismos que conducen tanto el flujo de pérdida o de respiración, así como de ganancia o humificación. Indistintamente del tipo de residuo vegetal o la naturaleza del substrato a descomponer, el producto final obtenido después de la humificación es bastante semejante en su composición (UC 1989). En sentido amplio la materia orgánica de los suelos esta constituida por un continuo que va desde los materiales vegetales frescos sin descomponer, ej hojas, hasta cadenas transformadas y estables como ácidos húmicos (Alvarez, Steinbach, 2006). En términos generales el húmus se usa para referirnos solo a la materia orgánica bien transformada de él suelo, la cuál si bien se descompone a tasas mas lentas tiene gran capacidad para mantener a los cationes de una manera que los hace disponibles para las plantas, lo

que se conoce como capacidad de intercambio de cationes (CIC). El humus tiene muchas cargas negativas y estas cargas opuestas atraen a las cargas positivas de nutrientes, como calcio (Ca^{++}), potasio (K^{+}), magnésio (Mg^{++}). Los nutrientes liberados por los residuos también se tornan disponibles en los cultivos subsiguientes. Las condiciones de uso de los agro-ecosistemas y sus manejos agronómicos llevan a la descomposición de la materia orgánica tanto de aquellas fracciones más lábiles como de las más pesadas o estables, siendo posible actualmente separar estas fracciones por métodos granulométricos y todas ellas tienen diferentes tasas de descomposición y transformación. La materia orgánica representa una pequeña fracción en porcentaje de los suelos, em general entre 1 a 6%, pero contribuye a la estabilidad de los agregados, la porosidad, el almacenamiento de agua útil, la capacidad de intercambio catiónico (Sasal *et al*, 2000), y en especial en la disponibilidad de nitrógeno, lo que incide en los niveles de nitrógeno mineral a la siembra o inicio de cultivos. Sin embargo la parte viva de la materia orgánica del suelo incluye una amplia variedad de microorganismos, como bacterias, virus, hongos, protozoos y algas. Incluso incluye raíces de plantas, insectos, lombrices y artrópodos más grandes, en un gradiente que vá desde pocos micrones hasta los 5 cm, los que pasan su ciclo de vida en el suelo. La parte viviente representa aproximadamente 15% de lá materia orgánica total del suelo pero las interacciones de estas fracciones con los residuos vegetales és muy grande. Por ejemplo resíduos frescos, ricos en nitrógeno, que se descomponen rapidamente proveen abundantes nutrientes al micélio e hifas de hongos que unen partículas de suelo, así como también lá secreción bacteriana de gomas hace de cementante entre partículas. Estas sustancias adhesivas producidas también por lombrices ayudan a lá unión de agregados. Esto permite estabilizar los agregados del suelo, formando grupos que hacen a la buena estructura del suelo y por lo tanto, mejoran el contenido hídrico y agua del suelo. Las raíces de las plantas también interactúan de manera significativa con los diversos microor-

ganismos y animales que viven en la tierra. Otro aspecto importante de los organismos del suelo es que establecen una lucha biológica constante entre ellos, lo que favorece la regulación funcional de variados grupos funcionales en los agroecosistemas (Magdoff & Van Es, 2009). Otros residuos de menor contenido de nitrógeno se descomponen más lentamente y favorecen las características físicas, la elasticidad del suelo mejorando la infiltración y aireación. Una multitud de microorganismos, lombrices de tierra e insectos obtienen su energía y nutrientes al descomponerse residuos orgánicos en los suelos. Al mismo tiempo, gran parte de la energía almacenada en los residuos es utilizada por los organismos para hacer nuevas moléculas químicas, así como nuevas células. La fotosíntesis permite a las plantas acumular gran cantidad de sustancias carbonadas, y también algunas como las leguminosas pueden fijar nitrógeno atmosférico en los nódulos de sus raíces. La dinámica de los residuos de plantas implica conocer la dinámica de la descomposición y el ciclado de nutrientes. En el caso de leguminosas que son plantas de baja relación C/N, la tasa de descomposición es alta y la rapidez hace que exista gran liberación de nutrientes y de nitratos en el proceso. Otras plantas como las gramíneas de más lenta descomposición en algunos casos permiten calcular mejor el sincronismo entre la liberación de minerales de los residuos y la absorción del cultivo subsiguiente.

Posteriormente la mineralización es el proceso como es denominado la transformación de los componentes de los residuos orgánicos en los inorgánicos y a su vez esto implica procesos de respiración microbiana, como de síntesis y resíntesis de otras sustancias orgánicas.

Otro factor importante determinante en la transformación de los residuos en materia orgánica es el factor climático ya que en climas tropicales, la posibilidad de aportes de biomasa aérea es más importantes y continua durante todo el año, mientras que en climas templados existe mayor estacionalidad en la producción de cultivos. La temperatura, humedad y diferentes aportes de materia orgánica al

sistema determinan también las velocidades a que los residuos se descomponen, se acumulan o transforman en el suelo. En el **Tabla 2**; adaptado de Paul y Clark (1996), se observa en tres agroecosistemas diferentes, que para un peso de suelos bastante semejante en términos de capa arable, las reservas de carbono y nitrógeno entre el clima tropical Brazil y más templado de UK son bastantes semejantes, pero siendo mucho más altas en el clima más frío de Canadá (65 Mg/ha vs 26 Mg/ha). Sin embargo en el clima tropical el input de carbono en aportes de vegetación es mayor (13 Mg/ha/año vs 1,2 Mg/ha/año) y con una capacidad de recambio de la biomasa microbiana en el tiempo o "turnover microbiano" mucho más rápido (0,24 años vs 6,8 años). En las dos últimas filas se observa el mayor flujo de nitrógeno a través de la biomasa microbiana (350 kg/ha/año vs 34 kg/ha/año) y la mayor extracción por parte del cultivo (220 kg/ha/año vs 24 kg/ha/año) en el cultivo de caña en Brasil.

La descomposición de residuos y su aporte de nutrientes

Según (Aita *et al*, 2014) en los sistemas agrícolas los residuos culturales, de cultivos comerciales, plantas espontáneas y abonos verdes o de cultivos de cobertura, constituyen la principal fuente de energía y nutrientes para los organismos del suelo. Los microorganismos heterotróficos de la biota del suelo toman los nutrientes de los residuos y a su vez también van descomponiendo a los mismos. Dentro de los principales factores abióticos, los sistemas de labranza y métodos de preparación del suelo condicionan la velocidad con que los residuos se transforman y descomponen en el suelo. Del punto de vista de la velocidad de descomposición de residuos, si la misma es muy rápida y a tasas muy elevadas puede implicar pérdidas de nutrientes que no pueden ser adsorbidos en la matriz coloidal del suelo. Por otra parte una velocidad de descomposición lenta en la sucesión de cultivos puede impedir una disponibilidad inmediata, lo que lleva a la ne-

cesidad de aumentar el uso de nutrientes por otras vías de aporte externos. Por eso en la planificación de antecesores es necesario trabajar con varios grupos o familias de plantas de abono o cobertura en el tiempo o espacio, en la medida de poder sincronizar la liberación de nutrientes necesaria, la cinética de absorción de los cultivos subsiguientes y el mantenimiento de la cobertura de suelo deseable por varios motivos que hacen a la regulación funcional del sistema agrícola. Incluso la inclusión de plantas de variadas características en cultivos en consorcio es uno de los grandes desafíos para promover el ciclado de nutrientes y complementar la fijación biológica en algunas épocas (ej, leguminosas) y el incremento de biomasa en otras (gramíneas). También es importante tener presente que la descomposición de residuos es llevada a cabo por grupos de enzimas presentes en los microorganismos de la biota del suelo que actúan sobre los compuestos orgánicos acumulados por las plantas durante la fotosíntesis, que luego son residuos. Esto lleva a los residuos en los suelos a ser sometidos a dos vías, una catabólica de acumulación de energía en la transformación de nuevas cadenas carbonadas, hasta la producción final de CO₂ y otra anabólica donde una parte de los compuestos modifica-

dos por descomposición también se incorporan a la biomasa microbiana, para formar nuevas células, las que en su parte final de la transformación forman compuestos estables o sustancias húmicas. Los macronutrientes carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), todos forman parte de estructuras y moléculas orgánicas y en este balance entre respiración o humificación se liberan al medio cantidades importantes de NH₃, PO₄, SO₄, proceso conocido como mineralización. Es decir que además de la importancia de factores climáticos, la naturaleza del sustrato a descomponer y los factores físicos cuanto al tamaño de partícula hacen a la susceptibilidad del ataque microbiano. Por ejemplo el tipo de fraccionamiento y acondicionamiento mecánico que se haga del residuo orgánico con las maquinarias (ej, rolos, desmalezadoras, discos), influenciara en mayor o menor medida la tasa de descomposición. También el efecto no es solo mecánico, sino también existe un fraccionamiento biológico por parte de la fauna de suelo, insectos, ácaros, artrópodos que cortan el material haciéndolo más disponible al ataque microbiano, del cual participan hongos y bacterias. Otro importante factor es la calidad del residuo, cuanto a su composición química, en la predominancia en el tejido vegetal de polisacári-

Determinación	UK	Canada	Brasil
Peso de capa arable Mg/ha	2200	2700	2400
Carbono orgánico Mg/ha	26	65	26
C inputs Mg/ha/año	1.2	1.6	13
Turnover de carbono del suelo (años)	22	40	2
Carbono en la biomasa microbiana kg/ha	570	1600	460
Nitrogeno en la biomasa microbiana kg/ha	95	300	84
Turnover microbiano (años)	2,5	6.8	0.24
Flujo de nitrógeno en la biomasa microbiana kg/ha/año	34	53	350
Extracción de nitrógeno por cultivo (kg/ha/año)	24	40	220

Tabla 2: Carbono y Nitrógeno “turnover” en tres diferentes ecosistemas, Rothamsted UK en trigo continuo sin fertilización, Wester Canadian en barbecho desnudo de trigo y caña de azúcar en Brasil. Adaptado de Paul & Clark (1996)

dos, celulosa, hemicelulosa, ligninas, proteínas, sustancias solubles, azúcares, aminoácidos. Por último es determinante la composición bioquímica del residuo en relación al momento fenológico y la edad de planta. En general cuanto más próximo a él final del ciclo vegetativo, presentan mayores porcentajes de celulosa y lignina en su composición (Wagner *et al*, 1989). A medida que disminuye el tenor de compuesto solubles y nitrogenados, y aumenta la lignina existirá menor tasa de descomposición de los residuos, por eso las plantas jóvenes liberan más nutrientes y dejan menor acumulación de residuos en el tiempo. La elección de un cultivo antecesor presenta siempre soluciones de compromiso cuanto el efecto esperado de liberación de nutrientes para el cultivo subsiguiente y la cobertura residual que pueda dejar efectos benéficos al suelo en el tiempo. La lignina es reconocida como una sustancia recalcitrante, lo que se debe a la estructura de anillos aromáticos de difícil ataque microbiano, pero puede jugar un rol fundamental en suelos degradados que necesitan recuperar o heredar nuevamente propiedades físicas deseables, a través de un acúmulo constante de materia orgánica de más lenta descomposición. Otro grupo químico de importancia en los estadios fenológicos avanzados de las plantas lo constituyen los polifenoles, que pueden complejar el nitrógeno evitando pérdidas y a su vez liberando metabolitos secundarios que previenen el ataque de herbívoros o patógenos. Por ello la elección del cultivo antecesor de cobertura, no solo implica conocer la relación carbono/nitrógeno del material, sino también tener en consideración las características estructurales químicas y bioquímicas del material vegetal una vez cortado o incorporado. En relación con esto Holland & Coleman (1987) verificaron que la proporción de hongos y actinomicetes en la biomasa microbiana, era superior a la de bacterias, cuando los residuos eran cortados y dejados en superficies. Cuando los residuos son incorporados el mayor contacto del material, vegetal, suelos, favorece a los microorganismos, consumiendo más nitrógeno de forma mineral del suelo. De todas las variables la velocidad

y su tasa de descomposición también estarán muy relacionadas con la naturaleza y características del sustrato. Sin embargo la mayoría de los estudios de la descomposición son realizados en macetas o invernáculos, y en la condición de campo, existen otras interacciones con las plantas de cultivos, que crecen luego o dentro de la cobertura de residuos e influyen también la velocidad de descomposición del sustrato.

Los cultivos presentan grandes necesidades de macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), y más de un 90% de los mismos se encuentra en complejo con moléculas orgánicas, siendo solamente la pequeña fracción mineralizada por los microorganismos la disponible a las plantas (Camargo *et al*, 1989). La mineralización de nitrógeno del suelo y residuos es una vía tan importante en términos de aportes e incluso a veces superior a la fijación de nitrógeno. La cantidad de material remanente en cobertura de otoño invierno también es muy variable con las familias botánicas. En general las leguminosas como vicia y arveja, disminuyen hasta un 60% en términos de materia seca luego de 30 días de permanencia en el campo, mientras que para el mismo período aún 90% de la materia seca de gramíneas como avena están presentes. Muchos estudios analizaron la tasa de descomposición, la liberación de nutrientes y el efecto en cultivos subsiguientes (Aita & Giacomini, 2003). De modo general el consorciar plantas de leguminosas y gramíneas resultó en los mejores efectos comentados, como así en una menor pérdida de nutrientes por lixiviación. Incluso en experimentos de largo plazo Zanatta *et al* (2007), después de 18 años de aportes en la secuencia de consorcios, avena-vicia, seguida de maíz-cuapí, esto llevó a aumentos del stock de carbono total de 2 tn/ha respecto de los testigos. Como conclusión cualquier planificación de cultivos antecesores debe tener en cuenta la composición de la fracción orgánica de los residuos y la dinámica del carbono en los diferentes tipos de climas y suelos. Intensificar los estudios de consorcios de leguminosas con gramíneas favorecerá una gran cantidad de interacciones bio-

lógicas así como una disponibilidad sostenida de nutrientes en el tiempo.

Cambios importantes en la Biota del suelo por aportes de residuos de cultivos de cobertura y abonos verdes

Según Mascarenhas & Wutke (2014) los abonos verdes o cultivos de cobertura son una práctica eficaz como aporte de materia orgánica al suelo, ya que tanto en extensas áreas de cultivos como en pequeños agricultores realizan aportes elevados de macronutrientes debido el tenor de compuestos orgánicos e inorgánicos en su biomasa verde. En el caso de leguminosas esto se ve acrecentado por la fijación biológica de nitrógeno, a través de bacterias formadoras de nódulos en los sistemas radiculares, los que a su vez extraen nutrientes de los horizontes sub-superficiales absorbidos en las capas más profundas y los liberan en superficies cuando los residuos son descompuestos. El uso de especies de cobertura de suelos en sistemas agrícolas se ha tornado un factor clave en mantener la calidad de suelos y propiciar efectos favorables y medibles en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. La repercusión en la acumulación de materia orgánica tiene efectos deseables en los cultivos subsiguientes (Roscoe *et al*, 2006; Ferreira *et al*, 2012; Correa *et al*, 2014; Carvalho *et al*, 1999). Según Gomes da Silva *et al*, 2015, el carbono de la biomasa microbiana constituye un reservorio importante de nutrientes disponibles para las plantas representando la fracción más activa de la materia orgánica. Esta es responsable por la descomposición de residuos orgánicos, debido a su importancia en el ciclado y flujo de energía dentro del suelo (Cunha *et al*, 2011). Algunas coberturas verdes pueden favorecer mejor el desarrollo de la biomasa microbiana, brindando al suelo un estado de salud en analogía a lo que sucede con esta variable en ecosistemas naturales sin disturbios. En suelos sobre monte, pastizales, vegetación nativa, los valores de biomasa microbiana son altos, en la medida que son sistemas en que su forma inalterada, no pre-

sentan situaciones de stress, en lo cual la biomasa microbiana, es un indicador sensible. La utilización de leguminosas como fuente de abonos verdes ha sido muy utilizada en sistemas agroecológicos, promoviendo cambios significativos en la biomasa microbiana del suelo, su actividad y sus valores de referencia pueden en casos aproximar a los tenores encontrados en sistemas de vegetación nativa inalterados (Duarte, *et al*, 2014; Gomes, *et al*, 2014; Merlin, *et al*, 2005). Los efectos de las especies de cobertura en la biomasa microbiana de suelo son diferentes entre si (Balota, *et al*, 1998) y a pesar de su importancia, poco se sabe aún de la interferencia de la cobertura en la actividad de la biomasa microbiana del suelo. La proporción de leguminosas y gramíneas consociadas en diferentes mezclas de cultivos de cobertura, puede hacer también variar las comunidades y poblaciones de microorganismos por los diferentes tipos de sustratos. Otro indicador sensible son los coeficientes metabólicos que expresan la relación de C respirado / C en Biomasa, el cual es un indicador sensible al aumentar porque expresa mayor respiración de CO₂ por unidad de carbono, incremento que no es deseable, ya que implica menor retención de carbono en la biomasa de microorganismos y menor posibilidad de captura en la materia orgánica del suelo. Duarte *et al* (2014) en experimentos de diferentes coberturas de leguminosas de especies utilizadas como abonos verdes: *crotalaria* (CJ), *feijão-de-porco* (FP), *mucuna-preta* (MP), *milheto* (MI) y *gandu* (G), comprobó que los coeficientes metabólicos del suelo en CJ y FP se asemejaban a la vegetación natural (VN), siendo todos estos a su vez menores a las situaciones de barbecho (B) de mayores valores, lo que indicaba suelos más perturbados o en estado de stress. También en otro experimento encontró que las mezclas y consorcios de gramíneas y leguminosas entre MP y MI no siempre llevaban a situaciones de menores coeficientes metabólicos y estabilidad, presentando MP sola menores coeficientes metabólicos que MI milheto, lo que demuestra la importancia de muchas leguminosas en incrementar la biomasa microbiana y evitar situaciones de stress provocadas por largos barbechos descubiertos. Qi-

Song *et al* 2016 ; en un sistema de cultivos intercalados de maíz con maní encontraron ventajas de rendimientos significativos respecto de monocultivos. Además los microorganismos del suelo se vieron afectados por las plantas y el diseño de cultivos consociados. En un experimento de maíz/maní evaluaron el cambio en la rizosfera y la composición de la comunidad microbiana, su relación con las actividades enzimáticas y las comunidades microbianas del suelo a través de ácidos grasos en fosfolípidos (PLFA). Encontraron en los consorcios valores más altos de disponibilidad de nutrientes en nitrógeno y fósforo, actividades enzimáticas, ureasa y fosfomonoesterasa del suelo. Los hallazgos sugieren que las interacciones subterráneas en el sistema de cultivos intercalados de maíz/maní desempeñan un papel importante en el cambio de la composición microbiana del suelo y la especies microbianas, que están estrechamente relacionadas con la mejora de los nutrientes nitrógeno y fósforo disponibles en el suelo y las actividades enzimáticas. En ensayos de campo Thomazini *et al* (2015) investigaron los efectos de los sistemas de hortalizas orgánicas con labranza cero sobre los cambios en la materia orgánica del suelo. La rotación de cultivos comprendió una secuencia de cultivo de 3 años que implicaba dos cosechas por año: repollo (*Brassica oleracea* L.) en invierno y berenjena (*Solanum melongena* L.) en verano. Los tratamientos fueron la labranza cero con mantillo de gramíneas (*Avena strigosa* Schreb y *Zea mays* L.), leguminosas (*Lupinus albus* L. y *Crotalaria juncea* L.), cultivos intercalados de gramíneas y leguminosas y labranza convencional (sin mantillo muerto) con azada rotativa dispuestos en un diseño de bloques. Después de 3 años el carbono orgánico total varió de 34.94 a 50.48 g kg⁻¹ en cobertura de gramíneas y leguminosas y en laboreo convencional cambio de 27.11 a 43.74 g kg⁻¹. Encontraron mayor cantidad de C en el mantillo de cultivo consociado y en la labranza convencional valores menores de C lábil mientras que el C recalcitrante fue más alto en el tratamiento consociado. Según Cunha *et al* 2011, el mayor valor de CBM en áreas de vegetación inalterada en montes y pastizal,

es un reflejo de una gran diversidad de sustratos, que permite una intervención de microorganismos y microfauuna de modo asociado. La mayor cantidad de CBM refleja la presencia de mayor cantidad de materia orgánica activa en el suelo, capaz de mantener elevada a tasa de decomposición de los restos vegetales y por lo tanto reciclar más nutrientes que se aporta en estos sistemas. Sin embargo en las vías posteriores a la descomposición, pueden intervenir otros factores bióticos, abióticos, antrópicos, que hagan que favorezcan que esta biomasa activa sea incorporada a la materia orgánica del suelo o respirada con altos output de salidas de CO₂ del sistema. De modo general en gran cantidad de trabajos y bibliografía, la ventaja de consociar gramíneas y leguminosas, no solo estaría en favorecer una mejor descomposición del sustrato antes del cultivo subsiguiente, sino también favorecer un desarrollo mayor de la biomasa microbiana, que al ser menos respirada baja los coeficientes metabólicos del suelo. El sistema así presenta un gasto de energía basal menor de mantenimiento que le permite aumentar y cumplir mejor muchas funciones en el reciclado de nutrientes.

Diversificación de cultivos antecesores y cultivos consociados como herramientas claves de la diversificación productiva y su ubicación en la rotación.

En sistemas agroecológicos en transición la disponibilidad de nitrógeno puede ser limitante y lleva a los cultivos de granos a disminuir el potencial de producción y la concentración de proteínas. Este proceso aún es más intenso, en ausencia de rotaciones ganaderas, por ello la integración de leguminosas en rotación con sus residuos de alta descomposición y su mecanismo de fijación de nitrógeno permite mejorar el balance y provisión de este nutriente. La práctica habitualmente llamada en la literatura como “intercropping” o cultivos consociados o compañeros por los mismos agricultores, es una práctica que hace a la multifuncionalidad de

estos sistemas y permite la mejora de rendimientos (Bedoussac *et al* 2014). También las ventajas de estos reconocidos diseños agronómicos hoy adaptados a los problemas de la agricultura actual, brindan una herramienta más en la planificación de rotaciones, mejorando la conservación del suelo, favoreciendo la supresión de plantas malezas competidoras y patógenos, ayudando a incrementar la resistencia horizontal a patógenos y muchos otros procesos de regulación. En climas templados el otoño invierno y la primavera verano, son dos estaciones bien marcadas en la vida del suelo, con sus correspondientes picos de actividad biológica. La demanda de nitrógeno en cultivos de granos de invierno en épocas frías puede incrementarse, por el bajo ritmo de mineralización del suelo. El aporte de abonos orgánicos compostados en la época fría puede suplir los déficit pero con consiguientes problemas de lixiviación de nitratos, sin embargo consociaciones como el trigo y arveja, (*Triticum aestivum* y *Pisum sativum*), han conseguido alcanzar rendimientos en grano y proteína similares a aquellos realizados en monocultivo con fertilizantes de síntesis. La complementariedad interespecífica de estas consociaciones de gramíneas y leguminosas con arquitectura diferentes de cultivos y ciclos de vida, hace que mejoren factores como la interceptación de luz, con un incremento de biomasa en el canopeo y mayores rendimientos de ambos. Una hipótesis formulada dice que las legumbres son forzadas a ser más eficientes en la fijación asimbiótica del nitrógeno en la medida que los cereales demandan y compiten intensamente por el nitrógeno mineral del suelo, en especial en las capas superficiales de los horizontes del suelo, donde la fijación es mayor. También otra explicación es que la complementariedad de cultivos actúa más eficientemente en situaciones de suelos de baja disponibilidad de nitrógeno mineral, más frecuentes en el inicio de los sistemas agroecológicos en transición. De una u otra forma la transferencia de nitrógeno de la leguminosa a la gramínea puede significar hasta un 15% del nitrógeno de cultivos en consociación de cebada y arveja. Las gramíneas también brindan en esta consociación, efectos

favorables en la medida que las leguminosas no son buenos competidores de malezas y espontáneas, y bajas proporciones de especies como la cebada en las mezclas, brindan por su rusticidad mejor competencia por recursos. Nitrógeno y luz son dos importantes factores que dan mejores resultados en la consociación de gramíneas con leguminosas que en sus monocultivos respectivos. La complementariedad y exploración de nichos, espaciales, temporales y fisiológicamente distintos, también está muy registrada en climas subtropicales y en cultivos estivales, ejemplos como consociaciones de mandioca y maíz, maíz y caupí son frecuentes y consisten en la base de sistemas agroecológicos de agricultura familiar con plantas de C3 y C4 integradas a sus sistemas de cultivos (Silveira *et al*, 2002). Estos amplían la diversidad biológica, la oferta alimentaria y los recursos financieros de pequeñas propiedades y en el caso especial de especies como *Phaseolus vulgaris*, de nombre común poroto o frijol, presentan buena adaptación y tolerancia a crecer en consorcio con especies como, maíz, mandioca, caña de azúcar debido a su ciclo corto. El bajo punto de saturación lumínica de *Phaseolus* le permite adaptar su producción aún con 1/3 de la luz solar máxima y hay fuertes indicaciones que aseveran que la reducción de la tasa respiratoria, es el factor primario que le permite adaptarse al sombreado. Según Lopes *et al* (1982) la planta de Poroto o caupí, se adapta a condiciones de sombreado incrementando el área foliar, a pesar de su menor acumulación de materia seca y promoviendo tallos más largos en razón del aumento del nivel de auxinas. En términos generales en consorcios con maíz, (Vieira, *et al* 1980) en diferentes densidades de 20 a 60 mil plantas, las respuestas adaptativas varían poco con los diferentes cultivares y localidades y los rendimientos de maíz no se ven afectados en el consorcio, mientras que *Phaseolus*, si se ve comprometido sus rendimientos solo en altas densidades de maíz. De modo general, a pesar de los diferentes arreglos de espacios en una o dos hileras de por medio, las altas densidades de maíz superiores a 60.000 plantas/ha no permiten aprovechar las ventajas del consorcio,

de igual forma que las densidades superiores a 120.000 plantas de *Phaseolus* en consorcio disminuyen los rendimientos. Otras leguminosas también pueden ser combinadas entre las hileras de cultivos de verano como maíz, y otras hortalizas. La *Mucuna sp*; la *Canavalia*, el *Guandu* y algunas variedades de *Glycine*, aumentan la disponibilidad de nitrógeno, lo que impacta favorablemente en los rendimientos de maíz. Estas plantas de cobertura pueden ser sembradas a partir del estado de cuatro a ocho hojas del maíz o en la entrefila o hileras de por medio. En una experiencia (Da Paz *et al*, 2017) se constató que los arreglos de cultivos consociados con leguminosas tales como; maíz con *Canavalia ensiformis*; maíz con *Crotalaria juncea*; maíz con *Mucuna*, maíz con *Vigna unguiculata* sembrados 30 días después de la siembra de la cultura principal de maíz no afectaron los componentes del rendimiento de maíz con relación al monocultivo de maíz. Las variables evaluadas altura de plantas a los 60 días después de siembra de maíz, inserción y tamaño de la espiga, cantidad de hileras de granos por espiga, peso de 100 granos y la productividad (kg ha⁻¹), no afectaron el desempeño de maíz y el maíz consociado con *Crotalaria juncea* alcanzó mayor productividad en relación al monocultivo de maíz. Muchos ejemplos agrícolas sugieren que la diversificación puede jugar un papel fundamental en el agroecosistema, pero la mayoría de estos ejemplos son de comparaciones o rotaciones en sistemas agrícolas tropicales y de agricultura familiar, donde especialmente los cultivos consociados juegan una importante función. Sin embargo en agricultura de más larga escala, mecanización y rotaciones, son más complejas y otro importante aspecto en la diversificación, es considerar como aumentan el número de especies en el tiempo, es decir como a partir de monocultivos incrementar las secuencias de otros cultivos claves y cultivos puentes de cobertura verde durante la rotación. El concepto clásico de la rotación agrícola de granos y pasturas, jugó un rol destacado en mantener la fertilidad del suelo. Pero a su vez Smith *et al* (2008) encontraron que la alternancia en la rotación de

cultivos agrícolas maíz, trigo, soja, sumado a cultivos puentes de cobertura de gramíneas y leguminosas de *Trifolium pratense*, *Trifolium incarnatum*, *Secale cereale L* en diferente intensidad, permitió ventajas importantes al cultivo de maíz que presentó rendimientos superiores al monocultivo, con aprovechamiento eficiente del nitrógeno, y efectos supresores sobre la biomasa de malezas. En este experimento las leguminosas, demostraron un rol clave como cultivos puentes, al final de los ciclos de maíz y soja. Las leguminosas tuvieron efectos particularmente importantes sobre las funciones del agro-ecosistema que influyeron en los rendimientos del maíz, suponiendo que las mismas pueden tener aún mayor potencial para influir en el ecosistema en procesos de regulación de sistemas agrícolas donde grandes cantidades de nitrógeno se exportan anualmente a través de la cosecha. La diversificación de cultivos en las rotaciones también podrían ser una alternativa viable para promover retroalimentaciones positivas entre la biota del suelo y las propiedades del suelo. D'Acunto *et al* 2018 investigaron el impacto de la diversificación de rotaciones de cultivos en la composición funcional y la diversidad de las comunidades bacterianas heterótrofas del suelo. Estudiaron tres rotaciones frecuentes con un número total de cultivos que fueron desde dos hasta cuatro. Antes del experimento, todas las parcelas se cultivaron con soja. En el primer experimento las secuencias de cultivo fueron (1) barbecho / soja, (2) cebada / soja y (3) arveja / maíz. En el segundo año, todas las parcelas fueron sometidas a una doble cosecha de trigo / soja. La rotación más diversa fue arveja/maíz, trigo/soja, mostrando la posición más alta en biomasa y residuos y la comunidad microbiana del suelo más metabólicamente diversa y activa. Los resultados revelaron que la rotación de cultivos afecta la diversidad y actividad bacteriana metabólica del suelo. La rotación más diversa (cuatro cultivos diferentes) tenía también los microorganismos más diversos y activos en la biota del suelo, concomitantemente con una mayor producción de biomasa vegetal y pH del suelo.

Modelos de crecimiento y sistemas de producción : el caso del cultivo de Batata

La batata es una especie que se adapta a numerosos sistemas de producción. Es rústica, se ajusta a diferentes condiciones ambientales, y rinde aceptablemente en sitios donde otros cultivos necesitan fertilizantes para prosperar. Se lo considera un cultivo amistoso con el medio ambiente, pues cubre rápidamente el suelo protegiéndolo de la erosión, puede cultivarse sin el uso de agroquímicos, y al cosecharse se incorpora la parte aérea al suelo, lo que constituye un importante aporte de materia orgánica que ayuda a mantener la fertilidad (Martí, 2008). Todo ello, sumado a sus altas propiedades nutritivas y saludables lo hacen un cultivo ideal para planteos de bajos insumos y/u orgánicos. La gran adaptabilidad de la batata a diferentes situaciones se debe en parte a su amplia variabilidad en la mayoría de sus caracteres. La batata tiene tres fases de crecimiento (Martí et al., 2014). En la primera fase o implantación (desde el inicio del cultivo hasta 15 días después de la plantación) se produce el crecimiento radicular y se desarrollan raíces adventicias que fijan la planta al suelo. En esta fase se define el número final de batatas, que dependerá de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, relación K/N y oxigenación). En la segunda fase o de crecimiento foliar, se registra un mayor crecimiento de la parte aérea sobre la radicular y comprende el periodo desde el fin de la primera fase hasta la mitad del ciclo. Al final de esta fase aproximadamente el 60% de la materia seca está distribuida en la parte aérea, y el 40% restante en la radicular. La tercera fase es la de formación de las batatas o engrosamiento de las raíces de reserva, y se completa en la última mitad del ciclo del cultivo. Al final de esta fase se invierte la relación de distribución de la materia seca: 60% se encuentra en las raíces tuberosas, y 40% en hojas y tallos. Sin embargo, debido a la alta variabilidad mencionada anteriormente, diferentes cultivares pueden tener diferentes longitudes de ciclo y hábito de crecimiento, haciéndolos más o menos favorables para

diferentes sistemas de producción. De acuerdo a su ciclo de crecimiento, los cultivares de batata se pueden clasificar en cortos o tempranos (12 a 17 semanas de trasplante a cosecha), medios (17 a 21 semanas) y largos o tardíos (más de 21 semanas) (Ravi and Indira, 1999). Dentro de estos tipos hay a su vez diferencias en el patrón de crecimiento de la raíz tuberosa. Los cultivares de alto rendimiento tienen una alta tasa de crecimiento (“llenado”) de la raíz tuberosa durante un período de tiempo largo, mientras que los cultivares de rendimiento mediano a bajo la alta tasa de crecimiento se da solo en un período corto de tiempo; o bien tienen una tasa de llenado baja durante un período largo de tiempo.

Sistemas de producción

Por ser un cultivo rápido, y capaz de producir grandes cantidades de materia seca por unidad de área, la batata es utilizada en el mundo en numerosos sistemas de producción. En algunos casos la batata se utiliza en rotaciones, o para controlar la erosión, o para alimentar animales, e incluso como abono verde. Los principales sistemas de producción de los que participa la batata son los siguientes (Nedunchezhiyan et al., 2012).

Rotaciones

La batata es utilizada en diferentes sistemas de rotaciones con otros cultivos, ya sea para reducir la incidencia de plagas animales y enfermedades, para aprovechar diferentes condiciones climáticas, para manejar la fertilidad del suelo, etc. En China, la batata es rotada con trigo, cultivándola en verano cuando las lluvias no son suficientes para trigo pero sí para batata. En Taiwán la batata es parte de un sistema de rotaciones con arroz, caña de azúcar y maní o soja. En ese sistema la batata es plantada un mes antes de la cosecha del arroz (“relay cropping”). En otros países como Indonesia y la India también

es rotada con arroz. En Japón los mismos autores destacan que la batata en rotación con *Lolium multiflorum* aumentaba su rendimiento probablemente por el mayor contenido de potasio del suelo luego del cultivo de *L. multiflorum*. En India el cultivo de batata entre dos ciclos de arroz contribuye a reducir la infestación del taladrillo de la batata (*Cylas formicarius*), la plaga animal más importante de la batata a nivel mundial. En Nigeria se determinó que la rotación con poroto mucuna (*Mucuna spp.*) aumentaba el rendimiento de batata luego de dos ciclos de mucuna. En Papua Nueva Guinea la rotación de batata con maní y poroto alado (*Psophocarpus tetragonolobus*) contribuye a mantener la fertilidad y reducir plagas y enfermedades. En Argentina, en el noreste de Buenos Aires es común rotar la batata con trigo, soja, maíz, y sorgo de escobas. Este último en algunos casos es utilizado como abono verde (Gonzalez et al., 2009). En el mismo estudio (Gonzalez et al., 2009) se determinó que el cultivo antecesor (Soja, maíz, trigo, sorgo de escobas o abono verde) no afectó el rendimiento ni el contenido de nutrientes del suelo y las hojas de la batata. En Tucumán se está difundiendo entre pequeños productores la rotación con caña de azúcar o tabaco (Cusumano y Zamudio, 2013).

Cultivos intercalados

En diversas partes del mundo, especialmente en África, Latinoamérica y el Sudeste asiático, es común el cultivo de batata intercalado con otras especies, principalmente por pequeños productores (Nedunchezhiyan et al., 2012). Con el intercalado se busca aumentar la productividad (y la rentabilidad) por unidad de área, aunque el rendimiento de los cultivos individuales pueda bajar comparado con el que se obtiene cultivándolos solos. También se pretende disminuir el riesgo de pérdida por contingencias climáticas o ataque de plagas animales y enfermedades. En algunos casos los cultivos intercalados proveen una mejor cobertura y el sistema contribuye a evitar la erosión del suelo. En otros

casos la asociación de cultivos permite controlar mejor alguna plaga de uno de ellos. Por ejemplo, intercalada con maíz, la batata logró aumentar la población de un insecto que es enemigo natural de una plaga del maíz (Nafus and Schreiner, 1986); mientras que en otro trabajo (Yaku, 1992), al intercalar batata con maíz, soja, y ambos a la vez se logró disminuir el número de tubérculos dañados por el taladrillo de la batata (*Cylas formicarius* (F.)), y se aumentó la diversidad de insectos benéficos. Por su parte, Byamukama et al. (2007) hallaron que el número de moscas blancas (*Bemisia tabaci*), vectores de virus que causan una importante enfermedad, era menor cuando se intercaló batata con maíz, comparado con el obtenido cuando se cultivó batata sola. El intercalado de cultivos requiere un manejo muy ajustado de las labores para que las efectuadas en un cultivo no perjudiquen al otro. La batata se intercala con muchos cultivos en diferentes partes del mundo (Nedunchezhiyan et al., 2012): taro, ñame, mandioca, tomate, poroto, maíz, etc. Se han reportado casos de rendimientos de batata menor, igual o mayores al intercalarla con otros cultivos. Byamukama et al. (2007) determinaron que el intercalado de maíz con batata no disminuyó el rendimiento de ninguno de los dos cultivos.

Ossom y Nxumalo (2003) reportaron que los rendimientos de caupí, maní o poroto disminuyeron al ser intercalados con batata, mientras que los de batata hicieron lo propio, salvo cuando se intercalaron con maní, con el que registraron un aumento del 9%. Alhassan (1988) halló que tanto la consociación con maíz como con caupí disminuía el rendimiento de batata, y el efecto era menor con el maíz. En asociaciones con soja la batata disminuyó más del 50% de su rendimiento cultivada sola, independientemente de la variedad (Engbe y Osang, 2015). También se mencionan beneficios logrados al intercalar batata con otros cultivos, como mantener la humedad del suelo y agregarle materia orgánica. Cuando se la intercala entre surcos de maíz actúa como un "mulch", minimizando la evaporación del suelo, disminuyendo el escurrimiento superficial o incrementando la infiltración

(Nedunchezhiyan et al., 2012). En otros casos se ha mencionado que otros cultivos (arroz, mijo, maíz, guandú) intercalados con batata rindieron más que cuando se los cultivó solos (Nedunchezhiyan et al., 2012). La densidad y la geometría de la plantación son importantes para lograr mejores resultados. Es necesario ajustar la densidad y el espaciamiento de los cultivos para disminuir la competencia. Generalmente hay que plantar a la batata y el cultivo asociado a menor densidad, pero esto se debe determinar para cada situación (ambiente) en particular. Por ejemplo, en África se halló que la más alta “relación equivalente de suelo” (LER en Inglés, por Land Equivalent Ratio) en la asociación de batata con maní se daba bajando la densidad habitual para batata (Ossom *et al.*, 2009). Islam *et al.* (2014) demostraron que el rendimiento de batata y maíz asociados depende de la distribución espacial en el suelo, siendo mayores cuando la distribución lograba una mayor iluminación de la batata, y que esta permitía reducir la pérdida de agua y la infestación con malezas. También el momento de la plantación es importante. En algunas asociaciones de cultivo con batata se demora la plantación de ésta para permitir un mejor arranque del cultivo asociado (Nedunchezhiyan et al., 2012). Otro factor a tener en cuenta es la variedad de batata, dado que la variabilidad en la especie es muy alta para la mayoría de los caracteres. Por ejemplo, para asociaciones de batata con maíz potencialmente serían más útiles las variedades tolerantes al sombreado (Nedunchezhiyan et al., 2012). En algunos casos hay efecto de la variedad de batata utilizada en el rendimiento del cultivo acompañante. Así, Idoko et al. (2018) hallaron que el rendimiento de mandioca disminuía al intercalarla con la variedad de batata CIP440293, pero aumentaba cuando se usaba la variedad de batata NARSP 05/022; mientras que cuando se intercaló batata con maíz o soja el efecto de las variedades sobre el rendimiento de estos dos cultivos fue el opuesto. Asimismo, variedades con hábito de crecimiento compacto, con poca tendencia a extenderse sobre el terreno, serían ideales para intercalar con otros cultivos.

Algunas experiencias de antecesores y consociaciones de leguminosas y maíces antes del cultivo de hortalizas de hojas y cultivo de batata en la EEA INTA San Pedro

La implementación de manejos agroecológicos en sistemas hortícolas, necesita disponer de prácticas agronómicas que permitan generar grandes cantidades de biomasa vegetal (cultivo de cobertura), en pequeñas superficies en diferentes épocas del año, y que alternen con el ciclo del cultivo de hortalizas (Florentin *et al.*, 2001). El cultivo de cobertura, en la sucesión hortícola puede ser una práctica sustentable, para mantener las funciones productivas de los suelos, reponer los nutrientes necesarios y brindar el sustrato indispensable para el desarrollo de la macro y meso-fauna edáfica asociada. La utilización de variedades y maíces criollos es una práctica agronómica habitual en los sistemas agroecológicos, ello está asociado al rescate de cultivares, la biodiversidad genética y cultural de los agricultores. Sin embargo a su vez el cultivo de maíz como antecesor del cultivo de hortalizas genera abundante biomasa precedente, contribuyendo con cobertura al suelo y favoreciendo como residuo orgánico el reciclado de macro-elementos, carbono, nitrógeno, fósforo, y las propiedades físico-biológicas del suelo. En sistemas agroecológicos existe la necesidad de complementación de plantas que aporten carbono y ligninas a la materia orgánica nativa del suelo, como también de cultivos que sean eficientes fijadores del nitrógeno atmosférico. Esta forma de complementación de variedades de maíz con leguminosas estivales, puede satisfacer ambos requisitos y ser una práctica de gran utilidad en el manejo, la conservación del suelo y la sustentabilidad en el largo plazo. Vieira (1985) analizó gran cantidad de ensayos en Brasil del consorcio maíz junto a frijol, concluyendo que los factores, variedad, densidad de plantas, diseño del cultivo y las épocas de siembra eran los que explicaban en mayor medida la mejor respuesta de la asociación. Los resultados de este estudio demuestran que la práctica del consorcio de maíz con porotos es via-

ble y de uso frecuente en agricultores de pequeñas superficies, los que no disponen de insumos externos. Flesch (1991), analizando ensayos en Santa Catarina, Brasil, concluye que el consorcio maíz-frijol genera una mayor producción biológica, mejor aprovechamiento de luz, agua, nutrientes, menor incidencia de plagas, mayor diversidad de alimentos, seguridad a cosecha y mejor uso de la mano de obra familiar. Algunos beneficios inmediatos de las tecnologías emergentes del manejo del cultivo en consorcio en sistemas agro-ecológicos, se observan en la reducción de “inputs externos”, en la eliminación de fertilizantes sintéticos, herbicidas, y agroquímicos, los que no siempre son de fácil acceso, en pequeñas fincas hortícolas. Las coberturas de leguminosas subtropicales y la de gramíneas, con alto potencial de producción de biomasa vegetal, en climas templados y subtropicales, permiten mantener adecuados niveles de materia orgánica, fertilidad, aportando cantidades importantes de, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, asociados a la descomposición de la mismas, y al reciclaje de nutrientes. Esto también es realizado por los extensos sistemas radiculares de las plantas de cobertura, desde capas más profundas del perfil del suelo. Estos manejos agronómicos, varían según la época en que la masa vegetal, es cortada y dejada en superficie, dependiendo su velocidad de descomposición del contenido de lignina de los residuos. El objetivo del trabajo fue evaluar en un ensayo de mediano plazo **(Experimento 1)** el comportamiento de variedades de maíz y leguminosas subtropicales, en monocultivo y consorcio, antes del cultivo de hortalizas de otoño invierno como lechuga.

Por otra parte el cultivo de batata es importante en varias economías regionales de Argentina como en el NEA y NOA debido a su gran capacidad para producir grandes cantidades de alimento por área y ser cultivada por muchos agricultores familiares. El cultivo también es realizado por empresas medianas de la región pampeana en la Pcia de Bs As . En esta amplia distribución su cultivo se realiza en variados tipos de suelos que abarcan desde los aluviales franco arenosos en el norte de Formosa, has-

ta suelos Argiudoles arcillosos donde se extiende hasta un poco más de los 33° de latitud sur. Los métodos de cultivo de batata fueron basados en herramientas de labranzas y maquinarias adaptadas al manejo de suelos en cada ecorregión, pero con excesivos laboreos para favorecer el suelo desnudo en las operaciones de transplante sobre canteros, lo que así disminuyó sucesivamente las fracciones más lábiles del carbono del suelo (Gonzalez *et al*, 2009). Por otra parte la batata a pesar de ser un cultivo poco exigente en términos de exportación de macronutrientes, sin planificación de antecesores y rotaciones lleva a caídas bruscas de la materia orgánica, en relación a los suelos prístinos. Camargo (1951) analizando una red de más de treinta ensayos de NPK en el estado de Sao Paulo, concluyo que la fertilidad natural del suelo y otros factores de orden de manejo agronómico demostraron mayor influencia en la producción de batata que la fertilización química. La batata no respondía en forma directa al aporte de elementos minerales, ya que los factores de manejo como, calidad del suelo, rotaciones, antecesores, sistemas de labranzas, influenciaban mayormente los rendimientos. Espíndola (1996) en experimento en RJ Brasil, encontró que las leguminosas *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis* y *Mucuna aterrina*, presentaban un mayor acumulo de NPK en la parte aérea con relación a la vegetación espontánea y utilizadas como antecesoras en el pre-cultivo de batata incrementaban los rendimientos. Las plantas leguminosas también aumentaban el número de propágulos infectivos de hongos micorrízicos con relación a él campo natural, demostrando esto una relación sinérgica con el aumento de productividad de batata. En sistemas agroecológicos la conservación de suelos, su calidad, manejo y la caracterización de propiedades físicas, química y biológicas, de modo integral, es un factor clave para rediseñar y planificar el manejo de los cultivos. El objetivo del trabajo fue evaluar en el en un ensayo de mediano plazo **(Experimento 2)** el comportamiento de variedades de maíz y leguminosas subtropicales, en monocultivo y consorcio, antes del cultivo de batata

Descripción del predio experimental

Experimento n°1 El ensayo se realizó en la EEA San Pedro INTA en un suelo correspondiente a la serie Ramallo (Ra), Argiudol vertico, profundo, de textura superficial franco arcillo limoso. El experimento se implantó en el ciclo agrícola 2011/12 con diseño estadístico de bloques al azar, con tres repeticiones. Los tratamientos fueron 12 según sigue: 5 variedades de maíz en monocultivo; *cv. Blanco Duro (MZBduro)*, *cv. Caiano (MZCaiano)*, *cv. Azteca (MZAzteca)*, *cv. Mato Grosso (MZMagros)*, *cv. Chala Roja (MZChalrj)*, 1 sorgo forrajero *cv. Talero (sorgo)*, 2 leguminosas subtropicales, *Canavalia ensiformis (canavali)* *Mucuna cinza (mucuna)*, 1 barbecho desnudo estival (**barbecho**), 1 maíz consociado *cv. Blanco Duro-Canavalia ensiformis (MZBdcana)*, 1 maíz consociado *cv. Caiano-Canavalia ensiformis (MZCaican)*. Las labranzas de preparación del sitio para el maíz, consistieron en triturado de vegetación espontánea, laboreo primario con cincel y dos operaciones de rastra excéntrica dos meses antes del trasplante. Durante 2011-2012 y 2012-2013, se efectuaron muestras de peso fresco y seco (estufa a 65°C) para determinación de gramos materia seca/ m² de suelo de los antecesores y la elaboración de las curvas de crecimiento de los diferentes tratamientos. En los años 2012, 2013, 2014, 2015, se levantaron registros de componentes de rendimientos agronómicos, y rendimientos por ha en este sistema.

Experimento n°2 El ensayo se realizó en un lote de la EEA San Pedro INTA en un suelo correspondiente a la serie Ramallo (Ra), Argiudol vértico, igual que en Exp. n1. Los tratamientos antecesores fueron 12 según sigue: 3 variedades de maíz *cv. Blanco Duro (MZBduro)*, *cv. Caiano (MZCaiano)*, *cv. Azteca (MZAzteca)*, 1 sorgo forrajero *cv. Talero (sorgo)*, 2 leguminosas subtropicales *Canavalia ensiformis (canavali)*, *Mucuna cinza- biochard (mucuna)*, 1 barbecho desnudo estival (**barbecho**), 1 avena-batata (**batavena**), 1 monocultivo batata (**batmono**), 1 batata-*Canavalia ensiformis (bat-canav)*, 1 batata-*cv. Blanco Duro (batMZBdu)*, 1 batata-*cv. Caiano (batMZcai)*. Las ba-

tatas cosechadas y agrupadas según la secuencia de antecesores, en años pares 2012, 2014, 2016 fueron las que provenían de parcelas de monocultivo, consorcios, y avena. En los años impares 2013, 2015, 2017, fueron todos los trataminetos anteriores e incluso los provenientes del año anterior con maíces, sorgo, leguminosas, barbechos desnudos.

Experiencias con éxito en cultivo de maíz consociado con leguminosas

En la **Fig.1** y **Fig.2** se observa como en ambos ciclos de cultivo las variedades de maíz superaron en gramos de mserca/m² a las leguminosas *Canavalia ensiformis (canavali)* *Mucuna cinza (mucuna)*. En ello puede haber incidido una mejor adaptación de los maíces en clima templado (latitud 33°) que las leguminosas subtropicales. En especial *cv. Caiano (MZCaiano)*, su cultivo consociado *cv. Caiano-Canavalia ensiformis (MZCaican)* y *Mato Grosso (MZMagros)*, fueron superiores a *Blanco Duro (MZBduro)*, y *cv. Azteca (MZAzteca)*. También se observa como el (**MZCaiano**) en monocultivo o consociado (**MZCaican**) fue siempre superior a (**MZBduro**) en monocultivo o consorciado (**MZBdcana**). Al analizar la **Figura 3** se ven rendimientos por ha superiores a favor de (**MZCaiano**) en monocultivo o consociado (**MZCaican**) con relación a (**MZBduro**). De todas formas, es alta la performance de (**MZCaiano**) consociado junto a *Canavalia (MZCaican)*, lo que corrobora la hipótesis de que el éxito del cultivo en consorcio en mucho depende de cultivares o variedades, que hacen al mejor diseño y adaptación a ser conducidos en este sistema. Al analizar el peso de la chala, también se encontró que esta representa en promedio en todos los cultivares criollos, entre un 35-50% del peso total de la espiga, lo que indica una relación muy favorable, en la medida que los cultivares pueden ser productivos, pero también permiten aportar importantes cantidades de residuos y materia orgánica desde otras partes de la planta al suelo, además de lo que exportan en grano. Al analizar el número de granos, se repiten las tendencias

Curva de crecimiento de antecesores 2011-2012

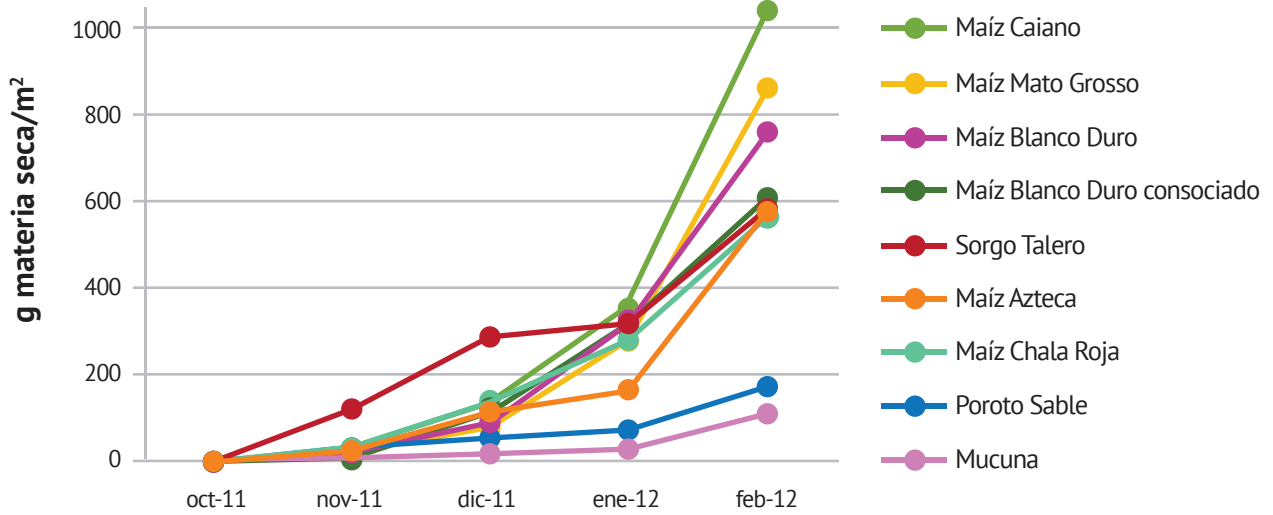


Figura 1. Evolución del crecimiento vegetal en la campaña 2011-2012 de los cultivares de maíz y leguminosas subtropicales en monocultivo y consociadas

Curva de crecimiento de antecesores 2012-2013

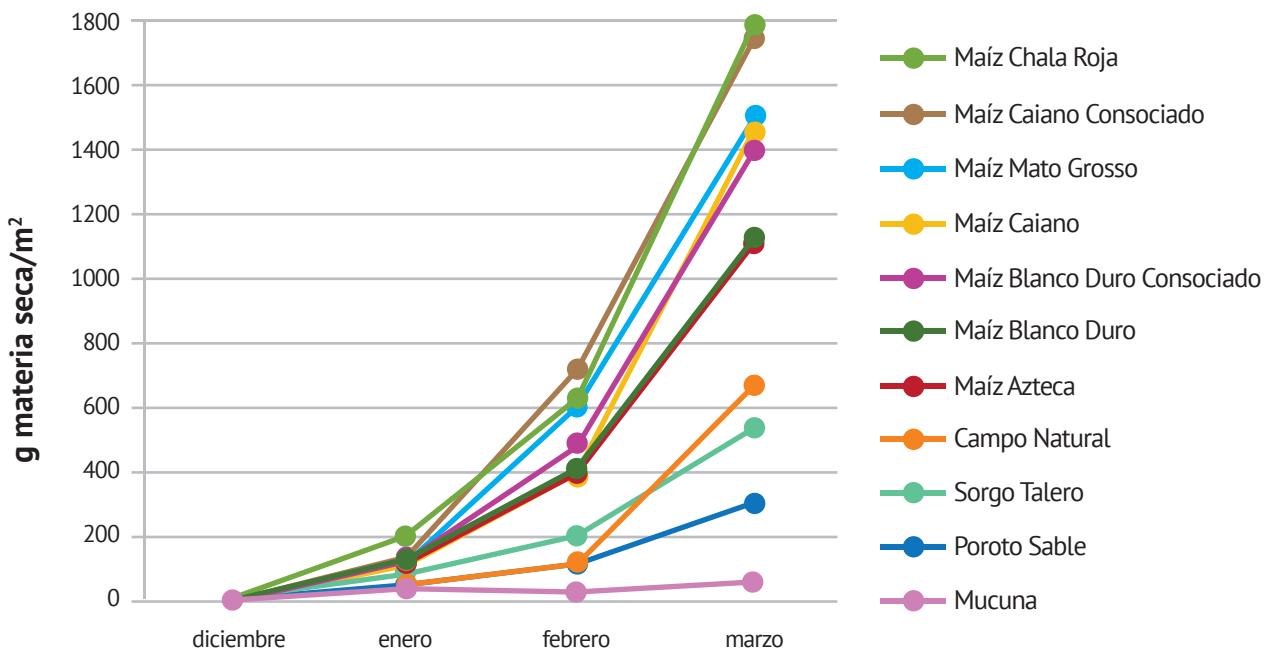


Figura 2. Evolución del crecimiento vegetal en la campaña 2012-2013 de los cultivares de maíz y leguminosas subtropicales en monocultivo y consociadas

vistas entre las jerarquías de las variedades. Este asunto de variedades como (**MZCaiano**), el que presenta buen peso de espiga y chala, alto número de granos, altos rendimientos y muy buena adaptación al consorcio, debería ser tomado en cuenta en la búsqueda de idiotipos de nuevos cultivares promisorios para el sistema agroecológico, en la medida, que la alta performance productiva también se vea acompañada de importantes cantidades de residuos de otras partes de la planta, que queden en el suelo. Al analizar los rendimientos por ha, en el ciclo completo del período 2012 -2015 (**Figura3**), si bien la alta variabilidad de cada año, no permitió observar diferencias en términos estadísticas, la tendencia sigue siendo buena para (**MZCaiano**) o consociado junto a *Canavalia* (**MZCaican**) frente al resto, e incluso en **MZBduro** en monocultivo es inferior que junto al consorcio **MZBdcana**. Posteriormente e incluso para conocer el efecto antecesor sobre las hortalizas de cultivo otoño invernal y en las mismas parcelas subsiguientes, en la **Tabla 3** se observa el efecto acumulado de los anteceso-

res maíz y otros en 2015. Los mejores rendimientos de cultivos de lechuga, fueron en los tratamientos provenientes de maíces consociados; **MZCaican** y **MZBdcana**, donde los maíces en consorcio presentaron luego en peso medio de plantas de lechuga (183 gr vs 148 gr ; 252 vs 136) y rendimientos por ha (8254 vs 3240 Kg/ha ; 10154 vs 2138 kg/ha) muy superiores a las parcelas procedentes de monocultivo respectivamente. Este hecho está muy en relación a muchos de los trabajos comentados en párrafos anteriores de la revisión, donde las bondades de los residuos de gramíneas y leguminosas en descomposición mejora en forma notable, la disponibilidad de nutrientes y la calidad de suelos.

Experiencias con éxito en cultivo de batata consociado con maíz y leguminosas

En la **figura 4** se observan los gráficos box plot con los rendimientos por ha del cultivo de batata en promedio de los años 2012, 2014, 2016 los cuales

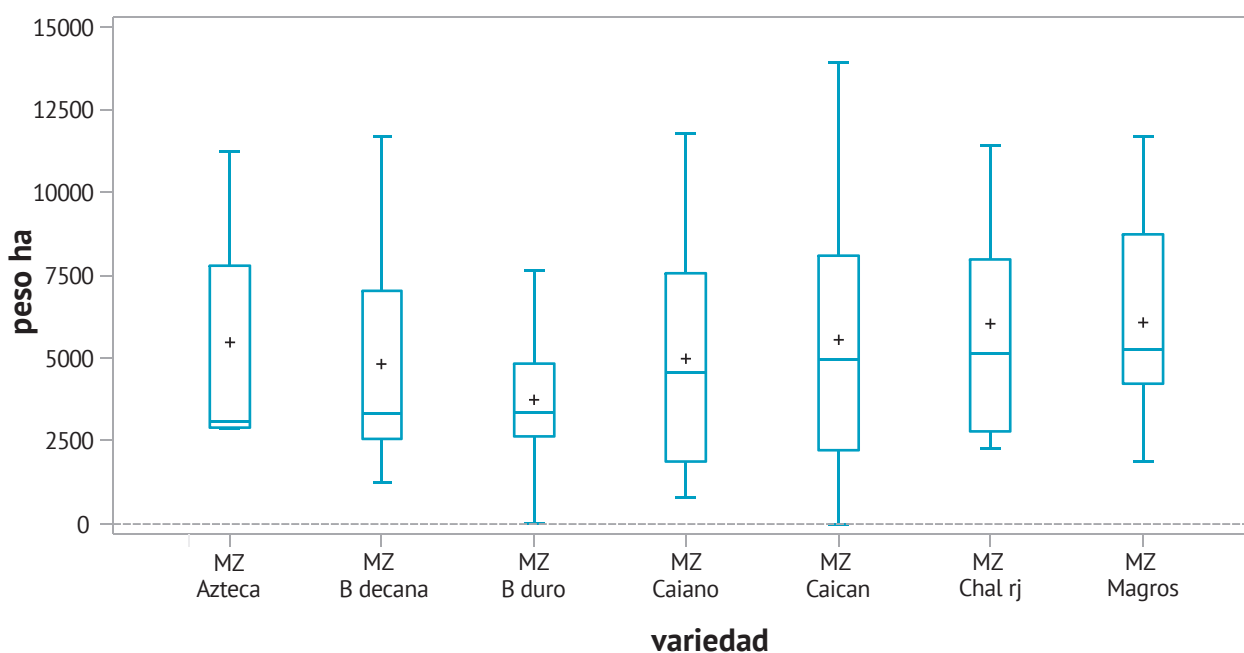


Figura.3 Rendimientos promedios por hectárea de variedades de maíz de los años de 2012 a 2015

presentan la tendencia a menores rendimientos provenientes de la batata en monocultivo (**batmono**), o los provenientes de abonos verdes otoñales-invernales **batavena**, con relación a los cultivos consociados de batata en hileras de por medio con **batMZBdu**, **batMZcai**, **bat-canav**, superiores. En **la figura 5** en los rendimientos promedios de los años 2013, 2015, 2017, la tendencia se mantiene favorable a estos últimos tratamientos de batata en consorcio, e incluso se mantiene una tendencia a los rendimientos decrecientes en **batmono**, **batavena**, con relación a los antecesores provenientes de maíces sin consorcio, **MZBduro**, **MZCaiano**, **MZAteca**. En la **Tabla n°4** en la primera columna se observa en forma ascendente, como los niveles de enzima FDA son significativamente menores en **batamono**, en relación a los cultivos de batata provenientes de los antecesores maíces o los cultivos consociados con estos y con leguminosas. Es decir la tendencia al cuarto año de monocultivo de batata relacionado a un indicador sensible como las enzimas de suelos como FDA, muestra una caída ya inminente de niveles, lo que podría relacionar-

se con un cambio de tendencia en el estado de la calidad y salud del suelo. Una situación también de deterioro a destacar se da en el tratamiento **barbecho** desnudo estival, el cual cae en los niveles más bajos de hifas y vesículas de hongos micorrízicos, con relación a los cultivos de batata en monocultivo o consociados. Este tratamiento, no consiguió mantener un nivel alto de micorrización en batata, lo que puede indicar, que son necesarios otras estrategias de épocas del antecesor en otoño aún con menores rendimientos (ej avena) o batata en consorcios en primavera estival, para mantener micorrizas nativas del suelo entre los períodos de cosechas.

Conclusiones

La producción sostenible de rendimientos agronómicos en maíces, batata, y otras hortalizas podría ser viable desde que se busquen favorecer conjuntamente rastrojos voluminosos con alta actividad enzimática en suelos con antecesores como maíz

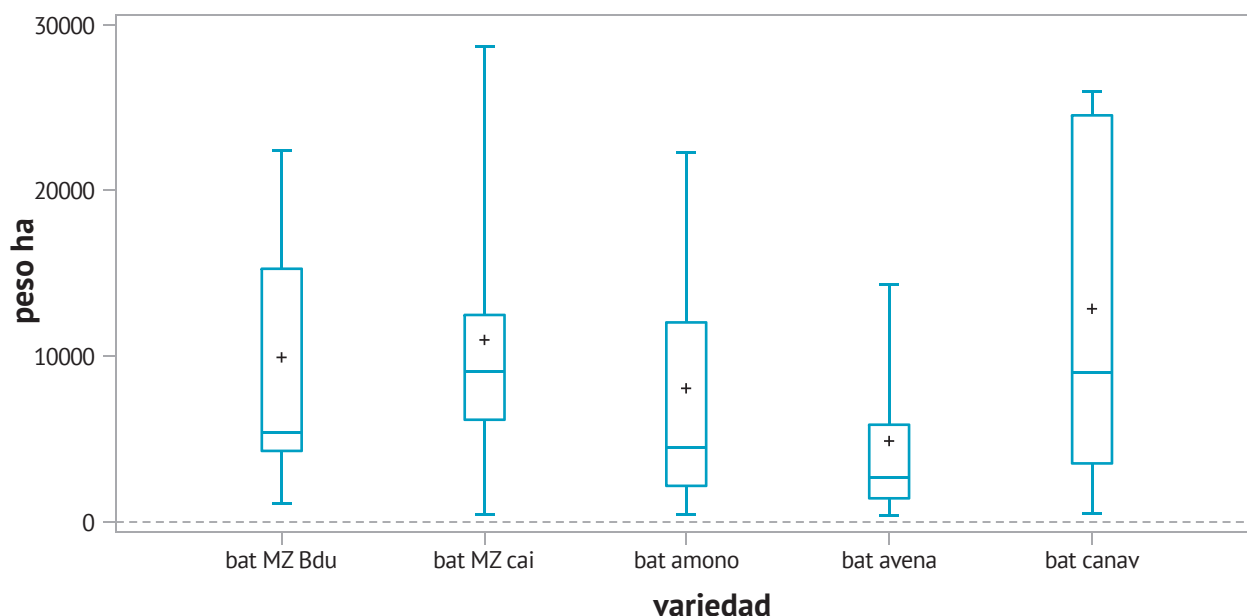


Figura 4. Rendimientos promedios por hectárea de cinco tratamientos de batata de los años 2012- 2014-2016.

Tratamientos antecesores	Peso medio 2013 gr	Peso medio 2015 gr	Rendimiento/ha 2013 kg	Rendimiento/ha 2015 kg
MZAZTECA	182 a	162 bcd	6933 a	6209 abcd
MZCHALAROJA	177 ab	170 bc	7465 a	7966 abc
MZMATOGROSSO	172 ab	186 b	6557 a	6240 abcd
MZCAIANcanav	167 ab	183 b	6823 a	8254 ab
CNatural	165 ab	132 ef	6089 a	6532 abcd
Mucuna	162 abc	115 fg	5117 a	4309 bcd
Barcecho	154 bc	155 cde	5486 a	5690 abcd
MZBDcanav	152 bc	252 a	6715 a	10154 a
MZCAIANO	150 bcd	148 cde	4726 a	3540 bcd
MZBDURO	136 cd	136 def	4125 a	2138 d
Sorgo	124 d	95 g	3367 a	3262 cd
Canavalia	124 d	152 cde	4475 a	5734 abcd

Tabla 3: Peso medio por planta (gr) y rendimientos (kg/ha) de lechuga mantecosa cv Elisa, trasplantada en dos años sobre diferentes cultivos antecesores de primavera verano en la EEA INTA San Pedro, Pcia Bs As.

y leguminosas, pero con diseños de cultivos y sistemas radiculares que también favorezcan el consorcio de plantas, de modo de beneficiar la propagación y desarrollo de hongos micorrízicos nativos del suelo entre cosechas y la actividad biológica general de la biota del suelo. En este sentido los cultivos en consorcio de batata y otros ensayados aquí, podrían brindar una posible solución en el sistema agroecológico de producción, cuanto a mantener alto nivel de enzimas y alta capacidad infec-

tiva de micorrizas en suelos. El aporte del trabajo en términos de conocimientos a sistemas de producción agroecológico, estaría dado en comprender bien la prácticas agroecológicas de soporte, como cultivos de cobertura, abonos verdes, consorcios de plantas y demostrar como impactan en propiedades biológicas de los suelos, permitiendo también de modo sensible predecir el estado de salud del suelo y relacionarlas a la evolución de los rendimientos de cultivos.

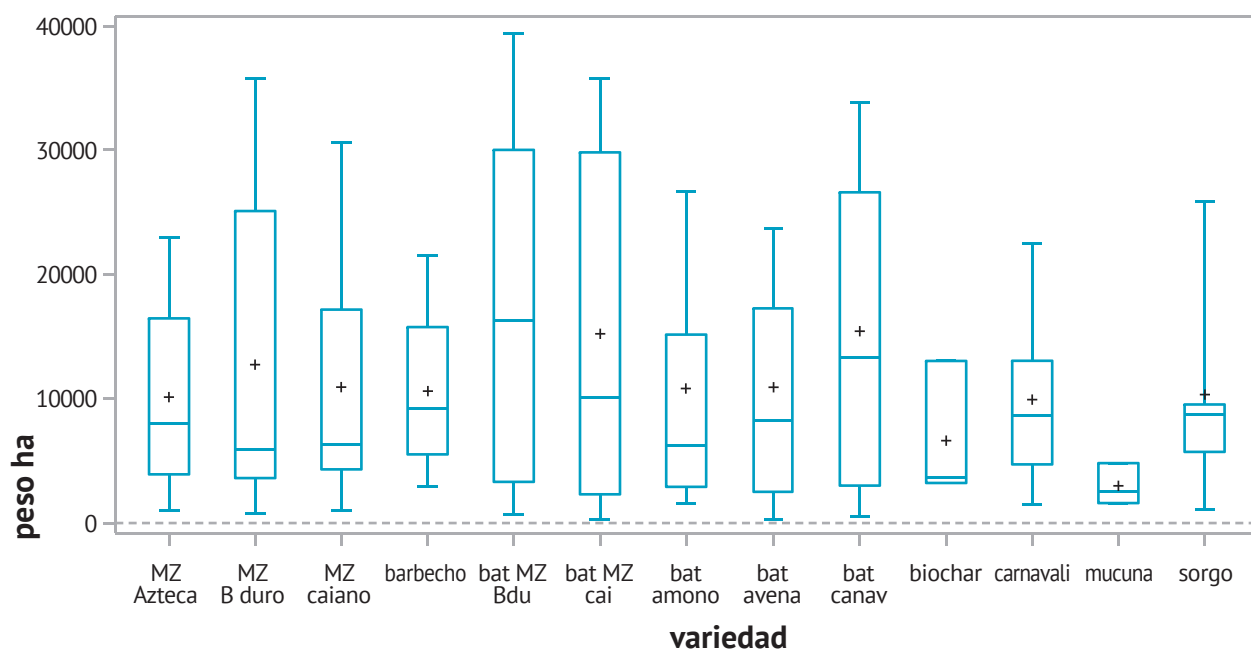


Figura 5. Rendimientos promedios por hectárea de doce tratamientos de batata de los años 2013- 2015-2017.

hidrólisis de fluoresceína diacetato (FDA)			Hifas (H)			Vesículas (VE)		
batamono	10.50	A	barbecho	5.50	A	barbecho	7.00	A
sorgo	25.67	AB	MZCaiano	8.50	AB	mucuna	13.50	AB
mucuna	30.33	AB	MZBduro	19.33	ABC	sorgo	15.83	AB
MZBduro	34.33	B	mucuna	20.00	ABC	MZAzteca	19.17	AB
barbecho	36.33	B	MZAzteca	23.17	ABC	MZCaiano	20.17	ABC
Canavalia	39.50	B	sorgo	28.00	ABC	MZBduro	23.00	ABC
batMZBdu	40.17	B	Canavalia	25.83	ABC	Canavalia	23.17	ABC
batcanav	41.83	B	batMZcai	28.17	BC	batcanav	27.58	ABC
MZCaiano	42.50	B	batMZBdu	30.08	C	batMZcai	28.08	BC
MZAzteca	42.67	B	batcanava	30.58	C	batamono	31.75	BC
batMZcai	45.83	B	batamono	32.08	C	batMZBdu	32.83	BC
batavena	48.33	B	batavena	34.92	C	batavena	39.83	C

Tabla 4 : Variables biológicas enzima FDA, H, VE de hongos micorrízicos del suelo en promedio de los años 2013 y 2014 encontradas significativas entre tratamientos. Letras iguales no difieren significativamente (Rangos de Prueba de Kruskal Wallis)



Foto 1 a: Cultivo de maíz y batata en hileras de por medio en mitad del ciclo del cultivo de batata. EEA San Pedro



Foto 1b: Cultivo de maíz y batata en hileras de por medio en estadios más avanzados del ciclo del cultivo de bata. EEA San Pedro



Foto 2a: Cultivo de *Canavalia ensiformis* con implantación a fines de octubre en. EEA San Pedro



Foto 2b: Cultivo de maíz inter-sembrado con *Canavalia ensiformis* entre la hilera después del aporque.



Foto 3: Tres estratos del canopeo en el sistema agroecológico de la EEA San Pedro. Inferior cultivo de batata, intermedio *Canavalia ensiformis*; y superior cultivo de maíz.



Foto 4 a y b : Cultivo de hortalizas de hojas otoño invernales en la EEA San Pedro y EEA AMBA, subsiguientes a los cultivos antecesores de verano.

LITERATURA CONSULTADA

- Alhassan, A.A. 1988. A study of the effect of intercropping sweet potato [*Ipomoea batatas*] with maize [*Zea mays*] or cowpea [*Vigna*] on tuber and grain yields. Council for Scientific and Industrial Research, Institute for Scientific and Technological Information (CSIR-INSTI). <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=GH9000014>. Consultado 23-7-2018.
- Aita, C., Giacomini, S.J., Ceretta, C.A. Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes. In Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil : fundamentos e prática. Fontes de Lima Filho, O., Ambrosano, E.J., Rossi, F., Donizeti, C.J. A. Brasília, DF : EMBRAPA 2014. V1 p 227 -264.
- Aita, C., Giacomini, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura do solo solteiras e consorciadas. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG, v. 30; n.1 , p. 149-161, jan./feb. 2006.
- Alvarez, R. , Steinbach; H.S. Valor agronômico de la materia orgánica. In Materia Orgánica : valor agronômico y dinámica en suelos pampeanos. Capítulo 2. Coord. Roberto Alvarez- 1 ed. Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires, p 13 - 29 . 2006
- Andrade, F.H. La tecnología y la producción agrícola . El pasado y los actuales desafíos. Ediciones INTA. EEA Balcarce, Centro Regional Buenos Aires Sur, 42 p. Balcarce 2001.
- Balota, E. L., Colozzi--Filho, A., Andrade, D. S.; Hungria, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, p.641-649, 1998.
- Bedoussac, L., Journet, È.P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou; G., Prier, L., Jensen, E.S, Justes, E. Eco-Funcional Intensification by Cereal-Grain Legume Intercropping in Organic Farming Systems for Increased Yields, Reduced Weeds and Improve Grain Concentration: In S. Bellon , S. Penvern (eds) INRA Avignon France Springer 2014. Organic Farming Prototype for Sustainable Agricultures, p 47- 63.
- Byamukama E., Gibson R.W., Mpembe I., Kayongo J., Mwanga R.O.M. 2007. Effect of shade and intercropping in the management of sweetpotato virus disease in Uganda. Proceedings of the 13th ISTRC Symposium 233-239.
- Camargo, T.L.A de, Herrmann, J. Contribuição para o estudo da adubação verde das terras roxas cansadas. Sao Paulo. Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo, 1928. 22 p
- Camargo, F.A.O., Gianello, C., Tedesco, M.J., Vidor, C. Nitrogênio Orgânico do Solo. In Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo . Ecosistemas Tropicais & Subtropicais . Editores Gabriel De Araujo Santos ; Flávio de O. Camargo. Cap 07. p 116 -137. Porto Alegre , 1999.
- Camargo A. P. de 1951. Adubação da batata doce em São Paulo. Partel. Efeito da adubação mineral. Bragantia vol. 11, nos 1-3: 55-79
- Carvalho, A. M. Burle, M. L., Pereira, J. & Silva, M. A. 1999. Manejo de adubos verdes no cerrado. Embrapa Cerrados, Circular Técnica nº 4, Planaltina. 28 pp.
- Cordone, G. , Hansen, O. , Senigagliaesi, C. Abonos verdes. Posibilidades de su utilización en sistemas de agricultura permanente. Serie artículos técnicos, Nº1 SEPT 1986. INTA
- Corrêa, A. L., Abboud, A. C. S., Guerra, J. G. M., Aguiar, L.A. & Ribeiro, R. L. D. 2014. Adubação verde com crotalária consorciada ao minimilho anteceden-

- do a couve-folha sob manejo orgânico. *Revista Ceres* 61: 956-963.
- Costa, M. B. B. da (Coord.). *Adubação verde no Sul do Brasil*. Rio de Janeiro : ASPTA, 1992. 346p.
- Cunha, E. Q., Stone, L. F., Ferreira, E. P. B., Didone, A. D., Moreira, A. A. & Leandro, W. M. 2011. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e Milho. II - atributos biológicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35: 603-61
- Cusumano, C.O. y Zamudio, N. 2013. *Manual Técnico para el Cultivo de Batata (Camote o Boniato) en la provincia de Tucumán (Argentina)*. Ediciones INTA.
- Da Paz, L. B., Gallo, A. S., Souza, R.L., Oliveira, L. V. N., da Cunha C., da Silva, R. F. 2017. Desempenho e produtividade do milho safrinha em consórcio com leguminosas em sistema orgânico. *Revista de Ciências Agrárias*, 2017, 40(4): 788-794
- D'Acunto, L., Andrade, J.F., Poggio, S.L., Semmartin; M. 2018. Diversifying crop rotation increased metabolic soil diversity and activity of the microbial community. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 257 (2018) 159–164
- Derpsch, R., Callegari, A. *Guia de plantas para adubação verde de inverno*. Londrina : IAPAR 1985. 96p (IAPAR Documentos, 9)
- Duarte, I. B., Gallo, A. S., Gomes, M. S., Guimarães, N. F., Rocha, D. P. & Silva, R. F. 2014. Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. *Acta Iguazu* 3: 150-165.
- D'utra. G.R.P. *Adubos verdes: sua produção e modo de emprego*. Sao Paulo: Secretaria da Agricultura, Comercio e Obras Públicas do Estado de Sao Paulo, 1979, 16 pp.
- Egbe, M. O., and Osang P. O. 2015. Intercrop advantages of some improved sweet potato + soybean in Makurdi, Benue State, Nigeria. *International Letters of Natural Sciences*, 39:28-39.
- Espindola JA . 1996. *Influência da adubação verde sobre a simbose micorrizica e produção de batata-doce*. Rio de Janeiro. UFRRJ. IA. 73 p. *Dissertação mestrado*.
- Espíndola J.A.A. , Guerra, J.G.M., De-Polli, H., Almeida, D.L., Abboud, A.C. de S. *Adubação verde com leguminosas*. Brasília, DF : EMBRAPA Informação Tecnológica, Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, 2005. 49 p (Coleção Saber,5) .
- Ferreira, L. E.; Souza, E. P. & Chaves, A. F. 2012. *Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo*. *Revista Verde* 7: 33-38.
- Florenti, M.A, Peñalva, M., Calegari, A., Derpsch, R. 2001. *Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa. Pequeñas propiedades*. In *Proyecto Conservación de Suelos*. MAG-GTZ. San Lorenzo Paraguay. 83 pp
- Flesch R.D. 1991. *Cultivo consorciado do feijao com milho*. *Agropecuaria catarinense*, v4: 1: p 42-46. Santa Catarina. Brasil
- Gomes, M. S., Agostinho, P. R., Foresti, A. C., Gomes, S. S., Batistote, M. S. & Silva, R. F. 2014. *Plantas de Cobertura e seus Efeitos nos Bioindicadores de Qualidade do Solo, com Adição de Vinhaça*. *Cadernos de Agroecologia*, 9
- Gonzalez J., Martí H. R., Corbino G. B., Sanchez G. y Andriulo A. 2009. *Efecto de cultivos antecesores y abonos verdes sobre los rendimientos, contenido de nutrientes, antocianinas, fenoles, capacidad antioxidante y parámetros edáficos en batata orgánica*. En: Ullé J. A. (Editor). *Proyecto Regional: Desarrollo y Difusión de Tecnología para la Producción Ecológica*. Informe Técnico 2009. INTA, Centro Regional Buenos Aires Norte.

- Gomes, S.da Silva; Gomes, M.da Silva, Gallo; A. de Souza, Mercante, F.M., Batistote, M., Ferreira, R. da Silva. Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. Rev. Fac. Agron. La Plata (2015) Vol 114 (Núm. Esp.1) Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio: 30-37
- Holland, E.A., Coleman, D.C. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem. Ecology, Tempe, v.68, n.2, p 425-433, Apr. 1987.
- Idoko, J.A., Iorlamen, T. and Offordile, A.E. 2018. Effect of intercropping some crop species with orange flesh sweet potato on the performance of orange flesh sweet potato varieties in Makurdi International Journal of Agricultural Policy and Research Vol.6 (3):28-37.
- Islam M. N., Akhteruzzaman M., Alom M. S. and Salim M. 2014. Hybrid maize and sweet potato intercropping: a technology to increase productivity and profitability for poor hills farmers in Bangladesh. SAARC J. Agri., 12(2): 101-111.
- INTA CRBAN PTR 2005-2008. Diagnóstico Cadena/sistema. Proyecto Regional: Desarrollo y Difusión de Tecnología para la Producción Ecológica (BANOR09). Plan de Tecnología Regional Buenos Aires Norte, 19 pp . Pergamino, julio 2006
- INTA EEA SAN PEDRO. Valores promedio en base a datos registrados en la Estación Agrometeorológica del INTA San Pedro (Latitud : 33° 41' SUD, Longitud: 59° 41' W.G.), y que aportan a la serie histórica desde 1965 hasta 2017. Ruta 9, km 170, (2930) San Pedro Buenos Aires. <https://inta.gov.ar/sanpedro>. Ed Uviedo & Zanek
- INTA, 1978. Carta de suelos de la República argentina. Hoja 3360, 27 y 28 (Ramallo), 77p.
- INTA EEA MARCOS JUÁREZ. Boletín Informativo Semestral. Área Suelos Manejo y Conservación de Recursos Naturales. AÑO 1 - 15/12/2017. Marcos Juarez. 12 pp
- Lopes, N.F., Oliva, M.A, Freitas, J.G., Melges, E., Beltrão, N.E.M. 1982. Análise de crescimento e conversão da energia solar em feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) submetido a três níveis de densidade do fluxo radiante. Rev Ceres 30: 451-62
- Magdoff, F., Van Es, H. Organic Matter: What It Is and Why It's So Important. In Building soils for better crops : sustainable soil management. Chapter 2, 9-21 p. 2009. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) USDA's, University of Maryland and University of Vermont. Online: Visit www.sare.org/WebStore
- Martí, H. 2008. La batata: oportunidades para una hortaliza subutilizada. Boletín Hortícola 13(39):14-17.
- Martí H., Chiandussi C., y Filippi M. 2014. Producción agroecológica de batata para el gran cultivo y la huerta familiar. San Pedro, Buenos Aires : Ediciones INTA, 80 p.
- Marzocca, A. 1990. Disertación del academico de número. Ing. Agr. Angel Marzocca. Sobre agricultura precolombina y colonial en latinoamerica. Origenes y Promotores. doc p 11-47. https://www.google.com.ar/search?q=DISERTACION+DEL+ACADEMICO+DE+NUMERO+Ing.+Agr.+ANGEL+MARZOCCA&rlz=1C1AVSI_enAR467AR467&oq=DISERTACION+DEL+ACADEMICO+DE+NUMERO+Ing.+Agr.+ANGEL+MARZOCCA&aqs=chrome..69i57.1723j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- Mascarenhas, H. A. A., Wutke, E. B. Adubação, nutrição e fatores climáticos limitantes ao desenvolvimento dos adubos verdes. 2014. In: FILHO, O. F. L. et al. (Eds.). Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Bra-

- sília: Embrapa, 2014. v. 1, cap. 5, p. 189- 224
- Merlin, A. O., Guerra, J. G. M.; Junqueira, R. M., Aquino, A. M. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.62, p.57-61, 2005
- Miyasaka, S. Manejo da biomassa e do solo visando a sustentabilidade da agricultura brasileira. São Paulo: FUNDAG : Navegar, 2008.192p.
- Monegat,C. Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó, 1991. 337 p
- Nafus D., and Schreiner I. 1986. Intercropping maize and sweet potatoes. Effects on parasitism of *Ostrinia furnacalis* eggs by *Trichogramma chilonis*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 15:189-200
- Nedunchezhiyan M, Jata S. K., and Byju K. 2012. Sweet potato-based cropping systems. *Fruit Vegetable and Cereal Science and Biotechnology 6* (Special Issue 1):11-16.
- Ossom E. M. and Nxumalo M. 2003. Influence of sweet potato and grain legume crops grown in monoculture and in association on crop growth and yield in Swaziland. Final report submitted to UNISAWA Research Board, September 2003, pp:83.
- Ossom E. M., Kuhlase L. M., and Rhykerd R. L. 2009. Effects of plant population on yield components of intercropped sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *American-Eurasian Journal of Agronomy* 2(1):01-06.
- País, 1994. La paja es el alimento del suelo. Reportaje al Ing. Agr. Jorge Molina. *Mundo Orgánico*, Bs.As., 1(3):4-6.1994 Bs As
- Paul, E. A., Clark F.E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover . In *Soil Microbiology and Biochemistry*. Second Edition . Academic Press San Diego California 1996. Chapter 7 157- 179 p.
- Qi-song,L., Lin-kun,W., Chen Jun, C., MA Khan, M.A. ; Xiao-mian, L. , Wen-xiong, L. Biochemical and microbial properties of rhizospheres under maize/ peanut intercropping. *Journal of Integrative Agriculture* 2016, 15(1): 101–110
- Ravi V. and Indira P. 1999. Crop physiology of sweetpotato. *Horticultural Reviews* 23:277-338
- Roscoe, R., Mercante, F. M., Mendes, I. C., Reis Júnior, F. B.; Santos, J. C. F. & Hungria, M. 2006. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Roscoe, R.; Mercante, F. M.; Salton, J. C. (Ed.). Dourados, pp. 163-198.
- Rossi, F. & Donizeti, C. J.A. Histórico da adubação verde no Brasil. In *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil : fundamentos e prática*. Fontes de Lima Filho, O., Ambrosano, E.J., Rossi, F., Donizeti, C.J. A. Brasília, DF : EMBRAPA 2014. V1 pp 39 -57
- Salvagiotti,F., Krüger, H., Studdert, G. Ensayos de Larga Duración en Argentina: Un aporte al logro de Sistemas Agrícolas Sustentables. 1a ed .– Entre Ríos : Ediciones INTA, 2017. Libro digital, PDF. <https://inta.gob.ar/documentos/ensayos-de-larga-duracion-en-argentina-un-aporte-al-logro-de-sistemas-agricolas-sustentables>
- Sasal, C; Andriulo, A.; Ullé, J.; Abrego, F.; Bueno , M. Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas, en sistemas de producción hortícola del centro norte de la región pampeana. *Ciencia del Suelo* . 18 (2) p. 95-104. Santa Rosa 2000

- Smith, R.G., Gross K. L., Robertson G. P. (2008). Effects of Crop Diversity on Agroecosystem Function: Crop Yield Response. *Ecosystems* 11: 355–366
- Silveira, L., Petersen, P., Sabourin, E. Parte III Valorizando a construção social de analogias ecológicas. 5- A manutenção de alta biodiversidade funcional . Policulturas e rotações. In *Agricultura familiar e agroecológica no semi-árido: avanços a partir do agreste da paraíba* . Luciano Silveira, Paulo Petersen ; Eric Sabourin Rios e Janeira AS-PTA 2002 , p 35-102.
- Thomazini, A., Mendonca, E.S., Souza, J.L., Cardoso, I.M, Garbin, M.L. Impact of organic no-till vegetables systems on soil organic matter in the Atlantic Forest biome. *Scientia Horticulturae* 182 (2015) 145–155.
- University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Publicacion 21471: Covercrops for California Agriculture. Miller, P.R, Graves; W.L , Willians ; W.A., Madson B.A, 1989 Oakland . California
- UC Sustainable Agriculture Research and Education Program. 2017. "Cover Crops." What is Sustainable Agriculture? UC Division of Agriculture and Natural Resources. <http://asi.ucdavis.edu/programs/sarep/what-is-sustainable-agriculture/practices/cover-crops>
- Vieira, A. S., Ben, J.R. , Gastal, F.L. da C. 1980. Avaliação do cultivo de milho e feijão nos sistemas exclusivo e consorciado . *Pesq. Agropec. Bras.* 15 : 19-26
- Vieira C. 1985. O feijao em cultivos consorciados. Universidade Federal Viçosa UFV). 134 p. Viçosa. Minas Gerais. Brasil
- Wagger, M.G. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agronomy Journal* , Madison, v.81, n.2, p 236-241 Mar./Apr. 1898.
- Zanatta, J.A, Bayer, C., Dieckow, J., Vieira, F.C.B., Mielniczuk, J. Soil organic carbon accumulation and carbon cost related to tillage cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. *Soil and Tillage Research* , Amsterdam, v.94, n.2, p.510-519, June 2007.
- Yaku A. 1992. Effects of intercropping sweetpotato on the population density of sweet potato weevil (*Cylas formicarius* F.) (Coleoptera: Curculionidae). M. Sc Thesis, Department of Entomology, University, Montreal, Quebec, Canada.