

Ayuda didáctica

Aplicación de la teoría ecológica a la solución de problemas agronómicos¹

María Semmartin, Carlos Di Bella, Agustín Grimoldi y Martín Oesterheld

IFEVA, Departamento de Ecología, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, 1417 Buenos Aires, Argentina

Resumen. *El objetivo de este trabajo es mostrar los vínculos que unen la ecología con la agronomía. En particular, nos interesa mostrar la utilidad del estudio de la ecología como parte de la formación del profesional agrónomo. La agronomía estudia los sistemas agrícolas y ganaderos para generar técnicas de manejo que maximicen ciertos objetivos, generalmente económicos, dentro de las restricciones que impone el ambiente. Por su parte, la ecología estudia las relaciones entre organismos y entre éstos y su ambiente en una diversidad de ecosistemas que incluye a los agroecosistemas. La ecología provee los conocimientos para crear un marco de análisis más adecuado de los problemas agronómicos, favorecer el mejor entendimiento de los sistemas y obtener soluciones. Se presentan dos problemas agronómicos concretos que ilustran esto: (1) el manejo del pastoreo sobre pastizales naturales y (2) el control de malezas dentro de un planteo agrícola. En ambos, un enfoque ecológico permite analizar el problema a distintas escalas, respetando las jerarquías definidas para los niveles de organización. En el manejo, del pastoreo es de especial importancia la consideración de la respuesta de las plantas individuales a la defoliación, las relaciones de competencia entre las especies, su demografía, la estructura del canopeo, la composición de la comunidad y la magnitud de los distintos flujos de energía. En el control de malezas, los conceptos ecológicos que cobran importancia son las estrategias de invasión y perpetuación de los individuos de cada especie, la demografía de las poblaciones y las relaciones interespecíficas (fundamentalmente competencia) entre las malezas y el cultivo y entre las diversas malezas. La utilización de éstos y otros conceptos ecológicos resulta indispensable para el manejo óptimo de los recursos naturales.*

Abstract. *The objective of this paper is to show the relation between ecology and agronomy. We particularly stress the importance of ecological knowledge as part of the professional education of agronomists. Agronomy studies agricultural systems in order to generate management techniques aimed at maximizing different objectives within the context of a limited environment. Ecology provides the framework for a better analysis of agricultural problems and a better understanding of agroecosystems. We introduce two agricultural problems as examples: (1) grazing management in natural grasslands and (2) weed control in crop systems. In both situations, an ecological perspective allows to analyze agricultural problems at different scales, according to the hierarchies determined by different levels of organization. Regarding grazing management, it is very important to consider basic ecological concepts on individual plant response to defoliation, competition among species, demography, canopy structure, community species composition, and energy flow. In the case of weed control, we stress the importance of ecological concepts on invasion and perpetuation strategies of individual plants, population demography, and interspecific relations (largely competition) between*

¹ Rolando J.C. León actuó como editor durante el referato de este trabajo.

weeds and crops and among different weeds. The use of these and many other ecological concepts becomes important for the optimal management of natural resources.

Introducción

La ecología es la ciencia que estudia las relaciones entre los organismos y su ambiente (McNaughton y Wolf 1984). La ciencia ecológica abarca un campo muy amplio dentro de las ciencias biológicas y se apoya en conocimientos tan distintos como la física del aire y el comportamiento animal con el fin de reconocer la organización de la naturaleza. A pesar de que la ecología ya ocupa desde hace muchos años un lugar definido entre las ciencias biológicas, existe cierto grado de confusión acerca de su significado ya que es frecuente que se la confunda con el “ecologismo” practicado por grupos y partidos de renombre internacional. A pesar de esta confusión, en este siglo la ciencia ecológica se -ha transformado en una herramienta fundamental para la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas y sus aplicaciones tecnológicas contribuyen al mejor manejo de los recursos naturales.

Dentro de los distintos tipos de ecosistemas, uno de los más intensamente estudiados ha sido el sistema agrícola-ganadero: un grupo de componentes bióticos y abióticos relacionados, algunos de ellos bajo control humano, que constituyen una unidad con el fin de producir alimento y fibra (Elliot y Cole 1989). Los agroecosistemas actualmente ocupan un 30% de la superficie total y generan un 20% de la productividad primaria neta terrestre (Coleman y Hendrix 1988, Elliot y Cole 1989). Abarcan las regiones más productivas de la Tierra y han sido intensamente utilizados por el hombre a lo largo de la historia.

A través de los agroecosistemas circula un importante flujo de materia y energía en forma de fertilizantes, combustible y trabajo humano. Algunas predicciones enuncian que para el año 2000 el área cultivada se incrementará en un 4 % mientras que el crecimiento poblacional mundial será del 40% (Brown 1985, Coleman y Hendrix 1988). Asimismo, en muchas regiones se observa un paulatino deterioro de la capacidad de producción de los agroecosistemas como consecuencia de la pérdida de suelo por erosión, el deterioro de la vegetación por sobrepastoreo o la invasión de malezas. Estas observaciones indican una urgente necesidad de mejorar los rendimientos por unidad de superficie mediante el uso de técnicas de conservación de los recursos.

La agronomía estudia los sistemas agrícolas y ganaderos y los resultados de este ejercicio derivan en distintas técnicas de manejo. Tradicionalmente, la ecología concentró sus investigaciones en el estudio de poblaciones, comunidades y ecosistemas bajo condiciones naturales. Sin embargo, en los últimos tiempos ha crecido el interés en la participación del hombre como un elemento manipulador de los ecosistemas y muchos ecólogos han dirigido su trabajo hacia los agroecosistemas. A pesar del control humano sobre los ecosistemas, las leyes fundamentales que rigen el funcionamiento del sistema agrícola-ganadero son las mismas que rigen los sistemas no antrópicos (Fernández 1979). Como resultado, la ecología ha dado explicación a numerosos fenómenos del campo de la agronomía. Esta, a su vez, ha generado nuevos interrogantes para la ciencia ecológica de la misma manera que la medicina estimula la investigación básica en biología celular y molecular. El vínculo que une a la ecología con la agronomía se asemeja entonces a una simbiosis: una se nutre de la otra. La agronomía presenta fenómenos y problemas que son objeto de estudio de la ecología. Por otro lado, la ecología genera teorías e información básica que son de utilidad para el desarrollo de la tecnología agronómica. El objetivo de este trabajo es mostrar los vínculos que unen la ecología con la agronomía poniendo un énfasis especial en una de las dos direcciones de esta relación: la ecología aplicada a la interpretación y solución de problemas agronómicos.

Un ejemplo claro de la forma en que la agronomía nutre a la teoría ecológica es la teoría de la selección natural de las especies, postulada por Charles Darwin en el siglo pasado. Darwin, quien se definía simplemente como naturalista (Darwin 1872), basó buena parte de su teoría en observaciones sobre el proceso de domesticación y mejoramiento de plantas y animales. El conocimiento empírico desarrollado por muchas generaciones de agricultores resultó para Darwin en un “experimento” crucial para la fundamentación de su teoría de la Selección Natural, un elemento clave de la teoría ecológica. Pocos años más tarde comenzarían las primeras definiciones de ecología (Spalding 1903, Livingston

Tabla 1. Vinculaciones entre conceptos y procesos incluidos en la enseñanza de Ecología y su aplicación en el aprendizaje de otras áreas de la formación del agrónomo y en el trabajo profesional.

Conocimiento en Ecología	Aplicación
Demografía	Control de malezas, manejo de bosques, diagnóstico de problemas y evaluación de prácticas de manejo (mediciones de densidad, cobertura, etc)
Competencia	Control de malezas, deterioro de la vegetación natural
Relación depredador-presa	Interacción planta-animal, sobrepastoreo
Comunidad vegetal	Heterogeneidad ambiental, escalas, relación suelo-vegetación
Evolución, selección natural	Domesticación de plantas y animales, estrategias de invasión de malezas, adaptación de organismos espontáneos y domésticos a su ambiente.
Flujo de energía	Aprovechamiento de la radiación, manejo del canopeo, establecimiento de la carga animal, impacto del control de plagas y parásitos
Circulación de nutrientes	Manejo del suelo, aplicación de fertilizantes, descomposición de materia orgánica, manejo de residuos de cosecha
Jerarquías - Niveles de organización	Análisis de problemas, representación de resultados, heterogeneidad de la vegetación
Sucesión ecológica	Efecto de los disturbios sobre la vegetación, el sobrepastoreo, la desertización, manejo equilibrado de formaciones naturales

1909, Moore 1920), las que le darían a los estudios y teorías de Darwin el marco adecuado para su comprensión.

La otra cara de la interacción entre la ecología y la agronomía, el aporte de conocimientos de la ecología para el desarrollo de tecnologías agronómicas, es evidente cuando se analizan algunos de los temas estudiados por la ecología (Tabla 1). El concepto de niveles de organización jerárquica es un ejemplo de este aporte (ver Apéndice), ya que la ecología permite visualizar el ecosistema a distintas escalas jerárquicas (individuo, población, comunidad, ecosistema) y temporales (tiempo ontogénico, ecológico y evolutivo) (Allen y Star 1982). Esta organización del análisis en distintos niveles de detalle favorece el proceso de investigación y facilita en buena medida la comprensión de los distintos problemas agronómicos. Sin embargo, esta organización jerárquica no siempre es percibida por estudiantes, productores y aún por agrónomos.

Un segundo ejemplo es el conocimiento sobre flujos de energía de los ecosistemas, que ha permitido el desarrollo de modelos de simulación que cuantifican la energía que circula de un compartimiento del sistema hacia otro. Estos modelos pueden ser aplicados, por ejemplo, a ecosistemas pastoriles, con el objetivo de estimar la producción de biomasa vegetal (productividad primaria) (Coughenour 1984, McNaughton 1984, Lauenroth et al. 1986) y la producción de carne (productividad secundaria) (Parsons et al. 1988). Asimismo permiten evaluar la magnitud y las diferentes formas de pérdida de energía dentro de cada compartimiento. El conocimiento de la dinámica y funcionamiento de los flujos de energía, así como el de los factores que los regulan, permite actuar sobre ellos modificándolos, con el propósito de optimizar la productividad y la

utilización del agroecosistema.

En las secciones siguientes se pone de manifiesto, a través de dos ejemplos concretos, el aporte de la ecología a la solución de problemas agronómicos. En el primer ejemplo presentaremos algunas bases ecológicas del manejo del pastoreo, determinando los componentes del sistema y algunas de las interacciones planta-animal para los distintos niveles de organización jerárquica. El segundo ejemplo está vinculado con la ecología de malezas y muestra cómo el estudio de las características morfológicas y la comprensión del funcionamiento del ciclo de una maleza (sorgo de alepo) ha sido de importancia vital para su control.

Pastoreo

Una gran proporción de agrónomos se enfrenta durante su vida profesional con un problema de naturaleza compleja: el manejo de animales de pastoreo con el fin de maximizar la producción de carne, leche o lana. La ecología provee herramientas para la comprensión del problema y en esta sección trataremos de mostrar algunas de ellas.

Como viéramos en la sección anterior, la ecología reconoce una organización jerárquica de la Naturaleza. Este enfoque permite analizar problemas agronómicos complejos descomponiéndolos en aspectos parciales correspondientes a distintos niveles o escalas dentro de una jerarquía de niveles de organización. Los animales en pastoreo interactúan con el ambiente a distintas escalas, afectando distintos procesos en cada una de ellas. A la escala de la planta individual los herbívoros producen cambios en el metabolismo, la tasa de crecimiento y la morfología. A la escala de la comunidad vegetal el pastoreo modifica la composición de especies y la estructura del canopeo. Finalmente, a la escala del ecosistema, los animales afectan el flujo de energía y la circulación de nutrientes. Por lo tanto, describiremos a continuación algunos de los efectos del pastoreo en esos tres niveles.

Planta individual

El pastoreo afecta los dos componentes de la tasa de crecimiento de una planta: la biomasa y la tasa de crecimiento relativa. Por un lado, la remoción de hojas ocasionada por el pastoreo tiende a disminuir la tasa de crecimiento ya que una planta recientemente defoliada cuenta con menor biomasa (McNaughton 1983). Por otro lado, la remoción de hojas puede ser acompañada por un aumento en la tasa de crecimiento relativa (TCR) de los tejidos remanentes. Este aumento en la TCR puede explicarse por cambios en el ambiente provocados por el pastoreo, tales como mayor intensidad lumínica sobre los tejidos basales, mayor conservación de la humedad del suelo debido a una reducción de la superficie transpiratoria y mayor reciclado de nutrientes a través de la orina y las heces (McNaughton 1979). Estos cambios ambientales aumentan la tasa de fotosíntesis y, junto con cambios en el movimiento de recursos dentro de la planta, pueden aumentar la TCR. Por lo tanto, el pastoreo puede tener un efecto positivo o negativo sobre el crecimiento de plantas individuales (McNaughton 1983).

Los agrónomos al tomar decisiones sobre la genética de las plantas forrajeras, la intensidad y frecuencia del pastoreo, el estado ontogénico de las plantas al momento de la defoliación y la parte de la planta que es removida (McNaughton 1979) deben considerar estas respuestas ecofisiológicas de las plantas individuales a la defoliación. Por ejemplo, al decidir la intensidad de pastoreo (biomasa removida/biomasa total), se deberá tener en cuenta el estado ontogénico de la planta, ya que el resultado puede ser muy distinto para el caso de una planta que esté rebrotando o una que haya tenido un tiempo suficiente para acumular reservas en las raíces.

Comunidad

La herbivoría produce alteraciones en la composición y en las formas de crecimiento de las especies que integran una comunidad vegetal. Los cambios en la composición florística son consecuencia de diferencias en la tasa de mortalidad y natalidad de las especies. El valor que asumen estas tasas estará determinado por ciertas características morfofisiológicas que le confieran a cada especie distinta capacidad de tolerar o evadir el pastoreo. Por ejemplo, el pastoreo afecta el

establecimiento de nuevos individuos, y de esta manera la tasa de natalidad, a través del control de la producción de semillas y la disponibilidad de sitios seguros para la germinación y la instalación

(Oosterheld y Sala 1990). Estudios hechos en la Pampa Deprimida muestran que el pastoreo cambia la estructura del canopeo y produce un aumento de la importancia de especies dicotiledóneas que crecen con forma de roseta (Sala et al. 1986, Sala 1988). También se ha observado que si se excluye el pastoreo, disminuye el establecimiento de plántulas de las especies dicotiledóneas (Oosterheld y Sala 1990). La ausencia de pastoreo agota el banco de semillas de estas especies como consecuencia de un balance negativo entre la producción y la desaparición de semillas (Oosterheld y Sala 1990).

Los herbívoros tienen preferencia por ciertas especies sobre otras y esto determina que la intensidad y la frecuencia con que las especies son defoliadas no sean homogéneas. Esto, a su vez, puede determinar que las especies más frecuentemente consumidas sean progresivamente reemplazadas por las menos consumidas, quienes las desplazan por competencia. Este fenómeno es universal y muestra la importancia que tiene el pastoreo como modelador de la estructura del pastizal. Algunos ejemplos en la Argentina son: el ya mencionado caso de la Pampa Deprimida donde las dicotiledóneas en forma de roseta reemplazan a las gramíneas nativas (Sala et al. 1986), el reemplazo del coirón blanco (*Festuca pallescens*), una gramínea muy palatable de las áreas más húmedas de la estepa patagónica, por *Mulinum spinosum*, un arbusto espinoso (León y Aguiar 1985), y la invasión de leñosas espinosas, como el chañar (*Geoffrea decorticans*), en los pastizales de La Pampa y San Luis. (León y Anderson 1983). En casos extremos el pastoreo selectivo puede conducir a la extinción de especies y a cambios drásticos en la estructura de la vegetación y del suelo como en el conocido fenómeno de la desertificación. Obtener un producto animal eficientemente sin deteriorar la composición florística de un pastizal es uno de los mayores desafíos con que se encuentra el agrónomo.

Ecosistema

A nivel de ecosistema, los herbívoros producen cambios muy importantes en la energía que fluye a través de sus distintos componentes (Figura 1). Uno de los procesos parciales más importantes de ese flujo, la productividad primaria, es la tasa a la cual la energía radiante es almacenada por fotosíntesis y actividad quimiosintética en forma de sustancias orgánicas que pueden ser usadas como alimento (Odum 1971).

Un ejemplo del efecto de los herbívoros sobre la productividad primaria es el de los pastizales africanos (McNaughton 1979) donde pastoreos de moderada intensidad estimulan la producción hasta dos veces por encima del nivel de sitios similares no pastoreados. Estos resultados muestran la influencia del componente herbívoros dentro del ecosistema, alterando el flujo de nutrientes y de esta forma aumentando el flujo de energía hacia el componente "vegetales" (Figura 1), que se traduce en un aumento en la productividad primaria del pastizal.

Relaciones entre niveles

Una vez caracterizados los efectos del pastoreo en cada uno de los tres niveles jerárquicos podremos, a través de un ejemplo, interrelacionarlos. Si el pastoreo se manejara de tal manera que las especies dominantes más apetecidas por el ganado pudieran responder al pastoreo con un aumento en su tasa de crecimiento relativa y por lo tanto llegar a compensar o sobrecompensar la remoción de tejido producida por el herbívoro, habría un aumento en la productividad primaria neta del componente "autótrofos" (Figura 1, componente "vegetales"). Esto beneficiará al componente "herbívoros" debido a un mayor flujo de forraje de buena calidad. Este aumento traería aparejado, en definitiva, un incremento de la productividad secundaria, que es lo que el agrónomo usualmente intenta maximizar en sistemas ganaderos.

En cambio, si las especies más apetecidas por el ganado no pueden compensar la remoción de tejido producida por el herbívoro, su crecimiento se verá disminuido y, en casos de pastoreo intenso, su frecuencia dentro de la comunidad a la que pertenecen también disminuirá. Como consecuencia de esto último, la dieta estará integrada por especies de menor digestibilidad y la producción de carne (productividad secundaria) será menor. En resumen, el pastoreo produce cambios en la *planta individual* que se traducen en variaciones de la composición de especies de la *comunidad* y repercuten

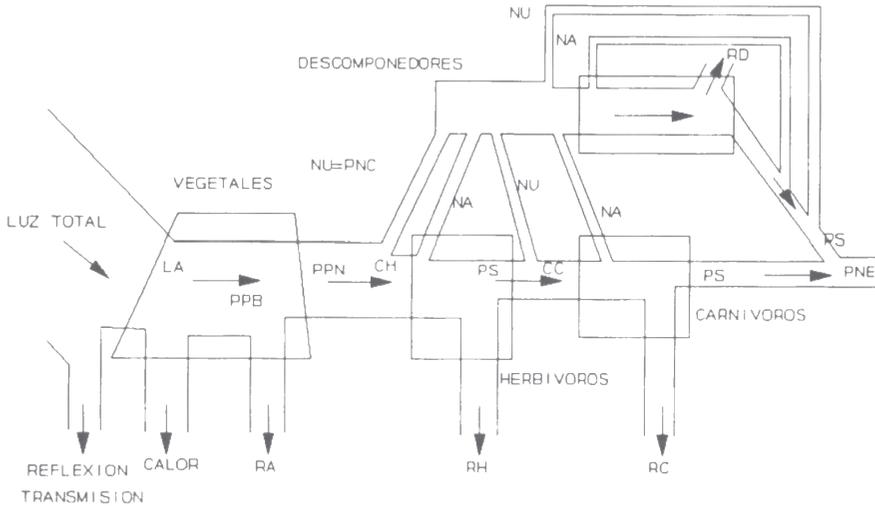


Figura 1: Flujo de energía en el ecosistema. LA: luz absorbida, PPB: productividad primaria bruta, RA: respiración de los autótrofos, PPN: productividad primaria neta, NU: no utilizado, PNC: productividad neta de la comunidad, CH: consumo de herbívoros, NA: no asimilado (heces y orina), RH: respiración de los herbívoros, PS: productividad secundaria, CC: consumo de carnívoros, RC: respiración por carnívoros, RD: respiración por los descomponedores, PNE: productividad neta del ecosistema (basado en Odum 1971 y en material didáctico preparado por la Cátedra de Ecología, Facultad de Agronomía, UBA).

sobre la productividad neta del *ecosistema*.

Malezas

En los últimos años, el desarrollo de tecnología para el control de malezas se orientó hacia la producción de herbicidas. Sin embargo, debido a la frecuente aparición de resistencia dentro de las poblaciones de malezas (Navas 1991) y de trastornos producidos por residuos del producto en alimentos, el agua y el suelo (Pimentel 1991), se comenzó a comprender la necesidad de hacer un uso más eficiente de los productos herbicidas (Satorre y Benech Arnold 1992). Actualmente, las líneas de pensamiento en relación con el control de malezas se orientan hacia la comprensión del proceso de enmalezamiento y requieren crecientes conocimientos de genética poblacional, ecología y fisiología de malezas (Navas 1991).

Como sucede con la mayoría de los problemas agronómicos, el del control de las malezas puede analizarse a distintos niveles de una jerarquía. A nivel del individuo, interesa conocer cuáles son los aspectos de la morfología y la fisiología de las malezas que les confieren la capacidad de invadir y competir con los cultivos. A nivel de población, el interés se mueve hacia la demografía de la maleza y a su diversidad genética. Finalmente, a nivel de la comunidad interesa conocer cuáles son las relaciones de competencia entre la maleza y el cultivo y entre aquella y otras malezas.

En relación con las características individuales de las malezas, Newsome y Noble (1986) analizaron la longevidad, morfología, origen, crecimiento, mecanismo fotosintético y germinación de individuos de 86 especies invasoras de Australia. Concluyeron que ninguno de estos atributos era común a todas las especies y diferenciaron 10 grupos con diferente comportamiento. Un análisis similar no pudo asociar a las 20 malezas más perjudiciales de Inglaterra con determinadas familias, formas de vida ni, quizás más sorprendentemente, mecanismos de dispersión (Crawley 1987). Estos trabajos revelan una falta de semejanza en las características morfológicas y funcionales de las malezas y limitan el valor de amplias generalizaciones sobre ellas (Roy 1990, Navas 1991). Un caso particular de tales generalizaciones equivocadas es la idea, muy difundida por cierto, de que las malezas son

muy tolerantes a una amplia gama de situaciones ambientales. El grado de especialización de una maleza puede ser muy alto, y el ajuste entre sus caracteres y el funcionamiento global del agroecosistema suele alcanzar gran precisión (Soriano 1965).

A diferencia de las especies cultivadas, las malezas conforman poblaciones genéticamente más heterogéneas y, por lo tanto, pueden encontrarse en una misma población individuos que difieren en sus requerimientos para germinar o en su capacidad de competir (Harper 1977). El conocimiento de los procesos de natalidad, mortalidad, competencia y regulación por densidad de una determinada maleza es crucial para el agrónomo que intenta predecir el daño económico o diseñar un método de control. Esto resulta en que los índices poblacionales sean parámetros esenciales a tener en cuenta para el control de las malezas.

La comunidad de malezas instalada en un lugar responde a un conjunto de factores ecológicos precisos, que a su vez resultan limitantes para otras especies, que se ven de este modo impedidas de ingresar en la comunidad (Soriano 1965). Son estas relaciones de competencia entre malezas las que determinan que, paradójicamente, una vez que los herbicidas eliminan el grupo tradicional de malezas de una determinada región, en muchos casos otro grupo de especies pueda colonizar los cultivos y actuar como malezas aun más perjudiciales para el sistema (Navas 1991). En la primera mitad de este siglo, Parodi citaba a *Xanthium cavanillesi*, *Amaranthus quitensis* y *Datura ferox*, entre otras latifoliadas, como las malezas más perjudiciales para los cultivos de maíz en la Pampa Ondulada y atribuía al sorgo de alepo mucha menor importancia (Hall et al. 1989). Similares descripciones fueron hechas aun más recientemente por León y Suero (1962). Sin embargo, durante los últimos 30 años, el aumento del área cultivada con maíz y el uso generalizado de herbicidas para las malezas de hoja ancha habrían determinado situaciones de baja competencia para el grupo de malezas gramínoideas (*Echinochloa sp.*, *Cynodon dactylon* y especialmente *Sorghum halepense*), que se convirtieron en dominantes de la comunidad de malezas de la mayoría de los cultivos (Hall et al. 1989).

Un caso especial: El Sorgo de Alepo

En el sorgo de alepo es posible distinguir dos tipos de estrategias de invasión y perpetuación: (1) crecimiento y brotación de rizomas (reproducción vegetativa) y (2) producción de nuevos individuos a partir de semillas (reproducción sexual). Desde el punto de vista del agrónomo que debe manejar un sistema enmalezado con sorgo de alepo, resulta importante conocer la respuesta a preguntas básicas sobre la estructura y la dinámica de la población: ¿Existe algún momento crítico en el que la biomasa de rizomas es más susceptible al control mediante herbicidas? ¿Qué requerimientos tiene la población de semillas para germinar e instalarse?

Reproducción por rizomas: mediante estudios detallados de la dinámica poblacional del sorgo de alepo se ha logrado determinar que la biomasa de rizomas en el suelo varía en forma cíclica anual: presenta valores máximos al finalizar el otoño y valores mínimos durante la primavera (Figura 2). La disminución invierno-primaveral de la biomasa de rizomas se debe a la brotación de las yemas y al posterior crecimiento de los vástagos aéreos, proceso que se realiza a expensas de hidratos de carbono y otras sustancias de reserva contenidos en los rizomas (Satorre et al. 1985). Una vez establecidos los vástagos aéreos, comienza la producción de panojas y semillas, que transcurre durante todo el verano, y vuelve a generarse nueva biomasa de rizomas (Ghersa et al. 1985).

Sobre la base de esta información, se elaboró un modelo que relaciona la dinámica de la biomasa de rizomas y la dinámica de la emergencia de vástagos aéreos con la marcha de la temperatura media del aire. Este modelo permite predecir el período de mínima biomasa subterránea de la maleza, el cual resulta crítico para su perpetuación debido a que la mayor parte de los rizomas viejos está muerta y aún no se han generado cantidades importantes de rizomas nuevos (Ghersa et al. 1990). Esto determina que durante esta etapa el sorgo de alepo sea particularmente sensible a los tratamientos de control. Para poder utilizar esta metodología sólo es necesario contar con el registro de las temperaturas medias diarias del aire y calcular las "unidades térmicas acumuladas" (U.T.A.), sumando diariamente la diferencia entre la temperatura media del aire y 15 grados centígrados. Aproximadamente, la mínima biomasa de rizomas se observa a las 300 U.T.A. (Satorre et al. 1985).

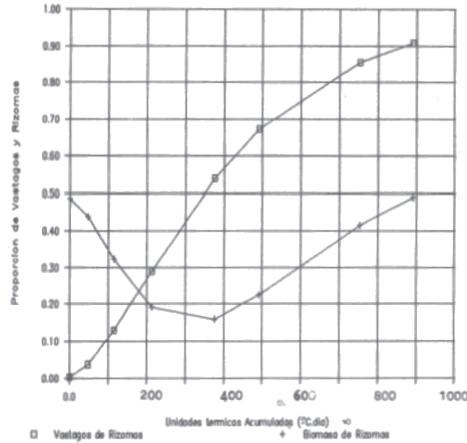


Figura 2. Simulación de la relación entre la emergencia de vástagos de rizomas (□) y la biomasa de rizomas (△) con la acumulación de unidades térmicas (ver texto por detalles). La escala del eje “y” expresa las proporciones de los máximos valores esperados (tomado de Satorre y Benech Arnold 1992).

El control de la maleza mediante la utilización de este modelo posibilita significativos ahorros de herbicida respecto de los métodos tradicionales y, por consiguiente, mejora el resultado económico y minimiza el deterioro ambiental.

Reproducción por semillas: la dinámica de la población de semillas de sorgo de alepo presenta cambios cíclicos a lo largo del año que resultan del balance entre los aportes y las pérdidas. La cantidad de semillas presente en el suelo en un determinado momento depende de la producción de semillas del año anterior y de los ritmos de depredación, muerte y germinación, los cuales son muy sensibles a la ubicación de las semillas dentro del perfil. Los flujos de germinación y muerte de semillas son poco significativos (Ghersa et al. 1987, Van Esso et al. 1987), mientras que los depredadores granívoros cumplen un importante papel, ya que consumen el 82% de las semillas del estrato superficial (Van Esso y Ghersa 1989). La ubicación de las semillas a mayores profundidades en el perfil del suelo las protege de la depredación pero afecta su germinación y el establecimiento de plántulas (Ghersa et al. 1992).

La amplitud de las variaciones diurnas de temperatura es sensiblemente diferente en las distintas profundidades de la capa arable y es, a su vez, afectada por la densidad del canopeo. Las variaciones diurnas en la temperatura son más amplias en los estratos superficiales del suelo y en condiciones de baja cobertura vegetal que a mayores profundidades y en condiciones de alta cobertura. La presencia en las semillas de un mecanismo que detecta la alternancia de temperatura, es un factor estratégico de gran importancia para la supervivencia de las semillas, ya que la alternancia constituiría una señal acerca del grado de competencia que experimentarían las futuras plántulas y de la profundidad a la que se encuentra la semilla. El sorgo de alepo posee tal mecanismo ya que se ha observado que la alternancia de temperaturas determina la ruptura de la dormición y la tasa de germinación de las semillas (Benech Arnold et al. 1990a).

Sobre la base de estos conocimientos se elaboró un modelo que predice el porcentaje de plántulas de sorgo de alepo que se producirá a partir de una determinada población de semillas con estado fisiológico conocido. A través de este modelo es posible determinar en cualquier momento del año qué proporción de semillas del banco se halla en la etapa de germinación, lo cual permite decidir con mayor exactitud el momento correcto para la aplicación de algún método de control (Benech Arnold et al. 1990b).

Conclusiones

El profesional agrónomo se encuentra frecuentemente ante la necesidad de manejar un agroecosistema que, como todo sistema, posee componentes que se interrelacionan. La teoría ecológica le brinda herramientas conceptuales para la comprensión de la organización general de cualquier ecosistema (análisis jerárquico, flujo de energía, circulación de nutrientes, composición y estabilidad de las comunidades vegetales, interacciones entre especies, estructura genética y demográfica de las poblaciones, adaptaciones ecofisiológicas). La experimentación ecológica *ad-hoc*, realizada sobre agroecosistemas particulares o sobre algunos de sus componentes resulta en muchos casos en desarrollos tecnológicos de utilización directa (manejo de la composición florística de un pastizal, control de una determinada maleza). Un rónomo con un sólido entrenamiento en ecología será capaz de utilizar en forma apropiada ambos tipos de herramientas.

Agradecimientos. Agradecemos a los docentes de la Cátedra de Ecología, Facultad de Agronomía, UBA, quienes, sin contar con un texto preparado para la discusión en clase, desde hace años desarrollan la primera clase del curso de Ecología con una estructura similar a la de este trabajo. Preparado con apoyo de subsidios CONICET, UBA y Fundación Antorchas.

Bibliografía

- Allen, T.F.H. y T.B. Starr. 1982. Hierarchy. Perspectives for ecological complexity. Univ. Chicago Press, Chicago.
- Benech Arnold, R.L., C.M. Ghera, R.A. Sánchez y P. Insausti. 1990a. Temperature effects on dormancy and germination rate in *Sorghum halepense* (L.) Pers. seeds: a quantitative analysis. Weed research 30:81-89.
- Benech Arnold R.L., C.M. Ghera, R.A. Sánchez y P. Insausti. 1990b. A mathematical model to predict *Sorghum halepense* (L.) Pers. seedling emergence in relation to soil temperature. Weed research 30:91-99.
- Brown, L.R. 1985. Reducing hunger. En Stark, L., (Ed.) State of the world 1985. Worldwatch Institute. New York: WW. Norton and Company, 23-41 pp.
- Coleman, D.C. y P.F. Hendrix. 1988. Agroecosystems processes. En Concepts of Ecosystem Ecology, L.R. Pomeroy and J.J. Alberts (Eds.). Springer-Verlag. New York, 149-375 pp.
- Coughenour, M.B. 1984. Modelling primary production of perennial graminoids- uniting physiological processes and morphometric traits. Ecological Modelling 23:101-134.
- Crawley, M.J. 1987. What makes a community invisable?. En A.J. Gray, M.J. Crawley y P.J. Edwards (Eds.): Colonization, succession and stability. Oxford. Blackwell Scientific Publications, 429-453 pp.
- Darwin, C. 1872. The origin of Species, 6th London edn, Thompson and Thomas (Eds.), Chicago.
- Elliot, E.T. y C. Vernon Cole. 1989. A perspective on agroecosystem science. Ecology, 70:1597-1602.
- Fernández, O.A. 1979. Las malezas y su evolución. Ciencia e Investigación 35:49-60.
- Ghera, C.M., E.H. Satorre, M.I. Van Esso. 1985. Seasonal patterns of Johnson grass seed production in different agricultural systems. Israel Journal of Botany 34:24-31.
- Ghera, C.M., B.A. De Eilberg y A. Soriano. 1987. Dinámica de la población de semillas de *Sorghum halepense* (L.) Pers. en un suelo arable. II. Efecto de las labores y de la manipulación del canopeo. Rev. Fac. Agr. UBA 8:11-19.
- Ghera, C.M., E.H. Satorre, M.L. Van Esso, A. Pataro y R. Elizagaray. 1990. The use of thermal calendar models to improve the efficiency of herbicide applications in *Sorghum halepense* (L.) Pers. Weed research 30:153-160.
- Ghera, C.M., R.L. Benech Arnold y M.A. Martínez-Ghera. 1992. The role of fluctuating temperatures in germination and establishment of *Sorghum halepense*. II: Regulation of germination at increasing depths. Functional Ecology 6:460-468.
- Hall, A.J., C.M. Rebella, C.M. Ghera y J.P. Culot. 1989. Field-crops systems of the Pampas. En C.J. Pearson (Ed.), Field Crops Ecosystems. [Un volumen de la serie Ecosystems of the World publicada por Elsevier (Editor en jefe: D.W. Goodall)], 413-450,pp.
- Harper, J.L. 1977. Population biology of plants. Academic Press. London 892 pp.
- Lauenroth, W.K., H.W. Hunt, D.M. Swift y J.S. Singh. 1986. Estimating aboveground net primary production in grasslands: a simulation approach. Ecological Modelling 33:297-314.
- León, R.J.C. y A. Suero. 1962. Las comunidades de malezas en los maizales y su valor indicador. Revista Argentina de Agronomía 29:23-28.
- León, R.J.C. y D.L. Anderson. 1983. El límite occidental del pastizal pampeano. Tuexenia 3:67-83
- León, R.J.C. y M.R. Aguiar. 1985. El deterioro por uso pasturil en estepas herbáceas patagónicas. Phytocoenologia 13:181-196.
- Livingston, B.E. 1909. Present problems of physiological plant ecology. Amer. Naturalist 43:369-378.
- McNaughton, S.J. 1979. Grazing as an optimization process: grass-ungulate relationships in the Serengeti. The American Naturalist 113:691-703.

- McNaughton, S.J. 1983. Compensatory plant growth as a response to herbivory. *Oikos* 40:329-336.
- McNaughton, S.J. y L.L. Wolf. 1984. *Ecología General*, Ediciones Omega, Barcelona.
- McNaughton, S.J. 1984. Grazing lawns: animals in herds, plant form, and coevolution. *The American Naturalist* 124:863-886.
- Moore, B. 1920. The ecological society and its opportunity. *Science* 51:66-68.
- Navas, M.L. 1991. Using plant population biology in weed research: a strategy to improve weed management. *Weed Research* 31:171-179.
- Newsome, A.E. y I.R. Noble. 1986. Ecological and physiological characters of invading species. En R.H. Groves and I.T. Burdon (Eds.): *Ecology of biological invasions: an Australian perspective*. Canberra. Australian Academy of Science, 1-20 pp.
- Odum, E.P. 1971. Principles and concepts pertaining to energy in ecological systems. *Fundamentals of Ecology*. (Ed.) Saunders.
- Oesterheld, M. y O.E. Sala. 1990. Effects of grazing on seedling establishment: the role of seed and safe-site availability. *Journal of Vegetation Science*. 1:353-358.
- Parsons, A.T., I.R. Johnson y A. Harvey. 1988. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. *Grass and Forage Science* 43:49-59.
- Pimentel, D. 1991. Environmental and economic effect of reducing pesticide use. *Bioscience* 41:402-409.
- Roy, J. 1990. In search of the characteristics of plant invaders. En F. Di Castri, A.T. Hansen y M. Debussche (Eds.), *Biological invasions in Europe and the Mediterranean Basin*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands, 335-352 pp.
- Sala, O.E., M. Oesterheld, R.J.C. León y A. Soriano. 1986. Grazing effects upon plant community structure in subhumid grasslands of Argentina. *Vegetatio* 67:27-32.
- Sala, O.E. 1988. The effect of herbivory on vegetation structure. En *Plant form and vegetation structure*, 317-330 pp.
- Satorre, E.H., C.M. Ghersa y A.M. Pataro. 1985. Prediction of *Sorghum halepense* (L.) Pers., rhizome sprout emergence in relation to air temperature. *Weed Research* 25:103-109.
- Satorre, E.H. y R.L. Benech Arnold. 1992. El enfoque poblacional de las malezas como base para el diseño de estrategias para su manejo y control. *Proceder Agrotecnológico* 1;8-19.
- Soriano, A. 1965. Las malezas y su comportamiento ecológico. *Ciencia e Investigación* 21:259-263.
- Spalding, V.M. 1903. The rise and progress of ecology. *Science* 17:201-209.
- Van Esso, M.L., A. Bustos y C.M. Ghersa. 1987. Demografía de semillas de *Sorghum halepense* (L.) Pers. en un suelo cultivado para maíz. *Rev. Fac. Agr. UBA* 8:29-37.
- Van Esso, M.L. y C.M. Ghersa. 1989. Dynamics of *Sorghum halepense* seeds in the soil of an uncultivated field. *Canadian Journal of Botany* 67:940-944.

Recibido: 10/2/93

Aceptado: 12/7/93

Apéndice. Los niveles de organización

Individuo: es la unidad funcional esencial en ecología. Los individuos interactúan entre sí y con el ambiente.

Población: es un grupo de individuos genéticamente parecidos que conviven en el tiempo y en el espacio y que intercambian material genético.

Gremio: es un grupo de poblaciones que explotan la misma clase de recursos y de una forma parecida. Constituye una agrupación funcional de las poblaciones según sus necesidades y la forma de satisfacerlas.

Comunidad: es un grupo de poblaciones que coexisten en el tiempo y en el espacio. La extensión de una comunidad depende de la escala de observación.

Ecosistema: es el conjunto de comunidades y factores físicos de un área determinada.