



Las relaciones ecológicas: un aspecto central en el rediseño de agroecosistemas sustentables, a partir de la Agroecología

MARÍA FERNANDA PALEOLOGOS

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas –
CONICET – Argentina

MARÍA JOSÉ IERMANÓ

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas –
CONICET – Argentina

MARÍA LUZ BLANDI

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas –
CONICET – Argentina

SANTIAGO JAVIER SARANDÓN

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas –
CONICET – Argentina

RESUMEN

La Agroecología surge como un nuevo paradigma de las ciencias agrarias para generar conocimientos para la evaluación, diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Uno de los mayores desafíos en la actualidad, es lograr disminuir o eliminar el uso de insumos (caros y peligrosos). Ello requiere cambios en el diseño y manejo de los agroecosistemas, de manera de fortalecer los procesos ecológicos que brinda la biodiversidad. Estos servicios ecológicos son el producto de muchas interacciones entre los diferentes componentes de la biodiversidad cultivada y espontánea en los agroecosistemas. Manipular esta biodiversidad de manera exitosa a fin de optimizar las interacciones positivas y disminuir las negativas requiere conocimientos de la ecología para entender el funcionamiento de los agroecosistemas como sistemas complejos. En este capítulo se abordan los principales conocimientos a tener en cuenta y se analiza su utilidad con un ejemplo en sistemas pampeanos argentinos.

Palabras clave: agrobiodiversidad, ecología de poblaciones, nicho ecológico, recursos.

AS RELAÇÕES ECOLÓGICAS: UMA QUESTÃO CENTRAL NA REFORMULAÇÃO DE AGROECOSSISTEMAS SUSTENTÁVEIS, DE AGROECOLOGIA

RESUMO

A Agroecologia surgiu como um novo paradigma da ciência agrícola para gerar conhecimentos para a avaliação, desenho e manejo de agroecossistemas sustentáveis. Um dos maiores desafios hoje é reduzir ou eliminar o uso de insumos (custosos e perigosos). Isso requer mudanças no desenho e manejo de agroecossistemas, a fim de fortalecer os processos ecológicos que a biodiversidade oferece. Estes serviços ecológicos são o produto de muitas interações entre os diferentes componentes da biodiversidade cultivada e espontânea dos agroecossistemas. Manipular essa biodiversidade com sucesso, para otimizar interações positivas e diminuir as negativas, requer o conhecimento da ecologia para compreender o funcionamento dos agro-ecossistemas como sistemas complexos. Neste capítulo, tratam-se os principais conhecimentos a considerar e sua utilidade é analisada com um exemplo em sistemas extensivos das pampas argentinas.

Palavras-chave: Agrobiodiversidade. Ecologia populacional. Nicho ecológico. Recursos.

ECOLOGICAL INTERACTIONS: A CENTRAL ASPECT IN THE REDESIGN OF SUSTAINABLE AGROECOSYSTEMS, BASED ON AGROECOLOGY

SUMMARY

Agroecology emerges as a new paradigm of the agricultural sciences to generate knowledge for the evaluation, design and management of sustainable agroecosystems. One of the biggest challenges today is to reduce or eliminate the use of inputs (expensive and dangerous). This requires changes in the design and management of agroecosystems in order to strengthen the ecological processes that the present biodiversity provides. These ecological services are the product of many interactions between the different components of the cultivated and spontaneous biodiversity in agroecosystems. Manipulating this biodiversity successfully in order to optimize positive interactions and reduce negative ones requires knowledge of ecology to understand the functioning of agroecosystems as complex systems. This chapter addresses the main knowledge to be taken into account and its usefulness is analyzed with an example in Argentinean pampean systems.

Keywords: Agrobiodiversity. Ecology of populations. Ecological niche. Resources.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe una clara conciencia sobre los severos impactos ambientales y sociales del modelo de agricultura moderno, altamente dependiente de insumos (agroquímicos y energía) y capital, lo que ha marginado a la mayoría de los agricultores de Latinoamérica. Es cada vez más claro también, que estos problemas no son la consecuencia de una mala aplicación de buenas técnicas, de un buen modelo, sino que hay un problema de fondo, estructural, del modelo o paradigma con que se han abordado las ciencias agropecuarias. Se necesita un nuevo paradigma que reemplace el enfoque cortoplacista, reduccionista y productivista, por uno que encare el desafío de la complejidad ambiental. La Agroecología surge como este nuevo paradigma y ciencia pluriépistemológica, capaz de validar y generar conocimientos para la evaluación, diseño y manejo de agroecosistemas sustentables.

Uno de los mayores desafíos en la actualidad es disminuir o eliminar el uso de insumos (caros y peligrosos). Pero no se trata de reemplazar un paquete químico por otro paquete ecológico, también de validez universal. Lo que se busca es lograr cambios en el diseño y manejo de los agroecosistemas, de manera de fortalecer los procesos ecológicos (gratuitos) que brinda la biodiversidad presente en los agroecosistemas. Estos servicios ecológicos son producto de las interacciones entre los componentes de la biodiversidad cultivada y espontánea presente en los agroecosistemas. Pero, para poder diagnosticar y manipular esta biodiversidad, se necesitan conocimientos de la ecología para entender los agroecosistemas como sistemas naturales modificados por el hombre con el fin de producir bienes y servicios (SARANDÓN, 2014). Identificando claramente los componentes y los límites de los agroecosistemas, y entendiendo cómo se relacionan entre sí estos componentes, se pueden optimizar los procesos ecológicos, potenciando las interacciones positivas y limitando las negativas (ALTIERI & NICHOLLS, 2010). Para alcanzar este objetivo, es necesario un enfoque sistémico, el cual se aproxima más a la realidad y nos permite entender dicha complejidad (SARANDÓN & HANG, 2002). Este trabajo propone desde el enfoque de sistemas, brindar elementos básicos a tener en cuenta para entender el funcionamiento de los agroecosistemas y desarrollar estrategias y herramientas generales, que nos permitan, mediante prácticas de manejo locales, potenciar esos procesos ecológicos. Para ello, se desarrollan varios conceptos ecológicos básicos como sucesión, evolución, población, nicho ecológico, interacciones biológicas y agrobiodiversidad. Finalmente, éstos son integrados para el análisis y comparación de dos agroecosistemas típicos de la región pampeana argentina.

2 EL ENFOQUE DE SISTEMAS

Los agroecosistemas son sistemas muy complejos. Son básicamente sistemas ecológicos (ecosistemas), con componentes biológicos distribuidos en el tiempo y espacio, interactuando con componentes socioculturales, como los objetivos, conocimientos, racionalidades y culturas de los agricultores (SARANDÓN, 2014). Esta complejidad no puede ser entendida desde un enfoque reduccionista y requiere ser abordada a través del enfoque de sistemas para lograr un manejo sustentable.

En general, en las ciencias agrarias ha prevalecido un enfoque reduccionista que se ha detenido a mirar sólo los componentes del agroecosistema por separado: el suelo, el cultivo o la plaga. Sin embargo, aunque pudiéramos obtener información muy detallada de cada uno de los componentes presentes, poco nos diría esta información sobre el funcionamiento del agroecosistema. Estos componentes interactúan entre sí, y al estudiarlos por separado, no se puede interpretar el comportamiento del agroecosistema como una unidad. La Agroecología utiliza el enfoque de sistemas, que parte de la totalidad del objeto de estudio y de las interacciones que ocurren entre sus componentes (BERTALANFFY, 1992), al entender que el todo es mucho más que la suma de sus partes. La visión sistémica permite percibir aspectos que, de otra manera, pasarían inadvertidos.

El análisis de un sistema requiere definir nuestro objeto de estudio (el agroecosistema) e identificar sus componentes, procesos, interacciones, sus límites y las entradas y salidas, generando un modelo simplificado de la realidad.

Componentes biológicos: Tanto los ecosistemas naturales como los agroecosistemas cuentan con productores, consumidores y detritívoros o descomponedores (SMITH & SMITH, 2007). Dicha clasificación se realiza según su función dentro de la cadena trófica.

➤ Los productores (autótrofos) transforman y acumulan la energía lumínica en energía química, a través de la fotosíntesis. Son la base de la cadena trófica y de la biodiversidad que puede sostener el sistema. Como ejemplo: los árboles, arbustos, cultivos, vegetación espontánea.

➤ Los consumidores (heterótrofos) se encuentran en un nivel trófico superior y precisan de los productores para subsistir, ya que no pueden transformar la energía lumínica. Los que se alimentan de vegetales se denominan consumidores primarios o herbívoros y es donde encontramos a los insectos plagas y a otros animales domesticados y silvestres (ovejas, cerdos, vacas, aves, liebres, etc.). Los que se alimentan de animales son los consumidores secundarios o carnívoros y es donde encontramos a los enemigos naturales (predadores y parasitoides de plagas) y a otros animales (fieras, aves rapaces, etc.).

➤ Los detritívoros o descomponedores (heterótrofos) se alimentan de deyecciones de animales o de tejidos muertos (plantas o cadáveres) y actúan en el reciclado de la materia orgánica y los nutrientes. Numerosos microorganismos, micro, meso y macrofauna se encuentran en este grupo.

Límites: Es esencial definir los límites del sistema para identificar las entradas y salidas del mismo. Estos se establecen en función al objetivo o interés y deben ser tridimensionales (límites horizontales y verticales). Así, en un agroecosistema, los límites horizontales serían el alambrado perimetral de la finca, el límite inferior la máxima profundidad de las raíces del cultivo y el superior la altura de la planta más alta (árboles).

Otra cuestión importante es definir el nivel jerárquico. En este sentido, se debe tener en cuenta que cualquier sistema es un subsistema de un sistema mayor, y a su vez, dentro del mismo hay subsistemas. Se considera que deben tenerse en cuenta como mínimo tres niveles (el nivel de análisis, el nivel que lo contiene y los niveles dentro del mismo) para poder entender un sistema. El análisis puede hacerse a cualquier nivel: de país, de región, de finca o parcelas.

3 PROCESOS ECOLÓGICOS DE LOS AGROECOSISTEMAS

En los sistemas naturales y, por lo tanto en los agroecosistemas, pueden identificarse 5 procesos básicos: flujo de energía, ciclo de nutrientes, ciclo del agua, regulación biótica y sucesión (LUGO & MORRIS, 1982). A esto hay que sumarle el proceso de evolución.

➤ **Flujo de energía:** se pueden identificar dos procesos: la fotosíntesis y la respiración. A través de la fotosíntesis las plantas (autótrofos) transforman la energía lumínica en química. El producto de la fotosíntesis se denomina producción primaria bruta (PPB), siendo todo lo que la planta fijó en el proceso. La respiración es la energía consumida por todos los organismos del ecosistema para realizar sus procesos vitales (crecimiento, reproducción, vuelo, etc.). La diferencia entre la fotosíntesis y la respiración de las plantas es la producción primaria neta (PPN), y es ésta la energía que se acumula en la biomasa vegetal. La productividad neta de la comunidad (PNC) es la

energía fijada restante luego de descontar la respiración de las plantas y de los animales (heterótrofos). En los agroecosistemas generalmente la fotosíntesis es mayor que la respiración; por lo tanto, este valor será mayor a cero, ya que el principal objetivo es la producción de un excedente. En los ecosistemas naturales maduros, el valor es igual a 0. Pero también puede ser menor a cero, como en las ciudades o en los sistemas de producción de engorde a corral de animales, que por lo tanto, requieren de agroecosistemas que produzcan un excedente.

➤ El **ciclo de nutrientes** está asociado a las transformaciones químicas que experimentan los materiales a través de su paso por el suelo, aire y agua con la intervención de microorganismos, donde quedan a disposición de las plantas en forma de nutrientes. Éstos, son esenciales para el crecimiento de las plantas pero se encuentran disponibles sólo parcialmente y en un momento dado y pueden agotarse si no se manejan adecuadamente.

➤ El **ciclo del agua** es una secuencia de fenómenos por los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, evaporándose de mares y lagos y evapotranspirando de las plantas a la atmósfera, y regresa, en general, en forma líquida o sólida, a través de la lluvia o en forma de nieve. En este proceso, la vegetación tiene un rol fundamental, ya que absorbe el agua a través de sus raíces y la libera por sus hojas en forma de vapor. Sin embargo, las plantas también precisan el agua para sobrevivir, de ella depende la supervivencia de todas las especies y, en consecuencia, su futuro.

➤ La **regulación biótica** es el equilibrio entre los componentes biológicos que forman la red trófica del sistema. Entre las interacciones más importantes que contribuyen a este equilibrio encontramos el herbivorismo, la predación y el parasitismo. En los agroecosistemas simplificados, con baja diversidad, estas interacciones se ven afectadas, favoreciendo la aparición de las plagas, malezas y enfermedades, lo que lleva a una necesidad del uso de insumos para recuperar (en forma artificial) el equilibrio entre los componentes del sistema.

➤ **Sucesión.** Los ecosistemas tienen la tendencia de cambiar su estructura y funciones en el tiempo, de forma organizada, hasta llegar a una etapa final estable, conocida como clímax o estado maduro (donde la PNC= 0). Sin embargo, los agroecosistemas son llevados artificialmente a etapas tempranas de la sucesión, para que la PNC sea mayor a cero y por lo tanto haya una cosecha, un excedente. Pero, para llevarlos y mantenerlos en etapas tempranas, es necesario el aporte de subsidios energéticos, en forma de trabajo o pesticidas, para contrarrestar la tendencia natural del sistema hacia estados maduros.

En los agroecosistemas, la sucesión ecológica es un fenómeno frecuente y es el responsable de muchos problemas agronómicos. Luego de una perturbación (por ejemplo remoción del suelo), toda la comunidad original se altera, y quedan disponibles una gran cantidad de recursos (agua, nutrientes, luz, etc.). Las primeras especies que aparecen son denominadas estrategias r, que tienen características que les permiten ser exitosas en estas condiciones, ya que invierten gran parte de su energía metabólica en una rápida reproducción para capturar esos recursos abundantes (PALEOLOGOS & SARANDÓN, 2014). Muchas malezas pertenecen a esta tipo de plantas. A medida que avanza la sucesión, las condiciones del ambiente van cambiando a consecuencia del propio desarrollo de la comunidad: los nutrientes, agua y luz van siendo cada vez más escasos. Así aparecen especies con características diferentes (llamadas estrategias k), que invierten una mayor energía metabólica en ser

eficientes en la captura y competencia por los recursos cada vez más escasos (PALEOLOGOS & SARANDÓN, 2014). Así las especies pioneras, de nicho generalista, van siendo reemplazadas por las estrategias k, de nicho especialista, lo que produce un cambio en la comunidad a lo largo de las etapas de la sucesión.

Además de estos aspectos, a lo largo del proceso de sucesión se producen otros cambios en la estructura, funciones y atributos del ecosistema (ODUM, 1969, 1972).

➤ La biomasa y la PPB se incrementan a lo largo del tiempo, así como la respiración autotrófica y heterotrófica (R), por lo que la PNC va tendiendo a cero. Se incrementa la diversidad específica y el número de especies. Esta mayor diversidad lleva asociada un aumento en la complejidad de las cadenas tróficas (ODUM, 1969).

➤ El ciclado de nutrientes se torna más eficiente y tiende a cerrarse, es decir, esta mayor diversidad y ocupación de nichos lleva a que todos los nutrientes sean capturados por las plantas y entren al ciclo interno del sistema. Por el contrario, en las primeras etapas, muchos nutrientes se pierden por lixiviación, volatilización, etc.

➤ Los sistemas se vuelven más estables (capacidad de resistir ante cambios ambientales) y resilientes (capacidad de recuperarse luego de un disturbio).

En general, los agroecosistemas, se encuentran en etapas tempranas de la sucesión, con un predominio de especies autotróficas por sobre las heterotróficas y una baja complejidad del sistema. Sin embargo, mantener los agroecosistemas en etapas tempranas de la sucesión implica reemplazar las propiedades de estabilidad y resiliencia de las etapas maduras por subsidios energéticos y de material (agroquímicos para el control de plagas y enfermedades, laboreo humano, uso de variedades mejoradas, entre otras) (COX, 1984).

La Agroecología propone la idea de “imitar a la naturaleza”, es decir, planificar agroecosistemas que usen como modelo los procesos sucesionales que ocurren en el lugar (FLORES & SARANDÓN, 2014). De esta manera, se logra compatibilizar la productividad de las etapas tempranas con la estabilidad y resiliencia de las etapas tardías. Es importante considerar que cada diseño deberá estar en directa relación con la región y el bioma al que pertenece: cuánto mayores sean las diferencias entre nuestro agroecosistema y el bioma original de la zona, más alejado se encontrará de la etapa estable o climáxica y mayor será la necesidad de incorporar insumos que reemplacen los procesos ecológicos alterados.

Por ejemplo, en una zona de pastizal como la región pampeana (Argentina), las pasturas perennes con predominio de gramíneas tienen una estructura similar a estados más avanzados de la sucesión. Por ello, una forma de aprovechar este proceso sería teniendo una rotación en todas las parcelas de cultivos anuales, forrajes anuales para pastoreo directo (incorporación de materia orgánica con el bosteo) y pasturas perennes. De esta manera, coexisten en el agroecosistema parches en distintas etapas sucesionales, obteniendo el beneficio de la estabilidad en los parches más avanzados que compensan los disturbios más intensos en los parches con cultivos anuales (FLORES & SARANDÓN, 2014).

Evolución. La evolución es un proceso natural de cambio que ocurre continuamente en los agroecosistemas (SARANDÓN, 2014) y es fundamental para entender la resistencia de las malezas a herbicidas, o la resistencia de plagas a pesticidas, uno de los mayores problemas de la agricultura actual. En este sentido existen dos factores claves: la amplitud de la base genética de las poblaciones (variabilidad genética) y la presión de selección.

En los agroecosistemas se trabaja con poblaciones (conjunto de individuos de la misma especie en una misma área). Las poblaciones domesticadas (cultivos o ganado) son uniformes genéticamente, ya que son seleccionadas por características económicas. Por el contrario, las poblaciones silvestres tienen una gran variabilidad genética que les permite adaptarse a los cambios. Cuando se aplica reiteradas veces el mismo producto químico, como por ejemplo un herbicida, mueren una gran cantidad de individuos susceptibles pero sobreviven aquellos que cuentan con algún gen de resistencia (preexistente a la aplicación del producto). Estos individuos a su vez se reproducen, y las próximas generaciones tendrán una mayor frecuencia de genes con resistencia al herbicida. En pocos años, toda la población será resistente.

A mayor presión de selección, mayor velocidad de adaptación y cambio de la población. Por ejemplo, un cambio ambiental que genere un 90% de mortandad entre los individuos de la población, ejercerá una mayor presión de selección que uno que cause un 70% de mortandad. Si menos individuos sobreviven, la nueva generación tendrá mayores posibilidades de heredar los genes de resistencia. Por ejemplo, junto con las plantas transgénicas de maíz Bt, maíz al cual se le incorporó una toxina que elimina las larvas de lepidópteros, se sugiere sembrar como refugio, entre un 10 y un 40% de maíz no transgénico. Esta estrategia busca disminuir la presión de selección, buscando que lepidópteros resistentes se crucen con los susceptibles, retrasando la aparición de poblaciones resistentes.

Una alta presión de selección, pero en un corto período de tiempo, permitiría que la población recupere variabilidad genética, pero si se mantiene durante mucho tiempo sólo permitiría sobrevivir a los individuos resistentes, y al cabo de varias generaciones, serían dominantes. Ejemplo de ello son las malezas resistentes al glifosato, como el sorgo de Alepo, ya que hace 20 años que se utiliza el mismo herbicida junto a la soja transgénica. Por lo tanto, cambiar de producto o estrategia es importante para disminuir la presión de selección y evitar la aparición de resistencia.

4 DIFERENCIAS ENTRE AGROECOSISTEMAS Y ECOSISTEMAS NATURALES

Como se señaló anteriormente, los agroecosistemas son sistemas naturales modificados por los seres humanos para proveer alimento y fibras. Por eso, conocer ciertas características de los ecosistemas y cómo las mismas son afectadas por ciertas prácticas agrícolas, es esencial para planificar un manejo adecuado de los recursos (SARANDÓN, 2014). Las diferencias entre estos dos tipos de sistemas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Algunas similitudes y diferencias entre ecosistemas naturales y agroecosistemas. Fuente: SARANDÓN (2014)

Atributos	Ecosistema natural	Agroecosistema
Objetivo	Ninguno	Utilitario
Gestor	Nadie	Agricultor/a
Fuente de energía	Solar (mareas)	Solar + artificial (combustibles fósiles)
Diversidad biológica	Alta	Baja
Fuerza de selección	Natural (evolución)	Humana (económica)
Productividad (PNC)	Baja (nula)	Alta
Ciclo de nutrientes	Cerrado (prácticamente)	Abierto
Sincronización entre plantas y microorganismos	Alta	Baja
Estabilidad	Alta	Baja
Resiliencia	Alta	Baja

En los agroecosistemas siempre hay un objetivo utilitario y, por lo tanto, un responsable de su manejo, mientras que los ecosistemas naturales no cuentan con ningún objetivo.

La *fuerza de energía* en los ecosistemas naturales es el sol, mientras que en los agroecosistemas se requiere además de otras fuentes, como la energía fósil, derivada del petróleo. Esta energía extra puede ingresar de manera directa como combustible o de manera indirecta como energía utilizada para la fabricación de insumos y maquinarias.

La *biodiversidad* se refiere a la variación de genes, especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas (UNEP, 1992). Los sistemas naturales cuentan con una alta biodiversidad, mientras que los agroecosistemas son simplificados por el ser humano, al reemplazar gran variedad de especies silvestres por pocas especies y variedades de utilidad agrícola.

Las *fuerzas de selección* también son diferentes: en los ecosistemas, es la selección natural la que actúa constantemente favoreciendo a los individuos más aptos; en los agroecosistemas es el ser humano quien realiza esa tarea, eligiendo por estructuras económicas útiles.

El *aprovechamiento de los recursos*: en los ecosistemas naturales, diversos y complejos, todos los recursos se aprovechan al máximo, lo que reducen al máximo la pérdida de nutrientes, que es casi cerrado. Por el contrario, en un agroecosistema, con baja diversidad y complejidad, los recursos sólo se aprovechan cuando el cultivo está sembrado y con la capacidad para absorberlos, es decir, gran parte del año muchos recursos no son aprovechados. Esto genera un importante riesgo de pérdidas por erosión, lixiviación y/o volatilización, lo que, sumado a la extracción de un producto de cosecha, transforma al ciclo de nutrientes en un ciclo abierto.

La *continuidad espacio-temporal y sincronización de microorganismos-plantas*: en los sistemas naturales, como bosques o pastizales se puede observar que no hay cambios bruscos en cuanto a la continuidad espacial y temporal. En cambio, en los agroecosistemas sus componentes aparecen y desaparecen de forma brusca, como en la siembra y en la cosecha. Como consecuencia, la sincronización entre microorganismos y plantas es débil, ya que en un lapso breve de tiempo hay que

descomponer una gran cantidad de materia que ingresa al suelo, como después de una cosecha, pero no se encuentra una cantidad de microorganismos acorde a ese ingreso de materia. En los sistemas naturales existe continuamente un proceso de descomposición por parte de los microorganismos.

5 PRINCIPIOS DE ECOLOGÍA DE POBLACIONES

Los ecosistemas y agroecosistemas son sistemas complejos integrados por diferentes niveles de organización. Tenemos individuos, que se agrupan en poblaciones (conjunto de individuos de la misma especie), estas en comunidades (conjunto de poblaciones), luego ecosistemas (conjunto de comunidades) y biomas (conjunto de ecosistemas) (SMITH & SMITH, 2007).

Los componentes biológicos de los agroecosistemas están constituidos por poblaciones de especies. Algunas poblaciones son especies domesticadas como los cultivos, mientras que otras corresponden a las poblaciones silvestres que crecen espontáneamente. Estos componentes se relacionan entre sí a través de interacciones biológicas, las que determinan el grado de cumplimiento de los procesos ecológicos. La ecología de poblaciones constituye una ciencia que resulta de una gran utilidad para entender el funcionamiento de los agroecosistemas.

Una **población** puede definirse como un conjunto de individuos de la misma especie que viven en un mismo hábitat y tiempo, y que comparten ciertas propiedades biológicas, las que resultan en una afinidad reproductiva y ecológica del grupo. La afinidad ecológica se refiere a la presencia de interacciones entre ellos, resultantes de poseer requerimientos similares para la supervivencia y la reproducción, al ocupar un espacio generalmente heterogéneo en cuanto a la disponibilidad de recursos (MORLANS, 2004). Desde la agricultura, generalmente, se han encarado los agroecosistemas como si los mismos fueran un conjunto de organismos y no poblaciones. Por ejemplo, nos referimos al “problema de la mosca blanca en tomate”. Lo correcto sería referirnos al problema del crecimiento de la población de “mosca blanca” en la población de tomate. Las poblaciones tienen propiedades particulares y se comportan de una manera diferente a los organismos. Entender esto y conocer estas particularidades de las poblaciones nos permite predecir y tomar decisiones más adecuadas.

6 PROPIEDADES DE LAS POBLACIONES

Las características de una población, es decir sus variaciones en el espacio y en el tiempo, están determinadas por sus propiedades biológicas. Dentro de las propiedades biológicas encontramos sus preferencias de hábitat, su modo de reproducción, su modo y capacidad de aprovechar los recursos disponibles, entre otras. Estos factores, en correlación con las particularidades del medio donde la población reside (factores extrínsecos), determinarán el potencial con el cual, por ejemplo, una plaga puede desarrollarse en nuestro cultivo.

Dentro de las propiedades biológicas de una población, encontramos las propiedades estructurales y las propiedades dinámicas, éstas últimas están determinadas por las propiedades estructurales (Tablas 2 y 3).

La densidad de una población no es constante y depende de sus niveles de natalidad, mortalidad y dispersión. El diseño del agroecosistema puede tender a disminuir la densidad de las poblaciones de plagas y/o favorecer el aumento de sus enemigos naturales. Por ejemplo, manejando el grado de diversidad dentro de nuestro cultivo podemos favorecer o no las condiciones para las poblaciones de plagas. Así, un sistema de policultivos resulta menos atractivo para las plagas por la dificultad que éste representa al momento de encontrar su alimento, resultando en una disminución de la inmigración de las plagas y un aumento de la emigración de las mismas hacia sistemas más favorables. Por el contrario, en un monocultivo, donde el alimento está ampliamente expuesto, las poblaciones de plagas van inevitablemente a inmigrar hacia nuestro sistema. Otros aspectos como las barreras de vegetación o la presencia de ambientes seminaturales cercanos, pueden disminuir el ingreso de las plagas a nuestro cultivo, y favorecer la inmigración de la fauna benéfica.

Tabla 2. Propiedades estructurales de las poblaciones. Modificado de MORLANS (2004)

Propiedades Estructurales	Tamaño: Definido por la abundancia y densidad de la población	Abundancia: Número de individuos	Número de pulgones/ hoja número de arañuelas/ folíolo número de chinches/metro lineal
		Densidad: Número de individuos por área	
	Proporción etárea: cantidad de individuos de cada edad o intervalo de edad		Estos dos aspectos condicionan la tasa de natalidad y de mortalidad de la población. Es decir, la proporción de sexos y edades determinan el tamaño de la población y sus cambios en el tiempo
	Proporción de sexos: Número o proporción de individuos de uno y otro sexo		
	Distribución espacial: El grado de interacción entre los organismos de una misma población, determina el patrón de distribución de la misma	Uniforme: Los organismos se ubican en el espacio a distancias regulares entre sí.	Distribución rara en la naturaleza pero típico diseño de nuestros cultivos en el campo. Asociada a un ambiente homogéneo y de relación negativa entre los individuos de la población. Por ejemplo una fuerte competencia que los obliga a separarse entre ellos para sobrevivir.
		Al azar: Cada lugar del espacio tiene la misma probabilidad de ser ocupado por un organismo de la población o por otro	La presencia de un individuo en un punto determinado no afecta la de otro en las inmediaciones. Probable en ambientes muy homogéneos y los individuos no tienen tendencia a agregarse.
		Agregada: los organismos se disponen formando grupos	Ocurre en un medio heterogéneo donde existe micro hábitats más óptimos que otros para los organismos. También, la presencia de un organismo puede atraer a otros, por la reproducción o porque resulta beneficioso contra los depredadores. En plantas esta distribución responde a un modo de reproducción o dispersión de propágulos. Distribución más frecuente en la naturaleza, tanto en plantas como animales.

Tabla 3. Propiedades dinámicas de las poblaciones. Modificado de MORLANS (2004)

Propiedades Dinámicas	Tasa de natalidad (N): Cantidad de individuos que nacen/tiempo. Cada especie tiene una capacidad	Estos cuatro parámetros se relacionan entre sí a través de
-----------------------	--	--

	reproductiva propia.	una ecuación que describe el tamaño de una población (PIANKA, 1982). En términos generales, la densidad de una población $N(t)$ en un sistema y tiempo dado responde a: $N(t) = N - M + I - E$	
	Tasa de mortalidad (M): Cantidad de individuos que mueren/ tiempo		
	Dispersión: Es el desplazamiento de los individuos de una población en el espacio. La dispersión determina la abundancia y densidad de la población.	Inmigración (I): Movimiento de los individuos desde afuera hacia adentro de la población. Emigración (E): Desplazamiento de los individuos hacia afuera de la población	
	Curvas de crecimiento: el tamaño de una población no es estático, sino que cambia en el tiempo. Sin embargo, las poblaciones pueden crecer respondiendo a diferentes modelos de crecimiento.	Crecimiento Exponencial: Poblaciones donde la tasa de crecimiento r (individuos que nacen/hembra/t) es constante, independientemente del tamaño de la población (densoindependiente).	Poblaciones exitosas en ambientes de recursos ilimitados, donde no existe competencia. El crecimiento de la población está limitado únicamente por su capacidad de autoreproducirse (HICKMAN et al., 1994; TYLER MILLER, 1994).
		Crecimiento sigmoideo: Poblaciones donde la tasa de crecimiento (individuos que nacen/hembra/t) varía en función al tamaño de la población (densodependiente).	En estas poblaciones, a medida que aumenta el número de individuos aparece la competencia intra-específica por los recursos. Esta competencia disminuye la tasa de crecimiento y, por lo tanto, disminuye el crecimiento poblacional. Estas poblaciones suelen tener densidades bastante estables, fluctuando alrededor de un valor medio de densidad al que se lo denomina K (BEGON et al., 1988; TYLER MILLER, 1994)

Conocer el modelo de crecimiento de las poblaciones que integran nuestro sistema es indispensable para elegir las estrategias adecuadas de manejo. Las poblaciones con un tipo de crecimiento exponencial (Tabla 3) suelen alcanzar densidades muy abundantes ante recursos disponibles, los cuales luego se tornan insuficientes para sostener el elevado número de individuos, por lo que mueren catastróficamente así como por factores naturales de mortalidad (BEGON et al., 1988; HICKMAN et al., 1994). Este es el caso de muchas plagas que se encuentran con un sistema cultivado que ofrece gran cantidad (monocultivo) y calidad de alimento, sin competidores ni enemigos naturales. Este tipo de crecimiento también se asocia los grupos denominados “*r estrategias*”. Por el contrario, los enemigos naturales presentan un tipo de crecimiento sigmoideo (Tabla 3), crecimiento también asociado a los llamado “*k estrategia*”.

7 NICHOS ECOLÓGICOS, RECURSO

Un concepto fundamental de la ecología para entender los procesos que ocurren en los ecosistemas y las interacciones es el de “nicho ecológico”. Este

concepto, durante mucho tiempo de uso casi exclusivo por los ecólogos, ha adquirido un gran valor para la comprensión y el manejo de los agroecosistemas y es la base para un diseño correcto de sistemas de policultivos y para el manejo de malezas.

Erróneamente, se suele visualizar al nicho de una especie como el espacio físico que ésta ocupa en un área determinada. Sin embargo, el concepto de nicho es mucho más complejo y considera de manera simultánea un conjunto de múltiples factores que incluyen los recursos y las condiciones que una especie necesita para vivir y reproducirse.

Podemos definir a un recurso como algo que a medida que es utilizado reduce su disponibilidad y se puede volver escaso. Por ejemplo, el agua, los nutrientes y el alimento (hojas, semillas, presas, lugares de nidificación, refugios). Por lo tanto, si los recursos se tornan escasos a medida que son utilizados, pueden ser un factor de competencia entre distintas poblaciones. Por el contrario, dentro de las condiciones, encontramos a todos aquellos factores ambientales que, si bien son necesarios para el desarrollo y reproducción de la especie, no se agotan, no se “usan” y por ende no se compite por ellos. Por ejemplo, la longitud del día, el fotoperíodo, el grado de humedad, la temperatura, el pH del suelo, entre otras.

HUTCHINSON (1957) define el **nicho ecológico** como “los límites, para todos los factores ambientales dentro del cual, los individuos de una especie pueden sobrevivir, crecer y reproducirse”. Dado a lo abstracto del concepto, quizá resulte más fácil si consideramos al nicho como un espacio de n dimensiones, donde cada dimensión representa el requerimiento ambiental que la especie tiene a una variable determinada para sobrevivir y reproducirse. Por ejemplo, podemos definir como dimensiones al pH del suelo, la temperatura, la humedad, el tipo de presas disponibles (especies, abundancia), nitrógeno disponible, presencia de enemigos naturales, entre otras.

A su vez, el nicho de una especie puede ser estrecho o amplio. Por ejemplo, para la dimensión pH del suelo, una especie puede vivir dentro de un rango de pH estrecho (de 7,2 a 7,4) mientras que otra especie puede tolerar un rango de pH mucho más amplio (de 6,5 a 8,2). En este caso, podríamos decir que la primera especie posee un nicho estrecho en relación a esa variable y la segunda un nicho amplio. Así, en función al nicho que ocupan pueden definirse especies especialistas o de nicho estrecho y generalistas o de nicho amplio. Las primeras sólo logran sobrevivir y ser exitosas en ambientes particulares con un estricto conjunto de condiciones ambientales y recursos disponibles (especies tipo k). Por el contrario, las especies generalistas o de nicho amplio son abundantes en ambientes con una amplia gama de condiciones ambientales y gran disponibilidad de recursos (especies tipo r), condiciones propias de los agroecosistemas.

Las características morfológicas y fisiológicas de las distintas especies son el resultado de la adaptación de las mismas a determinadas condiciones particulares del ambiente, por lo que estas características están estrechamente relacionadas con el nicho de la especie, por eso encontramos especies con diferente altura, diferente sistema radicular, diferencias metabólicas, etc. Estos aspectos son importantes a tener en cuenta si consideramos que existe una relación directa entre el nicho y la competencia, una de las interacciones biológicas más negativas para la agricultura, por lo que entender correctamente la relación entre estos conceptos nos dará herramientas más certeras para el manejo de los agroecosistemas.

8 INTERACCIONES BIOLÓGICAS

Entender los componentes que forman parte de los agroecosistemas y las relaciones entre éstos es un aspecto fundamental para lograr diseñar y manejar agroecosistemas de manera sustentable. Desde el enfoque reduccionista predominante en la agricultura convencional, los sistemas agrícolas se han visualizado como unos pocos componentes aislados (cultivo, maleza, plaga, enfermedad), los que sólo mostraban interacciones negativas entre ellos (competencia, herbivorismo, parasitismo, etc.). Sin embargo, en las comunidades presentes en los agroecosistemas, existen interacciones tanto negativas como positivas, las que podemos potenciar o disminuir en función a nuestro objetivo productivo. En la Tabla 4 se muestran algunas de las interacciones biológicas que ocurren en una comunidad.

Tabla 4. Interacciones biológicas entre poblaciones. Se indica con (+) cuando una especie se beneficia de la relación, con (-) cuando resulta perjudicada y con (o) cuando la relación resulta indiferente. Modificado de PALEOLOGOS & SARANDÓN (2014)

Interacción	Población A	Población B	Efecto de la interacción
Competencia	Población A (-)	Población B (-)	Ambos organismos se perjudican
Alelopatía	Población A (-)	Población B (o)	Uno se perjudica y el otro no se ve afectado
Herbivorismo	Población A (-)	Población B (+)	Uno se perjudica y el otro se beneficia
Predación	Predador (+)	Presa (-)	Una especie se beneficia y la otra se perjudica
Parasitismo	Parásito (+)	Hospedador (-)	Un organismo se beneficia y el otro se perjudica
Mutualismo (Simbiosis)	Simbionte A (+)	Simbionte B (+)	Ambos organismos se benefician

La **competencia** constituye una de las interacciones más importantes para la agricultura. Es una interacción que resulta negativa para ambas poblaciones que intervienen y ocurre cuando dos especies que crecen juntas (por ejemplo un cultivo y la maleza, o dos cultivos) tienen requerimientos ambientales similares y, por lo tanto, utilizan recursos que no se encuentran en una cantidad que permita satisfacer las necesidades de ambos. Es decir, no siempre que dos especies se encuentren compartiendo el mismo hábitat habrá competencia, ya que para que esto ocurra son necesarias dos condiciones: nichos similares entre las especies intervinientes y recursos escasos.

La intensidad de la competencia estará estrictamente determinada por el grado de superposición (a mayor similitud, mayor superposición) de los nichos de las poblaciones intervinientes. Ante un recurso escaso, habrá una mayor probabilidad de que las especies compitan cuántas más dimensiones del nicho compartan entre ellas. Considerando que las características morfológicas y fisiológicas de las especies se encuentran directamente relacionadas con sus requerimientos, podemos predecir una posible competencia entre un cultivo y la maleza o entre dos especies de cultivo (policultivo) en función a sus similitudes estructurales o funcionales. Esto, aporta una herramienta muy importante para el manejo de los agroecosistemas y, especialmente, para el manejo de esta interacción.

Pueden clasificarse dos tipos de competencia: la competencia intraespecífica y la competencia interespecífica.

La **competencia intraespecífica**, es aquella que ocurre entre individuos de la misma especie (SMITH & SMITH, 2007). En los agroecosistemas es la competencia que trata de evitarse con el manejo de la densidad de siembra o el número de cabezas por hectárea. Si ponemos demasiados individuos, la competencia intraespecífica puede ser tan fuerte que el rendimiento por superficie puede verse seriamente perjudicado.

La **competencia interespecífica** es aquella que ocurre entre dos poblaciones diferentes. Este es el caso de la competencia entre nuestros cultivos y las malezas. El resultado es una reducción en la fertilidad, el crecimiento y la supervivencia de una o ambas especies. La mayor o menor habilidad para competir que posea una especie dependerá de la otra especie interviniente, de las condiciones ambientales y del factor por el cual se compite (GLIESSMAN, 2002; TYLER MILLER, 1994).

La **alelopatía** se refiere a los efectos perjudiciales o benéficos, que son directa o indirectamente el resultado de la acción de compuestos químicos, que liberados por una planta al medio, ejercen su acción en otra (MOLISCH, 1937). Algunos residuos de cultivo han sido reconocidos por sus efectos alelopáticos negativos sobre otras plantas e incluso sobre insectos plagas (OVERLAND, 1966). Entre estos cultivos encontramos al centeno, trigo, trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*), mostaza negra (*Brassica nigra*) ó sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) y sus efectos negativos actúan sobre la germinación, el crecimiento o desarrollo de la población afectada (BLANCO, 2006).

El **herbivorismo** es una interacción en la cual una población de fitófagos se alimenta de la comunidad vegetal, ya sea de sus hojas o savia (SMITH & SMITH, 2007). Los herbívoros se encuentran en un nivel trófico superior al de los vegetales. En los agroecosistemas, esta relación trófica puede ser una interacción positiva o negativa en función al objetivo buscado. Si estamos hablando de un sistema agrícola, el herbivorismo se daría entre nuestro cultivo de interés y una población plaga, por lo que en este caso sería una interacción negativa. Por el contrario, si estamos hablando de un sistema ganadero, esta interacción sería deseada entre nuestro ganado y el recurso forrajero (pastura, pastizal, granos, etc.).

En la **predación** existe una población predatora que se alimenta de los individuos de una población presa. Los predadores se encuentran en un nivel trófico superior a la población presa. En los agroecosistemas, los predadores forman parte de la llamada fauna benéfica, ya que se alimentan de las poblaciones de plagas. Por ejemplo, las llamadas vaquitas o mariquitas (Coleoptera: Coccinellidae) y las crisopas (Neuroptera: Chrysopidae) constituyen importantes enemigos naturales en los cultivos porque se alimentan de los pulgones. Las arañas, también constituyen buenos predadores de plagas, ya que se alimentan de una gran variedad de organismos.

En el **parasitismo**, existe una población parásita que vive y se alimenta de la población hospedadora. Cada individuo parásito posee sólo un hospedador a largo de su vida, ya que no lo mata. Sin embargo, existen algunos parásitos que matan a su hospedador mientras se desarrollan dentro de éste. Este es el caso de los parasitoides (HICKMAN et al., 1994; TYLER MILLER, 1994), donde se ubican los microhimenópteros, importantísimo grupo que parasita entre otras a los pulgones con gran efectividad.

El **mutualismo** es una interacción que ocurre entre dos poblaciones en la cual ambas obtienen un beneficio mutuo. Dentro del mutualismo, la interacción de mayor importancia para la agricultura es la *simbiosis* y la relación simbiótica más conocida e

importante para la agricultura es la *Rhizobium*- Leguminosa. En esta relación las bacterias fijadoras de nitrógeno, transforman el N₂ atmosférico en nitrógeno disponible para la planta. El ingreso de nitrógeno a través de esta interacción en el suelo es de 65 millones de toneladas métricas de nitrógeno al año (AZCÓN-AGUILAR et al., 1983), y a nivel de parcela puede llegar a unos 150-200 Kg/ha, o incluso más, lo que muestra la importancia que tiene en la reposición de este nutriente.

9 RELACIONES ECOLÓGICAS Y AGROBIODIVERSIDAD

El empleo de las relaciones ecológicas, para elegir correctamente el diseño de los agroecosistemas requiere comprender el funcionamiento de los mismos, para optimizar los procesos y las interacciones positivas y limitar las negativas (STUPINO et al., 2014; BONAUDO et al., 2014). También se busca disminuir las entradas de insumos y las salidas indeseadas, para lo cual es útil, tal como ya señaló anteriormente, identificar claramente los límites del agroecosistema (SARANDÓN, 2014).

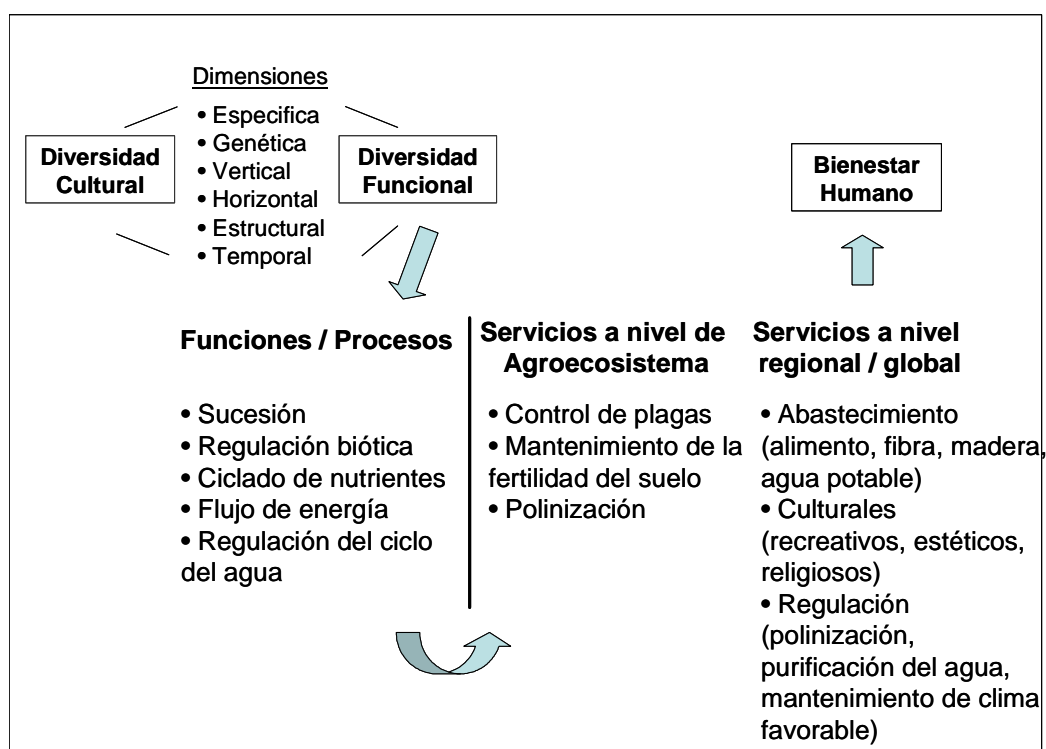
Los componentes que estén presentes en el agroecosistema determinan la complejidad de las interacciones y los procesos presentes, aspectos que constituyen la biodiversidad del sistema productivo. La biodiversidad o diversidad biológica es la variabilidad de organismos vivos, incluyendo los ecosistemas y los complejos ecológicos de los que forman parte (UNEP, 1992), es decir, los organismos vivos de todos los niveles de organización. Cuando se trata de la biodiversidad de los agroecosistemas hablamos de la diversidad biológica agrícola o agrobiodiversidad que, de acuerdo a la UNEP (2000), también comprende a la diversidad cultural, dado que los componentes de la diversidad de un agroecosistema dependen de la influencia humana.

Una mayor agrobiodiversidad promueve más interacciones y, por lo tanto, tramas tróficas más complejas que, a su vez, favorecen el cumplimiento de los procesos ecológicos del agroecosistema (STUPINO et al., 2014). En los agroecosistemas, la composición, estructura y función de la biodiversidad pueden variar en función de tres aspectos: 1) sus componentes biológicos (tipo y número de cultivos, vegetación espontánea, herbívoros, predadores, razas de ganado), 2) su disposición espacial (diseño de siembra, distribución de los lotes de pastoreo, parches de vegetación espontánea) y 3) su disposición temporal (ciclo de cultivo, rotaciones, disturbio a causa de las labranzas, pariciones del ganado). Estos aspectos de la biodiversidad pueden analizarse a partir de las 7 dimensiones propuestas por GLIESSMAN (2002): *genética* (variabilidad de genes), *específica* (número de especies), *vertical* (número de estratos), *horizontal* (distribución espacial dentro de cada componente), *estructural* (complejidad de nichos y hábitat) y *funcional* (grado de cumplimiento de procesos).

La dimensión funcional, tal vez la más importante agronómicamente, es una resultante de las otras dimensiones. Si se buscan interacciones complejas y el cumplimiento de procesos, es necesario lograr un buen grado de diversidad en las otras dimensiones (STUPINO et al., 2014). El manejo que realicen los agricultores determinará el nivel de agrobiodiversidad presente y la complejidad del sistema (SALEMBIER et al., 2016). Por ejemplo, es el agricultor/a quién establece la superficie de las parcelas, los cultivos que va a realizar, la distancia entre plantas, el manejo de la fertilidad, el nivel de tolerancia a las malezas, la presencia de ganado, etc. Por lo tanto,

las relaciones ecológicas dependen de la presencia y manejo de la agrobiodiversidad, determinada en última instancia por las prácticas de manejo del agricultor/a (BLANDI, 2016). Estos procesos que ocurren en los agroecosistemas, se traducen en un control de las plagas, mantenimiento de la fertilidad, polinización, descomposición de la materia orgánica, entre otros, que nos acercan a un manejo más sustentable (MARTÍN-LÓPEZ et al., 2007) (Figura 1).

Figura 1. Modelo simplificado de las dimensiones, funciones y servicios ecológicos de la biodiversidad en los agroecosistemas, a partir de NICHOLLS (2006) y MARTÍN-LÓPEZ et al. (2007). Fuente: STUPINO et al. (2014)



Cuando un agroecosistema tiene baja biodiversidad, característica distintiva de los sistemas modernos, las interacciones y procesos están debilitados y, en consecuencia, es necesario utilizar más cantidad de insumos externos al sistema (SWIFT et al., 2004), como los plaguicidas, fertilizantes, para compensar esa función que se encuentra debilitada. Contrariamente, en agroecosistemas diversos, el aprovechamiento de las interacciones y procesos ecológicos propios del lugar, permite disminuir el uso de insumos externos, minimizando además las salidas indeseadas (SWIFT et al., 2004; ALTIERI & NICHOLLS, 2010). Así, la agrobiodiversidad, en todas sus escalas, se convierte en un instrumento indispensable para diseñar agroecosistemas sustentables (PALEOLOGOS et al., 2015).

El manejo de la agrobiodiversidad es clave si se busca la regulación biótica de plagas, al desfavorecer el herbivorismo y potenciar las interacciones de predación y parasitismo. Su rol en la regulación biótica se explica a través de los mecanismos “bottom-up” y “top-down” (ALTIERI & NICHOLLS, 2010; RATNADASS et al., 2012). El primero es el control de la población de plaga a través del manejo de la relación entre

el componente plaga (herbívoros) y el alimento (vegetación cultivada y espontánea). El control “top-down” es el control de la plaga a través de los enemigos naturales (predadores y parasitoides). Así, una mayor agrobiodiversidad vegetal cultivada y espontánea, fragmentada en parcelas pequeñas o sembrada como policultivos, aumenta la diversidad en todas sus dimensiones. Esta mayor diversidad vegetal genera una desconcentración del recurso alimenticio para las plagas, disminuyendo la posibilidad de una explosión poblacional (“bottom-up”). A su vez, la presencia de ambientes que funcionan como reservorio de predadores y parasitoides favorece el control de la plaga a través de sus enemigos naturales (“Top-down”).

10 EJEMPLOS DE LA APLICACIÓN DEL ENFOQUE DE SISTEMAS Y EL MANEJO DE LAS RELACIONES ECOLÓGICAS EN EL MANEJO DE AGROECOSISTEMAS

La Región Pampeana Argentina, ha Experimentado, en los últimos 25 años, un proceso de agriculturización y un avance del monocultivo de soja (AIZEN et al., 2009), en gran parte de su territorio, que ha desplazado a un modelo de producción mixto (cultivos y ganadería), tradicional en muchas regiones. Una de las razones de estos cambios es la supuesta mayor rentabilidad que parecen tener estos sistemas cuando se aplica el análisis costo-beneficio, que es incapaz de estimar los costos ambientales y sociales (FLORES & SARANDÓN, 2003, 2004; ZAZO et al., 2011). La aplicación de este análisis subestimó, por lo tanto, el aporte de los ambientes ganaderos al funcionamiento de los agroecosistemas pampeanos, al considerar sólo el valor monetario (el precio) de la carne vs. los granos o la soja.

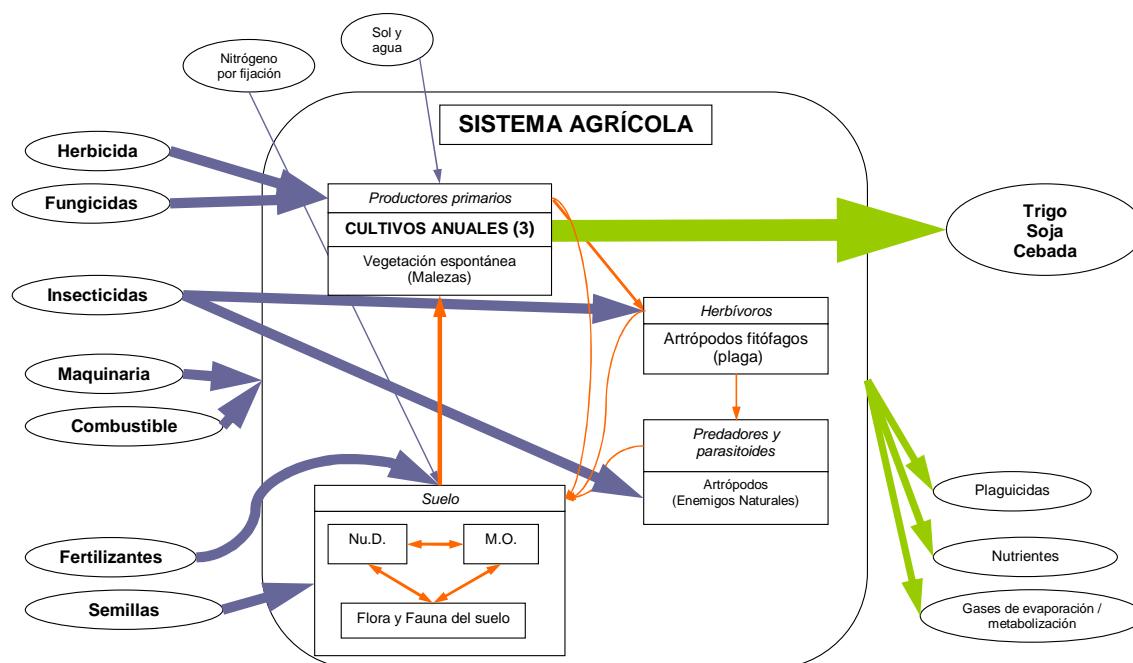
Sin embargo, un análisis más completo, sistémico, permite entender el funcionamiento de estos dos modelos productivos (mixto vs. agrícola empresarial) y comprender las consecuencias de los cambios en el uso del territorio. Esto es lo que analizó IERMANÓ (2015) comparando sistemas puramente agrícolas empresariales con mixtos familiares. Este análisis demostró que los sistemas agrícolas (Figura 2) tienen una baja variabilidad en sus componentes y, por lo tanto, pocas interacciones, ya que buscan el crecimiento exclusivamente de poblaciones cultivadas (soja, maíz, etc.). Para ello el suelo debe estar libre de malezas de manera de evitar la competencia con el cultivo de interés, que en general proviene de la siembra de semillas compradas, modificadas genéticamente para aumentar su productividad (escasa diversidad genética y específica) (SALEMBIER et al., 2016). La forma de eliminar esa interacción es con enormes cantidades de herbicida. Esto afecta la biología del suelo y favorece la pérdida de nutrientes por volatilización y lixiviación, ya que no hay vegetación que retenga los nutrientes.

Tampoco existen, en los agroecosistemas puramente agrícolas, áreas seminaturales, porque toda la superficie es aprovechada al máximo para la siembra en grandes parcelas uniformes (escasa diversidad horizontal y vertical) (IERMANÓ et al., 2015). Los autótrofos quedan reducidos al cultivo y a unas pocas especies espontáneas o malezas. El herbivorismo se intenta controlar con insecticidas que, en muchos casos, afectan a todas las poblaciones de artrópodos presentes, reduciendo así la variabilidad en los componentes de herbívoros, predadores y parasitoides. La reducción de la diversidad vegetal dentro de cada ambiente o parche, afecta también a los otros componentes (heterótrofos), ya que desaparecen los sitios de alimentación y refugio. La vida del suelo se modifica al verse afectado el ingreso de materia orgánica, como

consecuencia de la eliminación de las rotaciones, la fertilización exclusivamente química, el control de adversidades con plaguicidas de amplio espectro, ausencia del componente ganadero, entre otras.

En consecuencia, estos sistemas requieren enormes cantidades de insumos externos para mantener al sistema en una etapa muy temprana de la sucesión, para alcanzar altos niveles de productividad. Las interacciones están debilitadas por la baja variabilidad de componentes y el esfuerzo por eliminarlas. La biología del suelo se ve empobrecida, por lo que la tramas tróficas de los descomponedores son menos complejas. A su vez, el uso de insumos contaminantes genera mayor cantidad de salidas indeseadas (externalidades: pérdida de nutrientes por volatilización y lixiviación, residuos de plaguicidas).

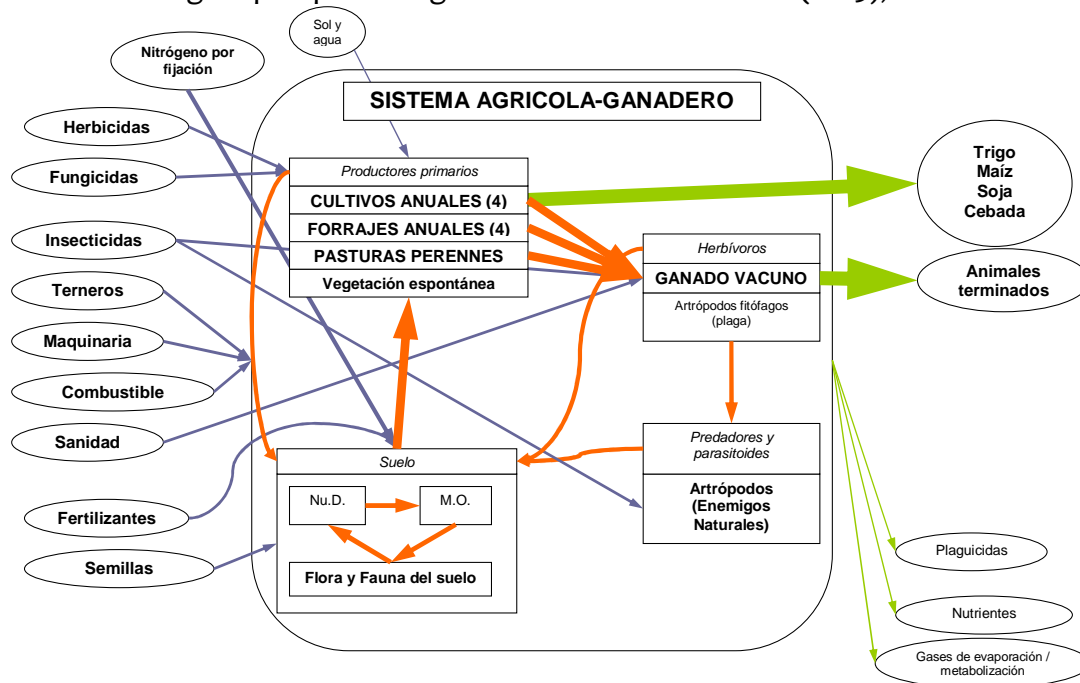
Figura 2. Modelo de funcionamiento de un sistema agrícola moderno de la región pampeana argentina. Fuente: IERMANÓ (2015), modificado



Por el contrario, los agroecosistemas mixtos, que integran cultivos agrícolas y ganadería vacuna, tienen una mayor potencial para disminuir la utilización de insumos externos por ser sistemas de mayor diversidad (BONAUDO et al., 2014). Por ejemplo, en los sistemas mixtos de la región pampeana (Argentina) (Figura 3) la presencia del componente ganadero genera una mayor diversidad de cultivos y de ambientes que favorecen la complejización de las interacciones y los procesos (IERMANÓ et al., 2015). Esta mayor diversidad favorece el contenido de materia orgánica, la diversidad biológica del suelo, el ciclado de nutrientes y el control de las poblaciones de malezas, plagas y enfermedades (BONAUDO et al., 2014; PEYRAUD et al., 2014). La superficie de pasturas perennes, forrajes anuales y pastizales dentro del agroecosistema (diversidad horizontal), así como los cultivos anuales y los ambientes seminaturales herbáceos y leñosos (montes y cortinas rompeviento), mejoran la biodiversidad en todas sus

escalas favoreciendo la presencia y abundancia de organismos de diferentes niveles tróficos (PEYRAUD et al., 2014).

Figura 3. Modelo de funcionamiento de un sistema mixto (agrícola ganadero pastoril) de la región pampeana argentina. Fuente: IERMANÓ (2015), modificado



En estos agroecosistemas, la presencia de policultivos, debido a la siembra de pasturas perennes consociadas (gramíneas y leguminosas) y forrajes o cultivos anuales intersebrados, permite disminuir la competencia (intra e interespecífica) y potenciar los mecanismos de regulación biótica “bottom-up” y “top-down”. La siembra de varias especies de gramíneas mezcladas con leguminosas (diversidad específica) promueve la existencia de distintos estratos (diversidad vertical) y una distribución espacial aleatoria (diversidad horizontal). Este aumento de la diversidad dentro de la parcela, promueve la presencia de artrópodos benéficos, activa la biología del suelo, fija nitrógeno atmosférico (interacción de mutualismo) y es favorable para el control de malezas (las especies de la pastura ocupan el nicho que, de otra manera, estaría disponible para las malezas). De esta manera, se favorecen los procesos ecológicos de regulación biótica y ciclado de nutrientes (diversidad funcional).

Cuando todas las parcelas rotan con pasturas perennes se obtienen varios años de estabilidad, lo que absorbe el impacto de los disturbios más frecuentes causados por la siembra de cultivos anuales. A nivel agroecosistema, se “diluye” en la rotación el impacto de los plaguicidas y del disturbio ocasionado al implantar un cultivo anual. Las rotaciones incrementan la agrobiodiversidad temporal, estimulan la variedad de organismos del suelo y promueven la actividad de organismos controladores de plagas o enfermedades del cultivo siguiente (RATNADASS et al., 2012). Además, la presencia del componente animal, requiere que el agroecosistema esté dividido (alambrados mediante) en parcelas o lotes de pastoreo, lo que genera una mayor variedad de ambientes con corredores de vegetación asociada y parches leñosos que mantienen la conectividad y los hábitats de refugio (PALEOLOGOS et al., 2008).

De esta manera, estos sistemas dependen menos de insumos externos que en los sistemas exclusivamente agrícolas, dado que el uso de plaguicidas, fertilizante nitrogenado y semillas compradas es menor (IERMANÓ, 2015). La fijación de nitrógeno es mayor debido a la presencia de leguminosas durante largos períodos (pasturas perennes), mientras que la vida del suelo se enriquece complejizando las cadenas de descomponedores. Las interacciones entre poblaciones de los distintos componentes están fortalecidas, dado que las cadenas tróficas son más robustas. A su vez, el menor uso de insumos contaminantes hace que las salidas indeseadas (las externalidades) sean menores.

Los sistemas mixtos suelen tener buenos valores de productividad total del agroecosistema, e incluso mayores si tenemos en cuenta que una parte del producto, la carne, proviene de un eslabón superior de la cadena trófica. La obtención de proteína animal demanda mucha más cantidad de energía que la de origen vegetal, por lo que con igual cantidad de energía se obtiene menos producto, pero de mayor calidad (GLIESSMAN, 2002). Además, la superficie implantada con pasturas perennes se encuentra en una etapa sucesional más avanzada que los cultivos anuales, lo que determina más estabilidad, aunque a veces puede tener una menor productividad respecto a los agrícolas (FLORES & SARANDÓN, 2014). Es necesario entender también que, a veces es necesario “resignar” un poco de productividad a cambio de los servicios ecológicos que ofrecen los sistemas más diversificados y que permiten reemplazar el uso de insumos (BONAUDO et al., 2014; IERMANÓ, 2015).

Este ejemplo demuestra que el enfoque de sistemas es una herramienta indispensable para entender el funcionamiento de los agroecosistemas, identificar las estrategias que favorecen las interacciones positivas, disminuyen las negativas y pueden potenciar los procesos ecológicos, valiéndose de la agrobiodiversidad, a fin de disminuir el uso de insumos y mejorar la sustentabilidad de los agroecosistemas.

REFERENCIAS

AIZEN, M., GARIBALDI, L., DONDO, M. Expansión de la soja y diversidad de la agricultura argentina. **Revista Ecología Austral**. n.19, p.45-54, 2009.

ALTIERI, M., NICHOLLS, C. **Diseños agroecológicos para incrementar la biodiversidad de entomofauna benéfica en agroecosistemas**. Medellín: SOCLA, 2010, 83 pp.

AZCÓN-AGUILAR, C., BAREA, J.M., OLIVARES, J. Simbiosis Rhizobium- leguminosa. Investigación y Ciencia. **Scientific American**: v. 82, p. 84-93, 1983.

BEGON, M., HARPER, J.L., TOWNSED, C.R. **Ecología: individuos, poblaciones y comunidades**. Barcelona: Ed. Omega, 1988 p.

BERTALANFFY, L.V. **Perspectivas en la teoría general de sistemas: estudios científico-filosóficos**. Madrid: Alianza, 1992, 231p.

BLANCO, Y. La utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. **Cultivos Tropicales**. v. 27, n. 3, p. 5-16, 2006.

BLANDI, M.L. **Tecnología del invernáculo en el Cinturón Hortícola Platense: análisis de la sustentabilidad y los factores que condicionan su adopción por parte de los productores.** Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata, La Plata. 2016. 303pp. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10915/52015>

BONAUDO, T., BURLAMAQUI BENDAHAN, A., SABATIER, R., RYSCHAWY, J., BELLON, S., LEGER, F., MAGDA, D., TICHIT, M. Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. **Europ. J. Agronomy** v. 57, p. 43–51, 2014.

COX, G.W. The linkage of inputs to outputs in agroecosystems. In: Lowrance R, BR Stinner & GJ House (Eds). **Agricultural Ecosystem: Unifying concepts.** New York: J Willey & Sons, 1984, p. 187-208.

FLORES, C.C., SARANDÓN, S.J. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El análisis económico convencional y el costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de Agriculturización en la Región Pampeana Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*: 105 (1): 52-67, 2003.

FLORES, C.C., SARANDÓN, S.J. Limitations of the economic neo-classical analysis to evaluate the sustainability of agricultural systems. An example comparing organic and conventional horticultural systems. **Journal of Sustainable Agriculture.** 24 (2): 77-91, 2004.

FLORES, C.C., SARANDÓN, S.J. Desarrollo y evolución de los ecosistemas. En: S.J. Sarandón & C.C. Flores (ed.) **Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables.** La Plata: Edulp, 2014, p. 159-189. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280>.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible.** Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2002, 359 pp.

HICKMAN, CP, ROBERTS, L.S. & LARSON, A. Ecología Animal. En: **Zoología. Principios integrales.** 9ª Edición. España: Mc Graw- Hill/ Interamericana, 1994, p.1052- 1072.

HUTCHINSON, G.E. Concluding Remarks. Cold Spring Harbor Symp. **Quant. Biol**, v. 22, p. 415-427, 1957.

IERMANÓ, M.J. **Sistemas mixtos familiares de agricultura y ganadería pastoril de la región pampeana: eficiencia en el uso de la energía y rol funcional de la agrobiodiversidad.** Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, 2015. Disponible en: (<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46343>).

IERMANÓ, M.J., SARANDÓN, S.J., TAMAGNO, L.N., MAGGIO A.D. Evaluación de la agrobiodiversidad funcional como indicador del “potencial de regulación biótica” en agroecosistemas del sudeste bonaerense. **Revista de la Facultad de Agronomía La Plata.** v. 114, n esp. 1, Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio, p. 1-14, 2015.

LUGO, A.E., MORRIS, Y.G.L. **Los Sistemas ecológicos y la humanidad.** Monografía N° 23. Serie de Biología OEA, 1982, 82 pp.

MARTÍN-LÓPEZ, B., GONZÁLEZ, J.A., DÍAZ, S., CASTRO, I., GARCIA- LLORENTE, M. Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la biodiversidad funcional. **Ecosistemas**, v. 16, n. 3, p. 69- 80, 2007.

MOLISCH, H. **Der Einfluss eine Pflanze auf die andere: Allelopathie.** Jena: Gustav Fischer, 1937,106 pp.

MORLANS, M.C. **Introducción a la ecología de poblaciones. Área de Ecología.** Universidad Nacional de Catamarca: Editorial Científica Universitaria, 2004.

NICHOLLS, C. Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. **Agroecología**, v.1, p. 37- 48, 2006.

ODUM, E.P. The strategy of ecosystem development. **Science** v. 164, p. 262-270, 1969.

ODUM, E.P. **Ecología.** Tercera Edición. México: Editorial Interamericana, 1972 639 pp.

OVERLAND, L. The role of allelophatic substances in the “smother crop” barley. **Am. J. Bot.** v. 53, p. 423-432, 1966.

PALEOLOGOS, M.F., PEREYRA, P.C., SARANDÓN, S.J., CICCHINO, A.C. **El rol de los ambientes semi- naturales en la abundancia y diversidad de coleópteros edáficos en los viñedos de la Costa de Berisso, Argentina** Revista Facultad Agronomía. La Plata, 2015. Volúmen 114 (Núm. Esp.1) Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio: 74-84

PALEOLOGOS, M.F., SARANDÓN, S.J. Capítulo 9: Principios de ecología de Poblaciones. En: SARANDÓN, S.J., FLORES C.C. (ed.). **Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables.** La Plata: Edulp, 2014, p. 235-258. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280>.

PALEOLOGOS, M.F., FLORES, C.C., SARANDON, S.J., STUPINO, S.A., BONICATTO, M.M. Abundancia y diversidad de la entomofauna asociada a ambientes seminaturales en fincas hortícolas de La Plata, Buenos Aires, Argentina. **Rev. Brasileira de agroecología**, v. 3, n. 1, p. 28-40, 2008.

PEYRAUD, J.L., TABOADA, M., L. DELABY. Integrated crop and livestock systems in Western Europe and South America: A review. **Europ. J. Agronomy**, v. 57, p. 31-42, 2014.

PIANKA, E. **Ecología Evolutiva.** Pp: 376, Ed. Omega, Barcelona, 1982.

RATNADASS, A., FERNANDES, P., AVELINO, J., HABIB, R. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. **Agron. Sustain. Dev.** v. 32, p. 273–303, 2012.

SALEMBIER, C., ELVERDÍN, J.H., MEYNARD, J.M. Tracking on-farm innovations to unearth alternatives to the dominant soybean-based system in the Argentinean Pampa. **Agro. Sustain. Dev.** v. 36, n 1, 2015.

SARANDON, S.J. El agroecosistema: Un ecosistema modificado. En: **Agroecología. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables.** Editores: Sarandón, S. J. y Flores, C. C., La Plata: Edulp, 2014, p. 100-130. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10915/37280>. Último acceso: 21 de febrero de 2017.

SARANDON, S.J., HANG, G. La investigación y formación de profesionales en Agroecología para una agricultura sustentable: el rol de la Universidad. En: **Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable.** La Plata: Ediciones Científicas Americanas, 2002, p.451-464.

SMITH, T.M., SMITH, R.L. **Ecología.** 6ª Edición. Madrid: Pearson, 2007.

STUPINO, S., IERMANÓ, M.J., GARGOLOFF, N.A., BONICATTO M.M. La biodiversidad en los agroecosistemas. En: Sarandón, S.J., Flores C.C. (ed.). **Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables.** La Plata: Edulp, 2014, p. 131-158. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280>.

SWIFT, M.J., AMN, I., VAN NOORDWIJK M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes-are we asking the right questions?. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, p. 113-134, 2004.

TYLER MILLER JR. G Los Ecosistemas: ¿Qué son y cómo funcionan? En: **Ecología y medio ambiente.** Grupo Editorial Iberoamericana, 1994, p. 87- 115.

UNEP Convention on Biological Diversity. UNEP – **Environmental Law and Institutions Program Activity Centre**, Nairobi, 1992, Disponible en: <http://www.cdb.int>. Ultimo acceso: septiembre de 2013.

UNEP/CDB/COP/5 The Biodiversity Agenda. Decisiones adoptadas por la conferencia de las partes en el convenio sobre la diversidad biológica en su quinta reunión. Apéndice. Nairobi, 15-26 de mayo 2000.

ZAZO F, FLORES C.C, SARANDÓN S.J. 2011 El “costo oculto” del deterioro del suelo durante el proceso de “sojización” en la región de Arrecifes, Argentina. **Revista Brasileira de Agroecología.** 6(3): 3-20, 2011.

MARÍA FERNANDA PALEOLOGOS. Cátedra de Agroecología, FCAyF. Licenciada en Biología y Doctora en Ciencias Naturales- Facultad de Ciencias Naturales y Museo-UNLP. Docente Curso de Agroecología- Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales- UNLP. Investigador Asistente Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Calle 60 y 117 S/N° La Plata. Argentina. ferpaleologos@gmail.com

MARÍA JOSÉ IERMANÓ. Ingeniera Agrónoma y Doctora de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP). Becaria posdoctoral-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Ruta 27- Km 38,3. 3432 Bella Vista, Corrientes. Argentina. mariajoseiermano@gmail.com

MARÍA LUZ BLANDI. Cátedra de Agroecología. Ingeniera Agrónoma y Doctora de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP). Becaria posdoctoral-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Calle 60 y 117 S/N° La Plata. Argentina. marilublandi@hotmail.com

SANTIAGO JAVIER SARANDÓN. Cátedra de Agroecología. Ingeniero Agrónomo- Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales- UNLP. Profesor Titular Curso de Agroecología de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales- UNLP. Investigador Principal Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Bs. As (CIC). FCAyF. Calle 60 y 117 S/N° La Plata. Argentina. sarandon@agro.unlp.edu.ar

Submetido em: 01/03/2017

Aprovado em: 10/04/2017