

Malezas e Invasoras de la Argentina: su identificación, biología y manejo.

Editores: Osvaldo A. Fernández, Eduardo S. Leguizamón y Horacio A. Acciaresi.
Prologada por Angel Marzocca.

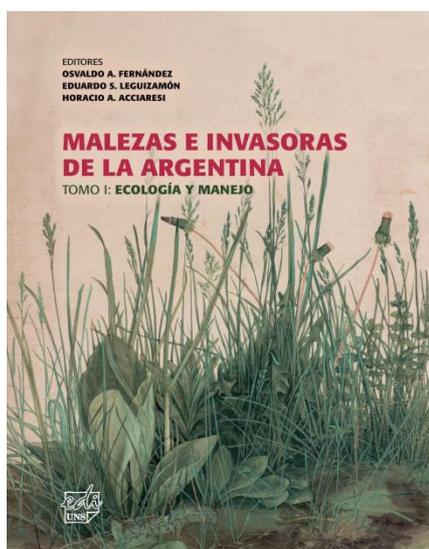
Fundamentación y plan de la Obra

La edición de una Obra actualizada que abrace gran parte de los conocimientos generados en los últimos cuarenta años sobre invasoras, malezas y su manejo en los distintos sistemas de producción del país, representa un significativo aporte al conocimiento y será una fuente permanente de consulta en todas aquellas cuestiones coligadas con la presencia de este tipo de plantas que interfieren con la actividad productiva en los agroecosistemas. Esta Obra -que comprende tres Tomos- reconoce la necesidad de un texto en idioma español orientado en particular a docentes, estudiantes de agronomía, profesionales y técnicos no sólo estrictamente vinculados con la productividad agropecuaria sino también de interés para toda persona interesada en el conocimiento de los atributos biológicos de las plantas espontáneas.

El **Tomo I**, que ya está disponible para su adquisición¹, abarca diversos aspectos relacionados con la biología y la dinámica de poblaciones vegetales espontáneas y su manejo en cultivos extensivos e intensivos. Sucesivos capítulos abordan temáticas complementarias como la prevención de invasiones, el control biológico y la fisiología, la residualidad y los efectos ambientales, además del mercado de los herbicidas y el control no químico de malezas. Todas ellas han sido abordadas por 65 autores de gran experiencia y trayectoria que se desempeñan en Universidades Nacionales, CONICET, Estaciones Experimentales del INTA, empresas del sector fitosanitario y organizaciones, en 33 capítulos a lo largo de 950 páginas.

En el **Tomo II** se describen los atributos que permiten la identificación de 750 especies que han sido inventariadas como malezas o invasoras en los diversos agroecosistemas de la Argentina. Cada especie, está presentada en una página a todo color con varias fotografías y un texto descriptivo que jerarquiza los caracteres que permiten su rápida identificación en el campo. Co-editan este Tomo, que estará disponible a partir del segundo trimestre de 2016, Héctor A. Troiani y Carlos Villamil, quienes han liderado el trabajo de casi una veintena de especialistas en Botánica de todo el país.

En el **Tomo III** se abordan los atributos biológicos y eco-fisiológicos que caracterizan y contribuyen al éxito ecológico de una determinada especie. Las secciones incluyen revisiones y puesta al día de conocimientos que contribuyen a optimizar las herramientas de prevención, control y manejo de una especie en particular y cuyos contenidos están siendo construidos/actualizados por investigadores que las han estudiado durante varios años, en el marco de Tesis de Maestría o Doctorado. Aproximadamente 50 especies serán incluidas en este tercer Tomo, cuya disponibilidad está prevista para el último trimestre de 2016.



¹ Contactar a financiera-agr@fcagr.unr.edu.ar, Tel. 0341-4970080. Int. 1103, o bien a ediuns@uns.edu.ar, Tel. 0261-4595173. Int. 2092.

EDITORES

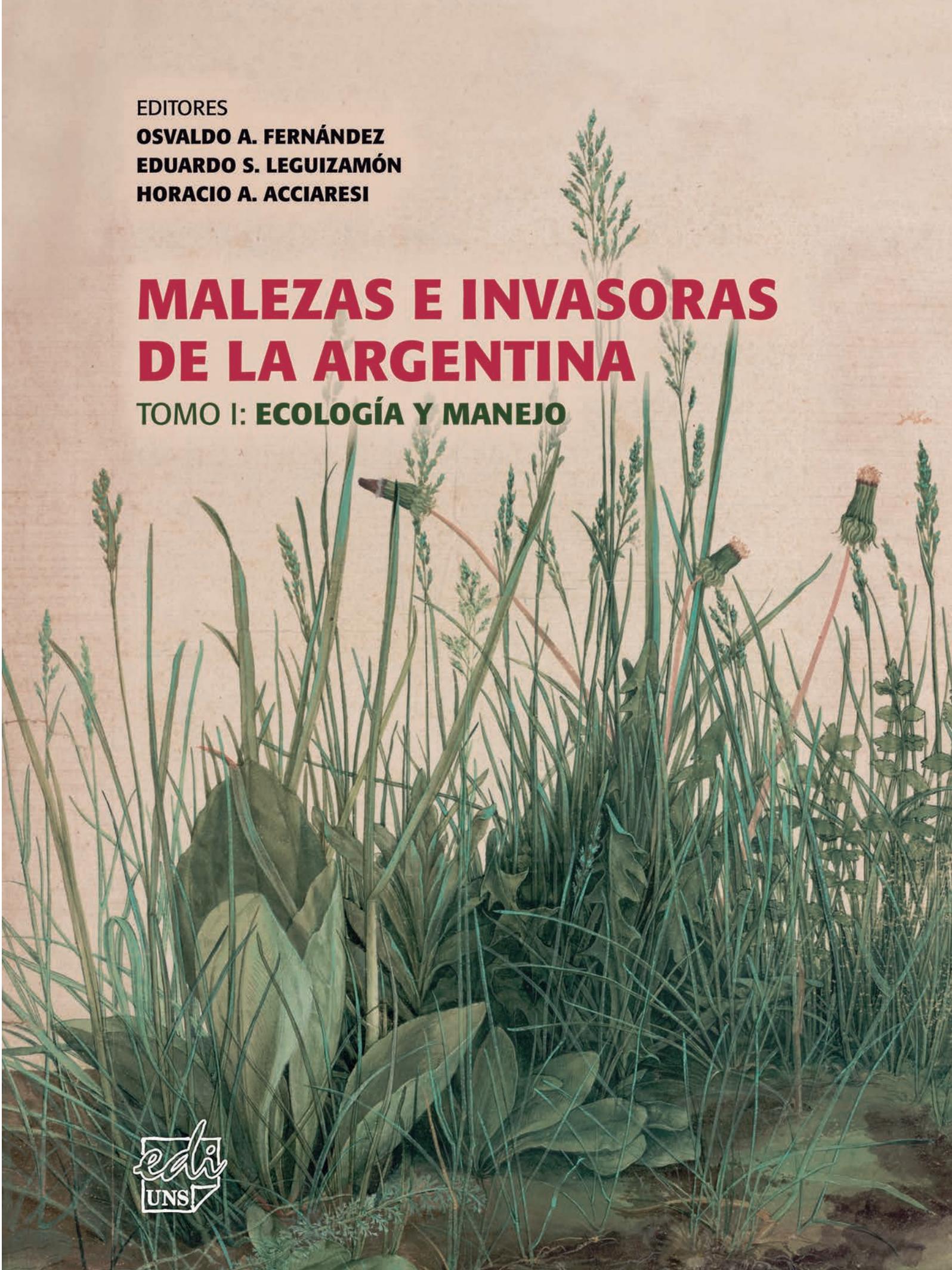
OSVALDO A. FERNÁNDEZ

EDUARDO S. LEGUIZAMÓN

HORACIO A. ACCIARESÍ

MALEZAS E INVASORAS DE LA ARGENTINA

TOMO I: ECOLOGÍA Y MANEJO



MALEZAS E INVASORAS DE LA ARGENTINA

Tomo I
Ecología y manejo

EDITORES

Oswaldo A. Fernández
Eduardo S. Leguizamón
Horacio A. Acciaresi



Malezas e invasoras de la Argentina : ecología y manejo / Osvaldo A. Fernández ... [et.al.] ; edición literaria a cargo de Osvaldo A. Fernández ; Eduardo S. Leguizamón ; Horacio A. Acciaresi. - 1a ed. - Bahía Blanca : Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediuns, 2014. 964 p. ; 28x21 cm.

ISBN 978-987-1907-70-0

1. Ecología. I. Fernández, Osvaldo A. II. Fernández, Osvaldo A., ed. lit. III. Leguizamón, Eduardo, ed. lit. IV. Acciaresi, Horacio A., ed. lit. CDD 577

Fecha de catalogación: 26/02/2014

Imagen de tapa: **Porción de césped - Estudio de mala hierba (1503). Alberto Durero**

La figura que presenta esta Obra como imagen de portada, acreditada bajo la denominación de "Porción de Césped - Estudio de Mala Hierba", es una reproducción de una acuarela sobre velo de 1503 que pertenece a Albrecht Dürer, más conocido en el mundo hispano como Alberto Durero. Indiscutiblemente distinguido en el mundo como uno de los artistas más radiantes del Renacimiento Alemán y de toda la historia del arte, su producción es acabadamente fructífera por sus dibujos, pinturas, grabados y textos teóricos sobre arte. Su talento se cautivó por modelar la naturaleza con devoción y su arte muestra una notable maestría en el trazado de la pintura y una delicada presentación del detalle. Característicamente, en muchas de sus obras sobresale su pasión por la naturaleza, que se plasma en acuarelas de deslumbrante realismo, como es la que aparece en la portada de este libro. Al respecto, vale acotar que la imagen de referencia coexiste como un atractivo especial para todos aquellos que estamos involucrados en los temas de botánica, haciendo que sea inevitable un sentimiento de agradecimiento hacia su autor por la fidelidad de su arte. La acuarela se nos presenta con poco orden y disposición, donde las raíces, tallos y flores de la vegetación parecen estar en oposición entre sí, pero el atento detalle de cada planta da a la pintura un increíble realismo. En la composición de Alberto Durero es dable reconocer especies que pertenecen a los géneros *Stellaria*, *Taraxacum* y *Plantago*, comunes en nuestros ambientes locales y en todo el mundo, frecuentemente calificadas como "malas hierbas" o "malezas". Sin embargo, por encima de todo, subyace en quienes las estudian un sentimiento especial de fascinación por sus "magias" o fenómenos de biología de vida y supervivencia; de allí que, estamos cautivados por el hecho que sean protagonistas inmortalizadas en una obra de tal trascendencia.

Alberto Dudero nació en Nüremberg, Alemania el 21 de mayo de 1471y murió en la misma ciudad en 1528. La acuarela que se exhibe en la portada de esta Obra se encuentra en La Albertina, en el centro de Viena, Austria, que atesora aproximadamente 60.000 dibujos y más de un millón de grabados, desde comienzos del siglo XV hasta la actualidad. Los editores agradecen a Ingrid Kastel la autorización para reproducir como cubierta de esta Obra "Porción de césped" de Albrecht Dürer. Se han depositado los derechos de copyright correspondientes.



Editorial de la Universidad Nacional del Sur

Av. Alem 925 - Tel: 0291-4595173 - 8000 Bahía Blanca
www.ediuns.uns.edu.ar / ediuns@uns.edu.ar



**Red de Editoriales de
Universidades Nacionales**

Los autores han construido los contenidos de los Capítulos que se ofrecen en esta Obra, observando los procedimientos habituales y aplicando el rigor que caracteriza a una publicación científico-técnica. Además, están basados en el conocimiento y en la experiencia personal. Sin embargo, queda explícitamente establecido que la Editorial, los editores y los autores, no asumen ningún tipo de responsabilidad en relación con los efectos que podrían derivarse de la aplicación de las recomendaciones contenidas en esta Obra, en cualquier organismo o en el ambiente, tanto en la actualidad como en el futuro.

Diagramación interior y tapa: Fabián Luzi

No se permite la reproducción parcial o total, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446.

LIBRO UNIVERSITARIO ARGENTINO

Queda hecho el depósito que establece la ley 11.723

Bahía Blanca, Argentina, marzo de 2014

©2014 Ediuns

Capítulo II

La agricultura y las malezas: Pasado, presente y perspectivas

Eduardo S. Leguizamón^a

^a Departamento de Sistemas de Producción Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, S2125ZAA, Zavalla, Pcia. Santa Fe, Argentina
* Correo electrónico: esleguizamon1946@gmail.com

Sinopsis previa

- La revolución neolítica se inició hace unos 11.000 años.
- A través de un largo proceso de adaptación y evolución recurrente y flujo de genes entre cultivos y sus antecesores existe todo un *continuum* entre la típica planta ancestral silvestre y los cultivos elite de la actualidad.
- Simultáneamente con la evolución de los cultivos, otras formas se adaptaron al nuevo ambiente, constituido por los campos bajo cultivo, también llamado agro-ecosistemas¹, dando lugar así a la aparición de malezas.
- En la Argentina, recién durante la segunda mitad del siglo XX se produjeron avances tecnológicos que permitieron revertir un generalizado atraso: desarrollo de nuevas variedades, cultivares e híbridos, control de las malezas y capacidad de la maquinaria para cultivar y cosechar.
- En las últimas cuatro décadas se observa un crecimiento exponencial en el desarrollo e incorporación de nuevas tecnologías.
- A pesar del enorme bagaje tecnológico desarrollado, los problemas de malezas siguen siendo importantes, ya que los procesos de adaptación y evolución de las poblaciones espontáneas son múltiples y complejos; los programas de manejo sustentables deben considerar esta cuestión fundamental.

¹ La aplicación de la ecología al estudio de agroecosistemas deriva en el término “agroecología”, que consiste en la aplicación de los conceptos y principios ecológicos al diseño y manejo de sistemas agropecuarios sustentables.

Introducción: definiciones y conceptos

Agricultura (del latín *ager* = campo + *cultura* = cultivar) es el arte o ciencia de cultivar el suelo, incluyendo la cosecha de cultivos y la cría y manejo de ganado. También se la define como el conjunto de técnicas y conocimientos necesarios para cultivar la tierra, transformando el medio ambiente natural (Solbrig & Solbrig, 1996).

Las actividades relacionadas con la agricultura, integran el llamado "sector agrícola" y tienen su fundamento en la explotación de los recursos disponibles en un particular ambiente con el propósito de cultivar alimentos vegetales (cereales, frutas, hortalizas) y pastos, forrajes, fibras y tubérculos para la alimentación de todo tipo de animales. En las últimas décadas, la lista de actividades y subproductos relacionados con la agricultura se ha ampliado ostensiblemente, como por ejemplo, la obtención de bio-combustibles. Es una actividad de gran importancia estratégica y base fundamental para el desarrollo autosuficiente y la riqueza de las naciones.

Agricultura y medio ambiente

En las últimas décadas algunos aspectos de la agricultura intensiva o industrial despiertan cada vez más polémica. Algunos problemas derivados de la intensificación de la agricultura y especialmente del uso inapropiado de los recursos tecnológicos, están causando muchos problemas, entre ellos eutrofización de vías y cursos navegables, contaminación de napas y fuentes de agua, descenso de los niveles de fertilidad de los suelos, salinización, aparición de metabolitos tóxicos en diversas cadenas alimentarias, deforestación-desertificación, etc.

Si bien la agricultura puede tener un gran impacto en el medio ambiente, sus efectos pueden ser notablemente disminuidos si se tienen en cuenta las bases aportadas por la teoría ecológica, que brinda un cuerpo significativo de conocimientos para llevarla adelante desde un punto de vista sustentable.

El origen de la agricultura

La revolución neolítica, llamada también "transición demográfica neolítica", a menudo llamada "revolución agrícola" fue la primera revolución, históricamente verificable en la agricultura¹.

Los registros arqueológicos parecen indicar (Ver Caja Conceptual N° 1) que la domesticación de varias formas de plantas y animales evolucionó en distintas regiones del planeta, comenzando hace unos 12.000 años (10.000-5.000 AC) (Barker, 2006). La revolución neolítica involucró mucho más que la sola adopción de un grupo de técnicas para producir alimento, ya que durante el Neolítico temprano, los pequeños grupos nómades de recolectores-cazadores se transformarían paulatinamente en sociedades sedentarias, primero reunidas en villorrios y pueblos y luego modificando radicalmente el medio natural por medio de la instalación de cultivos, sistemas de riego y de almacenaje, generando y conservando excedentes de alimentos. El hecho no sólo de producir alimentos, sino de conservar los excedentes para años posteriores creó las bases para que los pueblos crecieran y se convirtieran, gradualmente, en ciudades con alta densidad de habitantes. En ellas, la mano de obra se diversificó, se inventaron los sistemas comerciales y de intercambio y se desarrolló notablemente el arte, la arquitectura y la cultura. También se crearon administraciones centralizadas y estructuras políticas y un sistema despersonalizado del conocimiento (con regímenes de propiedad y de escritura). El ejemplo más nítido de este proceso puede comprobarse en las ciudades sumerias del oriente medio (ca 3.500 AC), una región que comprende el oeste de Asia y una parte del noreste de Africa, centrada en la península arábiga.

El advenimiento y el desarrollo de la agricultura, mencionada para el Neolítico, su secuencia de aparición y las relaciones em-

¹ Varias teorías se han propuesto para arrojar luz sobre el origen y la historia de la Agricultura. Hasta el momento, se han descrito seis: *Teoría del Oasis*, *Hilly flanks*, *Feasting Model*, *Teoría Demográfica*, *De la evolución o la intencionalidad y Demográficas*.

Caja Conceptual N° 1

¿Fue el inicio de la agricultura durante el Neolítico?

Hasta años recientes, se ha considerado cierta la versión sobre la historia del origen de la agricultura según la cual el cultivo de las plantas comestibles apareció en forma más o menos repentina, en Oriente Próximo hace unos 10.000 años y de allí se extendió con rapidez hacia Europa. En un principio, la genética parecía apoyar esta versión, pero recientemente han comenzado a aparecer nuevas evidencias que han puesto en duda la certidumbre en torno a este modelo, es decir el establecimiento repentino de una agricultura eficiente basada en la selección artificial capaz de predominar con facilidad sobre la selección natural de las especies vegetales. Según esta teoría (Vavilov, 1926), la mayoría de los cultivos habían llegado de una única región geográfica, muy diversificada y surgieron a partir de un único evento de domesticación. Un modelo desarrollado por R. Allaby (Universidad de Warwick, Inglaterra), sugiere que la agricultura comenzó en realidad mucho antes de lo que se creía: hay evidencias arqueológicas en el yacimiento Ohalo II en Siria, en donde más de 90.000 fragmentos de DNA de plantas de hace 23.000 años demuestran que los cereales silvestres habían sido cosechados unos 10.000 años antes de la fecha que se consideraba como la más antigua en la historia de la agricultura, antes incluso del último máximo glacial (entre 18.000 y 15.000 años de antigüedad).

Estudios del genoma de cultivos como la cebada, cuyo origen se había estimado en el pasado dentro de una estrecha área geográfica y que apoyaba la hipótesis de un rápido establecimiento de la agricultura, han entrado en conflicto con otros estudios genéticos, ya que existen nuevas y amplias evidencias que apuntan a la teoría basada en la existencia de más de un ancestro común en su desarrollo. A la luz de estos hallazgos, el desarrollo de la agricultura parece haber sido mucho más lento de lo que se ha venido creyendo y no se basó en unas pocas especies específicas que fueron domesticadas, sino en un número más elevado, con combinaciones posteriores entre ellas, todo lo cual muestran que el surgimiento de las especies cultivadas es un proceso mucho más complejo.

píricas con otros sitios durante ese periodo, constituyen motivo de debate académico, ya que la aparición de la agricultura varía entre lugar y lugar. Más aún, cierta evidencia sugiere que el proceso no siguió la ley universal de “evolución social” (Caja Conceptual N° 2). En la Figura 1 se observa un mapa del “Creciente Fértil” en el momento de su máxima expansión. La Figura 2 ilustra tareas inherentes a la Agricultura en dibujos de la tumba de Nakht (18° Dinastía) en Egipto, mientras que la Figura 3 exhibe los centros de origen de la agricultura² y su difusión durante la prehistoria: el Creciente fértil (11.000 AC), las cuencas de los ríos Yangtze y Amarillo en

China (11.000-9.000 AC), las mesetas altas de Guinea (9.000-6.000 AC), Méjico central (11.000-4.000 AC), noroeste de Sudamérica (10.000-4.000 AC), África subsahariano-alto Egipto (1.500-4.000 AC) y el este de Norteamérica (9.000-3.000 AC), entre otras. La Figura 4 ilustra tareas de recolección de cereal en Europa, durante la Edad media.

Origen y difusión de las plantas cultivadas

Mientras la agricultura se fue consolidando, la actividad de los humanos se concentró en el mejoramiento por selección de caracteres de interés: las plantas que poseían característi-

² Ver Caja N° 4

Caja Conceptual N° 2

¿Por qué una sociedad nómada se convierte en una sedentaria?

Hasta décadas recientes, la transición de nómades a sedentarios-agricultores era visualizada como una cuestión inherente al progreso: los seres humanos aprendieron a sembrar semillas y obtener cultivos, con lo cual se generaban excedentes alimentarios que permitían sostener poblaciones más numerosas. Esta forma sedentaria fue la base de ciudades, generándose más tiempo libre y más especialización; en definitiva la agricultura fue el meollo de la civilización que hoy conocemos. Existen evidencias sin embargo que la agricultura se adoptó a pesar de ciertas desventajas en el estilo de vida. Estudios paleo-patológicos comparativos muestran que la salud se deterioró en las poblaciones que adoptaron la agricultura basada en cereales, un retraso que sólo se revirtió en el siglo pasado. Esto fue debido, al menos en parte, a la difusión de las infecciones en las ciudades hacinadas y en parte debido a la declinación en la calidad dietaria que acompañó a una agricultura intensiva, basada sólo en cereales. En varias regiones del mundo, existen pueblos que han permanecido como cazadores recolectores hasta épocas recientes, aún cuando tenían conocimiento de la existencia y de los métodos utilizados en la agricultura, los que sin embargo, no adoptaron. Cohen (1977) resume el problema mediante la siguiente pregunta: Si la agricultura no provee de una dieta superior, ni ésta es confiable ni fácil de obtener y por el contrario la misma tiene mayores costos de mano de obra, ¿por qué una persona debiera convertirse en agricultor?. Muchas respuestas intentan responder la pregunta ¿por qué razón muchas civilizaciones adoptaron la agricultura? Y la mayoría de ellas se centran en dos cuestiones: la presión ambiental y el aumento del tamaño de las poblaciones. Sin embargo, cada una de ellas ha recibido críticas; hasta el momento no hay una única explicación que -aceptada en forma general- brinde las razones que explique el nacimiento de la agricultura.

cas particulares como por ejemplo semillas pequeñas o con un gusto amargo, probablemente no eran seleccionadas como deseables, en cambio aquellas que tenían un gusto más agradable, se las conservaba. Del mismo modo, aquellas plantas que no retenían las semillas al momento de madurar, tendían a no ser cosechadas, de manera que no quedaban a almacenadas para el siguiente año. De este modo, aparecen muchas especies pioneras (llamadas también “del Neolítico fundacional”) como por ejemplo los cereales, el lino, la arveja y la vicia.

Un análisis genético de plantas domesticadas sugiere la ocurrencia de un muy reducido grupo de eventos de domesticación de cada

taxa, los que se difundieron desde el corredor levantino³, alrededor del creciente fértil y más tarde hacia Europa (Cajas N° 3 y 4). Este proceso parece haber ocurrido rápidamente (entre 20 y 200 años). El centeno sin embargo es un caso de lenta evolución, ya que no fue

³ El “corredor Levantino” es un término geográfico y cultural que refiere a una franja relativamente estrecha entre el Mediterráneo (Egipto) en el noroeste y los desiertos en el sudeste (Anatolia), conectando Africa con Eurasia. En la actualidad comprende Líbano, Siria, Jordania, Israel, Palestina, Chipre, la provincia turca de Hatay, Iraq y la península del Sinaí. Este corredor ha sido históricamente una ruta de migraciones de animales y plantas entre Eurasia y Africa. En particular, se cree que los homínidos primitivos se dispersaron durante el Paleolítico y Mesolítico desde Africa a Asia y Europa por esta vía y también por el “Cuerno de Africa”, una península en el este de Africa que se proyecta sobre el Mar Árabe.

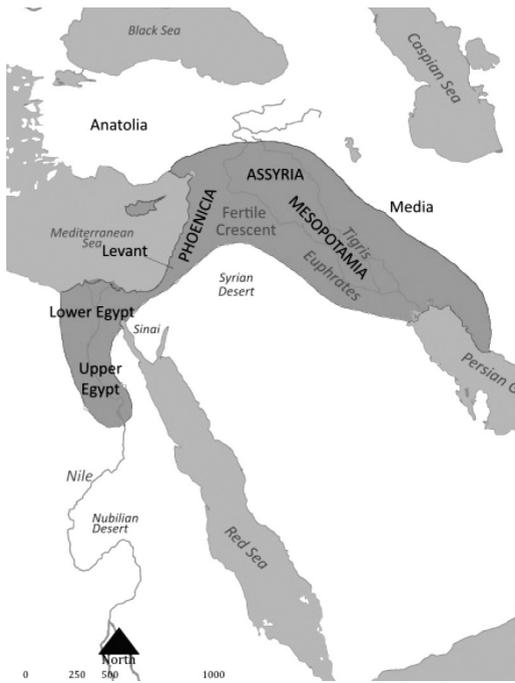


Figura 1. La “media luna” de las tierras fértiles. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Map_of_fertile_crescent.svg

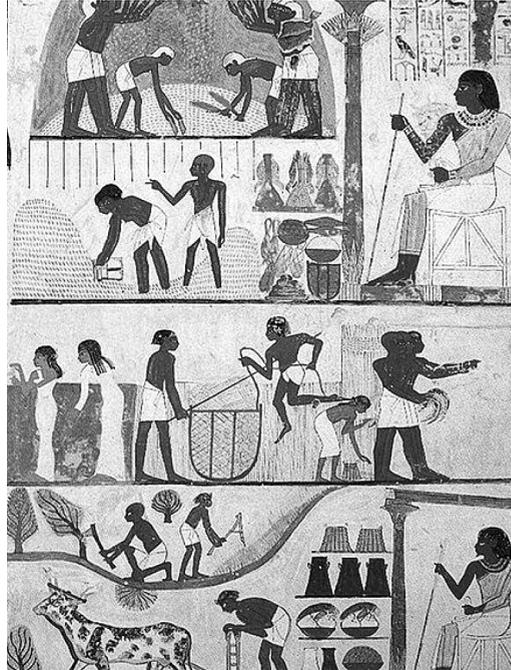


Figura 2. Ilustraciones de tareas agrícolas en tumbas egipcias. [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Tomb_of_Nakht_\(2\).jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Tomb_of_Nakht_(2).jpg)

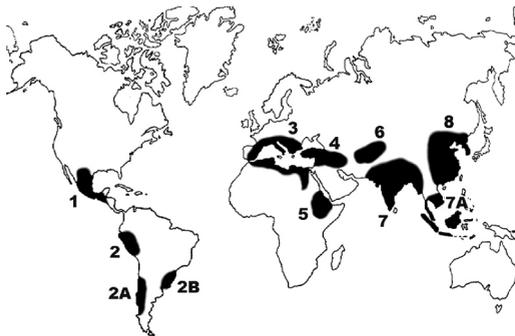


Figura 3. Centros de origen de la agricultura: (véase Caja Conceptual N° 4). <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Vavilov-center.jpg>



Figura 4. Tareas agrícolas en Flandes. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pieter_Bruegel_the_Elder-The_Harvesters_-_Google_Art_Project.jpg (1565).

Caja Conceptual N° 3

La difusión del modelo agrícola

La hipótesis de una dispersión temprana puntualiza que la difusión de la agricultura, es decir la dependencia del hombre para alimentarse de plantas y animales domesticados, se logró en la mayoría de los casos, por la dispersión de las poblaciones humanas fuera de sus tierras nativas. Estas migraciones, argumenta el arqueólogo P. Bellwood, ocurrieron cuando las personas ya eran dependientes de la agricultura para la mayor parte de sus necesidades de subsistencia y por lo tanto poseían el conocimiento para establecer y desarrollar esas técnicas en el nuevo ambiente.

fácilmente adoptado como cultivo: a través de la Anatolia, inició su camino hacia Europa como maleza, hasta que fue domesticado en Europa, miles de años más tarde. La lenteja exhibió un desafío diferente, ya que la mayoría de los ancestros silvestres no germinan durante el primer año, al presentar dormición. La primera evidencia de su domesticación, es decir el de lograr la germinación de la semilla durante el primer año, fue encontrada en el Neolítico temprano en la región de la actual Siria; las formas mejoradas se extendieron rápidamente hacia el valle del Jordán (Oregon State University, 2010)

Estos ejemplos de domesticación son válidos para demostrar los avances en la siembra de cultivos más adaptados y de siembra y cosecha más sencilla y más dependientes de un almacenaje, en definitiva más útiles para la población humana. En la mayoría de los casos, los procesos mencionados no fueron lineales, sino que significaron muchos fracasos y éxitos a lo largo del tiempo por parte de diferentes poblaciones, en diferentes regiones. Las plantas cultivadas surgieron por lo tanto a partir especies silvestres, en el transcurso de varios procesos yuxtapuestos: domesticación, adaptación, cultivo y uso por parte de los seres humanos (Zeder y otros., 2006). A través de este largo proceso, la continua adaptación de cultivos a nuevos ambientes, nuevos usos y prácticas, la evolución constante de las poblaciones silvestres y el flujo de genes entre cultivos y sus parientes silvestres ha creado un *continuum* entre la típica planta ancestral silvestre y los cultivos elite de la actualidad (Baker, 1974; Barnaud y otros., 2009; Harlan, 1971). Simultáneamente, algunas plantas relacionadas con los cultivos se adaptaron al nuevo ambiente (sin que el hombre lo deseara): el constituido por los campos bajo cultivo, también llamado agro-ecosistema⁴, dando lugar así a la aparición de malezas (Arnold, 2004), las que constituyen el motivo central de esta Obra.

⁴ La aplicación de la ecología al estudio de agroecosistemas deriva en el término "agroecología", que consiste en la aplicación de los conceptos y principios ecológicos al diseño y manejo de sistemas agropecuarios sustentables.

Cambios sociales

Suele argumentarse que la agricultura brindó a los seres humanos mayor control sobre la provisión de alimento, pero este concepto ha sido cuestionado por otros estudios que demuestran que los estándares nutricionales de las poblaciones del Neolítico fueron generalmente inferiores al de las poblaciones de cazadores-recolectores, con una esperanza de vida más corta probablemente debido a las enfermedades. El promedio de altura por ejemplo, disminuyó tanto en hombres como en mujeres y recién durante el siglo pasado volvió al nivel del exhibido por las poblaciones del pre-Neolítico. La gran modificación que supuso la agricultura, al permitir ciudades con poblaciones densas y sedentarias y la especialización de la labor manual condujo a un desarrollo de diferentes formas de la toma de decisión y de la organización gubernamental. La generación de excedentes de alimentos, hizo posible el desarrollo de una élite social no ya relacionada con la agricultura, sino con la industria o el comercio y a veces dominada por grupos monopólicos.

Síntesis cronológica de las etapas de desarrollo de la agricultura

Agricultura prehistórica:
se inicia hacia 15.000 AC.

Agricultura antigua:
se inicia hacia 5.000 AC.

Agricultura medieval:
se inicia hacia 1.500 AC.

Agricultura moderna:
se inicia hace unos 200 años.

Agricultura contemporánea:
se inicia hace unos 60 años.

Los aportes significativos de la agricultura moderna y contemporánea a la producción mundial de alimentos, fibras (y combustibles)

Caja Conceptual N° 4

Centros de origen de los cultivos

Nicolai Vavilov (1887-1943) fue un científico ruso que lideró la Academia de Ciencias de la Unión Soviética en San Petersburgo desde 1920 hasta 1940. Creó 400 institutos de investigación que emplearon 20.000 personas, con el propósito de coleccionar todo el germoplasma que tuviese potencial para la URSS, en un gigantesco plan nacional de mejoramiento genético. En 1926 publicó "Estudios sobre el origen de las plantas cultivadas", concluyendo que cada cultivo tenía un centro primario de elevada diversidad, el cual era su centro de origen. En un principio propuso 8 áreas y subáreas de domesticación de los principales cultivos (China, India, Indochina, Asia central, cercano Oriente, Mediterráneo, Etiopía, sur de México y Mesoamérica, noreste de Sud América, Bolivia, Ecuador, Perú y Chile), los que posteriormente fueron ampliados ("centros secundarios de diversidad").

En los años recientes, estudios genéticos de fracciones de DNA y otras aproximaciones no han confirmado la teoría de Vavilov: se han identificado centros de elevada diversidad, pero suelen no coincidir con los centros de origen, es decir para muchos cultivos, existe muy débil conexión entre la fuente de sus antecesores silvestres, las áreas de domesticación y de su diversificación evolutiva. Una especie puede por tanto haberse originado en una región geográfica determinada pero domesticada en otra; más aún, algunos cultivos no tienen siquiera centros de diversidad.

En 1971, Harlan describió sus propias visiones acerca de los inicios de la agricultura y propuso tres sistemas independientes, cada uno de los cuales tenía un centro y un "no centro", es decir un área mucho más grande y difusa en la cual se puede imaginar que allí pudo ocurrir la domesticación: a) Oriente cercano + Africa, b) China + SE de Asia y c) Mesoamérica + Sudamérica.

La evidencia que surge luego de esa propuesta es que estos centros pueden ser aún más difusos que los imaginados originalmente y luego de la fase inicial de evolución, las especies se dispersan a áreas grandes e indefinidas. Esto probablemente sea debido a que los cultivos viajaron con el hombre y fueron evolucionando a lo largo de sus viajes. Claramente, la hipótesis de que han habido múltiples áreas regionales, constituyen un modelo superador respecto de la idea de un único centro de origen, localizado.

pueden resumirse en los cinco siguientes: a) la mecanización, b) los pesticidas, c) los fertilizantes, d) el mejoramiento genético y e) la ingeniería genética (Lockart y otros, 1990; Labrada y otros, 1996). Se muestran resultados concretos de este proceso para trigo (Figura 5) y maíz (Figura 6), (Reed, 1977).

La agricultura y las malezas en el continente americano

Muy pronto luego de los viajes de Cristóbal Colón, se inició una migración de plantas

cultivadas de América hacia el viejo mundo y existe fuerte evidencia que una gran cantidad de especies de malezas de origen americano se movilizaron junto con las especies cultivadas. Sin embargo desde mediados del siglo XIX el flujo neto se revirtió, no sólo en los países de clima templado sino también en los de clima tropical. Y en ambas regiones, ha tenido una gran influencia el transporte de animales de pastoreo domesticados desde Europa y Africa hacia las extensas praderas de Norte, Centro y Sudamérica, para ese momento nunca antes expuestas a una presión de pastoreo (Parsons, 1970).

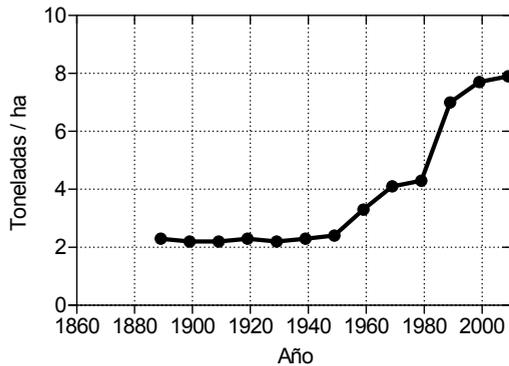


Figura 5. Evolución del rendimiento de trigo en el Reino Unido (redibujado de Spink y otros, 2009)

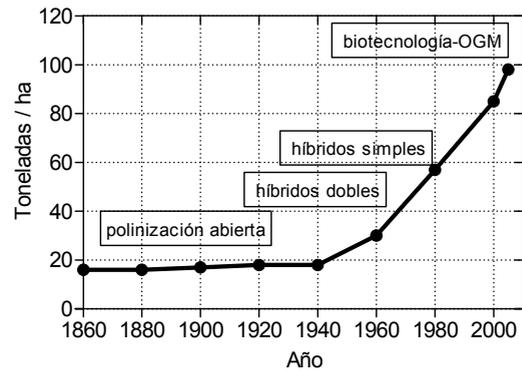


Figura 6. Evolución del rendimiento de Maíz en EE.UU. (redibujado de <http://www.plantsciences.ucdavis.edu/gepts/pb143/Lec13/528fig1.jpeg>)

La agricultura en la Argentina desde la época colonial hasta principios del siglo XX

La agricultura ha tenido una importancia crítica en toda la historia de Argentina ya que en gran parte del área pampeana central suelos profundos y ricos, clima templado, precipitaciones adecuadas y buen acceso al transporte marítimo dotan al país de un potencial excepcional para la producción agrícola, en las últimas décadas ampliado a límites mucho más amplios (Moscatelli y Pazos, 2000). La contribución de la agricultura a la economía nacional es muy importante y supera el 50 % de las exportaciones totales de bienes, generando más del 10 % del PIB. Los cultivos representan el aporte más grande (65 % del total) (Schneider y Caballero, 2006).

La historia agrícola de la Argentina no difiere de la ocurrida en otros puntos del planeta, aunque exhibe una longevidad mucho menor. A los fines de esta reseña, podría dividirse en dos grandes períodos: el primero, hasta mediados del siglo XIX y el segundo, desde entonces hasta nuestros días.

El periodo inicial está caracterizado por sociedades agrícolas de tribus nativas con diferente nivel de desarrollo, principalmente fuera de la región pampeana y cuya producción estaba fundamentalmente orientada a su subsistencia. Los primeros asentamientos españoles introdujeron cultivos como el algodón y la caña de azúcar en Tucumán y la vid, desde

la Capitanía General de Chile a Mendoza, a fines del siglo XVI. En la región pampeana, hacia 1580 se inició el reparto de solares que permitía delimitar las ciudades y separar áreas urbanas de las destinadas a sembradíos y pastoreo de animales. La tarea se hizo siguiendo las leyes de Indias, con trazados geométricos que delimitaban áreas rectangulares separadas, al comienzo, por zanjas y cercos y más tarde, por alambrados y caminos aún hoy visibles. Las especies utilizadas para delimitar los predios fueron el Añapindá (*Acacia bonariensis*), el Tala (*Celtis tala*) o la Cina-cina (*Parkinsonia* sp.), los primeros árboles plantados en el ambiente pampeano (Martínez-Ghersa y Ghersa, 2005). Esas introducciones de especies leñosas se fueron extendiendo con los asentamientos coloniales y con el avance de la frontera en territorio indígena. Las especies de los cercos, muchas nativas de zonas alledañas, como las estepas arbustivas y el bosque xerófilo que rodean los pastizales pampeanos, provocaron la lenta llegada y el gradual asentamiento de aves, las que a su vez, reforzaron la difusión de los árboles; este proceso ha continuado hasta el presente, como es el caso del Ligustro (*Ligustrum lucidum*). La dispersión de especies arbóreas fue promovida por los incendios, el pastoreo y la dispersión de semillas por parte de los animales domésticos. Los flujos comerciales entre colonos e indígenas y el crecimiento del área ocupada por animales traídos de Europa también promo-

vieron la dispersión de especies espontáneas de otros continentes. Hacia 1880, el tendido de las líneas de ferrocarril promovió significativamente el desarrollo agrícola, dando impulso a los cultivos existentes desde la época de la conquista española y promoviendo la creación de numerosas poblaciones en todo el territorio pampeano húmedo y sub-húmedo. Un trazado radial de vías convergentes a los puertos quedó superpuesto a la división ortogonal de las tierras. La gradual desaparición de los latifundios, el control de los maldones y la fuerte inmigración europea crearon las condiciones para que en la región pampeana se produjera un nuevo cambio estructural durante el final del siglo XIX y principios del XX: se intensificó el uso de la tierra y se extendió el área agrícola, diseminada desde los enclaves que constituyeron las colonias agrícolas del centro (e.g. Esperanza, Figura 7) y sur de Santa Fe (e.g. Casilda), gracias al tendido de nuevas líneas ferroviarias y el empuje emprendedor de inmigrantes (Caja N° 5) y “criollos”. Los ferrocarriles crearon nuevas vías de diseminación de especies no nativas o exóticas, entre ellas, algunos pastos como el gramón (*Cynodon dactylon*) muy probablemente introducido por el ferrocarril para consolidar los taludes de suelos sueltos en el sur de Santa Fe y el noroeste de Buenos Aires, sitios de cruce de las líneas Rosario-Puerto Belgrano⁵ del Ferrocarril Francés y Buenos Aires-sur de Mendoza del Ferrocarril Oeste de Buenos Aires.

Durante este período de expansión, el paisaje rural consistía en manchas de campo natural, es decir, pastizales prístinos con escasa o nula historia agrícola, que se alternaban con potreros recientemente delimitados con el fin sembrar cultivos de verano (maíz, el girasol o el sorgo) y de invierno (trigo, lino, avena y centeno). Los alfalfares también eran un componente importante del paisaje y se usaban principalmente para alimentar animales

⁵ Otro ejemplo de la contribución del Ferrocarril a la diseminación de malezas ha sido el de *Diplotaxis tenuifolia* Brassicaceae perenne de utilización melífera, que desde la región de Bahía Blanca (Darregueira) se expandió en una extensa zona del área pampeana.

de trabajo, que impulsaban a la mayoría de los medios de transporte y también a los implementos agrícolas. Así, durante la primera mitad del siglo XX, la pampa húmeda quedó estructurada como un paisaje de mosaico, con sectores dedicados a la agricultura, imbricados en una trama de pastizales y una red urbana y de transportes y caminos. Este mosaico no era tan evidente en la llamada pampa deprimida, (cuenca del río Salado en la provincia de Buenos Aires) ni en cuencas más pequeñas de la pampa ondulada o del oeste de la pampa deprimida. Los animales silvestres y muchas de las especies perennes del pastizal original se ubicaron, principalmente, en refugios constituidos por lugares menos perturbados, como los bordes de los caminos o vías férreas, en los bosquecillos plantados para protección del ganado o montes y cascos de estancias y áreas no agrícolas, incluyendo taperas.

A medida que el mosaico agrícola se consolidaba y extendía, las especies anuales comenzaron a ser dominantes en la cobertura vegetal de la región y frecuentemente pasaron a ser malezas agresivas fuertemente competitivas con las especies cultivadas, especialmente las del subsistema agrícola. Algunas de ellas fueron introducidas con propósito forrajero, como fue el caso del Sorgo de Alepo* (*Sorghum halepense*), una especie originaria de Siria (Aleppo) e introducida al país hacia 1910 desde los EE.UU, país donde había sido importada por agricultores del estado de Arkansas, hacia 1860, con el mismo propósito.

* El sorgo de Alepo es uno de los casos interesantes de introgresión: según de Wet (1987), la incorporación de genes de sorgos cultivados de origen africano en el sorgo de Alepo original confirió al ecotipo americano sus características de invasora agresiva y con notorias capacidades para la competencia y la perpetuación.



Figura 7. Tareas de trilla en la Colonia Agrícola de Esperanza, hacia 1915. Foto: Museo de la Colonización (Esperanza).

Hacia 1930, los cultivos se ampliaron y diversificaron, incorporándose los de destino industrial, como es el caso de los textiles (lino y algodón), los frutales⁶ y las hortalizas, que antes se importaban y que en conjunto con introducciones previas (caña de azúcar y vid), modelaron no sólo la estructura agrícola sino también la organización social de tales regiones.

Sólo en la segunda mitad del siglo XX se produjeron avances tecnológicos que permitieron revertir un generalizado atraso, mediante el desarrollo de nuevas variedades, cultivares e híbridos, el control de las malezas y la potencia y capacidad de la maquinaria para cultivar el suelo. La intensificación de la agricultura potenció la aparición de problemas nuevos, como los debidos a las excesivas labores del suelo, que agudizaron la erosión y/o modificando la dinámica de almacenaje y utilización del agua. Hacia mediados de 1970 se generalizaron y mejoraron desde el punto de vista tecnológico todas las actividades

agrícolas. El principal problema que se presentaba durante ese periodo era la propagación y abundancia de malezas gramíneas perennes, como sorgo de Alepo y gramón, además de evidenciarse un fuerte incremento en los procesos de erosión. Los campos invadidos con sorgo de Alepo valían menos y atentaban contra la realización de rotaciones adecuadas, dado que los cultivos de verano como el maíz sufrían severamente su competencia. La realización de labores mecánicas para disminuir las poblaciones de estas malezas durante barbechos de primavera y verano constituían la práctica más difundida antes de la disponibilidad de herbicidas para su control y la difusión del cultivo de soja, el cual inició su notable expansión en los comienzos de la década de 1970. En este sentido, resulta muy importante destacar la estupenda tarea de investigación y extensión de los técnicos del INTA en el sur de Santa Fe (especialmente de las Agencias de Extensión de Casilda y Roldán), en el norte de Buenos Aires (Pergamino y San Pedro) y en el este entrerriano (Paraná). Hacia finales de la década del 70 se adoptó en forma gradual la práctica de sembrarla inmediatamente de la cosecha de trigo (soja de segunda ocupación), generalizándose el doble cultivo trigo-soja potenciado por la disponibilidad de variedades más adaptadas, mejor maquinaria de siembra cosecha y pul-

⁶ Nuevamente, merece destacarse la visión de las empresas ferroviarias: la compañía que unió la pampa húmeda con Mendoza, no sólo promovió el turismo, construyendo varios hoteles de montaña, sino también la difusión e implantación de cultivos de frutales a través de la creación de Estaciones Experimentales de Junín y Rama Caída, contribuyendo a desarrollar la agricultura intensiva en la región.



Figura 8. Vista parcial de organizadores y conferencistas de la primera reunión de “Cultivos sin labranzas” realizada en Marcos Juárez en 1977 (Foto gentileza del Ing. Marelli).

verización y el desarrollo de nuevos herbicidas⁷ y/o formas de aplicación. Contemporáneamente con la difusión de la soja aparece en el escenario de la investigación tecnológica el sistema de labranza cero, desarrollado en Inglaterra y cuya adaptación fue decididamente encarada por los técnicos de la Estación Experimental INTA Marcos Juárez con el apoyo de ICI (Imperial Chemical Industries) y empresas de maquinarias locales. Las principales limitantes para la adopción de esta tecnología, era la ausencia de sembradoras aptas para depositar la semilla en un suelo sin remoción con residuos en superficie y la falta de herbicidas eficaces y/o de costo accesible⁸ para el control de malezas. La alta frecuencia de malezas perennes constituía

una limitante adicional, dado que como se ha dicho, era el control mecánico el método disponible más efectivo por esos años, una práctica incompatible con los fundamentos de la siembra directa (Leguizamón, 2004). La práctica de “siembra directa” -inicialmente llamada “labranza cero”- y promovida principalmente desde la EEA INTA Marcos Juárez (Figura 8) y las agencias de extensión de Corral de Bustos, Uchacha y Casilda entre otras, fue rápidamente adoptada al avanzar la década del 80 por un número significativo de productores, a medida que el precio del glifosato iba descendiendo y las máquinas sembradoras se perfeccionaban. La eficaz difusión motorizó un cambio paradigmático en los sistemas de producción extensivos, especialmente a partir de la disponibilidad de soja RR durante la campaña 1996/97: aunque en 1975 sólo unas 5000 hectáreas se cultivaban con este sistema, en la actualidad más del 90 % de los cultivos anuales en más de 26 millones de has, se cultivan bajo el sistema de siembra directa.

⁷ No se puede soslayar en esta reseña, la excelente tarea de desarrollo tecnológico de herbicidas que impulsó desde la EEA INTA San Pedro el Ing. Agr. Agustín Mitidieri, por su significativo aporte al manejo racional de malezas en cultivos extensivos e intensivos y su contribución a la formación de toda una generación de investigadores y tecnólogos en todo el país.

⁸ El rango de principios activos disponibles para realizar controlar las malezas emergidas era muy limitado: esencialmente 2,4-D; Paraquat y algunos preemergentes como Metribuzin. El glifosato, cuya difusión se inició a mediados de la década del 70, tenía un costo cercano a los 30 dólares por litro.

En forma paralela con esta formidable transformación técnica, se produjo un cambio en la empresa agrícola: entre mediados de la década del 50 y mediados de la del 70, los productores eran, esencialmente, los propie-

tarios de la tierra. Hoy, el tamaño medio de las explotaciones ha aumentado considerablemente y muchas forman parte de empresas que reúnen capital para cultivar grandes extensiones y/o firman contratos de alquiler o uso temporal de los campos. La innovación ha reducido la heterogeneidad de los sistemas productivos, permitiendo economías de escala y empleo de tecnologías de última generación, generalmente no accesibles a las empresas relativamente más pequeñas.

Además de soja genéticamente modificada, una serie de eventos están siendo patentados o se encuentran en distintas fases de desarrollo. Hasta el momento, no hay evidencias que los cultivos transgénicos sean distintos de los tradicionales en cuanto a su efecto sobre la biodiversidad vegetal.

Desde el punto de vista de las poblaciones y comunidades de malezas, la transformación del sistema de labranza convencional a siembra directa y el control químico de malezas liderado por glifosato (Leguizamón, 2001; Leguizamón y otros, 2006; Puricelli y Tuesca, 2005, Tuesca y otros, 2001; Leguizamón y otros, 2011; Vitta y otros, 2004) se ha caracterizado por:

- a) Una disminución generalizada de la abundancia de malezas a medida que el sistema “progresas” en el sistema de “labranza cero”.
- b) Una disminución de la dominancia (= aumento de la equitatividad).
- c) Modificaciones en el listado florístico y consecuentemente en la frecuencia específica (enmarcados en un proceso denominado “desplazamiento de flora” o “weed shifts”), que puede sintetizarse de la siguiente manera:

1) Aumento de Poáceas anuales de ciclo estival (*Digitaria sanguinalis*, *Eleusine indica*, *Brachiaria* (= *Urochloa*) *extensa* (= *platyphylla*) y *Setaria geniculata*.

2) Aumento de Asteráceas con dispersión anemófila, tanto anuales (*Conyza bonariensis*, *Carduus acanthoides*, *Taraxacum officinale*, *Sonchus oleraceus*) como perennes (*Senecio grisebachii*, *Senecio brasiliensis*).

3) Aumento de dicotiledóneas anuales de ciclo otoño-estival que exhiben tolerancia a dosis usuales glifosato (2.5 a 3 l/ha): *Bowlesia incana*, *Lamium amplexicaule*.

4) Disminución de especies que requieren de estímulos de irradiancia y/o alternancia térmica para desbloquearse, como por ej. *Datura ferox*.

5) Disminución de dicotiledóneas sensibles al glifosato, como por ej. *Amaranthus quitensis*.

6) Niveles aproximadamente estables de dicotiledóneas estivales de difícil control con glifosato a las dosis normales de uso (“tolerantes”) como por ej. *Portulaca oleracea* y *Anoda cristata*.

7) Tendencias variables, en algunos casos hacia el aumento de monocotiledóneas (*Cynodon dactylon*, *Cyperus* spp), que requieren dosis más elevadas de glifosato que las utilizadas usualmente.

8) Invasión de las mal llamadas “malezas nuevas”, preadaptadas y antes confinadas a alambrados, banquetas y relictos y/ o suelos bajos, que en general exhiben una fuerte tolerancia a glifosato, tanto monocotiledóneas y herbáceas (*Commelina erecta*, *Chloris* spp, *Parietaria debilis*, *Verbena* spp, *Oenothera* spp, *Hybanthus pauciflorus*, *Veronica peregrina*), semiperennes como *Baccharis* spp y leñosas y arbustivas como *Gleditsia triacanthos*⁹.

9) Generación de biotipos resistentes. Hasta el presente existen tres casos documentados en la Argentina: *Amaranthus quitensis* (resistente a imidazolinonas –imazetapyr- y a sulfonilureas – clorimuron), *Sorghum halepense* (resistente a glifosato) y *Lolium* spp. en varias regiones¹⁰.

A pesar de la existencia de opiniones agore-

⁹ Un caso paradigmático es el de Trébol blanco (*Trifolium repens*), una leguminosa perenne de gran calidad forrajera, de resiembra natural y beneficiosa en los sistemas de producción mixtos: en el esquema de agricultura continua basada exclusivamente en glifosato constituye “un problema” pues requiere de herbicidas específicos.

¹⁰ Y están en el umbral de esta situación otras especies frecuentes en barbechos como por ejemplo *Conyza bonariensis* y en cultivos de verano, como *Eleusine indica* ya declaradas resistentes a glifosato en Europa y Asia, respectivamente.

ras y visiones catastróficas, ni la soja transgénica ni la agricultura continuada constituyen un problema en sí mismo. El peligro subyace en el hecho de que el monocultivo de soja abarque ininterrumpidamente un área significativa (es decir una gran ausencia de “parches” sin cultivo o con otros cultivos) y que las opciones de control estén tan estrechamente concentradas a unos pocos principios activos, en general usados en forma masiva, sin la debida consideración de su impacto ambiental. Este sistema muy simplificado y relativamente sencillo de implementar desde el punto de vista empresarial, exhibe peligros desde el punto de vista de la ecología de paisaje: baja conectancia y disminución del flujo de genes de materia y de información; un sistema con redes muy debilitadas y que resulta más sensible a eventos de tipo catastrófico y más vulnerable a la aparición de nuevas adversidades o a la resurgencia de las ya existentes. Un paisaje agrícola con una adecuada distribución de “parches” y con provisión de biomasa verde (el pilar de la cadena trófica), a todo lo largo del año, constituye el basamento sobre el cual se tejen relaciones y flujos vitales perdurables (Forman, 1998) entre todos los actores del ecosistema. Un estudio reciente muestra que la riqueza de especies de la red trófica es mayor cuanto mayor es el contraste entre los bordes y márgenes y el cultivo agrícola del contenido (De la Fuente y otros, 2006). En tal sentido, la tendencia dominante hacia la eliminación completa de la vegetación de bordes y alambrados, asociados a barbechos absolutamente exentos de vegetación alguna durante varios meses, es un elemento que desde el punto de vista de manejo “simplifica” los potenciales problemas de malezas pero tiene un impacto negativo importante en la estabilidad y en la biodiversidad del agroecosistema, cuyos efectos recién han comenzado a percibirse.

Prospectiva

La superficie y el rendimiento de los cultivos extensivos actuales siguen su marcha ascendente en la actualidad, con un fuerte predominio de la soja, en el marco de sistemas aparentemente cada vez más simplificados y con uso masivo de fitosanitarios concentrados a unos pocos principios activos. La prospectiva exhibe una clara tendencia al aumento y a la difusión de cultivos genéticamente modificados (maíz, algodón, trigo, girasol, alfalfa), con incorporación creciente de resistencia a varios herbicidas y a otras adversidades, entre otros atributos de gran importancia. El futuro de estos sistemas tanto desde el punto de vista estrictamente productivo como desde el punto de vista de la sustentabilidad y específicamente desde la situación de malezas, se aborda en diferentes ecosistemas y desde diferentes enfoques en los distintos capítulos que conforman este Tomo. No debe olvidarse sin embargo que los procesos de adaptación y evolución de las malezas son múltiples y complejos y que -acuñados a lo largo de 11.000 años- modulan respuestas acordes a las señales ambientales y de manejo, en un marco de gran resiliencia. Ha llegado el momento de modificar sustancialmente tanto nuestro enfoque como nuestra actitud acerca de las malezas, que debe enmarcarse en una visión amplia, tanto en el marco temporal como espacial (Leguizamón, 2005) y que atienda a una maximización de retornos compatible con la preservación del ambiente y del ecosistema.

Caja Conceptual N° 5

Carta del colonizador Wendel Gietz a su hermana¹

“Esperanza, 30 de agosto de 1859.

Querida hermana y parientes:

Como no hemos recibido contestación a nuestras cartas creemos que las mismas no han llegado a vuestro poder.

Por este motivo aprovecharé la oportunidad que se nos presenta de que uno de los colonos vuelve a Europa por negocios, de escribirles nuevamente, encargándose él de llevar las cartas y que recibirán con seguridad.

Sobre nuestro viaje poco puedo contarles, el 9 de noviembre salimos de Dunkerke y llegamos el 2 de febrero a Santa Fe. Veníamos en un barco a vela viejo y muy lento, estuvimos ocho días en el puerto de Río de Janeiro donde cargamos agua, por lo cual se atrasó mucho el viaje.

Todos los barcos hacían generalmente el viaje en cincuenta a sesenta días. Teníamos siempre buen viento y sólo una noche hubo un temporal. Sobre el trato a bordo no nos podemos quejar, solo el desorden y suciedad entre tanta gente, era muy desagradable. La comida era algo escasa, pero era mejor así, pues se evitaban las descomposturas y enfermedades, en estos viajes largos.

Al llegar a Santa Fe, fuimos recibidos por los habitantes y bien atendidos nos ubicaron en un edificio grande, allí nos dieron de comer muy abundante, sobre todo carne.

Catorce días después de nuestra llegada viajamos a la Colonia, más o menos a seis horas de Santa Fe. Al principio no nos hallábamos, pues como todas las casas son abiertas nos picaban y molestaban los mosquitos.

El panorama del campo ofrece poco atractivo, es una llanura donde abundan los avestruces, cervatos, zorros, perdices y otros animales salvajes. Al principio cazábamos mucho pero después fueron muy perseguidos los animales por los españoles² y colonos y espantados, se retiraron hacia los montes. La llanura está rodeada por grandes bosques y allí se ha instalado la Colonia.

El río Salado en el cual pueden navegar botes pequeños, se extiende como a media hora hacia el oeste, es un pequeño río que se pierde formando lagunas cerca del Salado. Los dos ríos contienen muchos peces.

Entre los árboles que se encuentran aquí hay solamente tres tipos. Los que más abundan son los algarrobos, que son árboles con espinas; se parecen en su tipo a los frutales pues tienen un tronco corto y ramas muy extendidas. La madera es muy dura y puede pulirse con facilidad. De los otros árboles (arbustos) son más escasos, había varios en el bosque, son lindos con sus troncos derechos pero ya habían sido usados por los colonos. De otra especie, es un árbol que tiene muy grande las hojas, crece muy rápido y se planta cerca de las casas pues dan mucha sombra. Entre los frutales, son los durazneros los más vulgares pues crecen en abundancia aquí, también tenemos naranjos, higueras y otros frutales europeos.

Nosotros llegamos a la colonia en época de cosecha, por cuyo motivo tuvo el gobierno que mantenernos por un año. Nuestro contrato se cumplió al pie de la letra, y aún más, los gastos por manutención, víveres, etc., los mil francos por la casa, animales y la tierra y la tercera parte de nuestras cosechas que debíamos entregar en los cinco años, nos fue regalada por el gobierno. La primera cosecha ha sido buenísima, aunque plantamos muy poco por haber llegado tarde. La segunda hubiera sido buena si las langostas no nos hubieran invadido el campo causando bastante daño. La última cosecha fue bastante buena, aunque tuvimos que luchar con la sequía, casi permanentemente; pero cae una especie de rocío que mantiene las plantaciones.

¹ El original se encuentra en el Archivo del Museo de la Colonización de la ciudad de Esperanza, provincia de Santa Fe, República Argentina.

² Se refiere a los santafesinos criollos y antiguos habitantes que eran vistos como si fuesen españoles por los inmigrantes.

Los productos que más hemos sembrado son: trigo, maíz, batatas, chauchas, arvejas y porotos y otras legumbres. Pero sembramos también papas, zapallos y toda clase de productos de quinta y para cocina. Todos estos productos son de precios altos.

Los animales no escasean, ganado vacuno y caballar hay en abundancia, como no dan mucho trabajo, solo cuesta cuidarlos. Los caballos los usamos para montar. El clima es en general agradable y sano. Hay días en el verano que el calor es insoportable, pero como nos quedamos descansando bajo la sombra de los árboles, desde las once a las doce horas, lo sentimos menos.

El invierno es muy variable, hay días de calor húmedo, noches muy frías y grandes heladas y generalmente los campos con escarcha. Tormentas grandes y muy seguidas que terminan en ciclones, éste es el invierno en la colonia.

Desde la declaración de la guerra entre la República Argentina y Buenos Aires³ corren rumores de que los indios habían asaltado las estancias donde se apoderaban de los animales y saqueaban las casas. Una mañana del día Domingo habíamos ensillado nuestros caballos para ir a cazar, de repente oímos varios tiros y nos comunicaron que andaban los indios en la colonia, nos dieron orden de presentarnos, todos los hombres armados en el fortín⁴ donde el gobierno tiene 50 soldados para la defensa de la frontera. Los indios se encontraban en los bosques adyacentes y no sabíamos qué cantidad había. Por el atrevimiento y audacia con que entraron en la colonia suponíamos fueran por lo menos unos cientos de indios, pero solo eran 40 a 50 hombres. Los españoles⁵ se adelantaron y hicieron fuego y los indios huían perseguidos por los soldados. Sin embargo tienen los indios buenos caballos y son grandes jinetes, tal es así que los soldados no podían alcanzar los mismos, siempre son dos indios sobre un caballo y corren mucho. Los españoles seguían tirando pero la ligereza de los caballos no los alcanzaba a herir. Dos caballos y cuatro indios fueron muertos y varios heridos, dos españoles fueron heridos levemente. Los indios están armados con largas lanzas, cuchillos, lazos y bolas. Nosotros no les tememos, pues son cobardes, ellos les temen a las armas. En general vivimos aquí contentos y tranquilos, tenemos un buen pasar; con nuestro trabajo nos defendemos y haciendo un poco de economías llegaremos a tener ahorros, lo que hubiera sido difícil viviendo en el extranjero. Aquí vivimos felices, tenemos toda la libertad que nos podemos desear, y la colonia adelanta día a día y ya está muy poblada. Ya se edificaron muchas casas lindas y nosotros pensamos próximamente hacer lo mismo.

Desde hace un año se encuentra en la colonia un padre católico. Todos estamos bien de salud y esperamos lo mismo de Uds.

Babettchen se ha casado hace un año y es muy feliz, el esposo de Babettchen se llama Joseph Maurer y es comerciante aquí, tienen ya una hijita.

Estamos esperando día a día noticias de Uds., sobre todo para saber cómo se encuentran Gerardo y Margarita que están en Norteamérica. Seguramente ya habrán escrito desde que nosotros llegamos a Argentina, en Sudamérica. Si es así envíanos una copia de la carta y la dirección.

Muchos cariñosos saludos a Uds. Y a todos los parientes y conocidos que se interesen por nosotros, de todos y especialmente de tu hermano que te quiere,

W.Gietz

Nuestra dirección es:

“COLONIA ESPERANZA”

Prov. De Santa Fé - Rep. Argentina. Sudamérica”

³ Se refiere a la separación entre la provincia de Buenos Aires y la Confederación Argentina, desde el 11 de setiembre de 1852.

⁴ Fortín Iriondo, al norte de la Colonia.

⁵ Soldados del gobierno santafesino.

Resumen

Agricultura es el arte o ciencia de cultivar el suelo, incluyendo la cosecha de cultivos y la cría y manejo de ganado. Es una actividad de gran importancia estratégica y base fundamental para el desarrollo autosuficiente y la riqueza de las naciones. Durante el curso de un largo proceso, del orden de los 11.000 años, la continua adaptación a nuevos ambientes, nuevos usos y la evolución constante de las poblaciones silvestres y el flujo de genes entre cultivos y sus parientes silvestres ha creado un *continuum* entre la típica planta ancestral silvestre y los cultivos elite de la actualidad. Simultáneamente, algunas plantas relacionadas con los cultivos se adaptaron al nuevo ambiente, el constituido por los campos bajo cultivo, también llamado agro-ecosistema, dando lugar así a la aparición de malezas. En la Argentina, el tendido de las líneas de ferrocarril promovió significativamente el desarrollo de la agricultura, dando impulso a los cultivos existentes desde la época de la conquista y creando o ampliando poblaciones en todo el territorio. La gradual desaparición de los latifundios, el control de los malones y la fuerte inmigración europea crearon las condiciones para que en la región pampeana se produjera un cambio estructural durante finales del siglo XIX y principios del XX, intensificándose y extendiéndose el uso de la tierra. Como consecuencia del portentoso aporte de la genética convencional y en las últimas décadas de la molecular y el incremento de los niveles de tecnología, liderados por la expansión del cultivo de soja, en las últimas cuatro décadas se observa un crecimiento exponencial en el desarrollo y utilización de herbicidas y en la incorporación de nuevas tecnologías en el control de malezas. A pesar del enorme bagaje tecnológico desarrollado para combatir a las malezas, los problemas derivados de éstas siguen siendo importantes. Consecuentemente, debe asumirse y comprenderse que los procesos de adaptación y evolución de las malezas son múltiples y complejos y que las poblaciones vegetales espontáneas modelan respuestas acordes a las señales ambientales y de manejo en un marco de gran resiliencia. Es sólo a partir de esta visión que es posible diseñar sistemas de cultivos con tácticas y estrategias sustentables de manejo de las malezas.

Bibliografía

- Arnold, M L. 2004. Natural hybridization and the evolution of domesticated, pest and disease organisms. *Molecular Ecology* 13 (5):997-1007.
- Baker H. G. 1974. The evolution of weeds. *Annual Reviews of Ecology and Systematics* 5:1-24.
- Barker G. 2006 The agricultural revolution in prehistory. Oxford, UK: University of Oxford Press
- Barnaud A, Deu M, Garine E, Chanterreau J, Bolteu J, Koïda EO, McKey D, Joly HI. 2009 A weed-crop complex in sorghum: The dynamics of genetic diversity in a traditional farming system. *American Journal of Botany* 96(10):1869-79.
- Cohen, M.N. 1977. The food crisis in prehistory. New Haven: Yale University Press.
- De La Fuente, S.B, Perelman, S y C.M.Ghersa, 2006. Relación entre el diseño del mosaico agrícola de la Pampa Ondulada y la riqueza de la red trófica de Soja. Congreso Mercosoja. Rosario (Sta Fe). Actas.
- De Wet J.M.J. 1987. Pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in Africa and in India. Proceedings of the International Pearl Millet Workshop. pp 3-4. ICRISAT.India.
- Forman, R.T.T. 1998. Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press.
- Harlan J.R. 1971. Crops, weeds and revolution. *The Scientific Monthly*, 80 (5) 299-303.
- Labrada, R; C. Caseley y C. Parker.1996. Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. (Estudio FAO Producción y Protección Vegetal - 120). <http://www.fao.org/docrep/t1147s/t1147s00.HTM#Contents>.
- Leguizamón E.S; Ferrari G, Lewis J.P.; Torres, P.S; Zorza, E; Daita, F, Sayago, F; Galetti, L; Tettamanti, N; Molteni, M; Ortiz, P; Agueci, D & Conti, R. 2006. Las comunidades de malezas de soja en la región pampeana argentina: monitoreo de cambios bajo el sistema de siembra directa. Congreso Mercosoja. Rosario. Sta Fe. pp. 137-141.
- Leguizamón, E. 2001. Transgenic Crops in Argentina: present status & implications. *AgBiotechnet*. Vol 3. December. ABN 077.
- Leguizamón. E.S. 2004. La evolución de la tecnología de herbicidas y el desarrollo de la agricultura. Capítulo XIV. En: Herbicidas: características y fundamentos de su actividad. Vitta. J.I (Editor). UNR. Editora.
- Leguizamón, E.S. 2005. El manejo integrado de Plagas: visión y perspectivas. *Agromensajes* 15. 20-23. Facultad de Ciencias Agrarias. UNR.
- Leguizamón, E.S., Berbery, M.T., Cortese P., García Sampedro, C., Heit, G., Ochoa, M. del C., Sobrero, M.T., Arregui, C., Sánchez, D., Scotta, R., Lutz, A., Amuchástegui, A., Gigón, R., Marchessi, J.E., Núñez, C., Zorza, E., Rivarola, R., Scapini, E., Fernández, M., Suárez, C.E., Troiani, H. 2011. Vigilancia Fitosanitaria en Argentina: detección precoz de malezas cuarentenarias. XXXII Reunión Argentina de Botánica. Posadas.
- Lockhart J.A.R, A. Samuel y M.P. Greaves. 1990. The evolution of weed control in British agriculture. In: R.J. Hance y K. Holly (Eds.). *Weed Control Handbook: Principles*, pp 43-74. 8th Ed. Blackwell Scientific Publications.
- Martínez-Ghersa, M. A; Ghersa, C.M. 2005. Consecuencias de los recientes cambios agrícolas. *Ciencia Hoy*.15 (87) 37-45.
- Moscatelli, G. and Pazos, M.S. 2000. Soils of Argentina: Nature and Use. International Symposium on Soil Science. 17-22 de abril, Bangkok, Tailandia. En: I. Kheoruenromne and S. Theerawong (Eds.) 2000. Proceedings of International Symposium on Soil Science: Accomplishments and Changing Paradigm towards the 21st Century, 81-92.
- Oregon State University, 2010. World food crops: centers of diversity, crop adaptation. Retrieved September 1, from <http://oregonstate.edu/instruct/css/330/two/index.htm#content>.
- Parsons, J. 1970. The "Africanization" of the New World tropical grasslands. *Tübinger Geographical Studies* 34: 141-53.
- Puricelli E. y D. Tuesca. 2005. Efecto del sistema de labranza sobre la dinámica de la comunidad de malezas en trigo y en barbechos de secuencias de cultivos resistentes a glifosato. *Agriscientia*, XXII (2): 69-78.
- Reed, C. 1977. The origins of agriculture. The Hague: Mouton Publishers.
- Spink, J; Street, P; Sylvester Bradley, R and Berry, P. 2009. The potential of increasing productivity of Wheat and Oilseed Rape in the UK. <http://www.commercialfarmers.co.uk/PotentialProductivity.pdf>

Schneider, R & José María Caballero. 2006. Agricultura y Desarrollo Rural en Argentina: Temas Claves. Informe N°. 32763-AR. Banco Mundial.

Solbrig, O & D. Solbrig. 1996. So Shall You Reap: Farming And Crops In Human Affairs.

Tuesca, D; Puricelli, J y Papa, J..C, 2001. A long-term study of weed flora shifts in different tillage systems. *Weed Research*, 41: 369-382.

Vavilov, N.I. 1926. Studies on the Origin of Cultivated Plants. 248 pp. Leningrad.

Vitta J; Tuesca, D. y Puricelli, E, 2004. Widespread use of glyphosate tolerant soybean and weed community richness in Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environments* 103:621-624.

Zeder MA, Emshwiller E, Smith BD, Bradley DG. 2006. Documenting domestication: the intersection of genetics and archaeology. *Trends in Genetics* 22(3):139-55.

Han pasado más de 30 años de la última edición de la obra de Ángel Marzocca "Manual de Malezas" y si bien se han editado numerosos trabajos científicos y/o tecnológicos, informes técnicos y aún capítulos en libros de cultivos relacionados con la temática de las malezas, los mismos abordan aspectos con distinto grado de profundidad, enfoques parciales o bien se encuentran diseminados en múltiples publicaciones. Se estima que la edición de una obra actualizada que abrace buena parte de los conocimientos disponibles en Argentina sobre plantas invasoras, malezas y su manejo en los distintos sistemas de producción del país, representará un significativo aporte al conocimiento y será una fuente permanente de consulta en todas aquellas cuestiones coligadas con la presencia de este tipo de plantas que interfieren con la actividad productiva en los agroecosistemas. Hemos acordado publicar esta obra reconociendo principalmente la necesidad de un texto en idioma español orientado en particular a docentes universitarios y del nivel medio ligados a las ciencias agrarias, estudiantes de agronomía, profesionales y técnicos no sólo estrictamente vinculados con la productividad agropecuaria sino también de interés para toda persona interesada en el conocimiento de los atributos biológicos de las plantas espontáneas.

Esta Obra comprende tres tomos. El primero de ellos abarca todos los aspectos relacionados con la ecología de las malezas y su manejo en agroecosistemas. Los mismos incluyen desde aspectos más generales relacionados con la biología y la dinámica de poblaciones vegetales hasta más particulares, como es el manejo de malezas en cultivos extensivos e intensivos, la prevención de invasiones, el uso de modelos en la dinámica espacio-temporal de poblaciones, la residualidad y los efectos ambientales de los herbicidas o el control biológico, entre muchas otras temáticas, que son abordadas por 65 autores en 33 capítulos a lo largo de 950 páginas.

En el Tomo II se desarrollan los aspectos relacionados con la clasificación botánica e identificación de unas 600 especies, presentadas en páginas a todo color con una ficha descriptiva asociada, que jerarquiza los caracteres que permiten una rápida identificación en el campo de las especies tratadas.

En el Tomo III se abordan los atributos biológicos y eco-fisiológicos que caracterizan y contribuyen al éxito ecológico de una determinada especie. Las secciones incluyen revisiones y puesta al día de conocimientos que contribuyen a optimizar las herramientas de prevención y manejo de una especie. Los contenidos de cada una de ellas son construidos por investigadores que las han estudiado durante varios años, muchos de ellos en el marco de experimentos de Tesis de Maestría o Doctorado.



EDITORES

OSVALDO A. FERNÁNDEZ

EDUARDO S. LEGUIZAMÓN

HORACIO A. ACCIARESÍ

MALEZAS E INVASORAS DE LA ARGENTINA

TOMO I: ECOLOGÍA Y MANEJO



MALEZAS E INVASORAS DE LA ARGENTINA

Tomo I
Ecología y manejo

EDITORES

Oswaldo A. Fernández
Eduardo S. Leguizamón
Horacio A. Acciaresi



Malezas e invasoras de la Argentina : ecología y manejo / Osvaldo A. Fernández ... [et.al.] ; edición literaria a cargo de Osvaldo A. Fernández ; Eduardo S. Leguizamón ; Horacio A. Acciaresi. - 1a ed. - Bahía Blanca : Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediuns, 2014. 964 p. ; 28x21 cm.

ISBN 978-987-1907-70-0

1. Ecología. I. Fernández, Osvaldo A. II. Fernández, Osvaldo A., ed. lit. III. Leguizamón, Eduardo, ed. lit. IV. Acciaresi, Horacio A., ed. lit. CDD 577

Fecha de catalogación: 26/02/2014

Imagen de tapa: **Porción de césped - Estudio de mala hierba (1503). Alberto Durero**

La figura que presenta esta Obra como imagen de portada, acreditada bajo la denominación de "Porción de Césped - Estudio de Mala Hierba", es una reproducción de una acuarela sobre velo de 1503 que pertenece a Albrecht Dürer, más conocido en el mundo hispano como Alberto Durero. Indiscutiblemente distinguido en el mundo como uno de los artistas más radiantes del Renacimiento Alemán y de toda la historia del arte, su producción es acabadamente fructífera por sus dibujos, pinturas, grabados y textos teóricos sobre arte. Su talento se cautivó por modelar la naturaleza con devoción y su arte muestra una notable maestría en el trazado de la pintura y una delicada presentación del detalle. Característicamente, en muchas de sus obras sobresale su pasión por la naturaleza, que se plasma en acuarelas de deslumbrante realismo, como es la que aparece en la portada de este libro. Al respecto, vale acotar que la imagen de referencia coexiste como un atractivo especial para todos aquellos que estamos involucrados en los temas de botánica, haciendo que sea inevitable un sentimiento de agradecimiento hacia su autor por la fidelidad de su arte. La acuarela se nos presenta con poco orden y disposición, donde las raíces, tallos y flores de la vegetación parecen estar en oposición entre sí, pero el atento detalle de cada planta da a la pintura un increíble realismo. En la composición de Alberto Durero es dable reconocer especies que pertenecen a los géneros *Stellaria*, *Taraxacum* y *Plantago*, comunes en nuestros ambientes locales y en todo el mundo, frecuentemente calificadas como "malas hierbas" o "malezas". Sin embargo, por encima de todo, subyace en quienes las estudian un sentimiento especial de fascinación por sus "magias" o fenómenos de biología de vida y supervivencia; de allí que, estamos cautivados por el hecho que sean protagonistas inmortalizadas en una obra de tal trascendencia.

Alberto Dudero nació en Nüremberg, Alemania el 21 de mayo de 1471y murió en la misma ciudad en 1528. La acuarela que se exhibe en la portada de esta Obra se encuentra en La Albertina, en el centro de Viena, Austria, que atesora aproximadamente 60.000 dibujos y más de un millón de grabados, desde comienzos del siglo XV hasta la actualidad. Los editores agradecen a Ingrid Kastel la autorización para reproducir como cubierta de esta Obra "Porción de césped" de Albrecht Dürer. Se han depositado los derechos de copyright correspondientes.



Editorial de la Universidad Nacional del Sur

Av. Alem 925 - Tel: 0291-4595173 - 8000 Bahía Blanca
www.ediuns.uns.edu.ar / ediuns@uns.edu.ar



**Red de Editoriales de
Universidades Nacionales**

Los autores han construido los contenidos de los Capítulos que se ofrecen en esta Obra, observando los procedimientos habituales y aplicando el rigor que caracteriza a una publicación científico-técnica. Además, están basados en el conocimiento y en la experiencia personal. Sin embargo, queda explícitamente establecido que la Editorial, los editores y los autores, no asumen ningún tipo de responsabilidad en relación con los efectos que podrían derivarse de la aplicación de las recomendaciones contenidas en esta Obra, en cualquier organismo o en el ambiente, tanto en la actualidad como en el futuro.

Diagramación interior y tapa: Fabián Luzi

No se permite la reproducción parcial o total, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446.

LIBRO UNIVERSITARIO ARGENTINO

Queda hecho el depósito que establece la ley 11.723

Bahía Blanca, Argentina, marzo de 2014

©2014 Ediuns

Capítulo V

Ecología de malezas I: Poblaciones vegetales

Reproducción, estrategias adaptativas

Eduardo S. Leguizamón^{a*}

Carla E. Suárez^b

Oswaldo A. Fernández^c

^a Departamento de Sistemas de Producción Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, S2125ZAA, Zavalla, Santa Fe, Argentina.

^b Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, 6300, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

^c Departamento de Agronomía-CERZOS (CONICET), Universidad Nacional del Sur, 8000, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

* Correo electrónico: esleguizamon1946@gmail.com

Sinopsis previa

- La biología de poblaciones estudia el número, la estructura y las consecuencias del ambiente y del estrés causado por el crecimiento, en la supervivencia y la fecundidad de los individuos que la componen, a lo largo del tiempo.
- Los vegetales superiores no son organismos unitarios, sino que están compuestos por un conjunto de “módulos” y cuyo número depende en gran medida del ambiente. Esta característica otorga gran plasticidad.
- El conocimiento de la tendencia de la densidad poblacional a lo largo del tiempo (“trayectoria”), cuantificada por la tasa (λ) es particularmente útil para optimizar el diseño de programas de manejo de malezas.
- La diferenciación de nicho y el patrón de asignación de recursos conforman el concepto de “Estrategia Adaptativa”.

Introducción

En este capítulo, se aborda el estudio del cambio del tamaño poblacional a lo largo del tiempo, se examinan los diversos modos en que se puede estructurar una población y sus métodos de estudio y evaluación. Se destaca la importancia de la reproducción en el ciclo de vida y se describen las estrategias relacionadas con éste. Se enfatizan casos de poblaciones de malezas.

Definiciones y conceptos

Una población es una colección de individuos que tienen la capacidad de intercambiar material genético. El ciclo de vida es la unidad descriptiva fundamental de un organismo, sin embargo una población no puede ser adecuadamente descrita sin tener en cuenta que la misma comprende jóvenes y adultos, pequeños y grandes, normalmente con sexos

diferentes. Se caracteriza por la sucesión de una serie de estadios fenológicos de desarrollo que gobiernan su funcionamiento. En el caso de las plantas, corresponde identificar las siguientes fases: a) germinación, b) establecimiento de plántulas, c) desarrollo hasta alcanzar el estado adulto, d) reproducción, e) dispersión de las semillas, f) senescencia y muerte, g) supervivencia de semillas (hasta la siguiente generación) y h) potencial evolutivo (Caja Conceptual N° 1).

Modelo diagramático de una población vegetal

El desarrollo de este capítulo tiene como marco conceptual el modelo diagramático de la Fig. 1. Si bien la secuencia de eventos que se ilustran es incompleta, el modelo resume los más relevantes en una gran

Caja Conceptual N° 1

La ecología de poblaciones (Begon, Harper y Townsed, 1999). Su aplicación para el estudio de poblaciones de malezas.

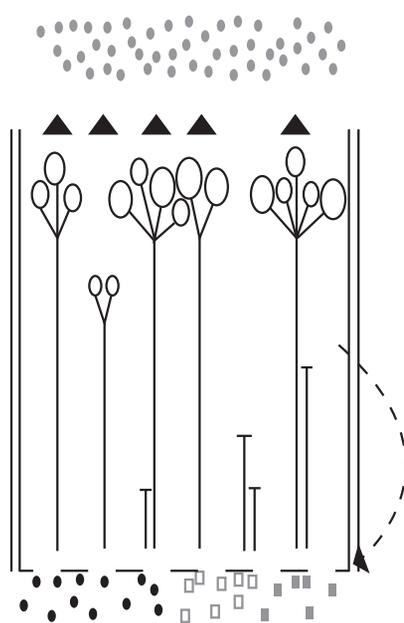
En el caso de las malezas, se ha elegido frecuentemente el nivel de organización ecológico de las poblaciones puesto que las herramientas o tácticas diseñadas para eliminarlas o suprimirlas apuntan a las propiedades emergentes de este nivel. La demografía es el estudio de los cambios numéricos en una población a lo largo de sus estadios de desarrollo y el análisis de esos números puede sugerir las razones de los cambios en el tamaño o en la composición a lo largo del tiempo. Asimismo, las secuelas de distintas prácticas de manejo de la flora de malezas también pueden determinarse a través de estudios demográficos.

Desde un punto de vista ecológico, cualquier análisis de una maleza debe evaluar el papel relativo de las particularidades de su historia de vida que permitan explicar el aumento de tamaño de sus poblaciones, las cuales están compuestas por individuos que varían en edad, en tamaño, en estructura genética (genotipo) y en apariencia (fenotipo). La población de organismos de una misma especie es el nivel de organización alrededor del cual se construyen todos los programas de manejo y control de malezas. Y es la densidad (el número de individuos en una unidad de área), el atributo de una población que más relación tiene con estos programas. Sin embargo, otras características importantes son la edad, la distribución, el crecimiento, la forma de vida, la adaptabilidad, la adecuación reproductiva, las tasas de nacimiento y muerte y la dispersión, de tal forma que un individuo germina pero no tiene una tasa de germinación similar al de la población o tiene una edad que es bastante diferente de la relación de tamaños que exhibe la población. En éste capítulo, se enfatizan las cuestiones relacionadas con la densidad.

variedad de ciclos de vida. También permite incorporar variables en función de la disponibilidad de nueva información sobre la biología de las especies, como por ejemplo la dinámica del banco de semillas del suelo en función de la predación o de los patógenos, ya que estos procesos pueden ser importantes reguladores tanto del tamaño del mismo como de la población de plántulas. A nivel de agroecosistema, se podría incorporar al modelo diagramático la dispersión secundaria de semillas y fraccionar el proceso entre aquellas que retornan al banco y las que se redispersan por la vía de la cosechadora u otros medios. El modelo conceptual también permitiría agregar otras especies. Además, las funciones y/o algoritmos que vinculan los componentes del modelo diagramático, no sólo permiten simular la dinámica de una población a lo largo del tiempo, sino también incluir la mortalidad causada por herbicidas de distinto tipo (de contacto o residuales, pre-emergentes o post-emergentes). Estos y otros detalles relacionados con la modelización de poblaciones se abordan en el Capítulo respectivo.

Las plantas, organismos modulares

La distinción fundamental entre animales y vegetales es el patrón de organización de sus tejidos a medida que crecen y desarrollan. La mayoría de los animales crecen de una manera unitaria y lineal, mientras que el crecimiento de las plantas es modular (Harper, 1977). En los animales, el desarrollo desde la cigota hasta el adulto involucra un proceso irreversible de diferenciación de tejidos que conduce a la formación de órganos, en un cuerpo único. El crecimiento y desarrollo de las plantas en cambio, se inicia generalmente en meristemas en los ápices de raíces y tallos (Esau, 1977). Como resultado de la multiplicación celular en estos meristemas, ocurre una elongación, mayor tamaño y se crean nuevos meristemas. El crecimiento está así basado en una estructura modular repetitiva (el fitómero), que construye todo el cuerpo de la planta. Botánicamente, un módulo es un eje con un meristema apical en su extremo distal; el eje está subdividido por nudos, los cuales contienen hojas y meristemas axilares a partir de los cuales se generan brotes. Un meristema, en ciertas condiciones, puede eventualmente diferen-



El modelo conceptual se inicia con la dispersión de las semillas (o "lluvia de semillas"), que pueden germinar rápidamente o bien permanecer almacenadas en el suelo constituyendo un banco (transitorio o persistente según la duración de su viabilidad). El reclutamiento de plántulas desde el banco o reservorio, dependerá de las condiciones físicas que experimenten las semillas en el suelo. Eventualmente emergerá una población de plántulas a partir de una sub-población de semillas atesoradas en un "sitio seguro", aquel que reúna una combinación de señales ambientales favorables, "filtradas" (línea discontinua horizontal que separa el suelo del aire) de entre una gama posible (temperatura, agua, profundidad, pH, oxígeno, luz, nutrientes, etc.). Su crecimiento se traduce en una demanda inmediata de recursos y condiciones ambientales que pueden ser satisfechas o no. De esta manera, cada plántula puede exhibir un crecimiento vigoroso, más exiguo o eventualmente morir (segmento horizontal en algunas plántulas). La supervivencia y el crecimiento, están limitados por los recursos del ambiente (dos líneas verticales a ambos lados del modelo). Desde el reclutamiento y hasta las etapas maduras del desarrollo, las plantas modifican su propio ambiente y por consiguiente el de sus sucesoras, afectando a reclutamientos posteriores. El crecimiento de la planta y su maduración culmina con la producción de semillas, que se dispersan e ingresan al ciclo nuevamente. El modelo descrito incluye propágulos de distinto tipo en el suelo: semillas (círculos) y propágulos vegetativos (cuadros llenos y vacíos). Cada vástago único (línea vertical), puede incluir una ramificación (macolla).

Figura 1. Modelo diagramático de una población vegetal (adaptado de Harper, 1977)

ciarse en una flor, cesando la extensión del crecimiento del eje. Las estructuras modulares brindan gran plasticidad y tienen especial significancia en el caso de las poblaciones de malezas.

Cuatro consecuencias fundamentales surgen a partir de las características modulares que exhiben las plantas:

a) La adición de módulos genera una colonia de unidades que se han ido repitiendo, dispuestas en un formato estructural. La arquitectura de la planta depende de la forma, la tasa de aparición y la posición relativa de cada módulo.

b) Los fitómeros son relativamente autónomos, de tal manera que la eliminación de tejido vegetal por herbivoría u otra alteración física puede dañar a la planta, pero raramente la mata. El sistema de meristemas, también reitera muchas partes del individuo: en la mayoría de las plantas, la remoción de las ramas vegetativas a menudo conduce al reemplazo de esa rama.

c) La existencia de módulos crea la oportunidad de una clonación natural, cuando los meristemas en los nudos mantienen la capacidad de producir nuevos brotes y raíces. La fragmentación de un individuo en clones independientes puede ocurrir también a través de agentes físicos como la labranza o el pastoreo o bien puede ser determinado genéticamente. La clonación es una característica importante de persistencia y dispersión en muchas male-

zas perennes. El tema es tratado más adelante, como reproducción asexual.

d) El número de módulos que exhibe un individuo está fuertemente condicionado por la densidad. La gran plasticidad de este atributo resulta en notables diferencias no sólo en el tamaño, sino también en la fecundidad.

Estructura de las poblaciones

El término “estructura de una población” se refiere a las proporciones de cada una de las características específicas de los individuos que la componen, respecto de las demás, en un momento dado. Las mismas están generalmente asociadas a la edad, al tamaño, al fenotipo, a la estructura genética de sus individuos ó a cualquier otra propiedad que sea variable, porque los individuos crecen, se reproducen, envejecen y mueren a tasas diferentes, producto de la interacción individuo-ambiente y de su genotipo. Consecuentemente, las poblaciones son dinámicas: su estructura varía a lo largo del tiempo (Harper & White, 1974).

Estructura de edades. Distribuciones

La distribución de frecuencias de clases de edad (número de individuos en cada clase etaria) puede reflejar su “estado de salud” en el ambiente en que ésta se desarrolla, permitiendo dilucidar acerca de si la misma está en expansión, en retracción o estabilizada. Por

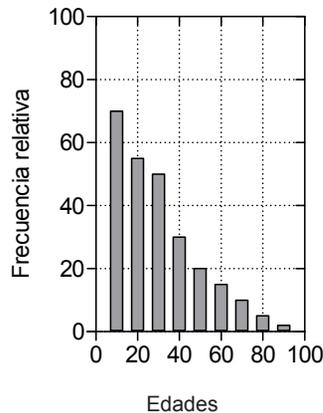


Figura 2a. Distribución de edades de tipo J inversa.

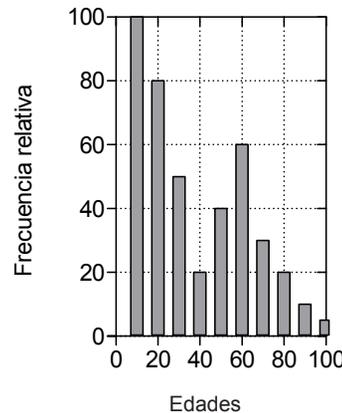


Figura 2b. Distribución de edades de tipo bimodal.

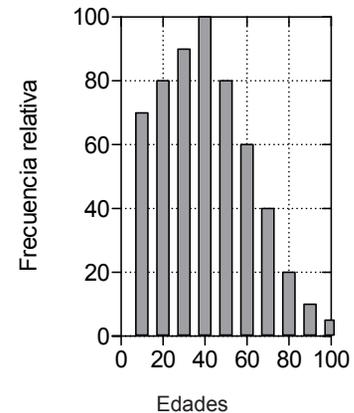


Figura 2c. Distribución de edades de tipo decreciente.

otra parte, la estructura de edades puede ser difícil de interpretar, dado que su distribución no siempre se ajusta a patrones teóricos a lo largo del tiempo y son afectadas por alteraciones abruptas en el hábitat (ej. sequía) (Boggs & Story, 1987). En la Fig. 2 se muestran distintas distribuciones de edades, como resultado de interacciones abióticas y bióticas.

La curva a) tipo J inversa muestra la distribución de frecuencia de edades de una población con una mayor proporción de juveniles que de adultos: esta distribución puede corresponder a una población con un tamaño más o menos constante o bien en crecimiento. La distribución de frecuencia de edades de tipo bimodal (b) es el resultado de "pulsos de reclutamiento" (adición de nuevos individuos), o con periodos sucesivos de bajos y elevados reclutamientos. Esta población tenderá a permanecer estable o se incrementará siempre y cuando los periodos de reclutamiento sean suficientemente frecuentes como para reemplazar los individuos que mueren. Una distribución de frecuencia de edades en una población en decrecimiento (c) indica que los individuos que se mueren no son reemplazados con la misma velocidad y si el reclutamiento es cero, la distribución se vuelve unimodal (d). En esta situación, en donde no se incorporan individuos jóvenes, la población tiende a envejecer. Una distribución de frecuencia de edades azarosa (e), es típica de una población en un hábitat marginal o que está sometido a disturbios impor-

tantes y frecuentes. Las poblaciones que han invadido recientemente un nuevo hábitat, exhiben a menudo este tipo de distribución de frecuencias de edades (Luken, 1990).

Estructura de tamaños

En las poblaciones vegetales, es frecuente encontrar heterogeneidad de tamaños, en las que predominan unos pocos individuos grandes respecto de un mayor número de individuos pequeños. La existencia de individuos de gran porte suele tener un efecto muy importante sobre el resto de los individuos más pequeños que componen la población, ya que aquellos suelen presentar una supervivencia más elevada y mayor fecundidad. Su mayor porte se traduce a menudo en cambios en el microambiente, como puede ser el sombreado a sus "vecinos". Es así que, a la hora de estudiar la composición de las poblaciones, varios autores (entre ellos, Werner, 1977) sugieren que suele ser más útil estructurarlas por tamaño (como parámetro de predicción de una fase del ciclo de vida) y asociarlas con la edad (ej. en estado juvenil o reproductivo) ya que no es frecuente hallar una fuerte correlación lineal entre el tamaño y la edad. En la Fig.3a se muestra la distribución de frecuencias de pesos de distintas densidades de seis especies de malezas en un campo agrícola (Ogden, 1970): independientemente de la especie y de la edad, se visualiza con claridad una distribución sesgada en la fre-

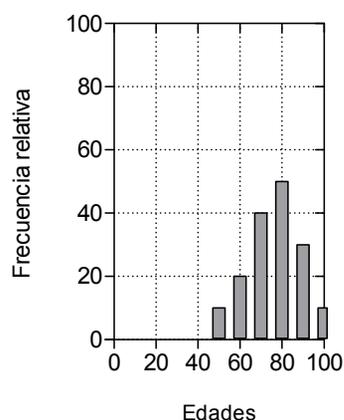


Figura 2d. Distribución de edades de tipo unimodal.

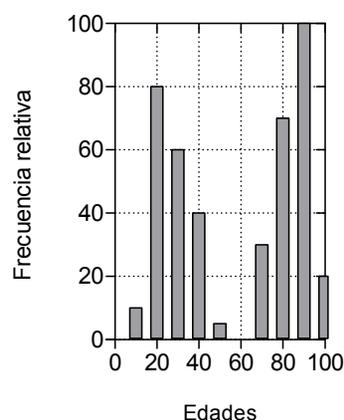


Figura 2e. Distribución de edades de tipo azarosa.

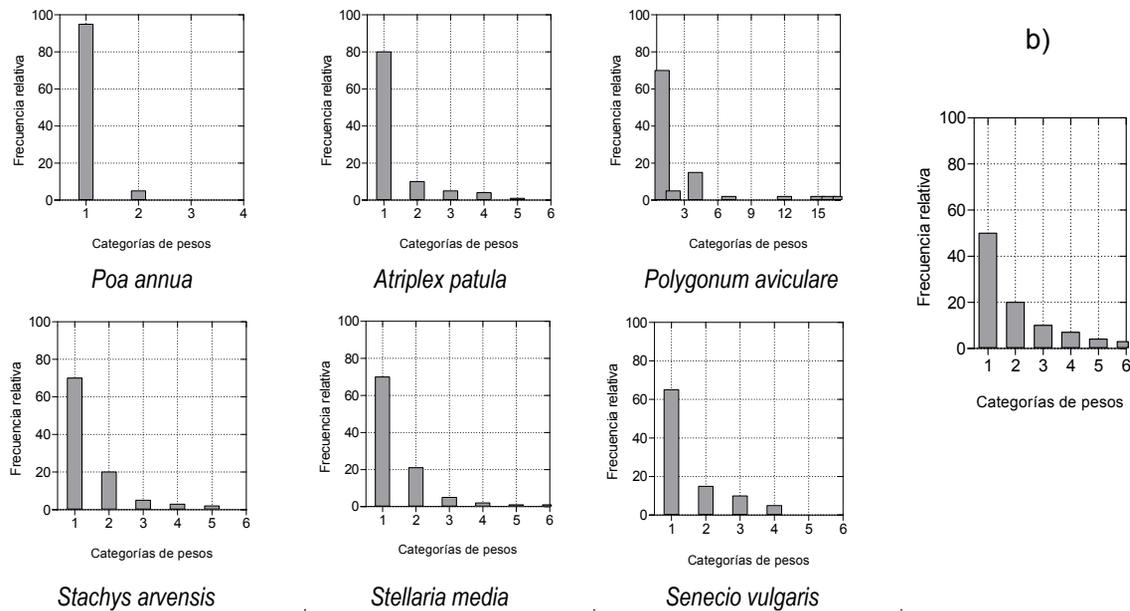


Figura 3a). Distribución de frecuencias de pesos de plantas individuales de seis especies en una pastura (adaptado de Ogden, 1970); **b)** Distribución de frecuencias de pesos de macollas de *Sorghum halepense* (adaptado de Vitta & Leguizamón, no publicado).

cuencia de pesos. Este tipo de jerarquía en la frecuencia de pesos también puede estar asociada con el orden de emergencia, ya que las semillas que se desbloquean con mayor rapidez y/o emergen con mayor velocidad, es posible que capturen recursos más rápidamente y al carecer de competidores, se establece rápidamente una jerarquía de pesos. Esta distribución de pesos sesgada también puede observarse en poblaciones originadas en propágulos vegetativos, como es el caso de los vástagos y macollas de *Sorghum halepense* (Fig. 3b).

Fenología y supervivencia

La fenología, interpretada como el estudio de los cambios periódicos en el desarrollo de la vida de una planta con relación al clima (ej. floración), también se ha utilizado para examinar la estructura de una población, a veces en correlación con la edad o el tamaño (Werner, 1977). Su uso reviste un alto significado biológico, particularmente en los procesos de supervivencia o reproducción. Los datos de la estructura de edades o estados fenológicos pueden representarse mediante Tablas de Vida, que permiten calcular las ta-

sas de mortalidad y reproducción específicas para cada clase de edad (Caja Conceptual N° 5). El dato de supervivencia por edad permite construir curvas, que son más fáciles de interpretar si se representan en una escala logarítmica: en este caso, la tasa de mortalidad está relacionada con la pendiente de la función. Deevey (1947) agrupó los casos posibles en tres tipos fundamentales: la tipo I presenta una mortalidad de la población que es muy baja en etapas jóvenes, pero elevada en etapas maduras, siendo típica de las poblaciones humanas. La tipo II muestra una tasa de mortalidad constante durante todo el ciclo de vida: es el caso de algunas especies de aves. Por último, la tipo III exhibe alta mortalidad en etapas juveniles y más baja en etapas adultas: es el caso de la mayoría de las poblaciones de malezas en agroecosistemas, en donde la mortalidad de plántulas es muy elevada. A esta altura debiéramos preguntarnos: ¿Por qué es importante conocer o estudiar la estructura de una población?; y además, dado que su interpretación es a menudo difícil y/o demanda más esfuerzo de campo ¿porqué no calcular sólo las medias de la población (por ejemplo la media de la edad o la media del tamaño) y usar estos números simples para describirla? La justifi-

cación es que existe información valiosa (ej. variabilidad) que “se pierde” al usar sólo los promedios (Hutchings, 1986): las poblaciones naturales tienen historias de vida heterogéneas e individuos del mismo estado o edad que difieren en sus características y por lo tanto pueden exhibir diferente estructura, aún teniendo similares valores de la media: para ejemplificar esta característica, en la Fig. 4 se exhiben las frecuencias de diámetros de troncos de cuatro poblaciones de árboles; todas ellas tienen la misma media de diámetro del tronco, pero la proporción de individuos en cada clase de diámetro es diferente y consecuentemente su funcionamiento ecológico, también tenderá a diferir.

Crecimiento de poblaciones vegetales

Una planta individual es el resultado de una serie de procesos que se iniciaron con la fecundación y continuaron con el crecimiento del embrión, la germinación de la semilla, el establecimiento de la plántula, el desarrollo, la adultez, la senescencia y la muerte (Fig. 1). Cada uno de estos procesos puede ser mensurable a lo largo del ciclo de vida de una planta y constituye la base de la demografía vegetal. Las respuestas de las tasas vitales en relación con el ambiente, determinan la dinámica de las poblaciones en un tiempo ecológico y la evolución de las historias de vida, en un tiempo evolutivo. Al calcular las tasas vitales durante el ciclo de vida, la demografía tiene en cuenta tanto la dinámica como la estructura de las poblaciones vegetales.

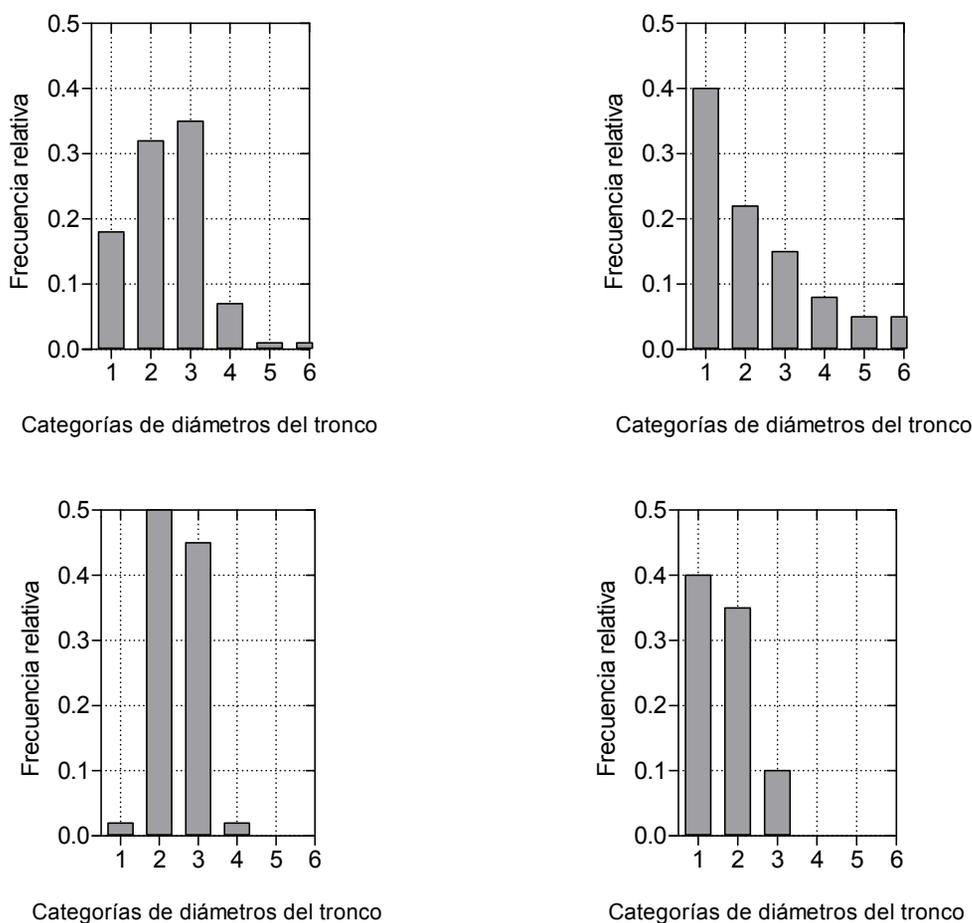


Figura 4. Distribución de edades, basada en el diámetro del tronco, en cuatro poblaciones imaginarias (a,b,c,d). En las cuatro el diámetro promedio es de 20 cm.

Demografía

Demografía es la rama de la antropología que trata de las estadísticas de nacimientos y muertes¹. En el caso de los vegetales, la demografía se ocupa del estudio del tamaño² (número de individuos por unidad de área o densidad) y de la estructura de la población a lo largo del tiempo. La ecuación demográfica básica es una ecuación de diferencias de las tasas vitales:

$$N_{t+1} = N_t + N - M + I - E$$

Donde:

N_{t+1} = densidad poblacional luego de un tiempo específico (t), usualmente una generación.

N_t = densidad poblacional en el momento actual.

N = número de nacimientos durante el tiempo t.

M = número de muertes durante el tiempo t.

I = número de individuos que inmigran (ingresan) a la población durante el tiempo t.

E = número de individuos que emigran (egresan) de la población durante el tiempo t

En esta fórmula, el crecimiento poblacional es el resultado del balance entre los individuos que ingresan a la población (N + I) y los que egresan (M + E). El cambio en el tamaño poblacional (N) durante un periodo de tiempo (t y t+1), puede ser representado de dos formas:

a) $N_{t+1} - N_t$

Si < 0, la población está decreciendo.

Si > 0, la población está creciendo.

¹ La etimología sugiere una específica connotación antrópica, aunque ha sido ampliamente utilizada en especies animales y vegetales. Ya Malthus (1798) visualizó las propiedades estadísticas de poblaciones tanto de hombres como de animales y plantas.

² Harper (1977) propone dividir el estudio de una población teniendo en cuenta dos estructuras: una, descrita por el número de individuos (N) que se han generado a partir de cigotas, los llamados *genets*. La otra, una unidad n del genet (por ejemplo la hoja con su yema, el macollo, el rizoma con sus nudos) llamado *ramet*. N y n combinados conforman la identidad del número de unidades modulares y describen el funcionamiento de la población que ocurre a través de cambios en N ó en n, o alguna combinación de ambas.

Si = 0, la población está en equilibrio.

b) N_{t+1} / N_t

Si < 1, la población está decreciendo.

Si > 1, la población está creciendo.

Si = 1, la población está en equilibrio.

Efecto de las migraciones (I e E) en el tamaño poblacional

A veces puede ser posible ignorar los efectos de la E y la I asumiendo que son equivalentes y consecuentemente sin un efecto significativo en el tamaño. Sin embargo, una población con menor cantidad de nacimientos que de muertes sólo será viable si se importan nuevas semillas desde otras poblaciones: las migraciones por lo tanto, "conectan" demográficamente a las poblaciones. En las poblaciones humanas existen límites políticos, de manera que se puede saber con precisión la movilidad de los individuos. Pero en el caso de las poblaciones vegetales, los límites raramente son discretos y aunque éstos existan, es muy difícil hacer un seguimiento de cada individuo y por lo tanto determinar cómo ocurre la migración³. En la naturaleza, el tamaño de una población raramente se mantiene constante y si bien en un marco relativamente breve el tamaño puede llegar a mantenerse estable, en algún momento la población crece o decrece. También puede modificarse cíclicamente, en forma impredecible.

La Fig. 5 exhibe curvas posibles o teóricas de los cambios en el tamaño poblacional a lo largo del tiempo. Estos cambios suelen ser aún más dramáticos en los agroecosistemas, en donde además del efecto climático

³ Uno de los procesos de migración relevantes en el caso de malezas es el de la dispersión de propágulos, especialmente en aquellas especies que exhiben modificaciones en el fruto que les permite una dispersión anemócora (ej. el "pappus" en muchas Asteraceae). Una de las especies estudiadas recientemente es *Conyza canadensis*, cuyos propágulos se elevan a las capas inferiores de la atmósfera y pueden desplazarse varias centenas de kilómetros a partir de la fuente (Dauer y otros, 2007). En muchas malezas, la migración está fuertemente asociada a la actividad antrópica: tales los casos de migración de especies de un continente a otro por distintas vías como el balasto utilizado para asegurar durmientes de vías de FF.CC o el de las semillas de especies cultivadas contaminadas con malezas.

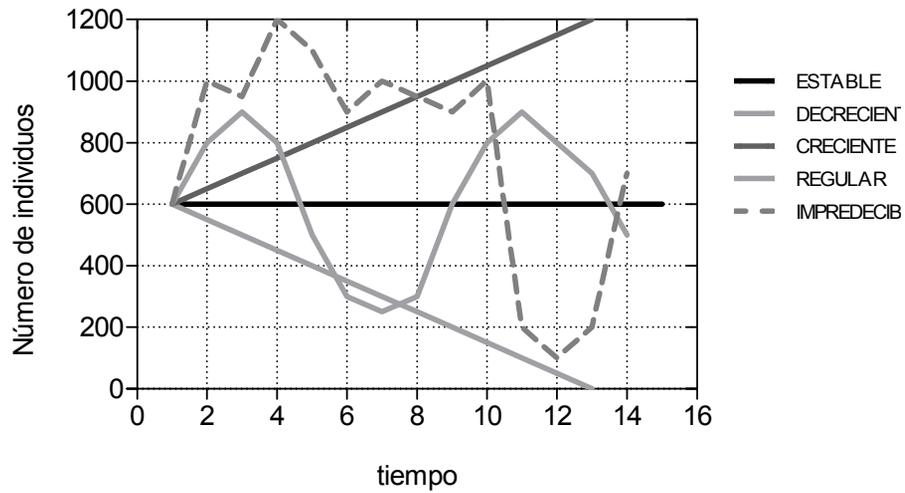


Figura 5. Dinámicas poblacionales posibles y sus trayectorias (estable, decreciente, creciente, regular e impredecible). Adaptado de Booth y otros, 2003.

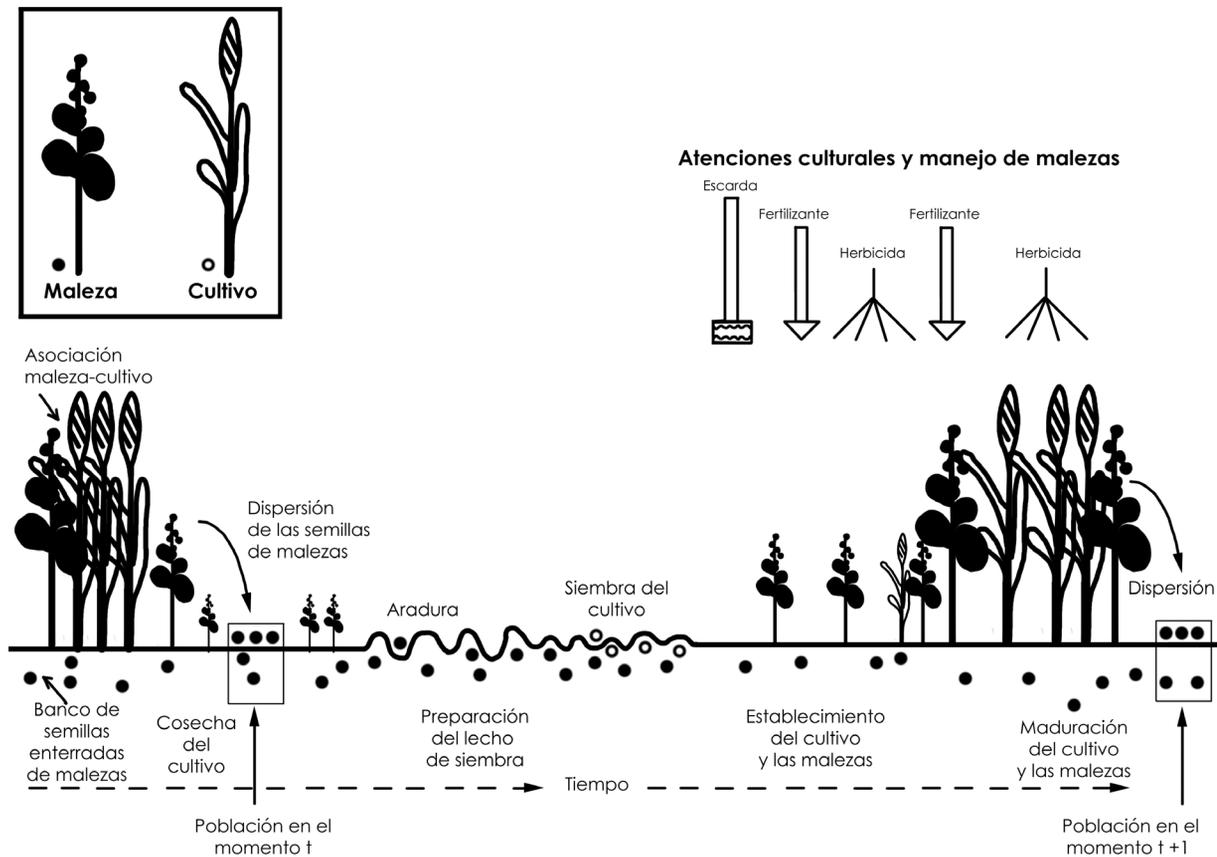


Figura 6. Posibles momentos de determinación de una población de malezas (en este caso la fase de semillas en el banco) en una secuencia de cultivos: a la cosecha del cultivo anterior (población en el tiempo t) y a la del siguiente (población en el tiempo $t+1$). El conocimiento de la tasa λ (N_{t+1} / N_t) permitiría optimizar el diseño de las estrategias de manejo según si la trayectoria indicase un aumento, un valor cercano a 1 o una disminución (Mortimer, 1996).

ejercen su influencia los cultivos y las prácticas de su manejo. La Fig. 6 brinda un marco de trabajo conceptual que permitiría analizar el efecto de una sucesión de cultivos con un barbecho entre ambos, en una especie de maleza anual imaginaria que se reproduce exclusivamente por sus semillas y que hacia el final de su ciclo de vida (generalmente asociado con la cosecha del cultivo) aporta nuevos propágulos al banco de semillas del suelo. El tamaño de la población, en este caso focalizada en el banco de semillas, puede valorarse en puntos consecutivos y el cociente del tamaño de la población en el tiempo $t+1$ en relación con el tiempo t , mide la proporción de cambio del tamaño de la población neta. Es precisamente el sentido de la tendencia (aumento, >1 o disminución, <1) el objetivo principal del estudio de las malezas desde una perspectiva poblacional. En este marco, el conocimiento de los factores que determinan el tamaño poblacional es muy importante (véase también una ampliación del concepto de población - Metapoblación- en la Caja Conceptual N° 2).

Modelización del crecimiento

Crecimiento geométrico (poblaciones anuales con crecimiento por pulsos, discretos, no superpuestos, recursos ilimitados).

El crecimiento de poblaciones en las cuales las generaciones no se superponen (todos los individuos en un momento determinado tienen la misma edad), se denomina crecimiento geométrico. En estas poblaciones, el tamaño de las sucesivas generaciones difieren en una tasa constante o "tasa geométrica de incremento", que se la designa λ (número promedio de descendientes que genera un individuo en un periodo de tiempo):

$$\lambda = N_{t+1} / N_t$$

El tamaño de la población al discurrir el tiempo será, sucesivamente, el resultado de multiplicar el tamaño actual por la tasa geométrica de incremento. Así en $t+1$, el tamaño poblacional será:

$$N_1 = N_0 \times \lambda$$

Y en $t+2$ (la segunda generación):

$$N_2 = N_1 \times \lambda$$

Como $N_1 = N_0 \times \lambda$ por tanto $N_2 = N_0 \times \lambda \times \lambda$, es decir $N_0 \times (\lambda)^2$, el crecimiento en la tercera generación será:

$$N_3 = N_0 \times (\lambda)^3$$

Así, en forma general, el tamaño de una población creciendo geométricamente en cualquier tiempo t puede ser expresado como (Fig. 7):

$$N_t = N_0 \times \lambda^t$$

Donde:

N_t = Número de individuos en el tiempo t

N_0 = Número inicial de individuos

λ = tasa geométrica de incremento

t = intervalo de tiempo o número de generaciones

Crecimiento exponencial (poblaciones con generaciones superpuestas, recursos ilimitados).

El modelo exponencial es apropiado para poblaciones con generaciones superpuestas, puesto que permite representar el crecimiento como un proceso continuo; es decir

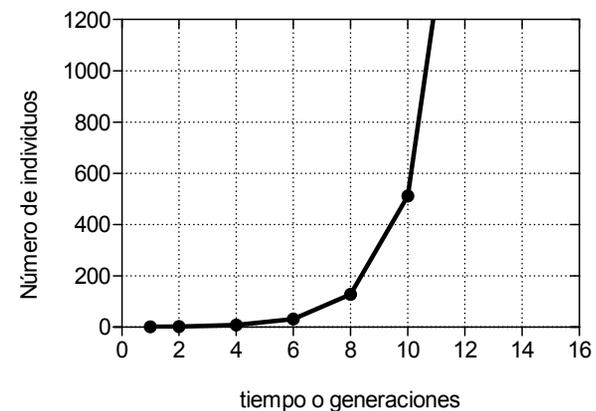
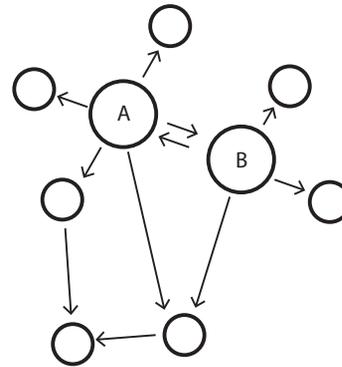


Figura 7. Crecimiento geométrico.

Caja Conceptual N° 2
Metapoblaciones

En ambientes naturales, la mayoría de las poblaciones están dispersas o agrupadas en pequeños subgrupos o “parches” de vegetación y el agrupamiento puede ser un proceso azaroso, aunque a menudo es una respuesta que expresa la heterogeneidad del paisaje y las distintas calidades de hábitats. Una población dividida en subpoblaciones discretas (separadas en el espacio) entre las cuales existe la posibilidad de emigración o inmigración de propágulos o de polen se la denomina Metapoblación. Cada población dentro de una metapoblación, será probablemente distinta debido a que cada una está adaptada a segmentos de condiciones ambientales locales diferentes. Eventualmente, ocurre que estos grupos están conectados por “corredores” que facilitan el intercambio de información genética, dando lugar a la aparición de nuevos genotipos que circunstancialmente tienen el potencial de sobreponerse a cambios ambientales nuevos, como puede ser la introducción de un cultivo o los efectos de herbivoría, enfermedades o sequía. En el diagrama superior, las poblaciones “originales” y que pueden significar una fuente de semillas, están señaladas con las letras A y B (círculos mayores). Existe intercambio e interacción entre ambas y a su vez con otras poblaciones, quizás más recientes, representadas por los círculos más pequeños, el “destino” de las semillas de poblaciones “fuente”, A y B. El concepto de metapoblación permite ampliar el concepto de población original y podría explicarse como una barrera a la extinción de poblaciones locales. Así, la aplicación más importante del concepto de metapoblación se refiere al de sus implicancias para la conservación de la biodiversidad: dado que muchas poblaciones pueden contener pocos individuos y están restringidos y aislados a un área muy pequeña y/o exhiben baja variabilidad genética debido a su ajuste evolutivo a las condiciones particulares de su hábitat, corren riesgo de extinción. Desde la perspectiva de una metapoblación, la posibilidad de intercambio genético abre un camino de supervivencia de la especie, al facilitar la recolonización de los hábitats vacantes de las extinciones locales. Este proceso de recolonización de sitios o hábitats vacantes puede ser recurrente y evita en muchos casos la extinción de especies ante cambios ambientales repentinos (Beeby, 1994; Hanski & Gilpin, 1997; Etienne & Heesterbeek, 2000).



que en un momento dado, los individuos que la integran presentan más de una clase de edad (por ejemplo: individuos juveniles coexisten con plantas adultas vegetativas, reproductivas y post-reproductivas). El ritmo de crecimiento por unidad de tiempo es mayor, debido a que la tasa intrínseca de crecimiento r como medida del cambio instantáneo del tamaño de la población, se multiplica por un

N cada vez mayor. Para una población creciendo a una tasa exponencial, el tamaño en cualquier tiempo t puede ser calculado con la siguiente ecuación (Figura 8):

$$N_t = N_0 \times e^{r \times t}$$

Donde:

N_t = Número de individuos en el tiempo t

N_0 = Número inicial de individuos

e = base de los logaritmos naturales

r = tasa de incremento per cápita o tasa intrínseca

t = intervalo de tiempo

Muchas plantas tienen el potencial de producir un gran número de descendientes, lo cual es especialmente cierto en el caso de las malezas, en donde un solo individuo aislado y gracias a su estructura modular, puede producir hasta 1.000.000 de semillas a lo largo de una sola estación de crecimiento (Tabla II). Surgen así las siguientes preguntas: a) Siendo las malezas tan prolíficas, ¿por qué sus poblaciones no continúan creciendo exponencialmente? y b) A pesar de la existencia de procesos que disminuyen la población de semillas en el banco del suelo (por decaimiento, predación, etc.), la cantidad de plántulas que emergen en sucesivas estaciones de crecimiento es abrumadora. Sin embargo, el tamaño poblacional que exhiben suele desviarse significativamente del tamaño que puede predecirse con un modelo exponencial... ¿podría describirse este proceso con otro modelo?

Crecimiento logístico (poblaciones con generaciones superpuestas, recursos limitados)

En un ambiente natural, el tamaño de la población a través de sucesivas generaciones se “estabilizará” y eventualmente podrá decrecer. Ello se debe a que los recursos y condiciones ambientales (nutrientes, luz, espacio) no son suficientes para satisfacer las necesidades de cada nuevo individuo que se agrega a la población original (Caja Conceptual N° 3). ¿Qué les ocurre a los individuos al aumentar su densidad?: a medida que el tamaño poblacional se incrementa, se ponen de manifiesto factores intrínsecos de regulación (“interacciones intraespecíficas”) asociados a modificaciones del contexto

ambiental y a una limitación competitiva de la disponibilidad de recursos para cada individuo. En el caso de las plantas la respuesta inmediata es la reducción del tamaño (reducción del número de módulos vegetativos y reproductivos). Y sobrepasado un umbral fisiológico, mueren. Así, los factores ambientales aparecen como una de las causas principales en la restricción del crecimiento poblacional. El crecimiento y el correlato demográfico que exhibe una población a lo largo del tiempo, en un escenario caracterizado por una disminución creciente de los recursos disponibles, se puede describir con una función logística (Figura 9).

El elemento central de un modelo logístico es el concepto de capacidad de carga K , que se lo define como el máximo número de individuos que un determinado ambiente puede sostener. Así, la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r_m o “tasa máxima de incremento per cápita”) en el modelo logístico, es *variable y decreciente*: es máxima cuando el tamaño poblacional es infinitamente pequeño y va decreciendo a medida que la densidad N se incrementa, r_m hasta que, cuando la densidad N iguala a K , $r_m = 0$. Desde el punto de vista demográfico, esta densidad se mantiene porque los nacimientos son equivalentes a las muertes. Más aún, cuando el nivel poblacional N es superior a la capacidad de carga K , r_m es negativa y por lo tanto la población decrece (la mortalidad supera a la natalidad), hasta al-

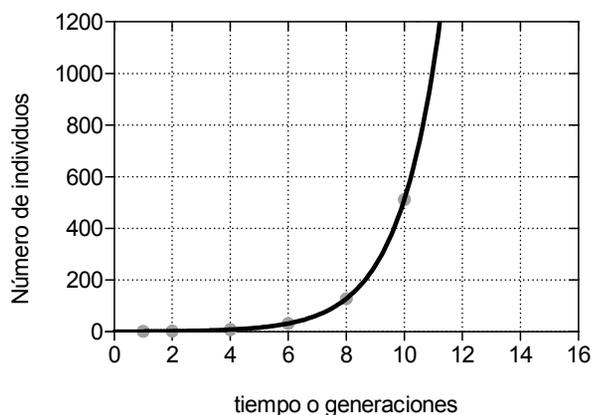


Figura 8. Población con crecimiento exponencial.

Caja Conceptual N° 3

Malthus, Verhulst, Pearl y Reed (Harper, 1977).

Malthus, en su obra “*Un ensayo sobre los principios de la población*” publicado en 1798, puntualizaba que en un ambiente de recursos ilimitados, el tamaño de la población se incrementaba en una progresión geométrica (1, 2, 4, 8, 16...), pero este proceso no podría continuar indefinidamente, ya que siempre se alcanza algún tipo de “techo”. Si bien la principal preocupación de Malthus era hacer notar que la sobrepoblación era una calamidad social, el impacto de su trabajo fue mucho más allá: tanto Darwin como Wallace leyeron el ensayo y se dieron cuenta que en la naturaleza, la sobrepoblación daba lugar no sólo a poblaciones que eran innatamente variables, sino que constituían el “surplus” o “exceso” de individuos necesarios para que fuesen eliminados por la selección natural (la “fuerza conductora” de la selección). Una aportación importante en los primeros tramos de la teoría de poblaciones fue el trabajo de Verhulst un matemático belga que intentó diseñar una descripción matemática formal del crecimiento poblacional en un ambiente restringido (Verhulst, 1839). El trabajo de Verhulst fue completamente ignorado hasta que Pearl y Reed independientemente, derivaron en 1920 esencialmente la misma fórmula, la denominada función logística de Verhulst o de Verhulst-Pearl:

$$dN/dt = rN (K - N/K), \text{ o en su forma integrada: } N_t = N_0 \times e^{rt (K - N/K)}$$

La Ecuación de Verhulst sigue teniendo una gran influencia en los estudios poblacionales, particularmente porque enfatiza en dos parámetros, r y K , los cuales son potencialmente medibles y definen el funcionamiento de una población ideal. Al parámetro r se lo denomina “*tasa intrínseca de crecimiento natural*” y define la tasa de incremento potencial o máxima que exhibe una población en un determinado ambiente: es una medida de la tasa a la cual se expandirá esa población, siempre y cuando no haya limitaciones impuestas por escasez de recursos u otras consecuencias o productos del crecimiento. El parámetro K define el nivel superior, valor de saturación del ambiente, en el cual la población puede desarrollarse. Puede determinarse en términos “maltusianos”, por el límite de suministro de recursos consumibles o por cualquier otra actividad de la población que coloca un techo a su futuro crecimiento: limitación de espacio, funcionamiento territorial o producción de toxinas.

canzar K . El tamaño de la población en cualquier momento en el modelo logístico, está descrito por la siguiente ecuación:

$$N_{t+1} = N_t + (r_m \times N_t \times (K - N_t / K))$$

Donde:

N_t = Número de individuos en el tiempo t

N_{t+1} = Número de individuos en el tiempo $t+1$

K = Número máximo de individuos que soporta el sistema

r_m = tasa intrínseca máxima de incremento per cápita

t = intervalo de tiempo

Nótese que el efecto de la densidad sobre la tasa es mayor a medida que ésta va aumentando, de manera que en algún momento, la población alcanza un “plateau” o nivel máximo y cesa de crecer: a la relación N/K se la suele designar como “resistencia ambiental” al crecimiento de la población.

Si bien tanto el modelo exponencial como el logístico son idealizaciones matemáticas que ayudan a describir el crecimiento de poblaciones a lo largo del tiempo, proveen de una base conceptual para utilizar modelos más complejos. En la naturaleza el crecimiento de las poblaciones vegetales tiende a ser mucho

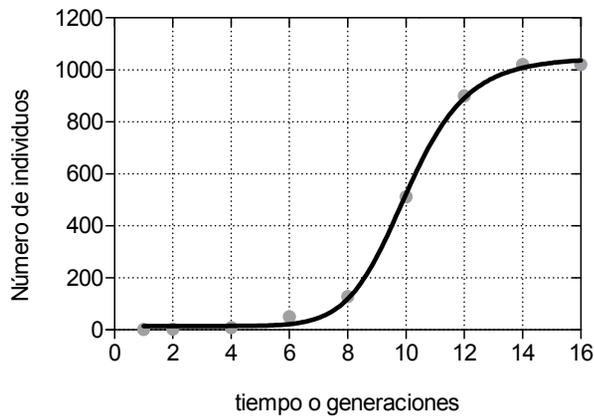


Figura 9. Población con crecimiento logístico.

más variable aún, debido entre otras, a las siguientes razones:

a) El crecimiento logístico asume que el ambiente es estable a lo largo del tiempo, de manera que el valor de K se mantendría constante. Esto no es exacto, dado que una característica natural del ambiente es su variabilidad: se producen cambios de temperatura, nutrientes, disponibilidad hídrica, luz, etc. a los que se suman las no menos importantes variaciones debido a las interacciones bióticas. Y cambios tan sólo moderados en un factor biótico o abiótico pueden traducirse en variaciones significativas en el número de individuos que un ambiente dado puede sustentar.

b) El crecimiento es un proceso que presenta "estocacidad" demográfica y ambiental, lo cual implica que el tamaño poblacional no siempre queda determinado por un modelo "determinístico" en un ambiente. Por el contrario, es muy frecuente que aparezcan y/o predominen variaciones aleatorias tanto intrínsecas (en los procesos demográficos de natalidad y muerte) como extrínsecas (ambiente climático por ejemplo) y que resultan en importantes desviaciones respecto de los modelos de crecimiento previstos, llegando incluso a causar su extinción.

c) Tanto el modelo de crecimiento exponencial como el logístico asumen que las poblaciones son independientes unas de otras. Sin embargo existen fluctuaciones por el hecho que las mismas interactúan a través de la competencia, la herbivoría, etc.

Crecimiento logístico en condiciones reales. Tipos de regulación.⁴

Hemos visto que la tasa de crecimiento r está afectada por la densidad poblacional. Cuando ello ocurre, podemos decir que la tasa es denso-dependiente y asumir que las variaciones en la tasa, se deben a variaciones en las tasas de nacimiento y de mortalidad. Estos dos procesos demográficos se equilibran cuando se llega a K ("punto estable"). Si por el contrario, la regulación es denso-independiente, ni las tasas de nacimiento ni las de mortalidad dependen del aumento de densidad o de otro modo, del "hacinamiento": en tales condiciones no hay un único valor de K y consecuentemente, no hay equilibrio. En algunas especies, la regulación debida a una denso-dependencia en las tasas de natalidad y de mortalidad está presente, pero es lábil o difusa. En ese caso, el tamaño poblacional puede apartarse sustancialmente de K (o bien K puede variar sustancialmente). Tal regulación "lábil" ocurre cuando las tasas de natalidad y mortalidad tienen un gran rango de valores posibles con cualquier tamaño poblacional, lo cual impide formular una única función que relacione ya sea la tasa de natalidad o la de mortalidad con la densidad. Este efecto se denomina regulación denso-dependiente difusa o lábil y origina trayectorias totalmente apartadas de la típica función logística (Figs. 10 a y b).

De lo antedicho surge palmariamente que:

a) las poblaciones en algún momento, regulan su tamaño.

b) la regulación del tamaño dependería tanto de factores abióticos (denso-independientes) como bióticos (denso-dependientes) que interactúan y que ocurren, en la generalidad de los casos, en forma aleatoria o estocástica.

⁴Climate plays an important part in determining the average number of species, and periodical seasons of extreme cold or drought seem to be the most effective of all checks...The action of climate seems at first to be quite independent of the struggle for existence; but in so far as climate chiefly acts in reducing food, it brings on the most severe struggle between the individuals, whether of the same or distinct species, which subsist on the same kind of food." (Harper, 1977).

La dinámica de poblaciones y el manejo de malezas

Las prácticas alternativas de manejo de malezas a corto y largo plazo podrían ser más eficaces si se conociese razonablemente la dinámica de sus poblaciones y su interacción con factores naturales o de origen antrópico. Aún en las especies en las que se han construido modelos de la dinámica de sus poblacionales, la investigación realizada ha sido en general en una porción de su ciclo de vida y/o bajo, la influencia de un rango estrecho de regímenes de manejo. Mucho menos frecuentes son las investigaciones de poblaciones y comunidades de malezas en un periodo más amplio y su relación con los restantes actores del ecosistema.

A esta altura, debe enfatizarse un aspecto fundamental: las poblaciones exhiben sus propias dinámicas intrínsecas y aún cuando los extrínsecos que la afectan puedan permanecer constantes, siempre ocurren cambios debido a procesos regulatorios internos que surgen de la interacción entre los individuos de la población; de allí la gran complejidad que supone construir modelos de predicción que sean suficientemente robustos como para implementar acciones de manejo al nivel de un campo.

De todos modos, aunque con limitaciones y/o acotados sólo a una porción del ciclo de vida, los estudios que contribuyen a aumentar el conocimiento de los efectos y/o de la interacción de los factores y procesos tanto naturales

como antrópicos en la dinámica de las poblaciones de malezas son muy importantes para evaluar y optimizar las prácticas de manejo tanto en el corto, como el mediano o el largo plazo. Y también contribuyen a definir el papel de ciertos rasgos biológicos con otros niveles de la cadena trófica, dado que la flora espontánea constituye el pilar de la misma.

Trayectorias

El objetivo central del estudio de las poblaciones de malezas en función del tiempo (y el espacio) es comprender y por lo tanto tratar de predecir, la "dirección" o trayectoria que pueden seguir sus poblaciones (Cousens & Mortimer, 1995) a lo largo del tiempo (Fig. 6). Pueden existir periodos en los cuales la densidad poblacional cambia muy poco u otros en donde por diversas razones, la trayectoria de la misma se incrementa (tasa geométrica mayor que 1) o se reduce (tasa geométrica inferior a 1). Así, en el marco de esta trayectoria, la tasa de cambio del tamaño poblacional tiene particular interés en el manejo de malezas, ya que indicará el momento en que una especie escapará a una acción de manejo o viceversa, cuán pronto un problema serio de malezas dejará de serlo. En otras palabras, podrán responderse preguntas del siguiente tipo:

- La abundancia de la especie X ¿está aumentando?,

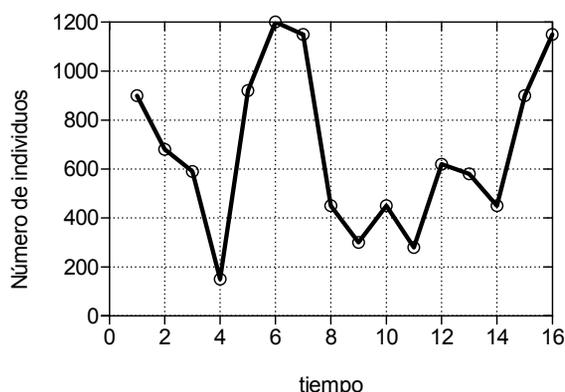


Figura 10a. Hay equilibrio o patrón evidente? No.

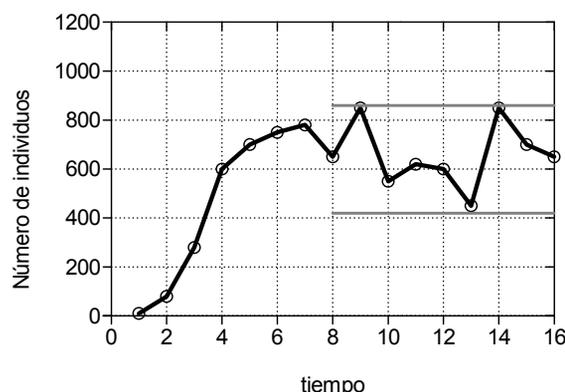


Figura 10b. La función no tiene un "techo" o K fijo, sino un rango.

- ¿A qué densidad podrá llegar la especie Z si no se ejecutan prácticas de control?
- ¿Qué estrategias de mediano plazo son más recomendables para lograr un tamaño poblacional estable en la especie P?
- ¿Cuánto tiempo y qué intensidad de control se necesitará para llevar a cabo una estrategia?
- ¿Se debe diseñar un programa de acción inmediata o la población se autoregulará?

Consideremos por ejemplo el caso en que las semillas de una especie se dispersan en un área: si el hábitat provee de recursos para que esta especie crezca y se reproduzca, la misma se expandirá y aumentará en abundancia a lo largo del tiempo. Su tasa de incremento estará determinada por la relación entre sucesivas generaciones, medidas en un punto común del ciclo de vida. Al principio, la densidad será baja y los individuos tendrán poca influencia en el crecimiento y en el desarrollo de sus vecinos; la población muy probablemente crezca a tasa constante (la tasa geométrica de incremento) en ese hábitat. Sin embargo, al aumentar la densidad, probablemente se pongan en marcha los procesos de regulación en supervivencia y/o en la reproducción y eventualmente, la interferencia intraespecífica será tan intensa que las ganancias en el tamaño poblacional debido a nuevos individuos serán compensadas por las pérdidas por mortalidad, de manera que el tamaño de la población se mantendrá constante: en este punto la misma habrá al-

canzado su “techo” de densidad o capacidad de carga en ese ambiente (N_t) (Fig. 11). El patrón completo del tipo de trayectoria se muestra en la Fig. 12. Una forma alternativa de exhibir la trayectoria, es mediante “Mapas generacionales”, en donde las densidades en las sucesivas generaciones se grafican, una en función de la otra (Fig. 13). Los puntos por encima de la línea indican que la densidad está incrementando, mientras que los puntos situados por debajo, revelan que está decreciendo. Los mapas generacionales son particularmente útiles para realizar predicciones gráficas de la dinámica de las poblaciones. Una técnica denominada “cobwebbing” (nombre derivado del parecido a la trama de una red de araña para captar una presa) es un procedimiento gráfico que permite visualizar soluciones sin apelar a formulaciones matemáticas: a partir de un valor inicial de N , se dibuja una línea vertical hacia arriba hasta alcanzar la curva, seguidamente se traza una línea horizontal a lo largo de la línea N . A partir de allí se proyecta una línea vertical, hacia arriba o hacia abajo dirigida a la curva, de manera que se vuelve al valor de N y así sucesivamente. La serie de N valores en cada intersección sucesiva con la curva es el valor del tamaño de esa población. Se observa claramente que si por alguna razón la población empieza por encima del valor de equilibrio, el Mapa Generacional predecirá una declinación monótonica hasta lograr el equilibrio.

Existen por lo tanto, tres formas de visualizar la trayectoria de una población:

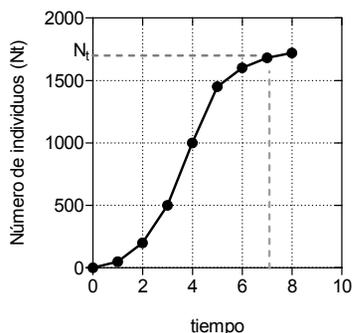


Figura 11: Densidad en relación con el tiempo (Modelo logístico)

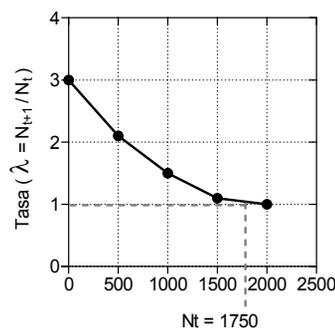


Figura 12: Tasa en relación con la densidad.

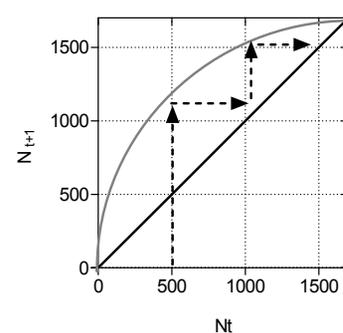


Figura 13: Mapa generacional.

Tabla 1. Tasas de cambio del tamaño poblacional (λ) calculadas a partir de la densidad de plántulas a cosecha en el año 3 respecto del 1, para especies y grupos de especies, en Maíz (M) y en Soja (S) pulverizados con herbicidas preemergentes (imazetapyr=IMZ / atrazina=ATZ) y postemergentes (glifosato=GLF). Se incluyen los cultivos sin aplicación de herbicida (TEST). Letras iguales en cada columna implican ausencia de diferencias significativas.

TRAT	<i>Digitaria sanguinalis</i>	<i>Echinochloa colonum</i>	<i>Eleusine indica</i>	Monocot. anuales	A. <i>quitensis</i>	Ch. <i>album</i>	<i>Datura ferox</i>	<i>Portulaca oleracea</i>	Dicot. anuales	<i>Cyperus rotundus</i>	<i>Sorghum halepense</i>
S TEST	1.5 ab	0.9 bcd	1.49 abc	1.7 b	1.4 b	0.8 ab	0.8 ab	1.0B	0.9 abcd	1.5 ab	1.5 abc
S +IMZ	1.6 ab	0.9 cd	1.92 abc	1.8 b	0.8 ab	0.9 ab	0.9 ab	1.0B	1.0 bcd	1.5 ab	1.5 abc
S+GLF	2.0 abc	0.7 a	2.09 abcd	1.9 cd	1.1 ab	0.6 a	1.3 bc	0.8 ab	0.9 a	2.7 c	2.7 abcd
M TEST	1.9 abc	0.9 d	3.98 ef	1.8 bc	0.9 ab	1.0 b	0.9 ab	1.0 ab	1.0 d	1.6 ab	3.5 cd
M+ATZ	3.1 abc	0.9 cd	2.66 bcde	2.0 de	0.8 ab	0.9 ab	0.8 ab	0.9 ab	1.0 bcd	1.8 b	2.7 abcd
M+ GLF	1.2 b	0.8 ab	1.25 ab	1.5 a	0.6 a	0.8 ab	0.4 a	0.9 ab	0.9 ab	1.1 a	1.2 ab

a) La densidad en relación con el tiempo. Obsérvese en la Fig. 11 que la densidad de la población se aproxima a la capacidad de carga hacia la unidad de tiempo 8.

b) La Tasa de incremento o de cambio del tamaño poblacional en relación con la densidad. En la Fig. 12, la tasa se aproxima a 1 cuando la densidad poblacional se aproxima a 1750 individuos por unidad de superficie.

c) El Mapa generacional, un método gráfico de calcular el tamaño poblacional a lo largo del tiempo (Fig. 13).

En la Tabla I se muestra la tasa de cambio poblacional de varias especies de malezas, en base a los datos de la densidad de poblaciones a la cosecha en un experimento que incluyó cultivos de maíz y de soja con tratamientos de herbicidas de pre y post-emergencia (Leguizamón, y otros, 2012).

Nótese que tanto el tipo de herbicida como el cultivo tienen efectos significativos en la trayectoria particular de especies o grupos de especies. Por ejemplo:

- La trayectoria de las Monocotiledóneas (Poáceas) anuales indica aumentos.

- La trayectoria de las Dicotiledóneas anuales exhibe valores relativamente estables.
- La trayectoria de las especies perennes muestra aumentos significativos.

Reproducción de las malezas

Es la fecundidad o capacidad reproductiva de los vegetales el proceso significativo y determinante no sólo en el mantenimiento de las poblaciones a lo largo del tiempo sino también en el caso de las invasiones⁵. Existen una notable cantidad de mecanismos mediante los cuales los vegetales son capaces de regenerarse. Una característica común en muchas especies de malezas es su capacidad de reproducirse simultáneamente por la vía sexual (producción de semillas) y por la asexual (diferenciación de yemas en estructuras vegetativas). Por consiguiente, es importante caracterizar las estrategias reproductivas en relación con el ciclo vital, aunque a menudo un análisis de este tipo se complica formalmente por la diversidad de formas de

⁵ Temática desarrollada en profundidad en otro Capítulo.

reproducción. Y una diferencia muy importante que debe tenerse en cuenta al considerar la reserva de semillas y yemas en el perfil del suelo, es que las primeras representan una provisión de genotipos todavía no probados, mientras que las segundas constituyen clones de una planta que tiene éxito probado en su microambiente.

Reproducción sexual y semilla

El vocablo semilla se adopta en una acepción corriente, como el óvulo fertilizado y sus estructuras asociadas, aunque pueda tratarse de frutos, como cariopses o aquenios. La semilla, consecuencia del óvulo maduro y fertilizado, presenta un embrión a partir del cual se va a desarrollar una planta y a menudo almacena sustancias de reserva y presenta una serie de cubiertas protectoras. Resulta de gran valor considerar el significado de la reproducción sexual en el potencial evolutivo de las malezas y como estrategia de colonización y supervivencia en una gran diversidad de ambientes, ya que las semillas constituyen una de las claves centrales en la persistencia de malezas en los agroecosistemas. Particularmente, se destacan seis funciones primordiales de la reproducción sexual y su fundamento en la semilla:

1) **Multiplicación:** es el vínculo de continuidad de la línea genética entre un ciclo vegetativo y el siguiente y para las malezas anuales representa la única vía de infestación de un año tras otro;

2) **Flujo persistente de nuevos genotipos:** la reproducción sexual implica meiosis, fecundación y entrecruzamiento de los cromosomas, como partes importantes del mecanismo genético que permite un permanente intercambio y reordenamiento del material hereditario, posibilitando un número casi sin límites de recombinaciones génicas. La recombinación aumenta la efectividad de la selección natural y la probabilidad de éxito de algunos genotipos será mayor que la correspondiente a otros, es decir las plantas mejor adaptadas a cada sitio sobrevivirán y

tendrán mayor probabilidad de producir semillas, afianzando la viabilidad de su ADN seleccionado, para una próxima generación.

3) **El potencial evolutivo** de las malezas sobre bases reproductivas sexuales puede presentar amplia variabilidad. Un ejemplo típico es el estudiado por Ares y Soriano (1970) y Ares y otros (1970, a, b) en *Stipa brachychaeta*. Esta especie posee la capacidad de producir en la misma planta, semillas por alogamia (fecundación cruzada) en flores chasmógamas y por autogamia (autopolinización, común en muchas malezas) en flores cleistogénicas. La producción de semillas por alogamia lleva implícita una mayor facultad de generar nuevas combinaciones genotípicas, algunas de las cuales con un potencial mayor de colonización ante el advenimiento de cambios ambientales; mientras que el papel de las semillas producidas en flores cleistógénicas implica multiplicar combinaciones hereditarias resultantes de selección diferencial y de probado valor adaptativo a las condiciones ecológicas particulares de un sitio determinado, hecho que se traduce en una rápida acumulación de individuos con un buen ajuste ecológico a un hábitat específico.

4) **Protección** de la especie ante la aparición de condiciones desfavorables. Longevidad y dormición son dos fenómenos biológicos asociados a las semillas que aseguran la subsistencia de la especie ante la falta de condiciones favorables para germinar.

5) **Dispersión y colonización de nuevos ambientes.** La semilla es por excelencia la vía más eficiente de dispersión y transporte de las malezas en condiciones naturales, o asociadas a las actividades del ser humano.

6) **El movimiento de semillas**, en coincidencia con las migraciones humanas y el comercio, introdujo nuevas especies y genotipos a nuevas áreas o regiones durante un largo periodo de tiempo. Tales movimientos generaron repetidas oportunidades para la formación de híbridos mediante la introgresión genética.

La supervivencia de una maleza en un sistema dado está coligada a su capacidad evolutiva para generar descendientes en posición de continuar su línea genética colonizadora a través del tiempo. Baker (1965, 1974) juzgó que las malezas se caracterizan por poseer un genotipo “multipropósito” o “de todo uso”, lo que denota un amplio potencial de variabilidad, como fenómeno biológico de ensamble al hábitat o ante la aparición de disturbios en el mismo. Tales atributos son particularmente importantes en las malezas anuales, frecuentemente las colonizadoras primarias en la sucesión ecológica. Por otro lado, en ciertos casos, el grado de acoplamiento que exhibe una maleza a determinadas señales del ambiente (como es la detección de canopia o de la profundidad a la que se encuentran sus semillas en el suelo) abre la duda acerca de si este tipo de mecanismos se deben realmente a un genotipo multipropósito o bien por el contrario a una composición genética que ha sido capaz de evolucionar y capturar condiciones de un particular ambiente y manejo, lo cual indicaría todo lo contrario, es decir la existencia de genotipos con un ajuste ambiental muy perfeccionado y preciso... el debate continúa.

Fecundidad, capacidad prolífica y longevidad

En la sección anterior se ha enfatizado la importancia de la producción de propágulos, ya sean de origen sexual o asexual, además de la existencia de un ajuste fenotípico tanto en los caracteres morfológicos como en las respuestas fisiológicas bajo diferentes condiciones del medio. Es especialmente la estructura modular la que produce grandes variaciones en la fecundidad (el número de semillas por planta). Esta gran plasticidad, de gran importancia en la fase reproductiva y en la dinámica de poblaciones de malezas, es producto de la competencia y puede describirse mediante una función exponencial negativa, ya que la fecundidad por individuo decrece exponencialmente con la densidad. El conocimiento del número de semillas producidas por las malezas constituye un paso importante para el estudio de su manejo. La

bibliografía en muchas ocasiones, presenta datos dispersos sobre el número de semillas producidas para distintas especies, ya que frecuentemente no se brindan detalles de los métodos empleados para su determinación y fundamentalmente, los datos se ofrecen sin establecer la densidad en la que se encontraban los individuos. Cabe rescatar sin embargo un trabajo fundacional, con datos que se consideran fehacientes sobre el tema, publicado por Stevens (1932). Los mismos son citados reiteradamente en libros de texto y publicaciones, por la probidad de los métodos de recolección y por el análisis de las muestras, que reporta información para 245 especies: de dicho listado, se han seleccionado en la Tabla II aquellas especies reconocidas como malezas de los sistemas agropecuarios del país. Una segunda publicación del mismo autor (Stevens, 1957) contiene información para 263 especies. La Tabla ilustra números o rangos de producción de semillas por parte de individuos que se encuentran aislados o en muy baja densidad, ya sea durante las etapas iniciales de la invasión o bien que han germinado en sitios donde sus semillas fueron redispersadas por la cosechadora, depositadas por un ave o mediante las heces de un bovino. Las cifras suelen diferir porque en muchos casos las condiciones y ambientes y formas de determinación varían. Y si bien los datos mencionados en la citada Tabla pueden ser anecdóticos, son muy ilustrativos del potencial de infestación de las malezas.

Tanto el número como el tamaño de las semillas son dos factores críticos en el suceso de una maleza en un agroecosistema. Ya que es un atributo específico propios de cada especie y puede alterarse para cada situación ambiental de clima o suelo o de competencia intra o interespecífica, es importante resaltar que aún individuos con un crecimiento muy reducido pueden llegar a producir algunas semillas: así numerosas especies tienden a madurar sus semillas a lo largo de todo su ciclo de crecimiento, como *Centaurea solstitialis* ó *Urtica urens*. Desde el punto de vista de su manejo, el número de semillas producido por la población por unidad de superficie puede ser más importante que la de una planta

aislada, si tenemos en cuenta la estructura modular referida en párrafos anteriores, en el marco de la variabilidad temporal.

Si bien los datos arriba expuestos destacan el potencial de una prodigiosa fecundidad, no menos importante es el hecho que la producción de semillas está directamente relacionada con el tamaño o peso de la planta, dependiente de la densidad. En cualquier caso, la producción de semillas es el aporte principal al banco de semillas del suelo: en estimaciones realizadas por Leguizamón & Roberts (1982) se determinaron aportes significativos por parte de poblaciones de *Stellaria media*, *Lamium purpureum* y *Veronica heterifolia* con incrementos del mismo de hasta 14 x en una sola estación de crecimiento. Por otra parte, los individuos que se desarrollan en condiciones adversas o emergen debajo de la cobertura del cultivo al final de su ciclo, originan progenies sustancialmente menores, pero tienen grandes implicancias porque realizan aportes significativos al banco del suelo y pueden generar elevadas abundancias en los años subsiguientes. Este proceso, de gran importancia agronómica se ejemplifica en la Fig. 14: el número de plántulas de la cohorte tardía de *Digitaria sanguinalis*, aumenta significativamente al tercer año de una secuencia Maíz-Soja si no se aplican herbicidas durante los tres años: esta respuesta está muy relacionada con el incremento constante de aportes al banco de semillas durante los dos primeros años: la germinación y emergencia de cohortes tardías debajo de la canopia de soja se “dispara” y con certeza se transformará en un problema en el cultivo de maíz del cuarto año.

Los estudios ecológicos de dispersión de las malezas muestran gran variedad de resultados y, aunque en muchos casos la mayor proporción de las semillas se ubica en espacios muy próximos a la planta progenitora, varias características morfológicas (*aristas*, *tricomos*, *pappus*, etc.) contribuyen a su dispersión por otros vectores, tales como las aves, la maquinaria agrícola y el viento. Resulta particularmente importante señalar que muchas especies de malezas estarían bajo

control si pudiéramos reducir o eventualmente eliminar su potencial reproductivo dado que la persistencia de las especies anuales y bianuales reposa en su capacidad para realimentar el banco del suelo. Incluso en muchas especies perennes, el proceso de invasión primario se origina principalmente a partir de sus semillas. Esta dificultad aparente puede sin embargo ser contrarrestada en forma relativamente sencilla: basta para ello prestar atención a los nuevos equipos de recolección y/o destrucción de semillas desarrollados en Australia que tienen la finalidad de evitar la redispersión de semillas de *Lolium* sp., resistente a glifosato, por parte de las máquinas cosechadoras (Veáse Capítulo de Manejo Integrado de Malezas).

Longevidad de las semillas

Uno de los problemas principales asociados a la dinámica poblacional de las malezas en los agroecosistemas, está coligado al potencial de supervivencia que sus semillas pueden presentar almacenadas en el suelo, un atributo biológico propio que varía ampliamente para cada especie. El tema ha sido motivo de revisiones (Crocker 1938; Barton, 1961, Roberts, 1981; Toole, 1986; Baskin y Baskin, 2001) y es de profundo interés, tanto por su enfoque científico biológico por sí mismo (Brown, 2001) como por su utilidad, dado que la permanencia en el suelo por largos períodos se convierte en una permanente y probable fuente de infestación. En la Argentina, los trabajos pioneros incluyeron la determinación de semillas en el banco de suelos de la región núcleo en la década de 1970 (Leguizamón y Cruz, 1980, Leguizamón et.al., 1980). Nuestro conocimiento sobre la longevidad de las semillas de las malezas proviene principalmente de dos fuentes de información: por un lado por el estudio de la viabilidad de semillas almacenadas en colecciones, herbarios o extraídas de un suelo con una historia previa de no disturbio; por el otro, sobre la base de experimentación a largo plazo de semillas incorporadas ex-profeso en el perfil del suelo. El hecho que las semillas de malezas puedan sobrevivir muchos años en-

Tabla 2. Número de semillas por planta y por unidad de peso de malezas citadas en los sistemas agropecuarios de la Argentina^a.

Género y especie	Nombre vulgar ^a	Adaptado de Stevens, O. A. (1932)		Adaptado de Holm, et. al (1977)		Adaptado de diversas fuentes (ver pie de Tabla). Número o rango de semillas por planta
		Nº de semillas por planta	Nº de semillas en un gramo	Rango de Nº de semillas por planta		
<i>Achillea millefolium</i> L. ^(a)	Mil hojas	210	2500			
<i>Amaranthus quitensis</i> HBK	Yuyo colorado					6300-8800 ^(b)
<i>Amaranthus retroflexus</i> L. ^(b)	Yuyo colorado	117400	2631			
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	Yuyo colorado				235000	
<i>Ambrosia elatior</i> (<i>A. artemisiifolia</i>) L. ^(b)	Altamisa	3380	253			
<i>Anagallis arvensis</i> L.	Anagallis				900-250000	
<i>Anoda cristata</i> L.	Malva cimarrona					500-1200 ^(e)
<i>Avena fatua</i> L. ^(b)	Avena negra	250	57			
<i>Brassica juncea</i> (L.) Cosson	Mostaza de China	4950	381			
<i>Brassica nigra</i> (L.) W.J.D. Koch	Mostaza negra	13400	588			
<i>Camelina sativa</i> (L.) Crantz	Nabo francés	1640	1000			
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. ^(b,c)	Bolsa de pastor	38500	10416			
<i>Cenchrus spinifex</i> (<i>C. pauciflorus</i>) ^(b)	Roseta	1110	148			
<i>Chenopodium album</i> L.	Quinoa, yuyo blanco	72450	1428		13000-500000	300-10000
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop. ^(b,d)	Cardo curtidor	680	636			
<i>Commelina erecta</i> L.	Flor de Santa Lucía					700 ^(b)
<i>Cyperus esculentus</i> L. ^(d)	Chufa	2420	5263			
<i>Digitaria sanguinalis</i> L.	Pasto cuaresma				2000-150000	2000-14000 ^(e)
<i>Echinochloa colonum</i> L.	Capin					3000-6000 ^(e)
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv. ^(b,c)	Capinarroz	7160	714		2000-40000	
<i>Eleusine indica</i> L.	Pata de gallina				50000-135000	5500-30000 ^(e)
<i>Eragrostis cilianensis</i> (All.) Vignobexlanch	Pasto hediondo	82100	13333			
<i>Euphorbia hirta</i> L.					3000	
<i>Helianthus annuus</i> L. ^(b,c)	Girasol	7200	152			
<i>Heterotheca latifolia</i> L.	Falso alcanfor					3000-10000 ^(b)
<i>Hordeum jubatum</i> L.	Cola de zorro	2420	888			
<i>Ipomoea hederifolia</i> L.	Bejuco					3600 ^(g)
<i>Kochia (Bassia) scoparia</i> L.	Morenila	14600	1176			
<i>Medicago lupulina</i> L.	Lupulina	2350	833			
<i>Oenothera biennis</i> L.	Onagra, Oenotera	118500	3030			
<i>Panicum capillare</i> L. ^(b)	Panizo americano	11400	1538			
<i>Plantago major</i> L.	Llantén	36150	5000			
<i>Polygonum aviculare</i> L. ^(b)	Sanguinaria	6380	1481			
<i>Polygonum convolvulus</i> L.	Enredadera	11900	142			90000
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Verdolaga	52300	7692			5500-30000 ^(e)
<i>Rumex crispus</i> L.	Lengua de vaca	29500	714			
<i>Sisymbrium altissimum</i> L. ^(b)	Mostacilla alta	80400	5714			28000 ^(f) -8000 ^(g)
<i>Sorghum halepense</i>	Soigo de Alepo					
<i>Verbascum thapsus</i> L.	Paño	223200	11111			
<i>Veronica peregrina</i> L.	Veronica peregrina	77000	33333			
<i>Xanthium spinosum</i> L.	Abrojo				150	

^(a)Según Marzocca, A. (1957) y Brusco de Pérez, M.I. (comunicación personal), ^(b)Presencia de muchas semillas fracturadas y perdidas, ^(c)Cosecha de un tallo principal, ^(d)Ferrari y Leguizamón, E. (2003), ^(e)Scopel et al. (1988) y Leguizamón, E. (2003), ^(f)Daita, F. (2012), ^(g)Tuesca y Nisensohn (2001), ^(h)Faccini y Nisensohn (1994), ⁽ⁱ⁾Suárez, C. (2009).

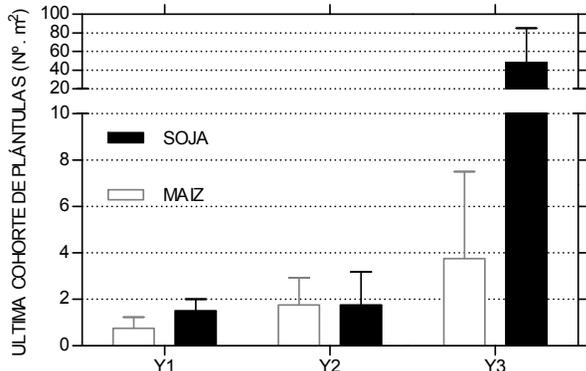


Figura 14. N° de plántulas de la última cohorte de *D. sanguinalis* a la cosecha de maíz y soja durante tres años (Y1, Y2, Y3). Cada cultivo fue precedido del complementario, en cada año. El número de plántulas de la cohorte tardía es claramente favorecido en el cultivo de soja, de mayor duración que el de maíz y probablemente con condiciones más favorables para el aumento de fecundidad de la maleza, durante el tercer año de la secuencia (Leguizamón, no publicado).

terradas en el suelo fue demostrado por el experimento pionero de Beal (1905) quien en 1879 enterró a 45 cm de profundidad 20 botellas en el predio del Michigan Agricultural College (EE.UU) con su boca abierta hacia abajo y conteniendo suelo con 50 semillas de 20 especies de malezas. La cuestión a indagar se relacionaba con un único interrogante: ¿Cuánto tiempo puede una semilla sobrevivir enterrada en la oscuridad y clima del suelo y luego germinar y desarrollar ante la presencia de humedad y luz? Y como corolario y en una época anterior al desarrollo de las técnicas modernas de control, producir información sobre: ¿Cuánto tiempo teóricamente deberíamos dejar el suelo sin remover para asegurar un posterior cultivo libre de malezas? Así, cada cinco años Beal decidió desenterrar y sembrar sus semillas en suelo con provisión de luz y agua. Y continuó el ensayo hasta 1920. Como luego de dicho período, aún germinaban muchas especies, decidió extraer una muestra cada 10 años y más tarde, a intervalos de 20 años. A este ritmo, cuando se extraiga la última botella, en el año 2100 (Brown, 2001), se sabrá más sobre la supervivencia de estas semillas.

En la actualidad, el ensayo de Beal no sólo representa el experimento sobre viabilidad más viejo del mundo sino que además revela la importancia de la continuidad en una investi-

gación, ya que cuando -a la edad de 91 años- Beal fallece, sus colegas de la Universidad de Michigan continuaron con el análisis de las muestras (Darlington 1931, 1941, 1951; Darlington y Steinbauer, 1961). En forma sucinta se exponen a continuación los resultados de especies que son componentes comunes de la flora de la Argentina: en 1919, a 40 años de haber sido enterradas, las pruebas de germinación demostraron que 10 especies eran viables, entre ellas *Amaranthus retroflexus* (Yuyo colorado), *Ambrosia elatior* (Altamisa), *Plantago major* (Llantén), *Portulaca oleracea* (Verdolaga). Treinta a cuarenta años más tarde (1950 y 1960), tres especies germinaron: *Oenothera biennis* (Onagra, enotera), *Rumex crispus* (Lengua de vaca) y *Verbascum blattaria* (en el país se cita a *Verbascum thapsus*). En 1970, luego de 80 años de entierro, de las tres especies anteriores sólo germinó *V. blattaria* con un 20 % de viabilidad y las plantas crecieron normalmente y produjeron nuevas semillas. En 1980 las semillas centenarias se colocaron para su germinación como siempre, en suelo esterilizado con vapor (Kivilaan y Bandurski, 1981) e -inicialmente- no ocurrió nada, la duda era ¿murieron finalmente las semillas de Beal?; sin embargo, luego de varias semanas apareció la primera plántula y en cinco meses se obtuvieron 29 plántulas de tres especies: *Malva rotundifolia*, *Verbascum thapsus* y *V. blattaria*. ¡Una prueba evidente que estaban vivas y tenían el potencial genético de reiniciar una historia de otros 100 años, que no son pocos!. Una experiencia de características similares fue iniciada en 1902 por J. W. T. Duvel (Goss, 1924) incluyendo 107 especies de malezas y plantas cultivadas colocadas en potes porosos a tres profundidades en el suelo. Del mismo modo, periódicamente fue examinada su viabilidad: los resultados (Toole y Brown, 1946) mostraron que las malezas sobrevivieron más que las especies cultivadas y luego de 38 años de enterramiento, 36 de las 107 especies iniciales todavía eran viables, incluyendo entre otras, a *Datura stramonium*, *Verbascum thapsus*, *Holcus lanatus*, *Oenothera biennis*, *Chenopodium album*, *Setaria viridis* y *Rumex crispus*. Otros ejemplos de longevidad se desarrollan en la Caja Conceptual N° 6.

Contrastando con los valores de extrema viabilidad mencionados, otras especies pierden su capacidad de germinación en plazos comparativamente perecederos. Por ejemplo, *Tessaria absinthioides*, una especie perenne considerada maleza en los sistemas de regadío, produce desde diciembre hasta marzo un gran número de semillas muy pequeñas que germinan en un rango amplio de temperaturas y en las que, contrariamente a lo que ocurre con frecuencia en semillas diminutas, la luz no es un requisito prioritario. Inicialmente, exhiben una elevada viabilidad y poder germinativo, pero desaparece totalmente en el término de cinco a seis meses, caracterizando así a una de las especies con semillas de supervivencia más bajas (Hernández, 1991). A pesar de lo expuesto, no hay una norma fija que pueda atribuirse a una determinada especie por su longevidad de las semillas, ya que el tiempo que pueden permanecer viables no sólo varía ampliamente entre especies sino también porque este atributo propio de su información genética depende en su expresión de las condiciones ambientales de su preservación, ya sea en el laboratorio, el herbario o la variedad de ambientes que ofrece el suelo. En los primeros tiempos del experimento de Beal, los científicos sabían muy poco acerca de la vida de las semillas en el suelo. A partir de la novedad de los datos iniciales sobre viabilidad, biólogos y ecólogos fueron más allá en sus estudios tratando de desentrañar el secreto de su longevidad y contestar preguntas tales como: ¿Porqué algunas semillas tienen el potencial de sobrevivir por décadas mientras que otras apenas sobreviven meses?, ¿Cuál es el mecanismo que controla la periodicidad de la germinación y su significado ecológico de supervivencia para la especie? Es así que, en pocos años, se abrió un fascinante panorama científico asociado al estudio de la germinación. Una de las conclusiones más significativas asociada a la germinación de malezas y especies silvestres en general, esta coligada con un fenómeno biológico que se le ha dado el nombre de “dormición”, un tema que se aborda en otro capítulo.

Reproducción asexual

La reproducción asexual constituye un tema de especial importancia, tanto desde el punto de vista ecológico como agronómico. Su significado biológico está definido por un tipo de reproducción clonal que se traduce en la copia exacta del fenotipo de la planta materna, sin que exista segregación genética o recombinación de cromosomas. El valor adaptativo que resulta de la estabilidad genética yace en la perpetuación de un genotipo exitoso en un hábitat determinado. Por otro lado, frente a cambios ambientales significativos la reproducción asexual es un “callejón sin salida” y que puede significar la extinción de la especie en ese sitio. En Botánica, la producción de semillas en la cual la meiosis y la unión de las gametas para formar una cigota está parcial o totalmente suprimida recibe el nombre de apomixis. Es un fenómeno de los vegetales superiores donde existe la formación asexual de un embrión sin fecundación; a menudo, esta categoría también se agrega como referencia a la reproducción vegetativa. Es así que, en un sentido amplio, la apomixis “cae” en dos categorías:

a) **Agamospermia:** es la reproducción por semillas que tienen embrión que se ha diferenciado sin que haya existido meiosis o fertilización (*Taraxacum officinale*, *Chondrilla juncea*, etc.);

b) **Reproducción vegetativa:** es la regeneración sin floración y comprende la propagación de la planta a partir de estructuras vegetativas persistentes y su posterior fragmentación. Una característica de la reproducción vegetativa es el bajo riesgo de mortalidad de la planta hija, que se logra mediante su unión prolongada con la planta madre y la movilización de recursos hacia la misma durante un período suficiente como para asegurar su establecimiento. Bajo la denominación de “reproducción vegetativa” se citan a continuación los mecanismos regenerativos como estrategias de propagación presentes en numerosas malezas perennes:

- **Rizomas:** tallos subterráneos que producen raíces y brotes adventicios (*Sorghum*

halepense, *Elytrigia repens*, *Cyperus rotundus*);

- **Estolones:** tallos que crecen sobre la superficie del suelo y diferencian raíces y brotes vegetativos (*Cynodon dactylon*, *Digitaria sanguinalis*);
- **Raíces gemíferas,** con el potencial de generar un extensivo crecimiento plagio-trópico sobre el cual a intervalos regulares se diferencian nuevas raíces y brotes (*Convolvulus arvensis*, *Solanum elaeagnifolium*, *Cirsium arvense*).
- **Bulbos, yemas modificadas cubiertas de hojas carnosas** (*Allium vineale*, *Cyperus rotundus*);
- **Tubérculos, porciones de rizomas terminales engrosados ricos un sustancia de reserva y provistos de yemas axilares** (*Cyperus rotundus*, *Helianthus tuberosus*, *Potamogeton pectinatus*);
- **Tallos y fragmentación,** algunas especies producen raíces adventicias y nuevos brotes a partir de segmentos vegetativos de hojas y tallos (*Taraxacum officinale*, *Portulaca oleracea*).
- **Turiones.** Yema o brote aéreo especializado que sirve de renuevo y se desprende ante condiciones de estrés o cierre del ciclo vegetativo. Se arraiga sobre la superficie del suelo dando lugar a una nueva planta (*Potamogeton pectinatus*).

Una de las características importantes de las formas de propagación vegetativa, es su capacidad de colonizar y expandirse rápidamente con un elevado potencial de supervivencia, favorecida por la existencia de un banco de yemas en el perfil del suelo. Este puede ser evaluado por el número de las mismas por planta o bien por unidad de volumen de suelo o superficie. Los ejemplos que siguen para varias malezas comunes en los sistemas agropecuarios de la Argentina, son claramente indicativos del significado ecológico de supervivencia y expansión para numerosas especies. Un trabajo de Leguizamón (2003 ilustra el potencial invasor del Sor-

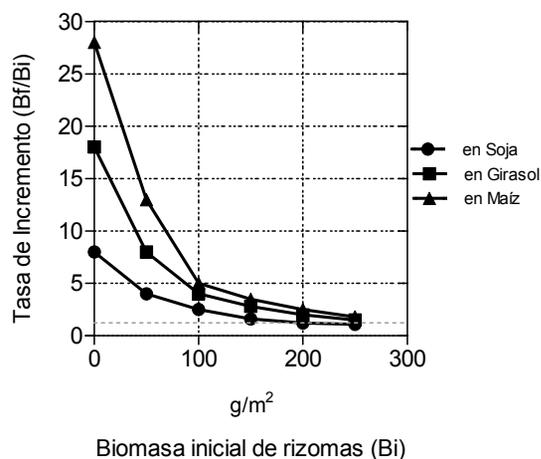


Figura 15. Tasas de incremento anual de poblaciones de rizomas de *Sorghum halepense* en tres cultivos diferentes: nótese el extraordinario incremento que se produce cuando las densidades iniciales son muy bajas. La tasa recién se aproxima a 1 con densidades superiores a 250 g.m². (Adaptado de Leguizamón, 2003).

go de Alepo), una de las malezas más importantes introducidas en el país, la que merced a su alta capacidad de generación de rizomas en ecosistemas cultivados puede llegar a producir hasta 500⁶ g.m². En la Fig. 15 se exhiben las tasas de producción de rizomas de la maleza en función de la biomasa inicial bajo distintos cultivos los modelos expuestos permiten apreciar el efecto competitivo de diferentes cultivos y la fuerte regulación que causa el aumento de la densidad de la población sobre la tasa de producción de propágulos vegetativos.

Una plántula de *Convolvulus arvensis* puede dar lugar a lo largo de su primer ciclo de crecimiento a la diferenciación de 236 m de raíces verticales y, a partir de las mismas, derivarse 41 m de raíces horizontales. Así un total de 141 nuevas plantas pueden surgir de la superficie, mientras que las raíces pueden alcanzar los 6 m de profundidad (Zimdahl, 2007). Una cuestión similar para una especie muy conocida por su potencial invasor está representada por *Cyperus rotundus*, con su capacidad de reproducirse vegetativamente mediante rizomas, tubérculos y bulbos basales. En un experimento sencillo realizado

⁶ En promedio, existen unas 3 yemas viables por gramo de biomasa seca de rizomas.

por Lombardo (1972) se determinaron 273 nuevos bulbos y tubérculos a partir de un único propágulo, durante el periodo septiembre-marzo. En *Agropyron repens*, una maleza herbácea perenne común en nuestros sistemas productivos, su persistencia está fuertemente asociada a la reproducción vegetativa a partir de yemas regularmente espaciadas sobre rizomas (hasta 1200 de las mismas por planta) (Westra y Wise, 1980). Un caso de múltiples estrategias de multiplicación es el de *Potamogeton pectinatus*, una de las malezas más importantes de los sistemas de regadío del país y de otras partes del mundo. Esta especie tiene la particularidad de reproducirse vegetativamente en forma simultánea por rizomas, por tubérculos y mediante turiones. En los canales de regadío del Valle inferior del Río Colorado (62°37' W; 39° 23' S), Argentina, el banco vegetativo de propágulos del suelo del fondo del canal puede contener una media de 260 tubérculos y 163 yemas en nudos de rizomas por m² (Acosta, y otros, 1999). A esto se adiciona su capacidad de regenerarse por turiones caracterizados por el desprendimiento de yemas aéreas ricas en nutrientes, que se liberan con la muerte del follaje o en situaciones de estrés. No menos importante es la producción de nuevos genotipos via semillas. En los casos mencionados (ampliados en la Caja Conceptual N° 6) en el listado de varias de malezas en relación con las diversas estrategias de reproducción vegetativa, el sistema de propagación queda integrado por una compleja red de conexiones imposible de detectar por la simple observación de las plantas sobre la superficie, constituyendo en conjunto a menudo una única planta.

Una particularidad de este sistema integrado es que puede ser totalmente disturbado como resultado de una acción de remoción del suelo como medida de control o erradicación. Sin embargo, la mayoría de las veces los resultados tienen un efecto contrario al deseado, dado que los trozos de raíces y rizomas, tienen una extraordinaria capacidad de supervivencia y regeneración, y frecuentemente sus yemas que permanecían dormidas o inhibidas, como en el caso de *A.*

repens, son estimuladas para su brotación y desarrollo al resultar separadas de la planta madre. Los fragmentos de raíces de *S elae-ganifolium* (los derivados de la raíz axonomorfa principal, o los derivados de las raíces horizontales) que vinculan una planta con otra, poseen una alta capacidad de diferenciar nuevas yemas (Caja Conceptual N° 4). Así que acontece que la densidad de plantas puede ser mayor en un suelo removido que cuando permanece intacto (Fernández y Brevedan 1972, 1975). De esta forma la reproducción vegetativa puede representar una ventaja cuando las condiciones ambientales son estables y la presencia de disturbios es poco frecuente. En este sentido las malezas herbáceas perennes están en desventaja en general por la remoción o cultivado frecuente del suelo.

Historias de vida y estrategias adaptativas

Se ha planteado en los primeros párrafos de este Capítulo, que en los organismos modulares y sésiles como es el caso de los vegetales superiores (Harper, 1977) ni la forma, el tamaño o el desarrollo, son correlativos ni predecibles. Así, los individuos están compuestos por un muy alto número de módulos, los cuales producen nuevos módulos similares y que este "programa de desarrollo" es muy dependiente del ambiente⁷. Podríamos definir a "nicho" como una síntesis multidimensional de necesidades, recursos, requerimientos de hábitats y tolerancias ambientales de una especie. A ello debemos incorporar las acciones que los individuos realizan para conformar este espacio multidimensional. En cualquier caso, la selección natural operaría orientando "patrones de asignación de recursos" conducentes a una

⁷ Los efectos señalados se modelan en dos leyes complementarias "Ley del Rendimiento Constante Final" y "Ley del Rendimiento Recíproco" y en ambos casos, la densidad final de individuos no varía, es decir no ocurre mortalidad. Si el estrés aumenta (por disminución de los recursos o por aumento excesivo de la densidad) también del número de individuos o *genets* se reduce, es decir, ocurre mortalidad (la densidad final es claramente inferior a la inicial). Este proceso combinado (disminución del peso de los individuos y mortalidad) se expresa matemáticamente en la "Ley del Autorraleo". Véase el Capítulo relacionado con la Competencia Intraespecífica para ampliar este tema.

Caja Conceptual N° 4

Capacidad regenerativa de *Solanum elaeagnifolium* a partir de sus raíces gemíferas. Vigna y otros, (1981); Vigna, (1982).

Esta especie es de crecimiento primavero-estival y las plantas ya establecidas se comportan como hemicriptófitas, donde el crecimiento de la parte aérea se interrumpe con la llegada de las primeras heladas y se reinicia en la estación siguiente a partir de yemas ubicadas en la base de los tallos a nivel del suelo. Plantas individuales de esta especie provenientes de la germinación crecieron a partir de septiembre en cajas de madera de aproximadamente un metro cúbico llenas con suelo, determinándose la estructura y biomasa a intervalos regulares. A los 30 días, una plántula de 5 cm de altura y tres a cuatro hojas presentaba una raíz principal que podía alcanzar los 60 cm de profundidad y más de 30 ramificaciones secundarias. Los resultados de la última cosecha en el mes de mayo del año siguiente, al fin del ciclo de crecimiento, mostró que la planta había colonizado enteramente el volumen de la caja, mediante la diferenciación de un profuso sistema de heterorrizo representado por dos tipos definidos de raíces, uno de crecimiento vertical (axonomorfo) y otro horizontal paralelo a la superficie del suelo (diageotrópico). Fue notable que una vez que la raíz horizontal comienza su crecimiento diageotrópico a partir de la raíz axonomorfa primaria principal, aparecen sobre la misma a intervalos regulares yemas vegetativas que originan una nueva planta compuesta por un vástago aéreo y su correspondiente raíz vertical, y a su vez sobre estas últimas se repite el esquema con la aparición de una nuevas yemas con su correspondiente raíz horizontal y brotes vegetativos aéreos. El resultado final del crecimiento de una planta proveniente de una semilla a lo largo de su primer ciclo anual de desarrollo, se tradujo en la producción de 43 metros de raíces verticales y horizontales y la emergencia sobre la superficie del suelo de 32 nuevas plantas o brotes. Lo expuesto demuestra que una única semilla que germine puede significar un problema significativo en muy corto plazo.

disminución de la probabilidad de extinción. La diferenciación de nicho y el patrón de asignación de recursos conforman, junto a otros atributos, el concepto de "Estrategia Adaptativa" (Mc Arthur; 1962; Grime, 1979): según este enfoque, los individuos que conforman poblaciones de una especie, se han adaptado y han debido jerarquizar las "historias de vida" más aptas para sobrevivir en un particular ambiente. Si bien la existencia de patrones comunes en las historias de vida podría sugerir la existencia de "historias de vida generalistas", en realidad, no existe una historia de vida óptima que maximice la supervivencia en todas las situaciones, ya que si la hubiera, existiría una única especie vegetal. En la naturaleza y particularmente en los agroecosistemas, las condiciones ambientales varían drásticamente a lo largo del tiempo y del espacio y diferentes atributos (o rasgos de la historia de vida) se-

rán favorecidos en diferentes situaciones; las estrategias de crecimiento y reproducción que se visualizan en determinada especie, podrían interpretarse como el resultado de una solución de compromiso orientada a la adecuación o ajuste a las condiciones ambientales. En términos de la Tabla de Vida (Caja Conceptual N° 5), sería la mejor combinación que conduzca a optimizar la supervivencia (l_x) y la fecundidad (m_x). No obstante lo expuesto, eventualmente se pueden hacer ciertas predicciones acerca de las historias de vida más aptas o adecuadas para permitir la existencia de diferentes poblaciones bajo diferentes condiciones ambientales: este es uno de los principios sobre el que descansan los lineamientos relacionados con el desarrollo de protocolos para clasificar y alertar sobre la peligrosidad de una especie y/o inicializar modelos de invasión (Véase Capítulo de Invasoras).

Selección r-K

Los atributos más significativos y versátiles de las estrategias de vida de las poblaciones de malezas están asociados a un grupo de características reproductivas co-adaptadas que atañen a la reproducción y la supervivencia. Comprenden variaciones propias derivadas de selección natural fijadas en el genotipo de cada especie, en asociación con los patrones de partición de energía entre las distintas funciones y el contexto ambiental en las que se comporta como competitivamente exitosa. El criterio más aceptado relacionado con estrategias de adaptación de las malezas está vinculado a la nominada selección r y K (Mac Arthur, 1962; Mac Arthur y Wilson 1967) y que hace referencia a la particular locación de recursos para su sobrevivencia y desarrollo en comunidad. En una especie r-estratega, una proporción de energía muy alta está orientada fundamentalmente hacia la fecundidad y/o numerosas unidades reproductivas: la denominación “r” precisamente hace referencia a la tasa intrínseca de crecimiento poblacional, que suele ser muy alta. Otros atributos, facilitan germinar en el “sitio”, establecerse y reproducirse rápidamente y en el caso que ocurran ulteriores disturbios, habrá semillas remanentes en el perfil del suelo como para asegurar la continuidad de la especie. Su población está preferentemente representada por especies de ciclo de vida anuales, que ocupan hábitats en estadios tempranos de sucesión. Bajo estas consideraciones las malezas asociadas a los disturbios propios de los agroecosistemas están claramente representadas por especies coligadas a un esquema evolutivo r-seleccionado. En situaciones en donde la perturbación es infrecuente, los atributos más favorecidos de selección se relacionan con una reducida fracción de recursos energéticos destinados a unidades de reproducción sexual en estadios muy maduros, es decir son especies que se caracterizan por un crecimiento lento y por la longevidad y tamaño de las estructuras vegetativas; invierten gran cantidad de recursos en unos pocos descendientes, cada uno de los cuales tiene una alta probabilidad de supervivencia, características que les facilitan

comportarse como altamente competitivas y dominantes en sistemas ecológicos estables. Las especies que exhiben este tipo de atributos se denominan K-estrategas, porque sus poblaciones están, al menos teóricamente, en densidades cercanas a la capacidad de carga (K). Su subsistencia queda en cambio altamente comprometida en la gran variedad de disturbios asociadas con los cultivos. La Tabla III resume las características más conspicuas de las especies r y K estrategas.

Las estrategias adaptativas arriba expuestas subrayan el hecho que r y K son en realidad los extremos de un continuo de adaptaciones. Si bien en cierto modo son un útil razonamiento de un hecho de adaptación evolutiva, en el contexto real muchas especies de malezas estas representadas por un compromiso entre selección r y K (Grime, 2002). Las malezas de la agricultura suelen clasificarse comúnmente como r-seleccionadas, ya que están adaptadas a frecuentes perturbaciones (labranzas, herbicidas y otras prácticas agronómicas). Sin embargo, sería erróneo decir que todas las malezas son r-seleccionadas, ya que al haber un grado de regularidad de la perturbación, algunas especies K seleccionadas también persisten. Tales especies pueden ser malezas potenciales con reproducción policárpica, con pocas semillas y abundantes reservas nutritivas. Por ejemplo, con el incremento de la agricultura de no labranza, las especies K seleccionadas pueden aumentar en los agroecosistemas (Booth y otros, 2003). Siguiendo este concepto amplio, una maleza puede “caer” en cualquier sitio del espectro r-K: por ejemplo *Sorghum halepense* y *Xanthium strumarium* son dos de las malezas más problemáticas en los cultivos de soja del sur de EE.UU, sin embargo la primera es K-seleccionada y la segunda es r-seleccionada (Holm y otros, 1977). Esta última, a pesar de ser r seleccionada es muy efectiva competidora por agua y también exhibe germinación temprana y tardía, ambas características más propias de especies K-seleccionadas (Pianka 1970, Scott and Geedes, 1979). Otro ejemplo que refirma lo expuesto puede ampliarse con el siguiente ejemplo (Barret & Wilson, 1983): en California (EE.UU) *Echino-*

Tabla 3: atributos de las especies de acuerdo a su estrategia adaptativa según el modelo r-K

	Especies r-seleccionadas	Especies K-seleccionadas
Clima	Impredecible/no certero/variable	Predecible /consistente/ menos variable
Mortalidad	Ocasional, catastrófica	Baja y relativamente constante
Supervivencia	Deevey tipo III	Deevey tipo I ó II
Tamaño de la población	Variable, a menudo por debajo de K	Constante, a menudo cerca de K
Ciclo de vida	Corto, a menudo inferior 1 año	Largo, a menudo mayor a 1 año
Tamaño corporal	Pequeño	Grande
Competencia	A menudo baja	A menudo intensa
Tasa de desarrollo	Rápida	Lenta
Reproducción	Temprana, monocárpicas	Tardía, policárpicas
Fecundidad orientada a	Productividad	Eficiencia

Tabla 4. Estrategias posibles teniendo en cuenta el estrés y el disturbio

Disturbio	Estrés	
	Alto	Bajo
Alto	-	Ruderales (R)
Bajo	Tolerantes al estrés (S)	Competidoras (C)

chloa crus-galli produce numerosas semillas dormidas, un atributo que le permite sobrevivir en hábitats impredecibles y heterogéneos, de manera que es cosmopolita. *Echinochloa crusgalli* var. *oryzicola* por el contrario, no exhibe dormición y tiene semillas más grandes, las que germinan junto con las semillas del cultivo de arroz (*Oryza sativa*), produciendo plántulas grandes y vigorosas. Es la más común y competitiva de las especies en esos agroecosistemas y no es cosmopolita. Es de este modo, cercana a una K seleccionada, al estar adaptada a hábitats más homogéneos y predecibles como son los arrozales.

Selección C-S-R

Grime (1979) desarrolló una teoría que combina las estrategias de selección basada en las características de la fase establecida del ciclo de vida, con su capacidad para sobrellevar la presencia de competidores, la perturbación y el estrés (Tabla IV), caracterizados

por una serie de atributos (Tabla V). El autor propone que existen dos factores externos, estrés y disturbio, que afectan la producción de material vegetal en un ambiente dado. Estrés se refiere a factores externos tales como deficiencia hídrica o lumínica, nutrientes o temperaturas sub-óptimas, que restringen la actividad fotosintética; mientras que disturbio hace referencia a cualquier proceso relativamente limitado en el tiempo que reduce parcial o totalmente la biomasa de las plantas, como por ejemplo herbivoría, corte mecánico, patógenos, remoción del suelo o fuego.

En el espectro de posibles hábitats, las condiciones de estrés y disturbio presentan una gran variación, sin embargo cuando se examinan las posibles, es evidente que únicamente tres de ellas pueden ser viables como probables estrategias evolutivas; los ambientes permanentemente disturbados y bajo condiciones de continuo estrés no son aptos para la vida y previenen el re-establecimiento de la vegetación.

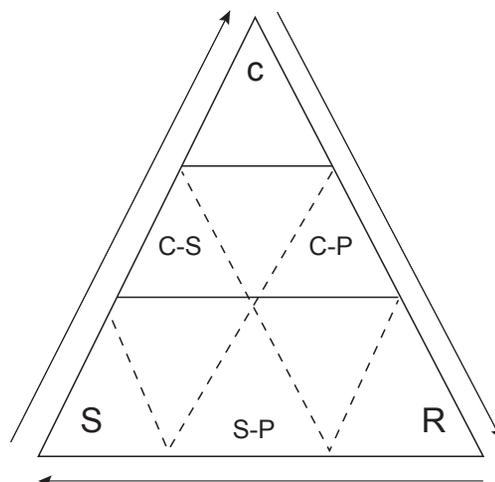


Figura 16. Estrategias C-S-R (Grime, 1979). El sentido de las flechas en cada lado del triángulo, señalan la importancia relativa de cada una de las estrategias posibles.

En su modelo conceptual triangular (Fig. 16), las esquinas representan a las ruderales ó R (tolerantes a los disturbios), las competitivas ó C (tendencia de las plantas vecinas a utilizar los mismos recursos) y las tolerantes al estrés ó S (tolerantes a factores externos que limitan la producción de materia seca en toda o parte de la vegetación). Las C-estrategias maximizan la captura de recursos en hábitats no perturbados pero muy productivos, mediante el incremento de la producción vegetativa y la reducción de la asignación de biomasa a la reproducción. Las R-estrategias maximizan el crecimiento y la reproducción y están adaptadas a hábitats perturbados pero potencialmente productivos. Estas dos estrategias son en algún modo análogas a las denominadas "r-K". Las S-estrategias por otra parte, están adaptadas al estrés, es decir a ambientes muy hostiles en donde la perturbación es rara y la competencia poco importante: al reducir el crecimiento vegetativo y la

reproducción, maximizan su supervivencia y al igual que antes. Existe todo un rango de especies intermedias y que se ubican en distintas regiones del triángulo. Las malezas suelen quedar clasificadas como ruderales (R), o ruderales-competitivas (R-C) y son frecuentes en hábitats productivos, aunque estas últimas deberían encontrarse en hábitats menos frecuentemente perturbados que los de las R estrategias, que tienen un ciclo de vida más breve y les permite re-colonizar luego de cada perturbación.

Mientras que las estrategias propuestas por Grime han sido discutidas ampliamente en relación con las malezas, algunos investigadores han puntualizado sus diferencias (Tilman, 1987) ya que el modelo de Grime descansa en una definición de la competencia con límites (Grace, 1991). Los atributos principales de las plantas seleccionadas según las estrategias C-S-R se resumen en la Tabla V.

Tabla 5. Atributos principales de especies seleccionadas bajo estrategias C-S-R.

Atributo	Competitivas -C	Tolerantes a Estrés- S	Ruderales -R
Formas de vida	Hierbas, árboles y arbustos.	Líquenes, hierbas, árboles y arbustos.	Hierbas
Morfología	Hojas formando una canopia alta y densa. Extenso sistema de raíces (gemíferas).	Variable.	Estatura baja, poca dispersión lateral.
Formas de la hoja	Robustas.	A menudo pequeñas y angostas.	Variable.
Longevidad de la fase establecida	Variable.	Larga.	Corta.
Longevidad de hojas y raíces.	Relativamente corta.	Larga.	Corta.
Frecuencia de floración	A menudo anual.	Variable.	Tempranamente en la historia de vida.
Partición de biomasa a semillas producidas anualmente	Baja.	Baja.	Elevada.
Estructuras de persistencia bajo condiciones no favorables	Meristemas en dormición en semillas y yemas	Hojas y raíces tolerantes al estrés	Meristemas en semillas con dormición.
Estrategias regenerativas	Crecimiento vegetativo, semillas pequeñas, bancos persistentes.	Crecimiento vegetativo, plántulas persistentes.	Semillas pequeñas, bancos persistentes.
Velocidad para alcanzar máxima de tasa de crecimiento relativa	Rápida.	Lenta.	Rápida.
Respuesta al estrés	Maximización de crecimiento vegetativo.	Respuesta lenta o limitada.	Rápida modificación del crecimiento vegetativo al reproductivo.
Almacenamiento de minerales mediante fotosíntesis	En estructuras vegetativas.	En hojas, tallos o raíces.	En semillas.
Producción de biomasa	Copiosa.	Pobre, esparcida.	Pobre, esparcida.
Palatabilidad de herbívoros no previstos	Variable.	Baja.	Variable a veces elevada.

Caja Conceptual N° 5

Descripción y estudio de poblaciones vegetales: Tablas de vida diagramáticas, horizontales y verticales. Tabla de Cohortes. Cálculos a partir de los datos: Supervivencia, mortalidad, Valor reproductivo. Smith, T. & Smith, R. (2007) y Molles, M. C. (2006).

Tablas de vida: para tener una visión clara de la mortalidad y supervivencia se puede construir una Tabla de vida. Los datos básicos para su elaboración se obtienen a partir de un número de individuos establecido (N) y el registro de las muertes que se producen en el pasaje de un estado a otro. Hay dos tipos de Tablas de Vida: a) Horizontal- específica por edades o dinámica, que se basa en los sucesos que le ocurren a una cohorte (grupo de individuos que tienen la misma edad cronológica). En ellas se realiza un registro directo de los datos pudiéndose seguir el destino de los individuos durante la mayor parte de su vida; y b) Vertical- de vida temporal o específica en el tiempo: basada en una cohorte imaginaria, a partir de un muestreo de la población que proporcione la estructura de edades en un momento dado. Se asume que las tasas de natalidad y mortalidad son constantes. La Tabla de vida presenta una síntesis de la supervivencia (l_x), la mortalidad ($1-l_x$) y la expectativa de vida de una población. A partir de los datos de fecundidad y el aporte futuro de progenie, basado en la supervivencia, se calcula el valor reproductivo para cada edad o estado

Curvas de Supervivencia: las tablas de vida proporcionan datos de supervivencia, en función del tiempo o edad, que permiten obtener curvas de supervivencia o curvas l_x . Luego de la propuesta de Deevey (1947) se reconocen tres tipos: la curva tipo I corresponde a poblaciones con tasa alta de supervivencia en edades juveniles y muerte masiva hacia las edades finales (mortalidad concentrada en los individuos viejos). En la curva tipo II hay un número constante de individuos que muere por unidad de tiempo. En la curva tipo III, la mortalidad afecta fundamentalmente a los individuos jóvenes y cuando se han superado las etapas juveniles, la mortalidad se reduce, produciéndose una supervivencia casi constante.

Tasas de cambio en la población: La tabla de vida combinada con la tabla de fecundidad permite estimar la Tasa Neta de Reemplazo, el Tiempo Generacional, la Tasa Intrínseca de Crecimiento y la Tasa Geométrica de Incremento. Estos parámetros nos brindan información sobre el estado de la población y su dinámica, es decir, nos indican si la población está creciendo, decreciendo o si está estabilizada. Además, aportan datos interesantes y necesarios para realizar distintos tipos de manejo y/o control de las poblaciones, ya sean éstas plagas/malezas o bien especies de utilidad o en peligro. Su cálculo se realiza a partir de la supervivencia y fecundidad por estados o clases de edad, o sea, que se obtienen a partir de las Tablas de vida.

Estimación para organismos con reproducción por pulsos o anuales: La Tasa Neta de Reproducción (R_0) o tasa de reemplazo, refleja el número promedio de progenie que es capaz de producir cada individuo de la población durante toda su vida y que, por lo tanto, va a dejar en la siguiente generación. En organismos de ciclo anual o con una reproducción por pulsos, es el factor multiplicador del tamaño de la población. Si R_0 es mayor a 1 la población estará en estado de crecimiento, si es menor a 1 estará decreciendo y si es igual a 1 estará estable. El Tiempo Generacional (T), es la duración media del tiempo que transcurre entre el nacimiento de un individuo y el nacimiento de uno de sus descendientes; en el caso de generaciones cuya reproducción es sincrónica, sin superposiciones de edades, representa el tiempo promedio entre dos generaciones sucesivas. En insectos, por ejemplo, sería desde huevo a huevo; en plantas, desde semilla a semilla. La tasa geométrica

de incremento (λ), también llamada tasa finita de incremento, es la proporción entre el tamaño de la población en dos momentos del tiempo. En plantas anuales ($T=1$ año) con reproducción por pulsos, R_0 es igual a λ .

Estimación para organismos con generaciones superpuestas: al igual que en el caso anterior, si R_0 es mayor a 1 la población estará en estado de crecimiento, si es menor a 1 estará decreciendo y si es igual a 1 estará estable. El Tiempo Generacional (T), para organismos con generaciones superpuestas, es aquella edad a la cual si todo el esfuerzo reproductor estuviera concentrado en ella, la tasa de reemplazo sería la misma que con el esfuerzo reproductor repartido entre varias edades. **La Tasa Intrínseca de Crecimiento (r)** es una medida de cambio instantáneo del tamaño de la población y se la define como la capacidad de multiplicación de una población. Si r es igual a 0 la población está estable, si es mayor a 0 está creciendo y si es menor, está disminuyendo. Un parámetro estrechamente relacionado con la **Tasa neta de reproducción (R_0)** y la **Tasa intrínseca de crecimiento (r)** es la **Tasa geométrica de incremento (λ)**. Cuando se quieren comparar poblaciones que se ajustan a distintos modelos de crecimiento poblacional, la tasa geométrica de incremento (λ) se puede transformar, a través de un simple cálculo, en la tasa intrínseca de crecimiento r .

Caja Conceptual N° 6

Cinco siglos no es poco. Tres estudios realizados en Dinamarca, Inglaterra y Argentina.

1-Odum (1965) logró la germinación de semillas de varias especies de Dinamarca, obtenidas y datadas arqueológicamente en muestras de suelos no removidos por un periodo de entre 100 a 600 años. Y en el caso particular de *Chenopodium album* y *Spergula arvensis* el periodo de no remoción alcanzaba a 1700 años.

2-En el marco del Millenium Seed Bank Project (Jardín Botánico de Kew, Inglaterra), se colocaron a germinar semillas de 33 especies originarias de Sudáfrica, coleccionadas en 1802. La información sobre el origen de las semillas y sus resultados fueron brevemente reseñados por Daws (2007). Raelofvam Gelder, investigador de la biblioteca Real de Holanda, descubrió la existencia de las referidas semillas mientras examinaba en los Archivos de Kew, documentación correspondiente al marino holandés Jan Teerlink: se dió el hecho que el barco de Teerlink, el "Henrietta", fue capturado por la marina británica durante su regreso del lejano este por la vía del Cabo de Buena Esperanza, Sudáfrica. Los botánicos de Kew, lograron hacer germinar semillas de tres especies: *Liparia* sp., *Acacia* sp. y *Leucospermum* sp. La edad de estas semillas bicentenarias fue refrendada mediante la datación con C^{14} .

3-A principios de la década de 1970, en la visita que podía hacerse al laboratorio de Fisiología de la Facultad de Agronomía de la UN de La Plata, se podía admirar con fascinación a una planta que provenía de una semilla que "había despertado de un sueño de más de 500 años de antigüedad", encontrada en Tastil, un antiguo asentamiento de gran valía arqueológica e importante ciudad precolombina ubicada a 3200 m de altitud en la zona de contacto occidental de la Puna de Atacama con los Valles Calchaquíes. La silenciosa villa en la que hoy viven apenas varias decenas de personas, fue una vez un próspero poblado que albergaba 3000 habitantes, fue desertada alrededor del año 1430. Sus ruinas fueron descubiertas por el antropólogo sueco E. Borman en 1903, quien

las denominó "Mar de Pircas" por las numerosas construcciones que las integran. Años más tarde, en 1967, un equipo de arqueólogos dirigidos por E.M. Cigliano (1968, 1973), realizó un estudio arqueológico detallado que se publicó en 1973 como "Tastil, una ciudad preincaica argentina", y que en 1997 fue declarada Monumento Histórico Nacional. En dichos estudios se encontraron tumbas con restos humanos que se presumen de un cacique o "chamán". El ajuar mortuario incluía puntas de flechas, arcos, vinchas, adornos de diadema de metal, colgantes de piedra, plumas de colores, restos de cerámica rústica y también un collar armado con frutos de *Junglans australis*, tres de los cuales contenían una semilla de "Achira" (*Canna sp.*) haciendo lo que se asimilaría a un cascabel. La edad de las semillas, evaluada por los restos del sepulcro, llevados para su análisis de C^{14} a la Universidad de Gröningen (Holanda), fue estimada en 530 años (año 1420). Las únicas tres semillas y de edad acreditada, fueron llevadas para su estudio al Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Facultad de Agronomía de la UNde La Plata, bajo la dirección de los investigadores E. Sívori y F. Nakayama. La cuestión era: ¿Estaban vivas? ¿Serían capaces de germinar? ¿Podrían dar lugar a una nueva planta adulta? (Sívori et al. 1968). Se conocía que esta especie se caracteriza por producir semillas con tegumentos extraordinariamente resistentes e impermeables, que probablemente podrían haber preservado la vitalidad del embrión y que existían las reservas nutritivas necesarias para la iniciación de su crecimiento. El material con que se contaba eran esas tres únicas semillas... todo se inició colocando una de las mismas con papel de filtro en un vaso de precipitado, cubierto con polietileno a 27°C, en oscuridad. Pocos días más tarde... Oh milagro! ... dió lugar a la aparición de un rizoma de 1 a 2 mm de longitud y allí quedó. El agregado de soluciones de hormonas del crecimiento vegetal tales como ácido giberélico y ácido indolacético, no significó un estímulo para la continuidad del proceso iniciado; sin embargo, la semilla había pasado su primer mensaje: estaba viva!.. Posiblemente con el transcurso de los siglos, alguno de sus constituyentes bioquímicos interiores asociados al desarrollo había desaparecido o cambiado y vedaban la prosecución del proceso germinativo. De esta suerte, el siguiente ensayo se realizó utilizando un medio rico en nutrientes y reguladores del crecimiento, incluyendo ácido indolacético, 6-furfurilaminopurina, giberelina, tiamina y extracto de fermentación láctica de maíz. Así fue, que pocos días más tarde, la semilla de origen arqueológico germinó a 27°C y oscuridad. Primero apareció un rizoma y de su extremo se diferenciaron raíces y a los diez días apareció una hoja de 3,3 cm de longitud. Fue expuesta gradualmente a la luz, para favorecer la biosíntesis de clorofila y luego transferida a una cámara de crecimiento a 21° C. El día catorce de su nueva vida, la plántula fue retirada de su residencia experimental en un tubo de ensayo a un pote con grava de cuarzo con solución nutritiva en el invernáculo. Allí continuó desarrollando, creciendo como planta normal y lista para iniciar otra historia de varios siglos. Mientras tanto, se la podía ver expuesta como portento biológico, a veces en los laboratorios de la Universidad o en museos regionales de la Dirección de Turismo local.

Resumen

Una población es una colección de individuos que tienen la capacidad de intercambiar material genético. La demografía estudia el tamaño y la estructura de una población a lo largo del tiempo mediante una ecuación de diferencias de los procesos demográficos vitales. Varios modelos (geométrico, exponencial, logístico), permiten describir el crecimiento de poblaciones a lo largo del tiempo y proveen de una conceptualización para utilizar modelos más complejos o introducir efectos aleatorios. La tendencia que sigue la densidad de una población a lo largo del tiempo ("trayectoria"), cuantificada por la tasa de cambio poblacional (λ), es de particular interés en el manejo, ya que permitirá determinar cuán pronto una especie aumentará su tamaño poblacional y se "escapará" del manejo o viceversa, cuán rápido un problema dejará de serlo. La estructura modular y sésil de las poblaciones vegetales determina un "programa de desarrollo" muy dependiente de factores ambientales y antrópicos y una capacidad para exhibir ajustes fenotípicos tanto en caracteres morfológicos como en respuestas fisiológicas al ambiente. La estructura modular otorga gran plasticidad, que se observa en toda su dimensión en la fecundidad (tanto de semillas como de propágulos vegetativos). Las estrategias de crecimiento y reproducción que se visualizan en una especie, pueden interpretarse como el resultado de la maximización de la adecuación o ajuste ambiental y que, en términos de la Tabla de vida, significan una optimización de la supervivencia (l_x) y de la fecundidad (m_x). La selección natural opera "eligiendo" patrones de asignación de recursos conducentes a disminuir la probabilidad de extinción. La diferenciación de nicho y el "patrón" de asignación de recursos conforman junto a otros atributos, la "Estrategia adaptativa" de la especie.

Bibliografía

- Acosta, L. W., M. R. Sabbatini, O. A. Fernández y M. A. Burgos. 1999. Propagule bank and plant emergence of macrophytes in artificial channels of a temperate irrigation area of Argentina. *Hydrobiologia* 415: 1-5.
- Ares, J., Mones Cazón, L., Soriano, A. 1970b. Mecanismos de invasión del pasto puna (*Stipa brachychaeta* Godr.). II. Germinación de la maleza en el microambiente edáfico. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA, Serie 2, 7(6):289-309.*
- Ares, J., Soriano, A. 1970. Mecanismos de invasión del pasto puna (*Stipa brachychaeta* Godr.). III. El ajuste ecológico de la especie con el macroclima de la región central de la provincia de Santa Fe. Modelo preliminar del mecanismo de invasión. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA, Serie 2, 7(6):311-320.*
- Ares, J., Soriano, A., Eilberg, B.A.de. 1970a. Mecanismos de invasión del pasto puna (*Stipa brachychaeta* Godr.) I. Características de los diseminulos de la maleza. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA, Serie 2, 7(6):277-287.*
- Baker H.G. 1974. The evolution of weeds. *Annual Reviews of Ecology and Systematics* 51: 1-24.
- Baker, H.G. 1965. Characteristics and modes of origin of weeds. In: The genetics of colonizing species, ed. H.G. Baker and G.L. Stebbins, 147-172. New York, Academic Press Inc.
- Barrett, S.C.H & Wilson, B.F. 1983. Colonizing ability in the *Echinochloa crus-galli* complex (*Barnyardgrass*). II. Seed biology. *Canadian Journal of Botany* 61:556-562.
- Barton, L. V. 1961. Seed preservation and longevity. (Ed. N. Polunin) Leonard Hill. Londres. King 130 - 154
- Baskin C. C. and J. M. Baskin. 2001. Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of dormancy and Germination. Academic Press. 645 pp.
- Beal, W. J. 1905. The vitality of seeds. *Botanical Gazette*. 40: 140-143.
- Beeby, A. 1994. Applying Ecology. Chapman & Hall. London and New York.
- Begon, M.; J.L. Harper y C.R. Townsed. 1999. Ecología: individuos, población y comunidades. Ed. Omega, Barcelona. Tercera edición.
- Boggs, K.W. & Story, J.M. 1987. The population age structure of spotted knapweed (*Centaurea maculosa*) in Montana. *Weed Science* 35: 194-198.
- Booth, B.D.; S.D. Murphy and C.J. Swanton. 2003. Weed Ecology in Natural and Agricultural Systems. CABI Publishing. Wallingford. Oxon. UK. 303 pp.
- Brown, K. 2001. Patience yield secrets of seed longevity. *Science* 291:1884-1885.
- Cigliano, E. M. 1968. Sobre algunos vegetales hallados en el yacimiento arqueológico de Santa Rosa de Tastil (Departamento de Rosario de Lerma, Salta). *Revista del Museo de La Plata. Sección Antropología* 7: 15 - 23.
- Cigliano, E. M. 1973. Una ciudad preincaica argentina. Ediciones Cabargon. Buenos Aires. 694 pág.
- Cousens, R. and M. Mortimer. 1995. Dynamics of Weed Populations. Cambridge University Press, Great Britain. 332 pp.
- Crocker, W. 1938. Life span of seeds. *Botanical Review* 4: 235-74-King 130-155.
- Daita, F. 2012. Efecto del herbicida sulfentrazone sobre una población natural de *Ipomoea purpurea* (L.) Roth. en un cultivo de soja (*Glycine max.* L. Merr.). Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Darlington, H. T. 1931. Dr. W.J. Beal's seed-viability experiment. *American Journal of Botany* 18: 262-265
- Darlington, H.T. y Steinbauer, G. P. 1961. The eighty-year period for Dr. Beal's seed viability experiment. *American Journal of Botany*. 48: 321-5
- Darlington, H.T. 1941. Dr. W.J. Beal's seed viability experiment. *American Journal of Botany* 28: 271-273
- Darlington, H. T. 1951. The seventy-year period of Dr. Beal's seed viability experiment. *American Journal of Botany* 38:379-81.
- Dauer, J.T; Mortensen, D.A and M.J. VanGessel. 2007. Temporal and spatial dynamics of long distance *Conyza canadensis* seed dispersal. *Journal of Applied Ecology* 44(1):105-114.
- Daws, M. 2007. Seed survives for 200 years. *Kew Scientist*: 31.
- Deevey, E.S. 1947. Life tables for natural populations of animals. *The Quarterly Review of Biology* 22:283-314.
- Esau, K. 1977. Anatomy of seed plants. Wiley, New York.
- Etienne, R.S & Heesterbeek, J.A. 2000. On optimal size and number of reserves for metapopulation persistence. *Journal of Theoretical Biology*. 203, 33-50.
- Faccini D.E y Nisensohn. L.A. 1994. Dinámica de la población de yuyo colorado (*Amaranthus quitensis* H.B.K.). Influencia de los tratamientos químicos y mecánicos en un cultivo de soja. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 29(7):1041-1050.

- Fernández, O. A. y R. E. Brevedan. 1972. Regeneración de *Solanum elaeagnifolium* Cav. A partir de fragmentos de sus raíces. *Darwiniana* 17: 433-442.
- Fernández, O.A. y Brevedan, R.E. 1975. Capacidad de regeneración vegetativa de *Solanum elaeagnifolium* Cav. IDIA (INTA) 311:17-18.
- Goss, W. L. 1924. The vitality of buried seeds. *Journal of Agricultural Research* 29: 349-62.
- Grace, J. 1991. A clarification of the debate between Grime and Tilman. *Functional Ecology* 5:503-587.
- Grime, J.P. 1979. Plant strategies and vegetation processes. Wiley, Chichester, UK. 222 pp.
- Grime, J.P. 2002. Plant Strategies, Vegetation Processes and Ecosystem Properties.
- Hanski, I.A & Gilpin, M.E. 1997. Metapopulation Biology: Ecology, Genetics and Evolution. San Diego. Academic Press.
- Harper, J & White, J. 1974. The demography of plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5: 419-463.
- Harper, J. L. 1977. Population Biology of Plants. Academic Press. 892 pág.
- Hernández, P. 1991. Biología de *Tessaria absinthioides* (Hook. et Arn.) De Candolle. Tesis Magister, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 125 pp.
- Holm L.G., D.L. Plucknett, J.V. Pancho y J.P. Herberger 1977. The World's Worst Weeds, distribution and biology. 609 pp The University Press of Hawaii, Honolulu.
- Horowitz, M. 1972. Early development of Johnsongrass. *Weed Science* 20(3):271-273.
- Hutchings, M.J. 1986. Plant population biology. In: Moore, P.D. and S.B. Chapman (eds), Methods in plant ecology. Blackwell Scientific Publications.
- Kivilaan, A y R. S. Bandurski, 1981. The one hundred year-period for Dr. Beal's seed viability experiment. *American Journal of Botany* 68: 1290-1291.
- Leguizamón, 2003. Biología Poblacional de sorgo de Alepo: Complementariedad de estrategias y efectos del sistema en la dinámica de la maleza. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. 136 pág.
- Leguizamón, E.S; Acciaresi, H y D.M. Verdelli. 2012. Variations in weed populations densities, rate of change and community diversity in RR-soybeans and RR-maize strip-crops under two herbicide strategies. *Planta Daninha* 30 (4) 871-882.
- Leguizamón, E.S; Cruz, P.A, Guiamet, J.J; Casano, L. 1981. Determinación de la población de semillas de malezas en suelos agrícolas del distrito Pujato (Santa Fe). *Ecología* 6: 23-26.
- Leguizamón, E.S; Cruz, P.A. 1981. Población de semillas en el perfil arable de suelos sometidos a distinto manejo. *Revista de Ciencias Agropecuarias*. Universidad Nacional de Córdoba II:83-92.
- Leguizamón, E.S; Roberts, H.A. 1982. Seed production by an arable weed community. *Weed Research*. 22:35-39.
- Lombardo, A. P. 1972. Crecimiento y multiplicación de *Cyperus rotundus* y *Cynodon dactylon*. Informe Técnico INTA Oliveros. 12 pág.
- Luken, J.O. 1990. Directing ecological succession. Chapman & Hall. New York. EE.UU.
- Mac Arthur, 1962. Generalized theorems of natural selection. *Proc. Natural Academy of Sciences*. 48: 1893-1897.
- MacArthur y Wilson 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton, N. J. 203 pp.
- Malthus, T. 1798. An Essay on the Principle of Population. J. Johnson. 126 p. www.esp.org.
- Marzocca, 1984. Manual de Malezas. Hemisferio Sur. 3ª Edición, 580 pág.
- Molles, M. C. 2006. Ecología. Conceptos y Aplicaciones. Tercera Edición. McGraw-Hill.
- Mortimer, A.M. 1996. Capítulo 2: La clasificación y ecología de las malezas. En: Manejo de Malezas para países en Desarrollo. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal N° 120. www.fao.org/docrep/T1147S/T1147S00.htm
- Odum, S. 1965. Germination of ancient seeds: floristical observations and experiments with archeological dated soil samples. *Dan. Botany Ark*. 24:2
- Ogden, J. 1970. Plant population structure and productivity. *Proc. of the New Zealand Ecological Society*. 17:1-9.
- Pianka, E.R. 1970. On *r* and *K* selection. *American Naturalist*. 104:592-597.
- Roberts, H. A. 1981. Seed banks in soils. *Advances in Applied Biology* 6: 1-55.
- Scopel, A.L; Ballaré, C.L; Ghera, C.M. 1988. Role of seed reproduction in the population ecology of *Sorghum halepense* in maize crops. *Journal of Applied Ecology*. 25: 951-962.

- Scott, H.D and Geddes, R.D.1979. Plant water stress of soybean (*Glycine max*) and common cocklebur (*Xanthium pensylvanicum*): a comparison under field condition. *Weed Science* 27: 285-289.
- Sivori, E., F. Nakayama y E. Cigliano. 1968. Germination of achira seed (*Canna* sp.) approximately 550 years old. *Nature* 219: 1269-1270.
- Smith, T. & Smith, R. 2007. *Ecología*. 6ª Edición. Pearson, Addison Wesley.
- Stevens, O. A. 1932. The number and weight of seeds produced by weeds. *American Journal of Botany* 19: 784-794.
- Stevens, O.A. 1957. Weight of seeds, and numbers per plant. *Weeds* 5: 46-55
- Suárez, C. 2009. Componentes del sistema reproductivo de *Heterotheca subaxillaris* (Lam.) Britt & Rusby, falso alcanfor. En: Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, La Pampa. CD-Versión PDF. pp. 66.
- Tilman, D.1987. The importance of the mechanisms of interspecific competition. *The American Naturalist* 129(5):769-774.
- Toole, E.H. y E. Brown. 1946. Final results of the Duvel buried seed experiment. *Journal of Agricultural Research* 72: 201-209.
- Toole, V. K. 1986. Ancient seeds, seeds longevity. *Journal of Seed Technology* 10: 1-23.
- Tuesca, D; Nisensohn, L. 2001. Especies de malezas asociadas al nuevo modelo productivo de la región: *Commelina erecta*. *Agromensajes* N° 5. Pág. 12. Facultad de Ciencias Agrarias. UNR.
- Vigna, M. R. 1982. Estudios sobre la biología de *Solanum elaeagnifolium* Cav. y su susceptibilidad a dos herbicidas. Tesis Magister, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina 142 pp.
- Vigna, M. R., O. A. Fernández y R. E. Brededan. 1981. Biología y control de *Solanum elaeagnifolium* Cav. *Rev. Facultad de Agronomía, Universidad de Bs. As, Argentina* 2: 79-89.
- Werner, C.1977. Ecology of Plant Populations in sucesional environments. *Systematics Botany* 1: 246-268.
- Westra, P. H. y D. L. Wise. 1980. Growth and development of quackgrass (*Agropyron repens*)
- Zimdahl, R.L.2007. *Fundamentals of Weed Science*. 3ª Ed. 666 p.

Han pasado más de 30 años de la última edición de la obra de Ángel Marzocca "Manual de Malezas" y si bien se han editado numerosos trabajos científicos y/o tecnológicos, informes técnicos y aún capítulos en libros de cultivos relacionados con la temática de las malezas, los mismos abordan aspectos con distinto grado de profundidad, enfoques parciales o bien se encuentran diseminados en múltiples publicaciones. Se estima que la edición de una obra actualizada que abrace buena parte de los conocimientos disponibles en Argentina sobre plantas invasoras, malezas y su manejo en los distintos sistemas de producción del país, representará un significativo aporte al conocimiento y será una fuente permanente de consulta en todas aquellas cuestiones coligadas con la presencia de este tipo de plantas que interfieren con la actividad productiva en los agroecosistemas. Hemos acordado publicar esta obra reconociendo principalmente la necesidad de un texto en idioma español orientado en particular a docentes universitarios y del nivel medio ligados a las ciencias agrarias, estudiantes de agronomía, profesionales y técnicos no sólo estrictamente vinculados con la productividad agropecuaria sino también de interés para toda persona interesada en el conocimiento de los atributos biológicos de las plantas espontáneas.

Esta Obra comprende tres tomos. El primero de ellos abarca todos los aspectos relacionados con la ecología de las malezas y su manejo en agroecosistemas. Los mismos incluyen desde aspectos más generales relacionados con la biología y la dinámica de poblaciones vegetales hasta más particulares, como es el manejo de malezas en cultivos extensivos e intensivos, la prevención de invasiones, el uso de modelos en la dinámica espacio-temporal de poblaciones, la residualidad y los efectos ambientales de los herbicidas o el control biológico, entre muchas otras temáticas, que son abordadas por 65 autores en 33 capítulos a lo largo de 950 páginas.

En el Tomo II se desarrollan los aspectos relacionados con la clasificación botánica e identificación de unas 600 especies, presentadas en páginas a todo color con una ficha descriptiva asociada, que jerarquiza los caracteres que permiten una rápida identificación en el campo de las especies tratadas.

En el Tomo III se abordan los atributos biológicos y eco-fisiológicos que caracterizan y contribuyen al éxito ecológico de una determinada especie. Las secciones incluyen revisiones y puesta al día de conocimientos que contribuyen a optimizar las herramientas de prevención y manejo de una especie. Los contenidos de cada una de ellas son construidos por investigadores que las han estudiado durante varios años, muchos de ellos en el marco de experimentos de Tesis de Maestría o Doctorado.



Capítulo XIX

Mercado de herbicidas en Argentina y el mundo

Reseña histórica de su uso en los principales cultivos, situación actual y tendencias. Normas para su utilización segura

Martín G. Gries^a

^a Gerente Técnico Grandes Cuentas, Protección de cultivos, Región LASE.
(Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay) BASF Argentina SA.
Tucumán 1, C1049AAA Buenos Aires, Argentina.
Correo electrónico: martin.gries@basf.com

Sinopsis previa

- El primer registro de importación de herbicidas no selectivos en la República Argentina data de 1927, pero el gran desarrollo y utilización de herbicidas en el mundo y en el país se inicia luego de la Segunda Guerra Mundial.
- La difusión masiva del cultivo de soja obligó a la incorporación de nueva tecnología en el control de malezas, anteriormente casi circunscripta a las aplicaciones post-emergentes de herbicidas hormonales en cultivos de cereales.
- En la década de 1990 se inicia una expansión del sistema de labranza conservacionista, seguido de la adopción de la denominada “labranza cero”. La disponibilidad de glifosato, un herbicida sistémico de amplio espectro, permitió la rápida adopción y expansión de esta tecnología no sólo en Argentina, sino también en varios países vecinos.
- La industria agroquímica ha desarrollado durante la última década nuevos principios activos con propiedades mejoradas y nuevos modos de acción para su uso en diferentes cultivos, lo cual ha permitido una reducción de dosis y también de volúmenes.
- Una molécula identificada en etapas iniciales como posible herbicida, transita un camino que consume unos 10-12 años y una masa monetaria superior a los 200 millones de euros hasta que está disponible para su uso en el sistema de producción de cultivos de un país determinado.
- La Argentina, con más de 30 millones de hectáreas bajo agricultura, exhibía hacia fin de 2010 un mercado de fitosanitarios cercano a los U\$S 1675 millones, siendo los herbicidas el segmento más importante (960 millones).
- El Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) es la autoridad nacional competente para el registro y control de los Productos Fitosanitarios, según Decreto N° 1585/96. Tiene a su cargo el “Registro Nacional de Terapéutica Vegetal y Fertilizantes” donde deben inscribirse todas las empresas y los productos que se comercializan en el territorio argentino.
- Cuando se decide la aplicación de un herbicida, se deben tener en cuenta una serie de recomendaciones y normas, las que comienzan en el momento de la compra y se prolongan hasta la etapa posterior a la aplicación. El tenerlas en cuenta ayuda a prevenir situaciones que pueden afectar a la salud y al medio ambiente.

Breve historia del uso de herbicidas en nuestro país

El primer registro de importación de herbicidas no selectivos en la República Argentina data de 1927, cuando la empresa Bayer importa clorato de sodio. Ya en 1939, se aplicaron 160.000 litros de solución de Clorato de Sodio para el control de malezas en la red ferroviaria. En una cartilla del Ministerio de Agricultura de aquella época ya se mencionaba a “la terrible plaga *Sorgo de Alepo*” recomendando además el uso de sal común en una capa de 2 cm de espesor, para el control de esta maleza.

El arsenito de sodio fue otro herbicida utilizado a partir de 1935, pero nunca llegó a ser importante por su elevada toxicidad. Otros productos inorgánicos aparecen más tarde como el Tiocianato y el Sulfamato de amonio, registrados en 1942 para el control de malezas leñosas. El descubrimiento de compuestos orgánicos amplió el panorama de posibilidades: los primeros fueron los Dinitrofenoles, patentados como herbicidas selectivos en 1935.

A fines de la segunda guerra mundial se difundió el descubrimiento (mantenido en secreto por su valor estratégico) que reguladores del crecimiento vegetal podían emplearse en el control selectivo de malezas. Así, el 2,4-D y el MCPA, desarrollados en forma simultánea en EE.UU y en Inglaterra respectivamente, se empiezan a sintetizar y utilizar en cultivos de cereales. Las primeras muestras se reciben en nuestro país en 1946, comenzando de esta manera los primeros ensayos en las Estaciones Experimentales Agrícolas del Ministerio de Agricultura y realizándose demostraciones en establecimientos privados.

El diseño y posterior fabricación de equipos nacionales fueron solucionando la escasez inicial de equipos y picos de pulverización. Los primeros pulverizadores tenían un tanque cilíndrico construido en chapa galvanizada que estaba montado transversalmente a la línea de avance y una bomba de diafragma de bajo caudal, con un regulador de presión primitivo.

Los primeros productos fitosanitarios llegados al país eran totalmente formulados. Más tarde se importaron concentrados y luego el ácido 2,4-D y MCPA, que se formulaban localmente. A partir de 1958 se inició el registro y fiscalización de todos los productos fitosanitarios (Decreto 3489/58-MAG). Después del 2,4-D y MCPA se introdujeron al mercado otros principios activos del grupo, destinados a su pulverización en cereales, lino y alfalfa (2,4-DB y MCPB) y que utilizados en las dosis recomendadas, controlaban las malezas susceptibles, sin riesgo para los cultivos.

Por la misma época aparecen los primeros graminicidas no selectivos (excepto en caña de azúcar) como TCA (ácido tricloro-acético) y Dalapon (ácido dicloropropiónico), ambos formulados como sal. Estos dos herbicidas continuaron utilizándose hasta fines de la década del 70 para el control de *Cynodon dactylon* y fundamentalmente de *Sorghum halepense* durante el barbecho de primavera, luego de someter el suelo a una intenso laboreo para promover la expresión del sistema subterráneo. Un producto no selectivo que solía utilizarse en esta modalidad era también el MSMA (monosodio-metil arsonato).

Los tratamientos se fueron diversificando y abarcando mayor número de cultivos, destacándose la caña de azúcar, un cultivo que en aquellos años exhibía una elevada proporción de superficie tratada en relación a la cultivada (73% en Salta y Jujuy y 40% en Tucumán). Los grandes Ingenios importaban directamente cantidades significativas de ellos, proceso que continuó hasta la siguiente década. Simultáneamente comienzan las aplicaciones en algodón y otros cultivos industriales y en hortalizas y frutales.

El panorama se mantiene en el escenario descrito hasta principios de 1970. Como consecuencia de la aparición de nuevos cultivos de maíz y trigo y el incremento de los niveles de tecnología pero fundamentalmente por la expansión del cultivo de soja, se inicia una era de crecimiento exponencial en el desarrollo y utilización de herbicidas (Leguizamón, 2003).

Control de malezas en soja

La difusión masiva del cultivo de soja obligó a la incorporación de nueva tecnología en el control de malezas, anteriormente casi circunscripta a las aplicaciones post-emergentes de herbicidas hormonales en cultivos de cereales.

A principios de la década del 80 se inician importantes programas de desarrollo de herbicidas para el control de malezas en soja, con la participación de entidades oficiales como el INTA y las Universidades Nacionales y los equipos técnicos de desarrollo de las Empresas de Agroquímicos. Es de destacar en este sentido la estupenda actividad no sólo de investigación y extensión sino también de coordinación, desarrollada hacia mediados de la década del 70 por el Ing. Agr. Agustín Mitidieri en la EEA del INTA San Pedro y pionero en implementar un curso de “Biología y control de malezas” en el nivel de grado, en el ámbito de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR. La intensa actividad de extensión realizadas por técnicos de las Instituciones oficiales y de las empresas basadas en la información surgida de numerosos experimentos, potenciaron la difusión de conocimientos relacionados con la biología y el manejo de malezas con tratamientos de preemergencia y post emergencia, hasta ese entonces muy poco diseminados.

Durante la campaña 1984/85, en una época fuertemente caracterizada por el doble cultivo trigo/soja y en donde las labranzas convencionales (arado + rastra de discos + rolo + rotativa) estaban cediendo paso rápidamente a la labranza vertical (cinceles + vibro-cultivadores), la superficie dedicada a soja exhibía las siguientes modalidades de tipos de tratamientos:

- Presiembra 21 %
- Preemergencia 9 %
- Postemergencia 70 %

En los tratamientos de preemergencia el herbicida más usado era trifluralina (Ely-Lilly-Elan-

co¹); en los de preemergencia, metribuzin (Bayer) seguido por alaclor (Monsanto) y en los de post-emergencia se destacaban los tratamientos para el control de sorgo de alepo con fluazifop-butil (Ishihara), setoxidim (BASF), fenoxaprop (Hoechst) y haloxifop butil (Dow). Por esta época los tratamientos de control de *Sorghum halepense* y *Cynodon dactylon*, que eran las dos malezas perennes más frecuentes y con altos niveles de abundancia, significaban una porción significativa de los costos de implantación del cultivo de soja, alcanzando en algunas campañas (dependiendo de los precios relativos) entre 4 y 5 qq/ha. Los inicios de la década del 80 se caracterizan además por las aplicaciones de glifosato en forma selectiva con “equipos de sogas”. Esta tecnología novedosa fue introducida por Monsanto y rápidamente se difundió con una serie de variantes y simplificaciones en el área pampeana, fruto de varios experimentos en las Estaciones Experimentales del INTA. El principio del primer equipo importado, denominado “Wedge-wick” se basaba en la aplicación del herbicida por sobre la canopia del cultivo mediante “sogas” de material sintético de rápida imbibición, dispuestas en forma de “cuñas” sucesivas (el ancho de trabajo era de unos 10-12 surcos) y que se alimentaban de una solución de glifosato al 33 % contenida en un tubo de pvc transformado en “tanque” el cual abastecía al conjunto por simple capilaridad y también favorecida por la presión conferida por un pequeño compresor eléctrico. Todo el conjunto estaba montado en una barra porta-herramientas en la parte frontal del tractor y disponía de un cilindro hidráulico que permitía variar su altura. La contraparte de esta tecnología radicaba en que la aplicación del herbicida –fundamentalmente usada para control de sorgo de Alepo- se realizaba en momentos avanzados del ciclo y por lo tanto el rendimiento podía acusar disminuciones. Por lo expuesto, esta tecnología se recomendaba en situaciones de bajas infestaciones (fruto de un programa de control

¹ La mención de los nombres de las Compañías o Empresas no tiene fin publicitario alguno y sólo se brindan con el propósito de ilustrar al lector. Muchas de ellas han desaparecido, luego de los procesos de fusión y “merge” que caracterizaron la década del 90. Otras han modificado su denominación en años recientes.

realizado con herbicidas selectivos en los cultivos predecesores) y para prevenir -al menos parcialmente- la producción de semillas. Los intentos de utilizar esta tecnología con otros herbicidas no resultaron exitosos, probablemente porque uno de los pocos herbicidas cuya absorción responde positivamente a un gradiente de concentración, es el glifosato.

También en los inicios de 1980 se introducen novedosos herbicidas selectivos de aplicación en post-emergencia para el control de malezas dicotiledóneas en soja, del grupo de las Benzotiadiazinonas, como bentazón (BASF) y los difeniléteres (acifluorfen / fluroglicofen- Rohm & Haas) y fomesafen (ICI, actualmente Syngenta). Estos nuevos herbicidas post emergentes de contacto requerían mayor calidad de aplicación y mejor conocimiento de las condiciones ambientales, lo cual no sólo obligó a la introducción de nuevos equipos de pulverización que permitían lograr mayores volúmenes y presión del caldo de aspersión, sino también mejor control de gestión de la pulverización por parte de los técnicos (condiciones ambientales apropiadas y tamaño adecuado de las malezas).

Hacia fines de la década del 1980 e inicios del 1990 el cultivo de soja no sólo concentra el 50% de los herbicidas del mercado, sino que promueve un aumento del universo de graminicidas post emergentes selectivos, tanto ariloxifenoxis (FOP's) como ciclohexidimas (DIM's) e incluyendo sus isómeros y nuevas formulaciones: haloxifop-metil, cletodim, flua-zifop-butil, propaquizafop, fenoxaprop-p-etil, quizalofop-etil y quizalofop-p-tefuril. Es por esa época en que también se difunden rápidamente los inhibidores de ALS: imidazolinonas (imazaquin, imazetapyr) (Cyanamid), sulfonilureas como clorimuron (Agar Cross-Dupont) y un poco más tarde, las triazolopirimidinas como flumetsulam (Dow).

Durante este periodo se perfeccionan los "tratamientos simplificados" y se inicia la difusión del concepto de "sistemas de herbicidas" para el control de malezas en soja, combinando herbicidas de aplicación preemergente y de siembra de cultivo y maleza, con

pulverizaciones de herbicidas post emergentes selectivos para el control de gramíneas perennes (*Sorghum halepense* y *Cynodon dactylon*) y dicotiledóneas que solían "escapar" a los herbicidas preemergentes, como *Datura ferox*, *Tagetes minuta* y *Anoda cristata*, entre otras.

Los herbicidas más utilizados en la década de 1980 fueron, en el caso de los de siembra y preemergencia, metribuzin, imazaquin, cloroacetamidas (acetoclor, metolaclor, dime-tenamida) y en postemergencia, los graminicidas ya mencionados y los herbicidas para dicotiledóneas: bentazon, clorimuron, fomesafen, acifluorfen y fluroglicofen.

Para complementar el control de diferentes especies de malezas, también se recurría frecuentemente a las mezclas de tanque de diferentes principios activos herbicidas². Cabe asimismo destacar que la introducción del imazetapyr, herbicida post emergente selectivo de la familia de las imidazolinonas con amplio espectro de control de malezas latifoliadas y gramíneas y con control preemergente de emergencia tardías de plántulas, contribuyó a simplificar los programas de control de malezas en soja, además de brindar soluciones a problemas de malezas específicas, como *Cyperus* spp. ("Cebollín" y Chufa") y *Amaranthus* spp. ("Atacos") en la región pampeana y en el NOA.

Hacia fines de la década de 1980 e inicios de la de 1990 se produce una fuerte expansión de los sistemas de labranza conservacionista y luego de la labranza cero, generando un cambio importante en el espectro de malezas que requerían su control en el cultivo de soja, ya que las gramíneas anuales y malezas latifoliadas de germinación superficial pasaron a ser un problema de mayor envergadura. La tendencia del uso de labranza cero se fue incrementando hasta nuestros días, un pro-

² Al menos en la región pampeana central, además de altas infestaciones de Sorgo de Alepo que requerían del uso de un gramicida, la comunidad de malezas latifoliadas estaba dominada por *Anoda cristata* o *Datura ferox* + *Chenopodium album* + *Amaranthus quitensis*. En esos casos, era muy frecuente el uso de Bentazón+2,4-DB a dosis recomendadas y el agregado de Imazaquin en dosis muy bajas (10 % de la recomendada).

ceso que fue fortalecido con la aparición a partir de 1997, de cultivares de soja transgénicos con resistencia al herbicida no selectivo glifosato, llamadas “sojas RR”.

Se estima que el futuro próximo continuará caracterizado por el uso de la biotecnología con clara tendencia a la introducción de cultivares de soja con tolerancia o resistencia a ciertos herbicidas o grupos químicos, como es el caso de sojas STS (Dupont) con tolerancia a herbicidas del grupo químico de las sulfonilureas y resistencia al glifosato. En un futuro un tanto más mediato (próximos 3-7 años) está previsto el lanzamiento de variedades transgénicas con tolerancia al grupo de herbicidas de las imidazolinonas (sojas Cultivance-BASF), a dicamba (Monsanto-BASF), a 2,4-D + glufosinato (Dow) y a herbicidas con modo de acción en la HPPD (Syngenta-Bayer), entre otros.

Control de malezas en maíz

En el caso de maíz, durante la década del 70 se utilizaron herbicidas hormonales post emergentes como 2,4-D, dicamba y picloram. Posteriormente, durante las décadas de 1975-85, eran muy frecuentes las pulverizaciones de herbicidas de presiembrá incorporados como EPTC y Butilato, especialmente en campos con alta frecuencia de *S. halepense* y *C. dactylon*, dos malezas muy competitivas de maíz. También era ya frecuente la aplicación en preemergencia de atrazina (Ciba-Geigy) o en mezcla con cloroacetamidas como alaclor, metolaclor o acetoclor. Estos tratamientos continúan siendo aún hoy muy difundidos para el control de malezas anuales.

La generalización de la labranza vertical y luego de la siembra directa determinó la desaparición de los herbicidas de presiembrá que requerían incorporación como fue el caso de la trifluralina, un herbicida que había sido muy utilizado en soja en el periodo de difusión inicial (1975-80), no solamente para el control de malezas anuales sino también para el control de *S. halepense* mediante

la técnica de la “doble dosis” (una labor de arada entre medio de cada una de las dosis individuales incorporadas con pasadas de rastras de discos “derecho y cruzado”). Esta técnica, desarrollada por Elanco en EE.UU y difundida posteriormente en Argentina, era muy frecuente en la época anterior al desarrollo de los graminicidas selectivos y aunque desde la perspectiva actual, su aplicación resulta claramente incompatible con los principios de conservación de suelos (debido al intenso refinamiento y laboreo), era por entonces casi la única alternativa disponible para realizar un control razonablemente bueno de *S. halepense*. En el caso del maíz, también el uso de los tiocarbamatos (EPTC y Butilato) significaba una porción significativa del costo de siembra y requerían de una doble incorporación con rastra de discos. Por las razones antedichas, se extinguieron rápidamente. A ello contribuyó además la aparición de un espectro mayor de herbicidas selectivos de aplicación postemergente para soja, lo cual permitió el diseño de estrategias de control de las dos malezas perennes de gran difusión (*S. halepense* y *C. dactylon*) durante el ciclo de este cultivo, impulsando de este modo el manejo de las malezas perennes bajo un enfoque sistémico que aún sigue siendo válido: el cultivo de soja y sus herbicidas constituyen la mejor opción para disminuir el nivel poblacional de malezas perennes antes de la siembra del cultivo siguiente en la rotación, que suele ser maíz.

En la década de 1990 irrumpen también para el control de malezas en el cultivo de maíz, las sulfonilureas (nicosulfuron-primisulfuron) (Dupont); iodosulfuron (AgrEvo) y las triketonas como mesotrione (Syngenta). A fines de la década se introducen híbridos de maíces con tolerancia a herbicidas de la familia de las imidazolinonas, llamados maíces Clearfield o CI, que permiten el control de malezas gramíneas y dicotiledóneas, tanto perennes como anuales, incluyendo ciperáceas.

En el año 2004, Monsanto introduce los híbridos de maíces genéticamente modificados con resistencia a glifosato, (“maíces

RR”). En la actualidad, el uso de maíces RR cubre más del 50 % del área maicera de nuestro país. La incorporación de genes de resistencia al herbicida-entre otros atributos- se agrega a la disponibilidad de híbridos resistentes al barrenador del tallo (Bt) mediante la tecnología de “genes apilados”.

Control de malezas en girasol

En la campaña agrícola 1983/84 se inicia un nuevo mercado para los herbicidas en el cultivo girasol, que ya se insinuaba como de rápido crecimiento. Aunque en esa campaña sólo el 3,2% de la superficie sembrada fue tratada con herbicidas, al año siguiente había progresado al 27.6 % del total. Posteriormente otras opciones como fluorocloridona, bifenox y aclonifen, mejoraron el abanico de posibilidades de control químico de malezas en este cultivo. También en este periodo se introdujeron graminicidas post emergentes selectivos, tanto ariloxifenoxis como ciclohexidimas, para el control de *S. halepense*, *C. dactylon* y gramíneas anuales.

Un importante salto tecnológico en el control de malezas en girasol ocurre a partir del año 2003, cuando BASF junto a varias compañías de semillas introducen híbridos con tolerancia a herbicidas de la familia de las imidazolinonas, una tecnología denominada Clearfield o CI y que en la actualidad exhibe dos opciones de herbicidas post emergentes, una a base de imazapyr solo y otra en mezcla con imazamox. Inicialmente la tecnología CI se basó en la introgresión del gen de tolerancia a imidazolinonas proveniente de USA a partir de un desarrollo del USDA (Departamento de Agricultura de EE.UU). En el año 2010, en nuestro país y mediante un desarrollo conjunto de Nidera Semillas y BASF, se obtuvo un gen de mejores características que el anterior: podemos así decir con orgullo que una tecnología desarrollada en nuestro país, se está difundiendo en las principales áreas girasoleras del mundo. En la actualidad el 40 % del área de girasol en Argentina usa tecnología Clearfield.

Control de malezas en trigo

En trigo, hacia finales de la década de 1950, sólo se utilizaban tratamientos herbicidas del grupo de los hormonales (2,4-D, MCPA, 2,4-DP) y posteriormente (década del 1970) mezclas complementarias de aquellos con dicamba y picloram. A partir de la década del 80 se observa una caída en la utilización de los herbicidas hormonales (2,4-D y su mezcla con picloram o dicamba) con su clásico control durante el macollaje, que fueron paulatinamente complementados o sustituidos por principios activos como metsulfuron, un herbicida que permite el control temprano y su mezclas en tanque con dicamba o picloram, que tuvo y aún tiene, una amplia difusión en cereales de invierno. En la actualidad, metsulfuron constituye el herbicida residual más utilizado tanto en barbechos prolongados o bien como pre-tratamiento para lotes destinados a trigo. En este cultivo se observa en las últimas campañas dado el incremento de la técnica de labranza cero, un aumento de la frecuencia de aparición de malezas gramíneas como *Lolium multiflorum*, *Bromus unioloides* y *Avena fatua*, todas especies que requieren de herbicidas específicos para su control como diclofop metil, fenoxaprop-p-etil y su mezcla con iodosulfuron, piroxulam + cloquintocet + metsulfuron-metil, clodinafop + propargyl y pinoxaden + clonquintocet, entre otros.

Control de malezas en maní

El maní un cultivo regional con una superficie cultivada que varía según campaña entre 200.000 y 300.000 has se concentra en el centro-sur de la provincia de Córdoba. Por su estructura de planta, es un cultivo con menor capacidad competitiva frente a las malezas, que no solo producen disminución de rendimiento sino que también interfieren en el momento de arrancado/cosecha. Tiene una importante demanda de herbicidas, los que de todos modos, deben complementarse con métodos de control mecánico (sucesivas carpidas y escardillos).

Hasta finales de los 80, el herbicida más utilizado fue trifluralina en presembrado incorporado, seguido de tratamientos post emergentes secuenciales de 2,4 DB, bentazon y fluoroglicofen para el control de latifoliadas y de graminicidas post emergentes selectivos, tanto ariloxifenoxis como ciclohexidimas.

En la década de 1990, se inician los tratamientos con imidazolinonas de aplicación postemergente temprana, como imazetapyr e imazapic, que permitieron el control de malezas latifoliadas y gramíneas, además de ciperáceas (*Cyperus rotundus* y *C. esculentus*), estas últimas con gran difusión y abundancia en las áreas maniceras. A estos herbicidas inhibidores de ALS, se sumó diclosulam. Todos ellos continúan siendo muy utilizados en este cultivo.

Control de malezas en arroz irrigado

El arroz irrigado es también un cultivo regional y de importancia en las provincias del NEA y Entre Ríos, abarcando unas 200.000 a 250.000 has, según campañas. Una de sus características diferenciales respecto a otros cultivos extensivos es que este cultivo se puede desarrollar en condiciones anaeróbicas o bajo inundación. La inundación ha sido tradicionalmente la táctica central de control de malezas, pero con el transcurrir de los años se ha hecho necesaria su complementación con herbicidas específicos, en especial para el control de gramíneas como “Capín arroz” (*Echinochloa crus-galli*), “Chacrilla” (*Echinochloa crus-pavonis*), “Pasto colorado” (*Echinochloa colonum*), *Brachiaria* spp, y *Digitaria* spp. , entre otras, además de especies latifoliadas y varias ciperáceas.

En la década de 1980 se comienzan a utilizar herbicidas específicos para el control de “Capín”, como molinate (en post emergencia, vía goteo en la inundación o “pinga-pinga”), propanil (en post emergencia temprana) del grupo de las anilidas y sus mezclas para pulverización en post emergencia con herbicidas residuales como pendimetalin y clomazone. Para el control de ciperáceas y latifoliadas se

ha utilizado bentazón y sus mezclas con propanil y MCPA.

En 1988 BASF introduce el herbicida post emergente quinclorac y su mezcla con propanil, la que permitió mejorar sustancialmente el control de gramíneas y latifoliadas. Posteriormente Bayer introduce el herbicida inhibidor de la ALS bispyribac-sódico, que permite un buen control de gramíneas, latifoliadas y ciperáceas.

Es durante la década de 1990 que se inicia la utilización de herbicidas post emergentes graminicidas selectivos como el fenoxaprop-*p*-etil (Hoeschst), profoxidim (BASF) y cyhalofop-butyl (Dow).

A comienzos de los años 2000, BASF introduce el arroz con tolerancia a las imidazolinonas (arroz Clearfield o CI), los que permiten no sólo un buen control de malezas gramíneas y dicotiledóneas, sino también del arroz colorado. Las primeras variedades provenientes de USA contenían un sistema de genes con tolerancia a imidazolinonas, desarrolladas en la Universidad de Louisiana. Paralelamente en la EEA INTA Concepción del Uruguay se desarrolló un nuevo gen con mayor tolerancia a estos herbicidas que fue incorporado en la variedad Puita INTA CI., de muy buena calidad y potencial de rendimiento y que en la actualidad está difundida en importantes regiones arroceras de Brasil, Uruguay, Centroamérica, Europa y de nuestro país.

Control de malezas en barbechos químicos y tratamientos “de quema”, en presembrado de cultivos extensivos

Como se ha comentado anteriormente en relación con la descripción de los herbicidas para el control de malezas en el cultivo de soja, en la década de 1990 se inicia una expansión del sistema de labranza conservacionista, principalmente con la adopción de la denominada labranza cero, la cual es hoy de aplicación en todos los cultivos extensivos no sólo de Argentina, sino también en varios países vecinos. La característica central de

esta tecnología es la utilización de herbicidas totales no selectivos, en reemplazo de las labranzas para el control de malezas. Con esta tecnología se produjo un claro reemplazo de combustibles fósiles (el gasoil necesario para realizar las labranzas) por un herbicida (glifosato), el que a partir de fines de la década de 1990 tuvo además una sustancial reducción de su costo al productor / usuario. Todo ello trajo aparejado como ventajas comparativas, mejorías en las logísticas, mayor velocidad en la implantación de los cultivos, optimización de las fechas de siembra (y consecuentemente rendimientos) y reducción de los costos de implantación. En la actualidad, en Argentina, el segmento de mercado “tratamientos de barbecho químico y tratamientos de “quema”³ (en presiembra), significa el uso de más de 100 millones de litros de glifosato en sus diferentes tipos de formulaciones. Y es importante señalar que ya han transcurrido más de 15 años de uso masivo y frecuente de glifosato como barbecho químico en especies de ciclo otoño-invernal y/o como tratamiento “de quema” anterior a la siembra de cultivos primavero-estivales (maíz, soja, girasol, sorgo, maní, algodón, arroz, etc.) y también de cultivos otoño-invernales (trigo, cebada, verdeos de invierno, pasturas polifíticas, etc.). Este uso masivo del glifosato-inicialmente aplicado sólo en los barbechos y luego ampliado a los cultivos tolerantes al herbicida, se tradujo cada vez con mayor frecuencia, en la aparición de especies de malezas tolerantes a glifosato, que requieren de mayores dosis del mismo y/o de formulaciones especiales con aditivos o coadyuvantes. El “escalón final” de estos cambios en la flora de malezas, que ya habían sido anunciados a partir de investigaciones realizadas en el país, lo constituye la aparición de biotipos

de especies resistentes, tanto en gramíneas como en dicotiledóneas.

La tendencia en el incremento de aparición de malezas tolerantes o de difícil control por parte de glifosato en los barbechos químicos y de tratamiento de quema, promovió la necesidad de mezclar a glifosato con herbicidas complementarios con otros modos de acción: su elección depende de la tolerancia a los mismos del cultivo posterior a sembrar, el periodo en días necesario para su disipación y las precipitaciones producidas en el periodo transcurrido entre aplicación y siembra. Como ejemplos de herbicidas que pueden mezclarse con glifosato se pueden mencionar a los hormonales (2,4-D y dicamba), atrazina, los inhibidores de ALS (metsulfuron, imazetapir y diclosulam), la triazolinona sulfentrazone, los PPO como flumioxazin y el recientemente lanzado saflufenacil, entre otros.

Epílogo

A modo de resumen, el período 1974-94 evidencia un fuerte incremento en el uso de productos fitosanitarios: de menos de 2 millones se pasa a más de 120 millones de litros o kg. En igual período, la proporción de los herbicidas asciende del 20 al 70 % del total de agroquímicos comercializados. Las dos últimas décadas puede ser separadas en dos partes bien características: los años anteriores a 1996/97 y los posteriores a éstos. El ya sostenido crecimiento de la tecnología de no labranza (siembra directa) de principios de la década del 90, recibe un nuevo y fuerte impulso como consecuencia de la aparición y posterior difusión masiva de los cultivares de soja resistentes a glifosato (RR): de esta manera, el uso de glifosato para la realización del barbecho químico se extiende al cultivo de soja y posteriormente al de maíz e impulsa la siembra directa en sitios, ambientes y aún en ecosistemas impensados en las décadas anteriores, contribuyendo al aumento del área sembrada y a la producción de granos en forma significativa. El proceso descrito causa un fuerte remezón en el mercado de agroquímicos: una masa monetaria superior

³ El término “quema” se refiere aquí al control con herbicidas de distinto tipo (sistémicos o de contacto) claramente liderados por glifosato y que se pulverizan con el propósito de destruir a las malezas emergidas durante el barbecho anterior a la siembra del cultivo. El término está muy asociado al concepto de “barbecho químico”. El uso de glifosato en estos sistemas suele ser frecuentemente complementado con herbicidas residuales, que brindan un control persistente en las especies que continúan emergiendo luego de la pulverización. Algunos herbicidas residuales suelen además ser selectivos para el cultivo que sigue al barbecho químico.

a los 900 millones de dólares en 1996-97 que venía con tendencia claramente ascendente, decae en sólo tres años a menos de 600 millones y se caracteriza por un fuerte predominio de glifosato en el volumen total: durante la campaña 2001-2002 ya se estimaba que el volumen comercializado era del orden de los 80 millones de litros, un volumen que en la campaña 2008-9 supera los 200 millones de litros. Los hechos señalados y las tendencias de la economía mundial, incidieron para que a partir del año 2000 se registrase una importante reducción en el número de empresas líderes en el desarrollo e investigación de herbicidas, tanto en el mercado Argentino como mundial, pasando de más de 16 empresas que desempeñaban su actividad en la década del 90, a no más de 8 que lo hacen en la actualidad.

Tendencias de la investigación y desarrollo de herbicidas en el mundo y en la República Argentina.

La industria agroquímica ha desarrollado durante la última década nuevos principios activos con propiedades mejoradas y nuevos modos de acción para su uso en diferentes cultivos, lo cual ha permitido una reducción de dosis y también de volúmenes. No obstante ello, la introducción o “descubrimiento” de nuevos herbicidas ya sea con un nuevo modo de acción o perteneciendo a nuevas moléculas, ha venido disminuyendo sustancialmente en comparación con décadas an-

teriores. Para visualizar este proceso, baste ejemplificar que desde el año 1991 (cuando se introdujo en el mercado la sulcotriona, un herbicida HPPD) hay sólo un nuevo modo de acción comercializado en Europa, mientras que entre 1970 y 1985 se comercializaron herbicidas con diez nuevos modos de acción y entre 1986 y 1991 sólo cinco (Schulte, 2004). La disminución de la síntesis y desarrollo de nuevos herbicidas tiene orígenes y consecuencias diversas que trataremos someramente en la próxima sección, pero resulta necesario recalcar el siguiente marco:

a) el incremento de la demanda mundial de alimentos requiere de innovación y

b) la protección de los cultivos es indispensable para alcanzar el rendimiento potencial (Fig.1). Y como puede apreciarse en la Fig.2, la demanda alimentaria, superior a 9000 millones de personas en el año 2050, sólo puede ser satisfecha mediante un incremento sustancial en la producción unitaria y/o en el aumento de la proporción de suelo destinada a la agricultura, ambas de la mano de innovaciones desarrolladas fundamentalmente en los últimos 100 años (Seitz, 2011).

El proceso de Investigación y desarrollo de un herbicida

En la Fig. 3 se describen las principales etapas que ocurren desde el descubrimiento de un principio activo hasta su registro y disponibilidad en el mercado: en términos medios,

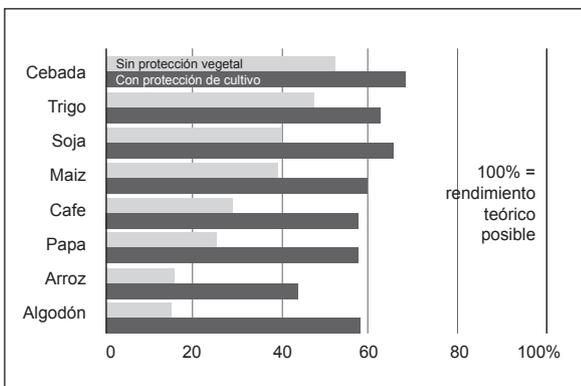


Figura 1. Rendimiento potencial de cultivos con y sin aplicación de fitosanitarios.

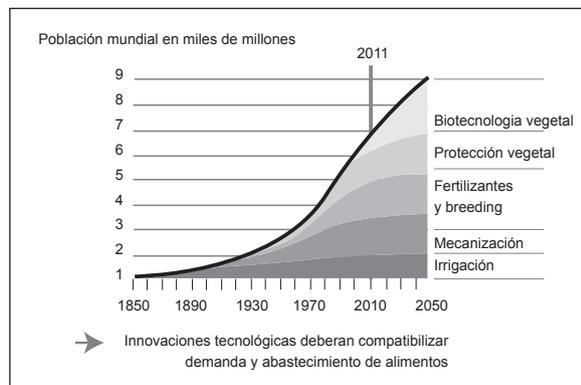


Figura 2. Población mundial e innovaciones tecnológicas durante el periodo 1850-2050.

la etapa de identificación de uso y determinación de eficacia de un potencial candidato lleva unos 3 años, su desarrollo (formas de aplicación, selectividad, etc.) otros 4-5 años y la etapa de registro (experimentos de performance y selectividad en diversas condiciones, persistencia, residualidad, efectos ambientales, etc.) también unos 3 años. En líneas generales, una molécula identificada en etapas iniciales como posible herbicida, transita un camino que consume unos 10-12 años y una masa monetaria superior a los 200 millones de euros hasta que está disponible para su uso en el sistema de producción de cultivos de un país determinado. (Seitz, 2011).

Las etapas someramente descritas en el párrafo anterior se desagregan en la Fig. 4

Controladores del progreso técnico

El principal impulsor del progreso técnico —es decir la decisión de lanzar un nuevo herbicida— es su potencial de negocio. La oportunidad de éxito sólo es posible si existe cierta certeza que el nuevo principio podrá igualar o superar a la calidad de los herbicidas ya existentes, los cuales poseen un muy alto nivel técnico, normativo y de condiciones de carácter económico. Debido a su volumen de mercado a nivel mundial, los principales cultivos alimentarios, como maíz, soja, cereales y arroz, siempre han sido el objetivo de nuevos ingredientes activos. Esto explica por qué en esos cultivos hay una amplia gama de modos de acción disponibles. En el maíz, por ejemplo, ingredientes activos descubrier-

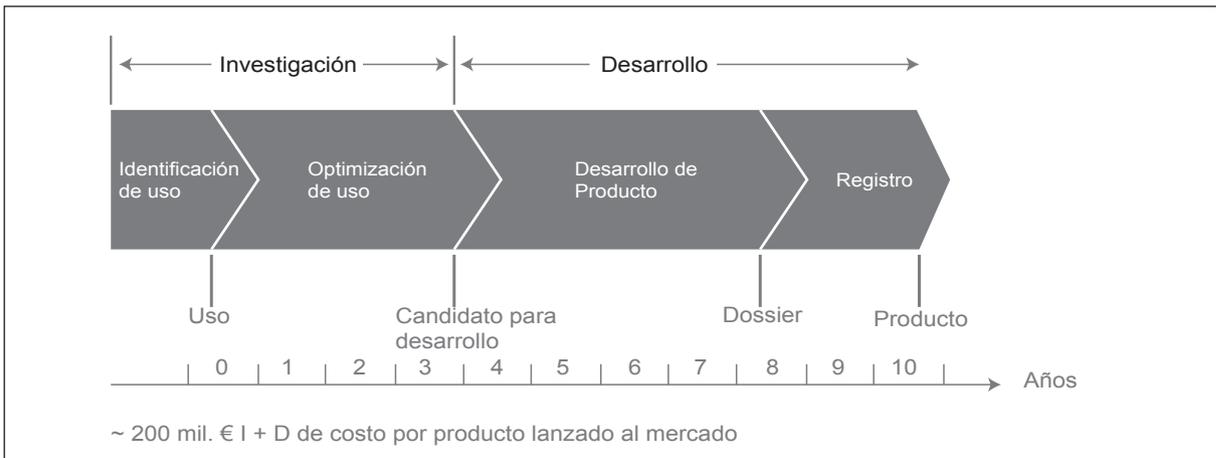


Figura 3. Etapas de Investigación y Desarrollo de un Herbicida

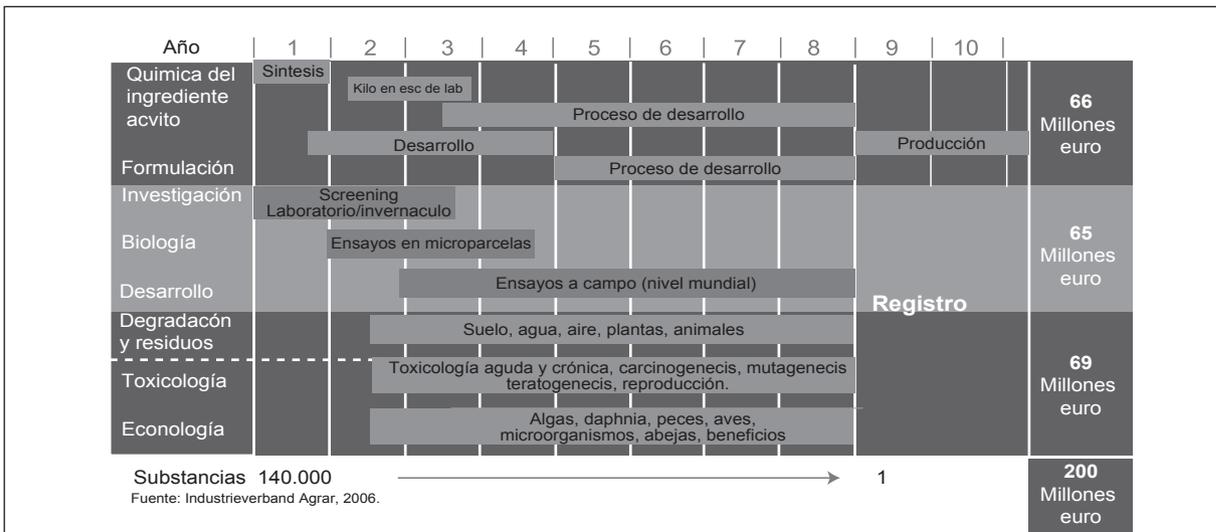


Figura 4. Actividades y determinaciones que suelen ser realizadas en cada etapa

tos entre 1950 y 1980 (como por ejemplo, triazinas y acetanilidas) siguen representando una importante porción del valor de mercado. Otros cultivos, como caña de azúcar, que en el pasado concitó atención en el desarrollo de nuevos y específicos ingredientes activos, se considera actualmente un cultivo de menor importancia y en el cual los nuevos principios activos tienen lugar sólo como un cultivo adicional dentro de los proyectos en cultivos importantes como cereales o maíz, que de por sí, ofrecen un mercado de mayor potencial (Quadranti y Nevill, 2004).

La introducción de cultivos genéticamente modificados con tolerancia a herbicidas a partir de la década de 1990, está proporcionando una oferta más amplia de herbicidas, así como un nuevo modo de acción para ciertos cultivos. Aunque el compuesto principal (el glifosato) representa una tecnología antigua (la introducción de esta tecnología es a través de la semilla), el modelo de captura de valor de los herbicidas ha sido transformado ya que se transfiere el valor de las empresas de productos químicos al de las empresas de semillas: así, los cultivos resistentes al glifosato en general redujeron los costos de manejo de malezas en los cultivos de algodón, soja y maíz, pero por otro lado aumentó el costo de las semillas para el agricultor (Rüegg, Quadranti y Zoschke, 2007).

Sin embargo, en general los cultivos modificados genéticamente tolerantes a herbicidas, se consideran una oportunidad de agro-negocios ya que permiten el uso de un mismo herbicida en muchos cultivos. Esta característica se resume en el proceso de consolidación de la industria agroquímica (Copping, 2003), que muestra una reducción del total de recursos en Investigación + Desarrollo (I+D): en 2005, habían en el mundo 11 empresas, con un gasto importante en el área de I+D en protección de cultivos, en comparación con las 35 empresas existentes en el año 1985. De las patentes publicadas (Fig. 5) se deduce que el número de compañías químicas en todo el mundo ha disminuido drásticamente y por lo tanto también las actividades de investigación. Por otra parte, el aumento del costo de desarrollo de herbicidas (Fig. 6) representa un significativo desafío para la priorización de proyectos y la asunción de riesgos en un etapa muy temprana del proceso de I+D, ya que no es posible mantener una amplia diversificación de proyectos de investigación durante un largo período. Nótese que el aumento significativo en los costos se debe en gran medida al extraordinario incremento de los estudios relacionados con la toxicidad y el comportamiento ambiental. Los cambios o efectos citados vienen frenando el progreso técnico a nivel mundial y disminuyendo el descubrimiento de nuevas moléculas de

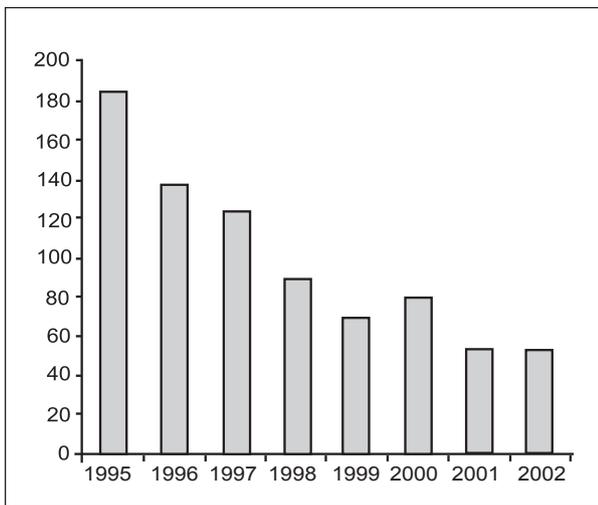


Figura 5. Número de patentes durante el periodo 1995-2003, publicadas a nivel mundial.

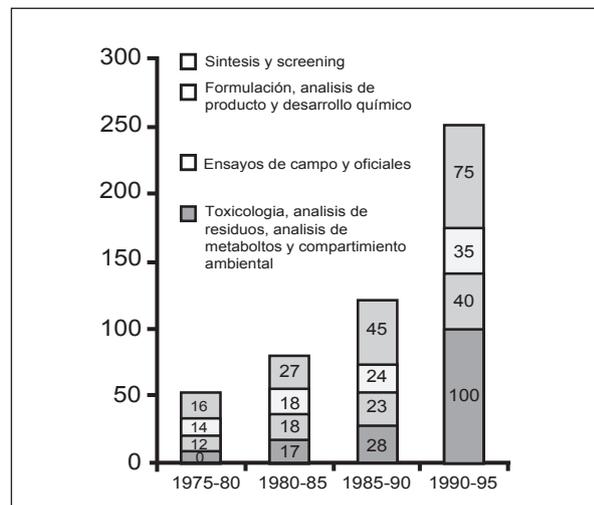


Figura 6. Costo en Millones de U\$S de desarrollo de un nuevo ingrediente activo en protección de cultivos entre los años 1975 y 1995. Fuente Phillips McDougall (reporte no publicado, 2003).

manera significativa. Sin embargo, el éxito potencial de las innovaciones también depende mucho del precio del producto y de su costo de producción: los agricultores están bajo presión, los precios de los productos agrícolas, al menos en la última década fueron relativamente bajos y las subvenciones están bajo análisis. Con el fin de reducir los costos, los agricultores podrían pensar en reducir las cantidades de productos agroquímicos y la aplicación de dosis inferiores a las recomendadas en los marbetes. Sin embargo, esta aproximación no sólo pone en riesgo un programa de control de malezas, sino que potencialmente favorece la acumulación de resistencia a herbicidas. Del mismo modo, el uso intensivo de un único herbicida es probable que promueva el desarrollo de resistencia al mismo a un ritmo más acelerado, especialmente, si se utiliza en diversos cultivos en la misma rotación. Esta situación ya se observa con evidencia creciente para el caso de glifosato en cultivos tolerantes, tanto en los Estados Unidos (Powles y Preston, 2006) como en varias regiones agrícolas de América del sur. La aplicación de las dosis completas de uso, como se recomienda en el marbete, es un factor de éxito para mantener herbicidas eficaces durante el mayor tiempo posible. En contraste, para la industria de I+D se limitan sus recursos al aumentar los requerimientos regulatorios. El trabajo de apoyo a las áreas regulatorias de las empresas de I+D absorbe mucho tiempo y dinero, ya sea directamente por las pruebas biológicas y los estudios del impacto al medio ambiente (en laboratorio, invernaderos o a campo) o indirectamente, a través del traspaso de recursos a laboratorios externos y contratistas. La Fig. 6 muestra claramente cómo ha aumentado el costo de desarrollo hasta 1995, especialmente debido a las demandas regulatorias, una tendencia que continúa hoy día. La investigación industrial ha reaccionado a las nuevas exigencias normativas mediante la introducción de una inspección adicional en etapas más tempranas de I+D: así en la etapa de la selectividad del cultivo, en la actualidad el objetivo adicional es investigar con la mayor profundidad posible, parámetros del

medio ambiente, efectos ecológicos (peces, aves, abejas, etc.) y toxicológicos. Este nuevo enfoque no es diferente para herbicidas, fungicidas o insecticidas en sí, pero la inclusión de más parámetros de selección, desacelera la tasa de éxito, mientras que eleva el costo y complejidad del proceso. Es este nuevo escenario y sus consecuencias la que ha animado a la industria química a centrar su trabajo en puntos seguros de su acción, como la esclerosis lateral amiotrófica o la acción química de ALS o ACCASE. Esto puede explicar, al menos en parte, por qué hay poca variación en los nuevos ingredientes activos lanzados recientemente, en términos de modo de acción. La identificación de un camino para la regulación de nuevos modos de acción, es un reto importante y puede ser fácilmente demostrado con el ejemplo de la introducción de la química HPPD. Por otro lado, es más atractivo tener derechos exclusivos sobre un nuevo principio activo con un nuevo modo de acción, en un cultivo con un importante segmento del mercado. Dado que la lixiviación de compuestos está básicamente influenciada por los mismos parámetros que son importantes para la funcionalidad del herbicida (residualidad y absorción en el suelo y solubilidad en agua) y son los principales factores de la degradación y la movilidad en el suelo, el valor de lixiviación tiene un impacto importante en la investigación y el desarrollo de nuevos herbicidas. Es ya conocido que por razones medioambientales, los principios activos preferidos son aquellos con residualidad corta, baja solubilidad en agua y altamente adsorbidos por el suelo. Por otro lado, los herbicidas con una cierta persistencia y movilidad en el suelo, serían buenos desde el punto de vista agronómico para muchos cultivos. En la industria química ya se han adoptado los métodos de detección en la "cascada de cribado" durante la primera etapa de selección, que permiten la eliminación de los compuestos iniciales ecológicamente críticos. Sin embargo, la optimización tanto hacia controles de malezas aceptables y niveles de lixiviación adecuados, sigue siendo un aspecto de suma importancia en la toma de decisión en las etapas tempranas del

“cribado” o selección de principios activos y muchos de los recursos se siguen invirtiendo en esta área de interés. Se abren así nuevas oportunidades para nuevos compuestos, pues muchos de los “viejos compuestos” deberán pasar por un proceso de re-registración según el anexo I de la Unión Europea. Cabe preguntarnos:

- ¿Todavía hay oportunidades de nuevos herbicidas? ,
- ¿Cuáles son los objetivos principales de la búsqueda?,
- ¿Existe aún incentivo para invertir en la investigación de herbicidas?

El gran motor de la rentabilidad es y seguirá siendo el rendimiento del cultivo y su calidad. Y el gran impacto de las malezas, por sus efectos en los rendimientos, hace indispensable el control de las mismas. De manera que las soluciones químicas para el manejo de malezas seguirán siendo una de las opciones preferidas en el futuro previsible. Y otras alternativas obvias no están tan a la vista. El aumento de la población mundial ya ha dado lugar a una intensificación de la producción de cultivos (producción / superficie) y ello debe proseguir con el fin de asegurar al mundo suministro de alimentos: el aumento de la población mundial (Naciones Unidas, 2004) parece ser uno de

los principales impulsores de la necesidad de aumentar la cantidad de alimentos y la solución es el incremento de la producción por unidad de área. Y si bien la superficie de tierras bajo cultivo, parece que se mantuviese estable (FAO: [http:// faostat.fao.org](http://faostat.fao.org), 19 enero 2006), debe tenerse muy en cuenta las pérdidas debido a los cambios climáticos y a la urbanización. En este escenario, los compuestos o principios activos que inicialmente eran menos rentables, serán enajenados o completamente abandonados de I+D de las empresas, especialmente después de la expiración de la patente. En un ambiente de negocios, las empresas de genéricos (con sólo limitada o nula actividad de I+D) tienen una posición de costos ventajosos. Sin embargo, esto a su vez limita indirectamente el progreso técnico en general.

El mercado mundial, regional y nacional de herbicidas

En la Fig. 7 podemos observar la facturación anual de agroquímicos del año 2010, en millones de US\$, de los 12 países mas importantes del mundo. Argentina está ubicada en una destacada posición 11 de esta distribución mundial.

En la Fig. 8 está descrita la facturación anual de las principales empresas de agro-

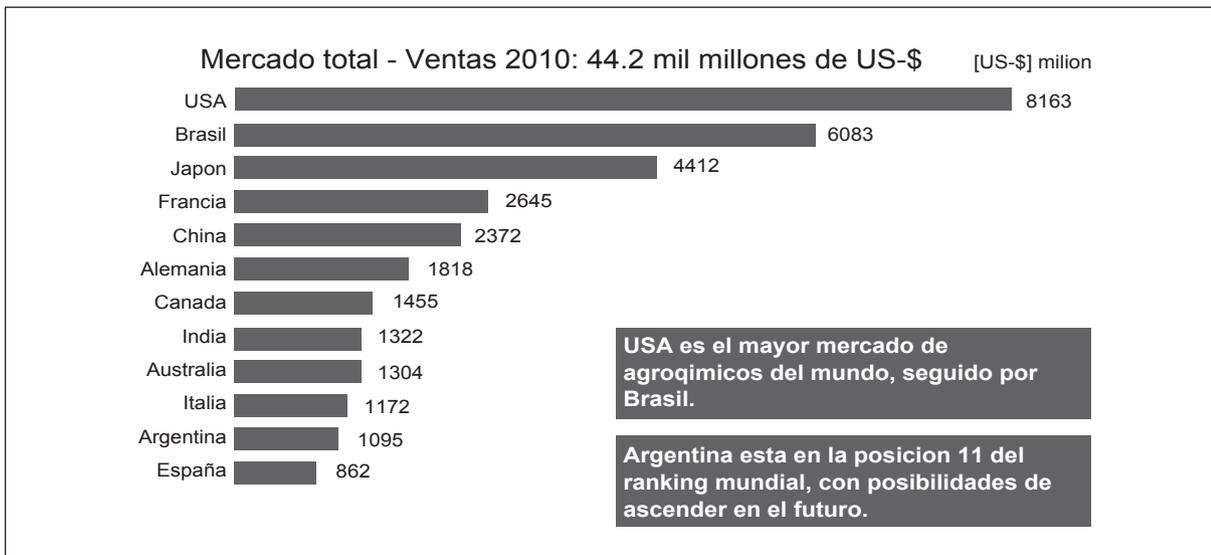


Figura 7: Mercado mundial de agroquímicos 2010 (excl. Semillas y Biotecnología). Fuente: Philips Mc Dougall.

químicos a nivel mundial, que participan en programas de I+D para herbicidas.

En lo que respecta a nuestro país, en la Figura 9 se podrá observar la evolución del mercado fitosanitario desde el año 1997 hasta el año 2010.

A continuación se desagrega la información de la Tabla I con las cifras de mercado por indicación, en el mismo periodo de tiempo, en Millones de US\$

Para tener una cabal idea de la importancia de los mercados de herbicidas por cultivo en Argentina, la Tabla II detalla dicho valor es-

timado para el año 2010 (Fuente CASAFE - Kleffmann Group, 2011).

De acuerdo a estimaciones privadas y estadísticas de importación de productos herbicidas, se desprende claramente que la molécula glifosato, en sus diferentes tipos de formulaciones, es el principal ingrediente activo herbicida utilizado en Argentina durante estos últimos años, llegando a un volumen de uso próximo a los 200 millones de litros/kilogramos en el año 2010. Se estima que esta tendencia en su uso no cambiará en un futuro mediato. Los cultivos con su mayor participación son en orden de importancia:

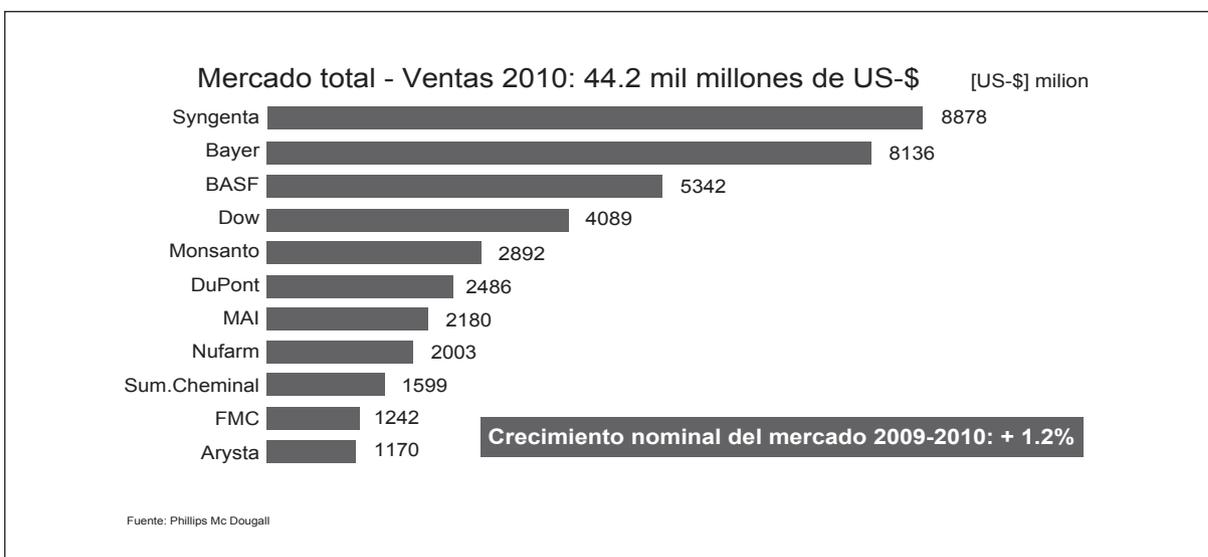


Figura 8: Facturación mundial por empresas de agroquímicos del año 2010 (excluido semillas y biotecnología).

Tabla I. Evolución en cifras del mercado fitosanitario argentino, en el periodo 1997-2010, y según indicación (Fuente CASAFE - Kleffmann Group, 2011) en Millones de US\$. (1)

Tipo	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Acaricidas	12,5	9,9	7,2	6,6	5,2	6,6	6,4	9,0	8,2	6,9	9,6	9,3	8,9	11,6
Curasemillas	30,3	31,3	25,0	27,0	28,2	25,5	32,4	36,6	32,5	43,9	74,2	87,6	73,1	71,5
Fungicidas	53,0	49,6	42,7	52,5	63,7	56,8	57,8	134,0	95,5	83,0	150,7	183,8	120,6	276,9
Herbicidas	634,7	535,5	448,1	451,4	400,1	409,2	454,1	628,0	636,5	640,9	932,1	1264,9	824,1	962,0
Insecticidas	166,5	133,5	86,2	84,7	94,4	93,9	95,5	98,4	112,4	114,9	178,7	212,6	259,3	319,8
Varios	27,7	16,8	14,1	12,1	11,4	8,1	7,6	11,6	13,8	12,8	19,0	18,9	22,2	33,9
TOTALES	924,7	776,6	623,4	634,2	603,0	600,1	653,8	917,8	899,0	902,5	1364,3	1777,1	1308,2	1675,8

1º los barbechos químicos o tratamientos “de quema” previos a la siembra de la mayoría de los cultivos implantados en siembra directa, seguido en 2º orden por los tratamientos post emergentes de cultivos con tolerancia inducida a glifosato, como soja, maíz y algodón. También es de destacar, y según estas mismas fuentes de información, que en superficie estimada de aplicación le siguen tres herbicidas (2,4-D éster o sal amina, metsulfuron y dicamba) que en gran parte son aplicados también en mezcla en tanque junto al glifosato como complemento del mismo y para el segmento de barbechos químicos o de tratamiento de quema pre-siembra o preemergencia de cultivo. Esta tendencia de mezclas de otros herbicidas junto a glifosato está indicando la presencia y paulatino aumento de malezas dicotiledóneas tolerantes a las dosis usuales del mismo. Los herbicidas complementarios de glifosato tienen un modo de acción diferente al mismo, lo cual es una muy importante cualidad para minimizar el riesgo de generación de biotipos de malezas resistentes al mismo. También se observa en las campañas recientes, una tendencia al aumento en el uso de graminicidas post emergentes selectivos en cultivos con tolerancia inducida al glifosato (como soja, algodón) y destinados

al control de malezas gramíneas tolerantes o resistentes a glifosato, como son el biotipo de sorgo de Alepo resistente y maíces “guachos” o “voluntarios” resistentes a glifosato.

Normas y procedimientos para la inscripción de productos herbicidas

En la República Argentina está reglamentada la elaboración, formulación, fraccionamiento, distribución, transporte, almacenamiento, comercialización y aplicación de los productos fitosanitarios a través de leyes, decretos-leyes, decretos, resoluciones emanadas de la Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación de la Nación (SAGPYA) y SENASA, así como disposiciones de este órgano, o sus antecesores, Instituto Argentino de Sanidad y Calidad, o Servicio Nacional de Sanidad Vegetal.

El Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) es la autoridad nacional competente para el registro y control de los Productos Fitosanitarios, según Decreto N° 1585/96. Tiene a su cargo el “Registro Nacional de Terapéutica Vegetal y Fertilizantes” donde deben inscribirse todas las empresas y los productos que se comercializan en el territorio argentino. Desde hace años,

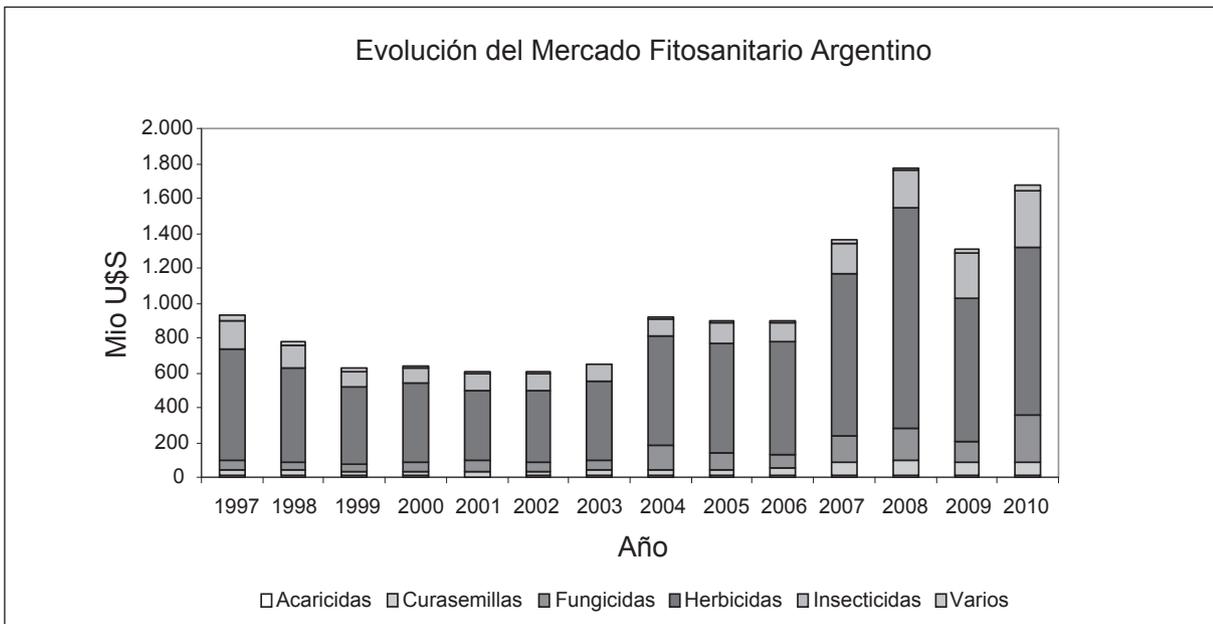


Figura 9: Evolución mercado fitosanitario desde 1997 al 2010, en Millones de US\$ y por tipo de producto o indicación (Fuente CASAFA - Kleffmann Group, 2011) (1)

Tabla II. Facturación de herbicidas estimada por cultivo en Argentina, año 2010, expresada en Millones de US\$ (Fuente CASA-FE - Kleffmann Group, 2011 (1) Base: Precio neto contado a distribuidor (sin IVA).

Cultivo	Herbicidas en Argentina en Millones de U\$S año 2010 (cifras redondeadas)
B. QUIMICO	350
SOJA	324
MAIZ	118.5
GIRASOL	46.4
TRIGO	27.3
PASTURAS	20.8
MANI	16.9
OTROS	9.8
ARROZ	8.2
HORTALIZAS	7.5
ALGODON	7.3
CAÑA DE AZUCAR	6.7
POROTO	5.5
CITRICOS	3.8
PAPA	3.
F. de CAROZO	2.
F. de PEPITA	1.6
VID	0.5
TABACO	0.3
TOTAL	962

además, la normativa nacional tiende a la armonización con la vigente en bloques u organizaciones regionales, como MERCOSUR y COSAVE. Además este contralor se complementa con requerimientos establecidos por otras reparticiones tales como la Secretaría de Transporte, la Dirección Nacional de Lealtad Comercial, el Instituto Argentino de Nacionalización de Materiales (IRAM), etc. El Decreto-ley 3489/58 establece el contralor de la Secretaria de Agricultura para la venta de productos químicos o biológicos destinados al tratamiento de los enemigos animales y vegetales de las plantas cultivadas. Fija la obligación de registro de los productos, bajo las condiciones que estipule la reglamentación y Sanciones en caso de incumplimiento y Obligaciones de usuarios y particulares. Art. 2do: s/Ley N° 17.394. El Decreto Reglamentario N° 5769/59 reglamenta la ley anterior. Indica los productos comprendidos. Fija los requisitos para la inscripción o registro, previo e indispensable para la venta en el territorio

nacional. Crea el Registro Nacional de Terapéutica Vegetal. (Guía de Productos Fitosanitarios CASA-FE, año 2009, Tomo I, Pág. 255). La Resolución SAGPyA N° 350/99, o Manual de Procedimientos, Criterios y Alcances para el Registro de Productos Fitosanitarios en la República Argentina”, establece todos los requisitos necesarios para registrar y otorgar la autorización de venta de un producto fitosanitario como así también los procedimientos de evaluación que llevan a la concesión o rechazo del registro. Así mismo se crean categorías de trámites para aquellas sustancias con o sin antecedentes de uso en el país tanto para las sustancias activas grado técnico como para los productos formulados. Impone la obligación de habilitar establecimientos de fabricación. Determina las pautas a aplicar para el análisis de riesgo de productos fitosanitarios registrados. (Guía de Productos Fitosanitarios CASA-FE, año 2009, Tomo I, Pág.257). A continuación se describirá en forma resumida el proceso de registro

de un fitosanitario, y en nuestro caso específico, de un herbicida. Todo producto agroquímico para ser comercializado debe pasar por tres fases en el proceso de su registro ante el SENASA.

La 1ª fase es la denominada de registro experimental. En esta fase se debe obtener el registro experimental del ingrediente activo y de las formulaciones que se comercializarán del mismo. Para esto se deben presentar ante el SENASA los Protocolos de Ensayos a campo de Eficacia y de Residuos, según normativa de la FAO. Estos protocolos se deben instalar como ensayos experimentales de campo, durante un periodo mínimo de 2 años o ciclos del cultivo anuales y en 3 zonas agroecológicas diferentes. La autoridad requiere el principio activo presentado, las propiedades físico-químicas de la molécula como también la toxicología aguda y sub-crónica de este ingrediente activo.

La 2ª fase se refiere a la inscripción o registro definitivo del ingrediente activo y de sus formulaciones que se quieren comercializar. Esto implica presentar ante el SENASA las propiedades físico-químicas completas del ingrediente activo y de sus formulaciones, por un lado, y por el otro, la toxicología de largo plazo (mínimo de 2 años) del ingrediente activo. También se deberá presentar la toxicología aguda de las formulaciones. Dentro de los denominados "Paquetes toxicológicos", se incluyen los siguientes estudios:

- Carcinogénesis
- Reproducción
- Teratogénesis
- Mutagénesis

Desde el punto de vista ambiental, se requieren por parte de la autoridad, los siguientes estudios:

- Estudios de impacto en aire, suelo y agua.
- Estudios de ecotoxicología del ingrediente activo y de las formulaciones a comercializar, con estudios en aves, peces, abejas y organismos benéficos.

En suelo se solicitan estudios de lixiviación, residualidad y degradabilidad del ingrediente

activo. En aire y agua, se establecen estudios de residualidad, degradabilidad y especialmente de volatilidad del ingrediente activo.

La 3ª y última fase de registro se concreta mediante la presentación de los resultados de los ensayos experimentales de campo y de residuos, solicitados y realizados en la 1ª fase u etapa experimental. Estos protocolos deben ser según normativa de la FAO, presentados y firmados por un profesional ingeniero agrónomo matriculado. Como se describiera anteriormente, los datos a presentar son por cultivo, de ensayos de dos años o ciclos de cultivo anual y provenientes de tres localidades agroecológicas diferentes.

En resumen, mediante este proceso de registro de un herbicida agroquímico, la autoridad oficial garantiza o asegura que el producto fue evaluado y que se ha probado su selectividad en el cultivo y su eficacia en el control de la maleza especificada. Garantiza también que los residuos del herbicida han sido evaluados, estableciéndose en base a estos estudios, un límite máximo admisible de residuo que asegura que, consumiendo dicho cultivo como alimento, no se afectará ni la salud del consumidor ni el medio ambiente. En síntesis, que aplicando el producto bajo las indicaciones y recomendaciones del marbete o etiqueta, el mismo no representará un riesgo para la salud de quien lo aplica, como tampoco al medio ambiente o los animales domésticos.

Normas para el almacenaje, el transporte y la pulverización de herbicidas

Uso responsable de productos fitosanitarios.

Cuando se decide la aplicación de un producto fitosanitario y en especial un herbicida, se deben tener en cuenta una serie de recomendaciones y normas, las que comienzan en el momento de la compra y se prolongan hasta la etapa posterior a la aplicación. El tenerlas en cuenta ayuda a prevenir situaciones que pueden afectar a la salud y al medio ambiente debido a un mal manejo o utilización del fitosanitario.

1- Compra del producto

Es importante planificar con anticipación la compra del herbicida que se utilizará teniendo en cuenta las siguientes variables:

- Que sea el producto recomendado para la(s) maleza(s) a controlar.
- La cantidad de producto que va a ser requerida.
- El momento de la adquisición.

Es fundamental comprar los productos en los distribuidores autorizados u oficiales de las empresas de agroquímicos, lo que garantiza que fueron correctamente almacenados y que se trata de productos originales, aprobados y registrados según legislación local. No obstante, se deben examinar los envases y embalajes, ya que estos deben encontrarse en buen estado, no deteriorado y etiquetado adecuadamente. Antes de comprar cualquier producto es indispensable leer detenidamente la etiqueta, verificando el producto y su uso agronómico, la empresa que lo produjo, las medidas de seguridad en caso de accidentes y la existencia de la banda toxicológica con los pictogramas y frases de seguridad. Sólo se deben comprar envases cerrados. Y todos los productos deben estar aprobados y registrados según la legislación local.

2- Transporte del producto

- Sólo se deben transportar envases cerrados y verificar que no tengan ningún tipo de pérdidas.
- No deben transportarse junto con personas y animales, así como tampoco junto a alimentos, medicamentos y raciones, porque se corre el riesgo de que ocurran contaminaciones cruzadas.
- Los productos no deben llevarse en transportes públicos.
- Se debe evitar colocarlos en la cabina del vehículo.

- Es importante revisar que el compartimiento de cargas del vehículo no tenga clavos o salientes que puedan dañar los envases.
- Se deben sujetar correctamente a los envases
- Se debe llevar siempre la “cartilla de transporte” (es la hoja de seguridad “resumida”)
- Debe circular con luces prendidas y conducir de forma segura.
- Se debe tener mucho cuidado al cargar y descargar los productos transportados evitando golpes y caídas.

3- Almacenamiento del producto

A continuación se describe un resumen de las principales normas y recomendaciones para lograr un correcto almacenamiento en los depósitos destinados para este fin. Para un mayor conocimiento y profundización de este tema, se sugiere consultar el Manual de Almacenamiento seguro de Productos Fitosanitarios, de la Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, CASAFE, 2ª edición 2008. www.casafe.org, casafe@casafe.org, Reconquista 661, 1º Piso Of. A, Tel (011) 4893-7772/3.

- Evitar almacenar los productos junto con semillas, fertilizantes, alimentos, medicamentos de uso veterinario o raciones.
- Es necesario utilizar un lugar cerrado con llave, fuera del alcance de los niños, animales y personas inexpertas.
- Se aconseja un ambiente seco, fresco y ventilado, de piso cubierto e impermeable.
- Debe estar lejos de fuentes de calor y fuego.
- Es muy importante que el depósito no presente filtraciones o goteras.
- En caso de que se produzca un derrame es importante contenerlo en materiales absorbentes como arena, tierra y arcilla.

4- Aplicación del producto

A continuación se hará un resumen de las principales recomendaciones para la aplicación de herbicidas, las cuales se podrán consultar para mayor profundización del tema en la Guía de Productos Fitosanitarios 2011, Tomo 1, página 97-122, de la Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, CASA-FE, Edición 2011. www.casafe.org, casafe@casafe.org. Reconquista 661, 1° Piso Of. A. Tel (011) 4893-7772/3.

Debido a que la mayor cantidad de accidentes se producen durante la aplicación es muy importante tener en cuenta los tres principales períodos de aplicación:

- Antes: en el momento de la preparación de la mezcla y cargado del tanque de la pulverizadora.
- Durante: cuando se aplica el producto sobre el cultivo.
- Después: luego de terminada la aplicación.

Antes de la aplicación del producto

Previo a cualquier tarea, hay que leer íntegramente la etiqueta del producto. Allí está toda la información que lo identifica y también la de la empresa que lo produjo. También se encuentra la información relacionada con su uso agronómico, las medidas de seguridad a adoptar en caso de accidente y la banda toxicológica correspondiente con los pictogramas y las frases de seguridad. Durante la preparación del producto hay que evitar comer, beber o fumar. Esto es válido en la preparación de la mezcla como en la aplicación de la misma. Es necesario mantener alejados a los niños, a las personas ajenas a la tarea y a los animales domésticos del lugar de preparación de mezclas.

Durante la aplicación del producto

Cuando se aplican productos fitosanitarios es importante respetar las medidas de se-

guridad para cuidar la integridad física de las personas. Para ello es necesario usar un equipo de protección personal adecuado al tipo de producto que se va a aplicar y a la forma en que se va a desarrollar la aplicación. Cuanto mayor sea la toxicidad y volatilidad del producto mayores deben ser las medidas de seguridad a adoptar. De igual manera, hay que tomar mayores precauciones cuanto más riesgosa sea la tarea a realizar.

Los elementos de protección personal son:

- Gorra o sombrero.
- Protección visual.
- Camisa de mangas largas.
- Protección inhalatoria (si lo indica la etiqueta).
- Ropa protectora impermeable.
- Guantes.
- Delantal impermeable.
- Pantalones largos.
- Botas.

Para la aplicación de un fitosanitario es importante contar con los elementos adecuados para medir y transvasar el producto. Se debe evitar usar las manos y/o elementos de cocina para mezclar o revolver el caldo de aplicación y dosificar de acuerdo a las recomendaciones de la etiqueta. Otra recomendación clave, es usar un equipo de aplicación adecuado. También es necesario hacer el mantenimiento periódico, reparando las mangueras que presenten fugas de producto para no contaminar a los operarios y al ambiente. Regularlo y usarlo adecuadamente. Es muy importante calibrar la pulverizadora verificando que la dosificación sea la indicada en el marbete del producto y cambiar las pastillas de acuerdo al tipo de principio activo a aplicar y al desgaste que presenten. Con respecto a la aplicación, no debe realizarse con velocidades de viento mayores a 15 km/hora, ya que la deriva provocará que el producto no sea aplicado en el lugar adecuado, pudiendo provocar efectos indeseados

Técnica del Triple lavado

Una vez vaciado todo su contenido, el envase debe ser manejado para que el residuo remanente se minimice independientemente del destino final que deba tener el envase. Si el envase es rígido y lavable deberá someterse al triple lavado. Para ello, se debe usar ropa protectora y agua limpia. La operación se debe realizar de inmediato una vez terminado el contenido del envase, en caso contrario este puede solidificarse y dificultar su remoción con agua. Se debe vaciar el contenido remanente del envase por lo menos 30 segundos en el tanque de la pulverizadora. Luego se debe llenar el envase con no menos del 25% (1/4) de su capacidad total con agua limpia, taparse y sacudirse vigorosamente en todas las direcciones por 30 segundos. Volcar el agua de enjuague en el tanque de mezcla por 30 segundos. De esta manera, se evita una descarga ambiental ya que el agua que se utiliza para el lavado se restituye al tanque de la pulverizadora y vuelve a los cultivos. Este proceso debe repetirse dos veces más para ser efectivo. En caso de intoxicación, lo primero que hay que hacer es leer la etiqueta del producto y rápidamente obtener asistencia médica. Además, hay que llamar al Centro de Consultas Toxicológicas TAS (etiqueta naranja en forma de gota, Tel. 0800-888-8694 ó 341-424-2727, con atención las 24 hs.). Para ello, es necesario llamar al médico local o transportar al afectado a la sala de primeros auxilios más cercana y poner en contacto telefónico al médico local con el especialista del centro de intoxicaciones.

Después de la aplicación del producto

Después de aplicar el producto sugerimos lavar y vaciar completamente la pulverizadora. El agua de este lavado se debe aplicar sobre caminos o áreas no cultivadas. Por último, luego del triple lavado, es aconsejable inutilizar los envases, realizando varias perforaciones en el fondo con un elemento punzante y en ningún otro caso reutilizarlos. Terminado este proceso, es necesario deri-

varlos a los centros de recolección de envases de productos fitosanitarios locales o regionales.

Recomendaciones para la seguridad personal posteriores al proceso del triple lavado.

Lavarse con agua y jabón las manos y la cara. Bañarse una vez finalizadas las tareas. Lavar el equipo de protección individual en forma separada de la ropa común de la familia.

Recomendaciones para la disposición final de los envases

Los envases y embalajes ya inutilizados deben disponerse según las normas municipales. En Argentina, cada provincia tiene su normativa relativa a la sanidad vegetal y control de productos fitosanitarios. Es así como a nivel provincial existe diversa legislación referida a agroquímicos en cuanto a manejo, transporte y disposición de residuos. Si el envase no es rígido y/o tienen residuos deberán depositarse en bolsas o en contenedores adecuados para su manejo, que no superen los 25 kilos de peso bruto cuando estén llenos. Su disposición final será de acuerdo a las normas municipales. Mientras, deberán permanecer aislados como se hace con el envase de cualquier plaguicida.

Resumen

A partir de 1958 se inició en Argentina el registro y fiscalización de todos los productos fitosanitarios (Decreto 3489/58-MAG) incluyendo los herbicidas y comienza el desarrollo e introducción de herbicidas, que en la actualidad son la herramienta más importante de control de malezas en nuestra agricultura. En nuestro país, con más de 30 millones de hectáreas de agricultura, el mercado (año 2010) de fitosanitarios representa alrededor de U\$S 1675 Millones, siendo los herbicidas el segmento más importante (U\$S 960 Millones). Los barbechos químicos y tratamientos de quema previos a la siembra de cultivos, son el segmento herbicida más importante, seguido en orden de importancia, por los cultivos de soja, maíz, girasol, trigo, pasturas, maní, frutales y cultivos industriales. Esto indica la importancia en el uso de herbicidas totales para sistemas de labranza conservacionista o siembra directa. El principal ingrediente activo herbicida es el glifosato, seguido por 2,4 D, metsulfuron, dicamba y atrazina. En los últimos años se observa un claro incremento de biotipos de malezas resistentes a algún modo de acción herbicida, en especial respecto al glifosato y los herbicidas ALS resistentes. En el área de I+D de herbicidas, existe una clara necesidad de desarrollar nuevos ingredientes activos, en especial con novedosos modos de acción para controlar aquellos biotipos de malezas con tolerancia o resistencia a los actuales modos de acción. La tendencia es desarrollar moléculas con favorables propiedades toxicológicas y de bajo impacto ambiental, con lo que se incurre en un importante aumento del costo de I+D, hoy día próximo a los U\$S 250 Millones por activo introducido al mercado. Este incremento de costos en la investigación es consecuencia de la mayor exigencia, número y complejidad de los análisis toxicológicos y de impacto ambiental, lo que marca una tendencia de disminución en el tiempo para la presentación de nuevas patentes de moléculas herbicidas. Cuando se decide la aplicación de un herbicida, se deben tener en cuenta una serie de recomendaciones y normas, las que comienzan en el momento de la compra y se prolongan hasta la etapa posterior a la aplicación. El tenerlas en cuenta ayuda a prevenir situaciones que pueden afectar a la salud y al medio ambiente.

Agradecimientos

- Dr. T. Seitz, BASF S.E Crop Protection, Global Research Herbicides, Limburgerhof , Alemania.
- Ing. Agr. M. Etcheverry, BASF SE Crop Protection, Global Research Herbicides, Limburgerhof, Alemania.
- Dr W.T. Rüegg, Dr. M. Quadranti y Dr. A. Zoschke, Syngenta Crop Protection AG, Suiza.
- Dr. H.G. Brunner y Dr. R. Hauck, Syngenta Crop Protection AG, Suiza.
- Ing. Agr. R. Fernández Pancelli, Gerente Departamento de Registro y Relaciones Institucionales para Protección de cultivos, BASF Argentina S.A.
- Lic. Química M.I.Gatto Bicain, Area de calidad y Seguridad de productos, Protección de cultivos, BASF Argentina S.A.

Schulte M. 2004. Transgene herbizidresistente Kulturen – Rückblicke und Ausblicke nach acht Jahren internationaler Anbaupraxis. Scientific colloquium. In: *Weed Science on the Go* (Eds P. Zwerger & T. Eggers). 102–118. Universität Hohenheim, Stuttgart-Hohenheim, Germany.

Seitz, T. 2011. BASF AP Global Press Conference, Washington.

Zoschke A & Quadranti M. 2002. Integrated weed management – quo vadis? *Weed Biology and Management* 2, 1–10. Herbicide development challenges 275

Bibliografía

- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, CASAFE. 2008. *Manual de Almacenamiento seguro de Productos Fitosanitarios*, 2a edición, 132 p.
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, CASAFE. 2011. *Guía de Productos Fitosanitarios*. Tomo I, 97-122.
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, CASAFE. 2009. *Guía de Productos Fitosanitarios*. Tomo I, 255-257.
- Copping, L. 2003. The evolution of crop protection companies. *Pesticide Outlook* 14, 276–279.
- Leguizamón, E.S. 2004. La evolución de la tecnología de herbicidas en Argentina. En: *Herbicidas, características y fundamentos de su actividad*. J.I. Vitta (Ed.). Pág. 77-83. UNR Editora.
- Powles SB & Preston C. 2006. Evolved glyphosate resistance in plants: biochemical and genetic basis of resistance. *Weed Technology* 20, 282–289.
- Powles SB, Preston C, Brion IB & Jutsum AR. 1997. Herbicide resistance impact and management. *Advances in Agronomy* 58, 57–93.
- Quadranti M & Nevill D. 2004. Weed management in minor crops – a view from chemical industry. Available at <http://iws.ucdavis.edu/IWSC%2004%20Abstracts.htm>
- Rüegg WT, Quadranti M & Zoschke A. 2007. Herbicide research and development: challenges and opportunities

EDITORES

OSVALDO A. FERNÁNDEZ

EDUARDO S. LEGUIZAMÓN

HORACIO A. ACCIARESÍ

MALEZAS E INVASORAS DE LA ARGENTINA

TOMO I: ECOLOGÍA Y MANEJO



MALEZAS E INVASORAS DE LA ARGENTINA

Tomo I
Ecología y manejo

EDITORES

Oswaldo A. Fernández
Eduardo S. Leguizamón
Horacio A. Acciaresi



Malezas e invasoras de la Argentina : ecología y manejo / Osvaldo A. Fernández ... [et.al.] ; edición literaria a cargo de Osvaldo A. Fernández ; Eduardo S. Leguizamón ; Horacio A. Acciaresi. - 1a ed. - Bahía Blanca : Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediuns, 2014. 964 p. ; 28x21 cm.

ISBN 978-987-1907-70-0

1. Ecología. I. Fernández, Osvaldo A. II. Fernández, Osvaldo A., ed. lit. III. Leguizamón, Eduardo, ed. lit. IV. Acciaresi, Horacio A., ed. lit. CDD 577

Fecha de catalogación: 26/02/2014

Imagen de tapa: **Porción de césped - Estudio de mala hierba (1503). Alberto Durero**

La figura que presenta esta Obra como imagen de portada, acreditada bajo la denominación de "Porción de Césped - Estudio de Mala Hierba", es una reproducción de una acuarela sobre velo de 1503 que pertenece a Albrecht Dürer, más conocido en el mundo hispano como Alberto Durero. Indiscutiblemente distinguido en el mundo como uno de los artistas más radiantes del Renacimiento Alemán y de toda la historia del arte, su producción es acabadamente fructífera por sus dibujos, pinturas, grabados y textos teóricos sobre arte. Su talento se cautivó por modelar la naturaleza con devoción y su arte muestra una notable maestría en el trazado de la pintura y una delicada presentación del detalle. Característicamente, en muchas de sus obras sobresale su pasión por la naturaleza, que se plasma en acuarelas de deslumbrante realismo, como es la que aparece en la portada de este libro. Al respecto, vale acotar que la imagen de referencia coexiste como un atractivo especial para todos aquellos que estamos involucrados en los temas de botánica, haciendo que sea inevitable un sentimiento de agradecimiento hacia su autor por la fidelidad de su arte. La acuarela se nos presenta con poco orden y disposición, donde las raíces, tallos y flores de la vegetación parecen estar en oposición entre sí, pero el atento detalle de cada planta da a la pintura un increíble realismo. En la composición de Alberto Durero es dable reconocer especies que pertenecen a los géneros *Stellaria*, *Taraxacum* y *Plantago*, comunes en nuestros ambientes locales y en todo el mundo, frecuentemente calificadas como "malas hierbas" o "malezas". Sin embargo, por encima de todo, subyace en quienes las estudian un sentimiento especial de fascinación por sus "magias" o fenómenos de biología de vida y supervivencia; de allí que, estamos cautivados por el hecho que sean protagonistas inmortalizadas en una obra de tal trascendencia.

Alberto Dudero nació en Nüremberg, Alemania el 21 de mayo de 1471y murió en la misma ciudad en 1528. La acuarela que se exhibe en la portada de esta Obra se encuentra en La Albertina, en el centro de Viena, Austria, que atesora aproximadamente 60.000 dibujos y más de un millón de grabados, desde comienzos del siglo XV hasta la actualidad. Los editores agradecen a Ingrid Kastel la autorización para reproducir como cubierta de esta Obra "Porción de césped" de Albrecht Dürer. Se han depositado los derechos de copyright correspondientes.



Editorial de la Universidad Nacional del Sur

Av. Alem 925 - Tel: 0291-4595173 - 8000 Bahía Blanca
www.ediuns.uns.edu.ar / ediuns@uns.edu.ar



**Red de Editoriales de
Universidades Nacionales**

Los autores han construido los contenidos de los Capítulos que se ofrecen en esta Obra, observando los procedimientos habituales y aplicando el rigor que caracteriza a una publicación científico-técnica. Además, están basados en el conocimiento y en la experiencia personal. Sin embargo, queda explícitamente establecido que la Editorial, los editores y los autores, no asumen ningún tipo de responsabilidad en relación con los efectos que podrían derivarse de la aplicación de las recomendaciones contenidas en esta Obra, en cualquier organismo o en el ambiente, tanto en la actualidad como en el futuro.

Diagramación interior y tapa: Fabián Luzi

No se permite la reproducción parcial o total, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446.

LIBRO UNIVERSITARIO ARGENTINO

Queda hecho el depósito que establece la ley 11.723

Bahía Blanca, Argentina, marzo de 2014

©2014 Ediuns

Capítulo XXX

Manejo Integrado de Malezas (MIM)

Oswaldo N. Fernández^a
Eduardo S. Leguizamón^{b*}
Horacio A. Acciaresi^c
Oswaldo A. Fernández^d

^a Departamento de Producción Vegetal, Suelo e Ingeniería Rural, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, (2620), Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

^b Departamento de Sistemas de Producción Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, (S2125ZAA). Zavalla, Santa Fe, Argentina.

^c Cátedra de Cereales. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. (1900). La Plata, Buenos Aires, Argentina.

^d Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS) y Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida UNS-CONICET (8000). Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

* Correo electrónico: esleguizamom1946@gmail.com

Sinopsis previa

- La aplicación de los conocimientos que ofrece la biología y ecología de poblaciones de malezas en el marco de sistemas de producción de cultivos, es de fundamental importancia para el desarrollo exitoso de un programa de Manejo Integrado de Malezas (MIM).
- Un programa de MIM significa un cambio de enfoque en la actitud y en la definición de las estrategias y tácticas útiles para el abordaje del problema de malezas. Es mucho más amplio del que surgiría de sólo cambiar métodos para eliminarlas o de descartar el uso de herbicidas, pues trata de combinar todas las estrategias (y sus tácticas relacionadas) que permitan sinergizar el enfoque de intensificación eco-funcional, aplicado a la ingeniería de agroecosistemas a escala de lote, de predio y de paisaje.
- Cuatro estrategias, que se correlacionan con los principales procesos ecológicos que determinan la invasión, la competencia y la persistencia de malezas, agrupan más de una veintena de tácticas aplicables a una variedad de sistemas de producción:
 - 1) La prevención de invasiones,
 - 2) El diseño de agroecosistemas con mayor resistencia a las invasiones y a los ajustes adaptativos de las poblaciones de malezas,
 - 3) El aumento de la eficiencia de los herbicidas y
 - 4) La sustitución y/o combinación sinérgica de herbicidas con métodos alternativos / complementarios.
- Paradoja de Séneca (4aC-65dC): *“No es porque las cosas sean complicadas que no nos atrevemos a cambiarlas, sino todo lo contrario”*. La cita se aplica a algunos de los prejuicios o temores frecuentes que surgen cuando se argumenta acerca de las dificultades para el diseño y la adopción de prácticas de MIM.

Introducción

La elevada eficacia de los herbicidas permite en promedio global, evitar aproximadamente un 70% de pérdidas de rendimiento potencial. No obstante y a pesar del sostenido aumento en el uso de herbicidas (FAO, 2012), las malezas continúan siendo el principal factor biológico de pérdida de cosechas de la mayoría de los cultivos (Oerke y Dehne, 2004). La creciente intensidad de uso de herbicidas está asociada a la expansión de cultivos resistentes a los mismos en las principales regiones agrícolas del mundo. Según Madsen y Streibig (2004), existen dos posibles razones para dicha asociación: por una parte, los cultivos resistentes a herbicidas permiten que los productores aumenten las aplicaciones y dosis sin preocuparse por la fitotoxicidad de los herbicidas sobre los mismos; la otra, es el aumento de malezas y de plantas voluntarias (“guachas”) de cultivos resistentes a herbicidas, en respuesta a lo cual se aumentan dosis o mezclas de herbicidas con diferentes modo de acción, para mantener un nivel aceptable de control. A este panorama se agrega la mayor demanda de herbicidas que plantea la evolución de resistencia múltiple, como es el caso paradigmático de *Lolium rigidum* en Australia (Pannell y otros, 2004), y que actualmente afecta a 43 especies de un total de 211 con biotipos (393) resistentes (Figura 1; Heap 2012).

Ya en los '50 Harper (1956) advertía sobre las consecuencias de la intensa presión de selección ejercida por los herbicidas sobre poblaciones de malezas con elevado potencial reproductivo. La pérdida de opciones de control debido a la ineficacia de determinado modo de acción herbicida, representa en sí mismo un nuevo y complejo problema para la economía de los productores y para la viabilidad de la producción agropecuaria insu-mo-intensiva (Norsworthy y otros, 2012), una visión que fue anticipada para los sistemas extensivos de la Argentina en los inicios de la década del 2000 (Leguizamón, et. al, 2000). Paradójicamente, las nuevas aproximaciones tecnológicas implican incrementar no sólo la dependencia de herbicidas con diferentes

modos de acción sino además de las semillas de cultivos resistentes a los mismos (ej. variedades de soja, maíz, algodón, girasol, colza, arroz y sorgo con resistencia/tolerancia a imidazolinonas, glufosinato, Dicamba, 2-4-D, inhibidores de ALS y de ACCAsa, Bromoxinil, Triazina y HPPD, la mayoría además con resistencia a glifosato).

Mortensen y colaboradores (2012) describen esta creciente dependencia y exceso de confianza en nuevas soluciones sólo químicas como “encrucijada tecnológica” para el manejo sustentable de malezas. Por otra parte, si bien los herbicidas en general se agrupan entre los plaguicidas menos tóxicos según la OMS (Clase de Riesgo Toxicológico IV), no son inocuos, lo cual obliga a crecientes inversiones por parte de la industria y de organismos del estado para determinar los riesgos para la salud humana y el ambiente en diversos ecosistemas del mundo. De todos modos, es imposible probar la seguridad o medir los riesgos en todos los escenarios imaginables en que se puedan emplear los plaguicidas (Whitford y otros, 2012), ya que mientras su carga en el ecosistema supere la capacidad de degradación física, química y/o biológica del mismo, su acumulación será

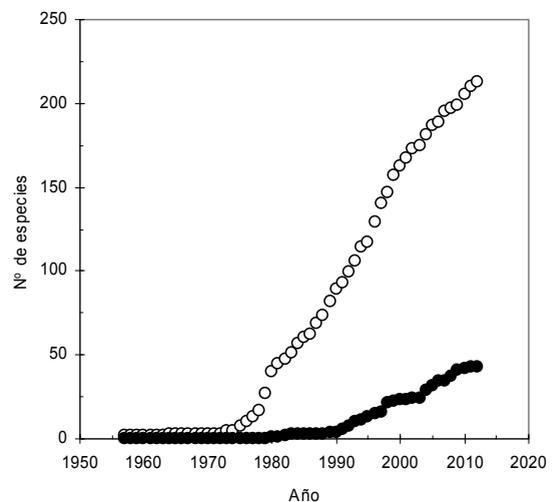


Figura 1: Evolución del número de especies de malezas con resistencia a herbicidas (círculos vacíos), luego de los dos primeros casos reportados en 1957 (*Commelina diffusa* en Hawái, EEUU y *Daucus carota* en Ontario, Canadá, resistentes a auxinas sintéticas) y número de especies con resistencia múltiple (círculos llenos) desde el primer caso reportado en Alemania para *Amaranthus retroflexus* resistente a ureas y amidas y a inhibidores del fotosistema II, en 1980.

inevitable y la superación de umbrales críticos para la salud y el ambiente, cuestión de tiempo (Kjær y otros, 2005; Arias Estévez y otros, 2008).

La Caja Conceptual N°1, contiene una versión resumida de la presentación realizada por uno de los autores de este Capítulo (OAF) en el XIV Congreso Brasileiro de Herbicidas y Malezas y VI Congreso Latinoamericano de Malezas, celebrado en Campinas (San Pablo) en 1982. De su lectura se podrá dimensionar la visión de su autor, realizada hace más de 30 años: tanto la descripción de la situación como el marco conceptual que se ofrece, tienen absoluta vigencia¹.

Una estrategia efectiva de manejo de malezas a largo plazo está esencialmente basada en la aplicación práctica del concepto ecológico de diversificación del disturbio, la potenciación de los procesos que controlan el tamaño poblacional de las plantas espontáneas y simultáneamente la maximización del aprovechamiento de los recursos por parte de la especie cultivada. Todo ello se traduce en una diversificación tanto de cultivos como de prácticas culturales tanto como sea posible, en el marco de las limitaciones impuestas por un agroecosistema (Liebman y Davis, 2000).

Lo que debe quedar absolutamente claro es que no se trata de sólo cambiar métodos para eliminar malezas ni tampoco descartar a los herbicidas, sino de un cambio de enfoque en la definición y el abordaje del problema. Cambiar el concepto de control por el de manejo de malezas, implica poner en práctica en forma paulatina un programa de Manejo Integrado de Malezas (MIM) en el agroecosistema en donde se desempeña el profesional. Mientras que el concepto de control se focaliza en eliminar o reducir la abundancia de malezas como “causa” de pérdidas de cosechas, el de manejo reconoce a las mismas como “consecuencia” de disfunciones del agroecosistema que se intentan comprender.

¹ A excepción del ítem relacionado con la tendencia del costo de los herbicidas.

En la parte final del Capítulo, se resumen los posibles factores que condicionan el desarrollo y adopción de prácticas de manejo tendientes a la implementación del MIM y se proponen cambios que debieran darse para diseñar las prioridades y los enfoques de enseñanza, la I+D y la extensión bajo este nuevo paradigma, así como para el involucramiento de los protagonistas y principales beneficiarios de dichos cambios: productores, gestores y asesores agrónomos y financieros.

Marcos conceptuales y estrategias concretas para la implementación de un Manejo Integrado de Malezas (MIM)

Como se ha planteado en la Introducción y desde el punto de vista conceptual, mientras que las tácticas predominantes en el paradigma tecnocéntrico de control son “reactivas-curativas” (reducción de poblaciones infectantes para evitar o minimizar pérdidas económicas), las definidas con el enfoque ecosistémico de manejo, enfatizan las “preventivas y proactivas”, actuando principalmente sobre las causas que determinan la abundancia y el daño producido por las malezas. Este cambio de paradigma conceptual significa un verdadero diseño del sistema de producción y el análisis de todos sus componentes y relaciones en el marco del agroecosistema regional, al contrario de lo que ha venido ocurriendo durante las últimas décadas, en las que ha sido prevalente el mensaje de la simplificación de los sistemas de producción, contruidos sobre la base del uso de tecnologías “envasadas”, de uso masivo y simple² y que indudable-

² Un caso paradigmático de este enfoque, claramente erróneo, fue el de la difusión de cultivares de soja resistentes a glifosato a mediados de la década de 1990, con un mensaje del tipo de la siguiente: “en malezas, la solución simple y sencilla: Round-up”. El paradigma de la simplicidad y sencillez estaba fundamentado en los claros y contundentes efectos del glifosato, sus características agronómicas y ambientales y su bajo costo, que produjeron la sensación de que el problema de las malezas de los cultivos dejaría de ser tal. Así, todos los conceptos anteriormente difundidos y utilizados, que promovían que el uso de la tecnologías de aplicación y de recomendación de uso de herbicidas debían estar basadas en el reconocimiento de malezas en estadios de plántula y el diseño de diferentes

mente ha permitido aumentar la escala de superficies cultivadas a niveles impensados pocos años atrás, especialmente en relación con los cultivos extensivos.

A este panorama, se agrega otro elemento que ha potenciado la situación actual: la existencia de normativas legales y/o formatos de contratos que permiten arrendamientos de campos por periodos muy breves y la simultánea irrupción de grupos financieros que invierten en la producción agropecuaria con el único fin de maximizar la ecuación económica anual, con una visión muy limitada de sus implicancias en el ecosistema en el mediano y largo plazo.

La situación descripta no sólo es patrimonio de Argentina, ya que como recientemente se analiza para el caso de los agroecosistemas del cinturón maicero norteamericano, si bien los beneficios de largo plazo que surgen de la aplicación de programas de manejo integrados son ciertos, muchos productores focalizan sus acciones en la obtención de beneficios del corto plazo: a nivel del país (USDA-NASS, 2007), el 38 % de la tierra bajo cultivo está operada por arrendatarios (una proporción que asciende al 50 % en regiones del medio-oeste y Mississippi), quienes aplican criterios bastante diferentes de los que suelen utilizar en sus propios establecimientos, focalizando sus acciones sólo en los retornos del cultivo actual y sin tener demasiada consideración acerca de sus efectos en el largo plazo, porque la probabilidad de tener a su cargo el mismo predio al año subsiguiente es baja. Tampoco funcionan claramente las restricciones impuestas por el dueño de la tierra sobre el arrendatario, en relación con las rotaciones que deben realizarse (Soule y otros, 2000).

alternativas, asociadas al monitoreo y la revisión de campos y la comprobación de eficacias de los tratamientos herbicidas, se abandonó. Casi por una década, la agenda de "Malezas y su control" desapareció de la oferta de capacitación, de los temarios de reuniones técnicas y de la agenda de actividades de Ingenieros Agrónomos, asesores y de productores. Las primeras evidencias de este enfoque reduccionista se insinuaron hacia mediados de la década del 1990, al documentarse cambios en la composición de poblaciones y comunidades de malezas, luego aparición de malezas tolerantes y en los últimos años, de biotipos resistentes.

La implementación progresiva de un MIM, debe contemplar, como objetivos estratégicos:

- 1) la prevención de invasiones,
- 2) el diseño y manejo de agroecosistemas que aumenten la resistencia a las invasiones, la tolerancia a la competencia y la capacidad supresora de los cultivos (Nazarko y otros, 2005), además de evitar los ajustes adaptativos al sistema productivo por parte de las comunidades y poblaciones de malezas (Möhler y otros, 2001).
- 3) el aumento de la eficiencia de uso de los herbicidas, tendiendo a un aumento de eficacia y/o una reducción de las cantidades empleadas;
- 4) la sustitución y/o combinaciones sinérgicas con métodos alternativos/complementarios a los herbicidas.

Para lograr este propósito se requieren, además de tácticas preventivas que reduzcan a mediano y largo plazo la abundancia de malezas y eviten su ajuste adaptativo a condiciones particulares de un sistema productivo, aquellas otras orientadas a reforzar progresivamente la resistencia a las invasiones y la tolerancia y la capacidad competitiva de los cultivos frente a las malezas (agroecosistemas biológicamente "robustos", *sensu* van Acker y otros, 2001; Buhler, 2002). En el diagrama de la Figura 2 el vector horizontal que apunta a reducir la abundancia y la distribución espacial y temporal (ej. banco de propágulos) corresponde a los objetivos 1 y 2, y el vector vertical, a los objetivos 3 y 4 que combinan diferentes tácticas para controlar el balance competitivo de las malezas con los cultivos y, como resultado, reducir pérdidas de rendimiento. Los procesos ecológicos que definen cada uno de esos vectores no actúan en forma independiente sino que pueden complementarse, potenciando sus efectos sobre causas y consecuencias, simultáneamente (Anderson, 2011). Estas posibles sinergias fundamentan el enfoque de la "intensificación ecofuncional" aplicado a la ingeniería de agroecosistemas a escalas de lote, predio y paisaje para el manejo sustentable de plagas (Langer, 2012; Ni-

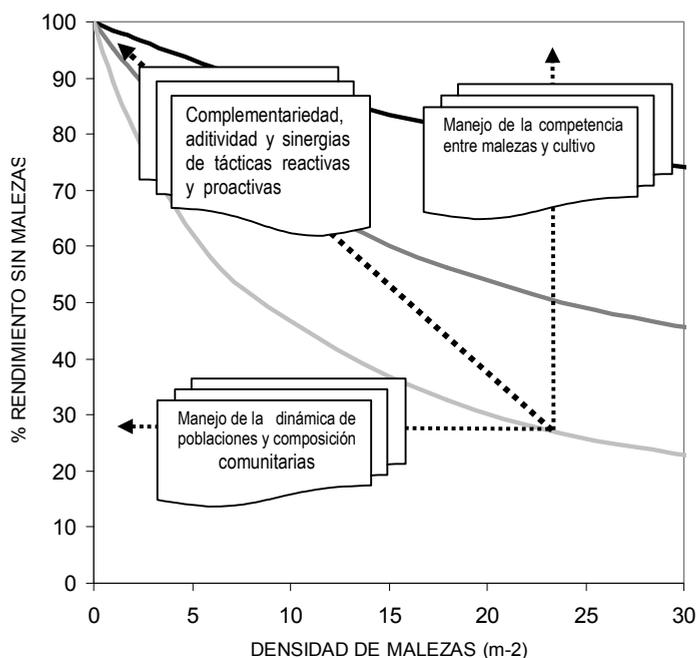


Figura 2: Modelo conceptual de integración de tácticas proactivas orientadas a la reducción progresiva de las poblaciones, particularmente de las más perjudiciales entre las presentes en la comunidad (paralela al eje X y con sentido contrario al aumento de la abundancia de malezas) y a inclinar el balance competitivo a favor de los cultivos, aumentando su tolerancia a la competencia y su capacidad supresora del crecimiento y reproducción de las malezas. El conjunto de prácticas agronómicas que puedan emplearse con esos objetivos se coordina en tiempo y espacio a fin de lograr interacciones positivas o sinergias en sus efectos, indicado en la figura por el vector (línea punteada mas gruesa), resultante de la aplicación de ambos tipos de tácticas. Si bien el modelo se describe superpuesto a la relación estática y determinista entre rendimiento del cultivo y la densidad de malezas, la elección, planificación, ejecución y evaluación de las prácticas de manejo corresponden a un proceso adaptativo y por lo tanto dinámico de toma de decisión.

ggli, 2012), que define los dos ejes alrededor de los cuales se diseñan los programas de manejo integrado de malezas (MIM) y que no difieren conceptualmente de los del manejo integrado de otras plagas (Fig. 2).

En la Tabla I se listan e ilustran los principales procesos ecológicos que ocurren en una población vegetal, separados en niveles: 1,2 y 3 tienen directa relación con el reclutamiento de individuos, la interacción, la fecundidad y la dispersión, mientras que 4 y 5, tienen relación con los procesos de adaptación-selección que ocurren en un agroecosistema en particular.

Tácticas reactivas-curativas y proactivas-preventivas

Las estrategias reactivas apuntan a disminuir los daños a los cultivos, eliminando las

malezas cuando su abundancia supera cierto umbral. La proactividad se refiere a definir objetivos y seleccionar y aplicar tácticas en base a la anticipación de los problemas: el comportamiento proactivo se focaliza en el conocimiento de las causas y los factores y mecanismos determinantes de los resultados del proceso que se pretende manejar, antes que a reaccionar frente a estos resultados en forma correctiva (táctica reactiva).

Así, las tácticas proactivas-preventivas tienen el objetivo estratégico de reducir la necesidad de recurrir a tácticas reactivas a través del manejo de los agroecosistemas. Las cuatro estrategias detalladas en la Tabla II pueden llevarse a cabo utilizando una veintena de Tácticas (o una combinación de ellas) que se describen en detalle en éste y otros capítulos relacionados, con ejemplos de aplicación concretos. Las mismas son aplicables a distintas dimensiones y tipos de sistemas

Tabla 1. Principales procesos ecológicos espacio-temporales que se observan en una población de malezas según la escala espacio-temporal (Figs 3a y b).

Procesos ecológicos en una población vegetal: los correspondientes a los niveles 1, 2 y 3 ocurren en una escala espacio-temporal reducida (Figura 3a) y los correspondientes a los niveles 4 y 5, en una escala más amplia (Figura 3b) con detalle del banco de semillas.

Figuras a) variables de estado de una población de malezas (Harper, 1977) -banco, plántulas, adultos, semillas- durante el ciclo de un cultivo y b) durante una secuencia de cultivos y su barbechos, con las operaciones comunes en el cultivo (Mortimer, 1996). En ambos esquemas se señalan algunos procesos que determinan el tamaño (según la lista de procesos de la tabla 1)

Nivel	Ubicación de procesos principales
1	Banco de propágulos del suelo.
1.1.	Desbloqueo, germinación, nacimientos.
1.2.	Decaimiento, muerte.
1.3.	Predación.
1.4.	Aportes.
2	Población emergida.
2.1.	Regulación de la emergencia de plántulas.
2.2.	Mortalidad de plántulas / juveniles / adultos (interacciones).
2.3.	Regulación de biomasa de juveniles / adultos (interacciones).
2.4.	Regulación de la fecundidad (= interacciones).
3	Descendencia.
3.1.	Dispersión primaria ("lluvia de semillas").
3.2.	Redispersión.
4	Invasión.
4.1	Introducción.
4.2	Colonización.
5	Adaptación / Selección de especies.
5.1.	Selección de naturalizadas, existentes en el área / campo.
5.2.	Selección de colonizadoras, preadaptadas en bordes ("tolerantes") a cambios en el sistema.
5.3.	Selección de biotipos de especies naturalizadas ("resistentes") a la presión de selección del sistema.

Figura 3a

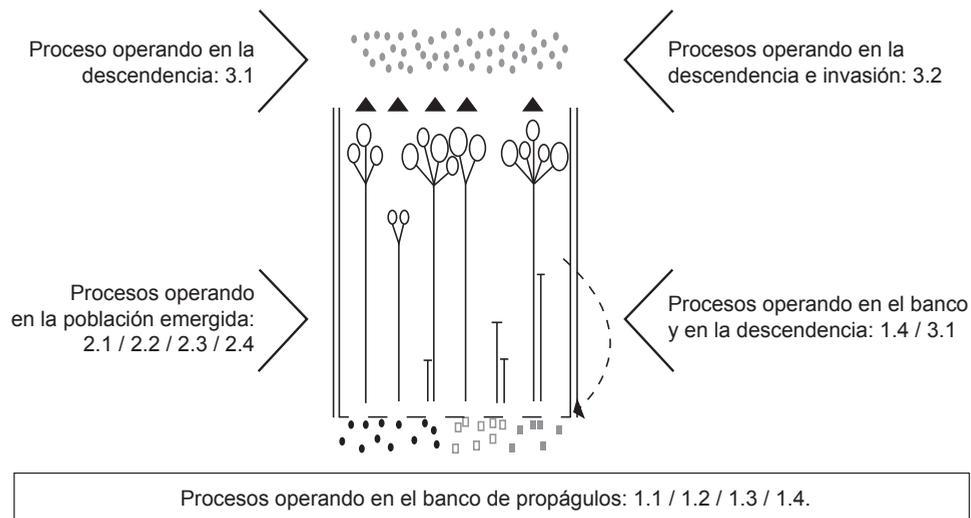


Figura 3b

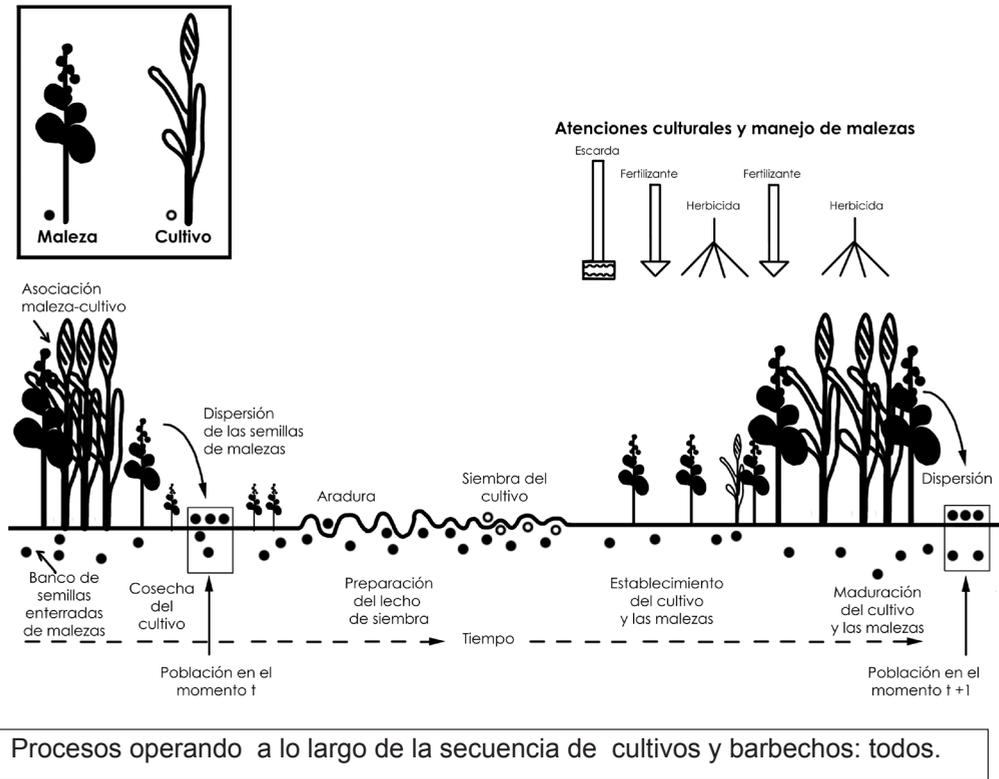


Tabla 2. Estrategias, grupo de tácticas, tipo (reactiva o proactiva) y proceso ecológico vinculado (listados en la Tabla 1).

Estrategias	Número y denominación o propósito de la Táctica.	Tipo	Proceso
1. Prevención de las invasiones.	1.1 Prevención y detección de nuevos problemas. Manejo de márgenes.	P	4.1/5.1/5.2
	1.2 Siembra de semilla sin malezas.	P	2.2/2.3
	1.3 Bloqueo de dispersión secundaria.	P	3.2
	1.4 Relevamientos: detección de invasiones, eficacias, "escapes", tolerancias y resistencias.	P	5.1/5.3
2. Agroecosistemas con mayor resistencia a las invasiones y a los ajustes adaptativos de las poblaciones de malezas.	2.1 Cultivos de cobertura en barbechos y cultivos.	P	1.1/2.1
	2.2 Optimización del uso de herbicidas en barbechos.	P	2.1/2.2
	2.3 Diversificación de uso del suelo: I: rotaciones/ secuencias de cultivos.	P	1.1/1.2/2.1/2.2/2.4
	2.4 Diversificación de uso del suelo:II: cultivos en franjas / policultivos.	P	1.1/1.2/2.1/2.2/2.4
	2.5 Promoción de la destrucción y predación de semillas en el banco superficial.	P	1.3/2.1

3. Aumento de eficiencia de los herbicidas.	3.1	¿Pulverizar o no? (Pérdidas, Umbrales, Bloqueo de fecundidad).	P	2.2
	3.2	¿Cuándo pulverizar? (Periodo crítico, Umbrales, Bloqueo de Fecundidad).	P	2.2/2.4
	3.3	Elección de principios activos (Modo de acción / forma aplicación).	R	2.2/5.3
	3.4	Optimización I: ¿Dónde pulverizar? (Superficie total / Banda / Manchones).	P	2.2/4.2/5.1
	3.5	Optimización II: Dosis / Modificadores del pulverizado.	R	2.2/5.2/5.3
	3.6	Optimización III: Predicciones de emergencia y tamaño de plántulas o vástagos.	P	2.2/2.3/2.4
4. Sustitución y/o combinación sinérgica de herbicidas con métodos alternativos y/o complementarios. Optimización de la captura de recursos por el cultivo.	4.1	Control con métodos físicos y mecánicos.	R	1.1/1.2/2.2/2.3/2.4
	4.2	Pastoreo/Silaje/Henolaje.	R	2.2/2.4
	4.3	Métodos biológicos.	P	2.2/2.3/2.4
	4.4	Bioherbicidas.	P	2.2/2.3/2.4
	4.5	Aleloquímicos y bacterias alelopáticas.	P	2.2/2.3/2.4
	4.6	Optimización de captura de recursos por el cultivo.	P	2.2/2.3/2.4
	4.7	Manejo de la fertilización.	R	2.2/2.3
	4.8	Manejo del riego.	P	2.2/2.3

de producción, tanto intensivos como extensivos, agrícolas o agrícola-ganaderos. Nótese que el 90 % de las mismas son proactivas.

1.1. Prevención: detección de nuevos problemas y manejo de márgenes

El proverbio “mejor prevenir que curar” también aplica a la reducción de prácticas terapéuticas y entre éstas a las que sólo recurren al uso de herbicidas ante nuevos problemas de malezas. La ocurrencia de nuevos problemas de malezas está a veces asociada a la invasión de especies exóticas o la expansión poblacional de biotipos resistentes de las ya presentes en el “pool” local, a menudo en los márgenes. En ambos casos éstas pueden adquirir dominancia en la comunidad de malezas, bajo el régimen de uso actual del suelo. Con frecuencia, los nuevos problemas de-

rivan de cambios en la estructura comunitaria de las malezas ya presentes en el sistema, como consecuencia de la selección ejercida por prácticas agrícolas sobre especies y biotipos, ya que la recurrencia de labores asociadas a un sistema de producción, incluyendo las dirigidas al control de malezas, opera como matriz selectiva sobre la estructura de esa comunidad (Smith, 2006; Smith y Gross 2006; Gluglielmini y otros, 2007).

Si bien la composición del banco de semillas puede incluir a 40 ó 50 especies, en la mayoría de los cultivos, las pérdidas de cosechas se explican por la abundancia de unas pocas dominantes y así como pueden caracterizarse comunidades asociadas a cada uno de los cultivos predominantes en una región, en cada una de esas comunidades se puede reconocer una marcada jerarquía de dominancia. Esta jerarquización es resultante de

las interacciones de características de la estrategia adaptativa de cada especie, los sistemas de labranzas y los métodos de control empleados con más frecuencia. De manera que es posible identificar “especies clave” en términos del daño producido y de las dificultades para manejar su dinámica poblacional, contener su expansión y mantener su densidad a niveles tolerables para cada cultivo (ej. *Avena sp.* y *Lolium sp.*, en cereales de invierno; *Anoda sp.*, en soja; *Sorghum sp.* y *Cynodon sp.*, en maíz; *Tagetes sp.*, *Amaranthus sp.*, y *Chenopodium sp.* en girasol, etc.). Tanto desde la perspectiva de comprender el proceso de cambio de los ensambles de especies que caracterizan a la comunidad como desde la de poder anticiparlos mismos en relación con determinada práctica agronómica, resulta más consistente y generalizable un abordaje funcional que florístico. Esto último implica reconocer que las prácticas agronómicas (especies cultivadas, sistemas de labranzas, rotaciones, fertilizaciones, métodos terapéuticos, etc.) en interacción con factores bióticos y abióticos del ambiente local representan “tamices o filtros” selectivos de atributos adaptativos que pueden ser compartidos por dos o más especies de malezas. De esta manera, cuando hablamos del ensamble comunitario asociado a un agroecosistema, no sólo nos referimos al listado florístico y a la frecuencia relativa de cada especie, sino también a los atributos característicos de “grupos funcionales de malezas”. Y la caracterización del “perfil funcional” puede ser más útil para anticipar las respuestas a determinadas prácticas, con prescindencia de la flora local de malezas la que tiene importancia a la hora de dirimir la táctica de control a ser utilizada en cada cultivo o ciclo de cultivos (Smith y otros, 2010; Ryan y otros, 2010; Navas, 2012). Por ejemplo, cuando Fried y otros, (2009) analizan los cambios ocurridos durante 30 años (1970-2000) en el perfil funcional de la comunidad de malezas asociada al cultivo de girasol, concluyeron que la flora de malezas se fue especializando mediante el aumento de grupos funcionales “miméticos” con el cultivo, es decir aumento de especies con atributos tales como nitrofilia, heliofilia, de ciclo

primavero-estival corto y, por supuesto, tolerancia a los herbicidas empleados durante ese período. En la Argentina, Puricelli y Tuesca (2005) describieron cambios asociados al uso de glifosato en monocultivos de soja y en secuencias de este cultivo con trigo o con maíz, observando aumento de especies anuales de emergencia tardía y reducción de las de emergencia temprana, lo cual fue explicado principalmente por la susceptibilidad a dicho herbicida y la posibilidad de escapar a su efecto letal, antes que a otras variables del sistema productivo tales como el sistema de labranza y la secuencia de cultivos.

Las malezas que medran en hábitats no afectados por la actividad agropecuaria, como es el caso de las comunidades vegetales espontáneas de márgenes, banquinas de rutas, bordes de cursos de agua ó vías férreas, pueden servir como corredor de la introducción y movimiento de invasoras o malezas perennes muy agresivas, situación que se observaba con gran frecuencia en la región pampeana en la década del 1960 y 70 (Fig. 4b), contribuyendo a modificar la situación del banco de semillas del suelo de la zona cultivada y provocando serios problemas en la productividad del cultivo. También es ya conocido que muchas de las especies que conforman la comunidad vegetal de bordes y márgenes, a menudo suelen tener poca importancia desde el punto de vista de su comportamiento como invasoras o malezas en el campo lindante cultivado, pero pueden cumplir un gran papel en el ecosistema (melíferas, provisión de refugio, base de la pirámide alimentaria de predadores y benéficos, etc, Fig. 4a) (Amplíese en Capítulo respectivo). En este sentido, Noordijk y otros, (2011), concluyeron que la técnica de convertir en heno, posterior a un control mecánico a la región del margen, es la mejor táctica para prevenir los aportes de semilla y es más efectiva que sembrar especies nativas o naturalizadas o bien tapices con gramíneas perennes no invasoras. Obviamente el manejo actual, fuertemente arraigado en la cuestión cosmética y que suele consistir en el uso indiscriminado de herbicidas, muchos de los cuales suelen ser el “residuo” de las aplicaciones en el cultivo alledaño,

está bastante alejada de un manejo racional de bordes, todo ello sin considerar la presión de selección a resistencia de herbicidas (Fig. 4c). La densidad, diversidad y fecundidad de las plantas silvestres son generalmente más elevadas en bordes y márgenes y decrecen al aumentar la distancia a la zona de cultivos (Marshall, 1989). Especialmente en Europa, las investigaciones tendientes al manejo y conservación de la vegetación de bordes han merecido gran atención, principalmente como una oportunidad para preservar la biodiversidad (Marshall 1989; Noordijk y otros, 2011) y servicios ecosistémicos relacionados a la misma, incluyendo valores culturales y recreativos (Véanse Capítulos relacionados).

Modelos de simulación muestran que las especies con alto potencial de dispersión localizadas en los bordes tienen mayor potencial de afectar a los rendimientos del cultivo en el campo aledaño en comparación con especies de bajo potencial de dispersión (Maxwell y Ghera, 1992). La siembra de márgenes con especies seleccionadas, con mayor agresividad y adaptación, que pueden ser manejadas con diversas tácticas (mecánicas o químicas), aparece como una opción razonable, aunque al menos en la Argentina –al revés que en países europeos como Inglaterra (Defra, 2012)– el conocimiento disponible es aún muy limitado.

Mientras la investigación avanza, lo más sensato es manejar la comunidad de malezas de

los bordes en función de relevamientos sistemáticos, realizados al menos dos veces por año, de manera que permitan detectar a las especies de gran potencial invasor y/o peligrosidad para el cultivo y aplicar en ellas tácticas mecánicas o químicas que impidan la formación y/o dispersión de sus semillas y el consecuente aumento de sus poblaciones en los individuos aislados, pero obviando las pulverizaciones masivas-preventivas sobre toda la comunidad vegetal de los bordes.

La aparición de los “problemas” de *Commelina virginica* y *Parietaria debilis* hace más de una década en los campos cultivados de la región pampeana central, son dos casos paradigmáticos de invasiones por especies preadaptadas, ya presentes como colonizadoras en bordes y márgenes. Siendo tolerantes al glifosato, estas especies invadieron (y continúan haciéndolo) cultivos de soja y maíz, constituyendo el primer indicio de las consecuencias del uso indiscriminado, intensivo y continuo de un único herbicida-glifosato- por varios años. El relevamiento y control de estas especies en forma temprana que se encontraban sólo en parte de los márgenes, hubiera anticipado claramente la solución al problema ya que el manejo de estas especies dentro del campo invadido, es mucho más difícil y costoso (Figura 5). Nuevas especies con gran potencial invasor y muy tolerantes a glifosato aparecen en el escenario próximo, tales los casos de *Sphaeralcea bonariensis*, *Gomphrena perennis* ó *Oenothera spp.*, entre otras.



Figura 4a: Borde de campo cultivado con trigo en Inglaterra, con una comunidad natural, no invasora, no tratada (2005).



Figura 4b: Banquina de una ruta (Santa Fe), totalmente invadida por *Sorghum halepense* (1978) INTA, Plan Piloto Salto.



Figura 4c: Borde de una ruta (Santa Fe) dominado por *Cynodon dactylon*. Tanto el campo, como su borde han sido tratados con glifosato (2005).

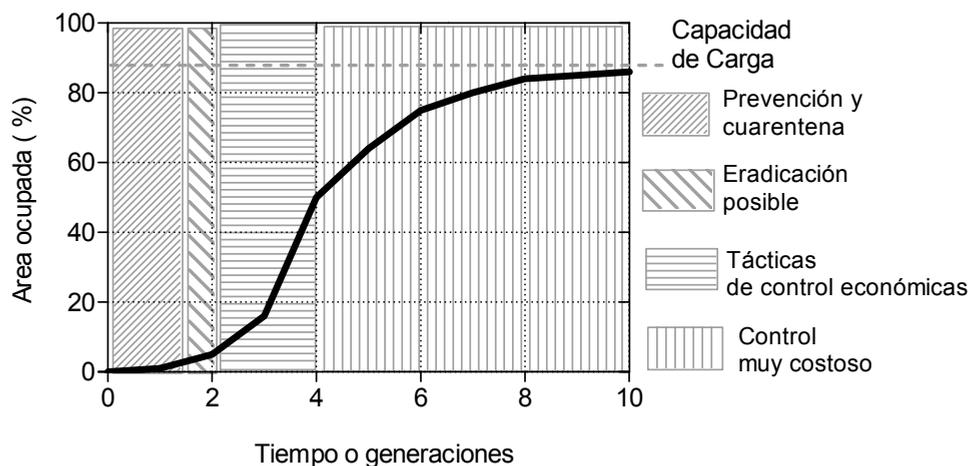


Figura 5. La función que describe la velocidad de ocupación del espacio por una invasora no es lineal. Las acciones de prevención y monitoreo para decidir una táctica de manejo deben realizarse en forma sistemática, tanto en los bordes como dentro del campo en etapas tempranas, cuando el área ocupada es muy baja. Se debe actuar con premura y eficacia durante la etapa exponencial, porque cuando la población alcanza su capacidad de carga, su control es casi imposible y/o muy costoso.

1.2. Siembra de semilla sin malezas (y otras acciones para evitar el ingreso de malezas al campo)

La dinámica espacial multi-escala de las invasiones biológicas exige implementar procedimientos de aplicación colectiva, tanto a escalas locales y regionales, como nacionales (ej. barreras sanitarias nacionales e internacionales). En este sentido, debe señalarse que las normas que obligan a los productores y a las autoridades locales a controlar las especies declaradas “Plagas de la Agricultura” (Ley 6704/63), suelen ser insuficientes e ineficaces para impedir las migraciones de las mismas y de otras especies no incluidas en dicha categoría legal, ya que la falta de conocimientos y a veces de medios tecnológicos apropiados para el monitoreo y manejo, el régimen de tenencia y uso de las tierras agrícolas y la carencia de estímulos o sanciones correspondientes, aparecen como restricciones frecuentes en la prevención de introducciones.

A pesar de lo expuesto, cada productor puede sin embargo extremar medidas profilácticas, empleando semillas certificadas, utilizando maquinarias y herramientas limpias, evitando el tránsito de ganado desde otros establecimiento o lotes infectados, etc. en su propio establecimiento, ya que el movimiento potencial de propágulos entre un campo

y otro, puede conducir a la introducción de nuevas especies –incluso resistentes– en áreas donde la especie no estaba presente. Este “transporte” no intencionado puede ocurrir bajo distintas vías y no sólo de semillas sino también de propágulos vegetativos: en residuos de cosechas, enmiendas orgánicas, paja y otros productos vegetales utilizados para mejorar la fertilidad del suelo o como “mulch” o cobertura en sistemas intensivos u orgánicos. Por todo lo expuesto, esta vía adicional de ingreso no debe soslayarse.

1.3. Bloqueo de dispersión secundaria

La dispersión secundaria constituye uno de los factores de gran peso en el aumento del área ocupada por una especie. Este aspecto ha sido motivo de preocupación desde mediados del siglo pasado en EEUU, al relevarse la difusión de malezas por ejemplo a través del transporte ferroviario o en las áreas de vías, instalaciones ferroviarias o bordes de caminos (Bagavathiannan, M. V, y J. K. Norsworthy. 2013).

En los últimos años, también resultan muy ilustrativos los estudios realizados para modelizar la dispersión secundaria de *Conyza canadensis*, una especie resistente a glifosato en EEUU, a través de su transporte por el



Figura 6a. Recolección de los residuos de cosecha en un carro recolector. Foto: cortesía de Mayer AHRI, University of Western Australia, 2013.



Figura 6b. Enfardadora acoplada a la cosechadora. Foto: cortesía de Walsh, Newoman y Powles, 2013.

viento en las capas inferiores de la atmósfera (Dauer y otros (2009), hacia regiones distantes a varias centenas de kilómetros de la fuente. En la Argentina, fueron pioneros los estudios realizados para cuantificar el papel de la cosechadora en la redistribución de semillas de *Datura ferox* (Ballaré y otros; 1987), un aspecto que ha adquirido singular relevancia y atención para el caso de la redistribución por esta labor de las semillas de *Lolium rigidum* resistente a glifosato en Australia. Las semillas que aún permanecen en la planta adulta y/o senil al momento de la cosecha³, son tomadas por la cosechadora junto con las plantas del cultivo y o bien pasan a la masa del grano cosechado (la menor proporción, si la operación y ajuste de los sistemas de limpieza de la máquina es correcta) o bien es expulsada junto con los residuos de la plantas cosechadas, por la “cola” de la misma (Shirliffe and Entz, 2005; Walsh y Powles, 2007). Investigaciones recientes realizadas en Australia, demuestran la gran importancia y el muy promisorio escenario futuro que tiene el hecho de considerar la recolección y/o destrucción de las semillas de malezas, como una táctica no sólo para manejar la resistencia (Walsh y Powles, 2007) sino para disminuir las poblaciones de malezas no resistentes. Cabe señalar sin embargo, que la fracción de semillas que ingresan

a la cosechadora difiere considerablemente según el momento de cosecha del cultivo y el nivel de maduración de las semillas de la maleza: por ejemplo, McCanny and Cavers (1988) encontraron que solo el 45 % de la semilla de *Avena fatua* se desprende de la planta antes de la cosecha, mientras que alrededor del 30 al 45 % es expulsada por la cola de la cosechadora y el 11-15 % permanece contaminando el grano cosechado. Aún así, si se consigue recolectar/destruir la fracción que se expulsa por la cola, se logran sustanciales reducciones del banco de semillas. Shirliffe y Entz (2005) encontraron que la fracción despedida por la cola junto con la paja y restos de granos partidos, contenían el 74% de la semillas de *Avena fatua*, y esta cifra subía al 95 % en el caso de *Lolium* sp (Walsh and Powles, 2007). Ya en 1992, Maxwell y Ghera, sugirieron que la incorporación a la cosechadora de un dispositivo que actúe como “predator” disminuiría no sólo la dispersión sin también limitaría las nuevas introducciones. Desde entonces, se han evaluado diferentes tácticas: la primera, consiste en recolectar tanto la paja como las semillas utilizando un carro remolcado, en la parte posterior de la cosechadora, con el cual se consigue hasta 85% de remoción de raigrás resistente de los campos (Walsh y otros, 2012, Fig. 6a). Otra táctica, considera el uso de una máquina de realizar fardos, también adosada a la parte posterior de la cosechadora (Walsh y Powles, 2007, Fig. 6b); que se utilizan para alimentación de ga-

³Ya que muchas se desprenden de la planta madre antes de la recolección, un atributo evolutivo claramente distintivo en muchas especies de malezas.

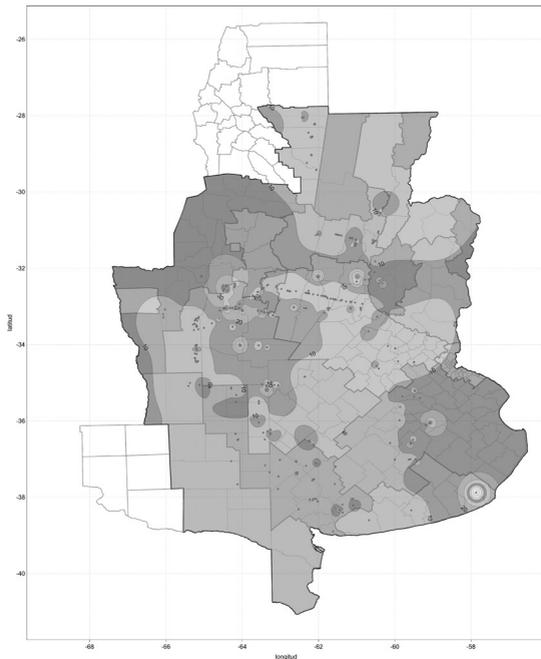


Figura 7a. Mapa de frecuencia de *Conyza bonariensis*.

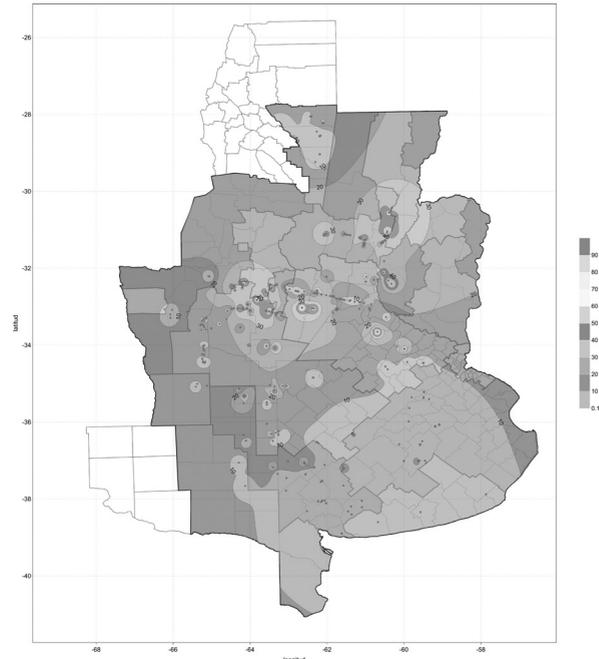


Figura 7b. Mapa de frecuencia de *Sorghum halepense*

nado en ambiente confinado. Recientemente se ha desarrollado un equipo para destruir las semillas (“Harrington Seed Destructor”) que utiliza una especie de molino a martillos que pulveriza / muele las semillas y la paja al salir de la cosechadora (Walsh y otros, 2012): hasta el 95% de la maleza que ingresa a la máquina es destruida por este equipo, altamente efectivo en reducir el aporte de semillas al banco (Walsh y Parker, 2002). En EE.UU (Oklahoma) un equipo similar, basado en molinos a martillos y a rodillos, logra buen resultado y eficacia en la destrucción de semillas de *Bromus secalinus* (Gossen y otros, 1998).

1.4. Relevamientos⁴

Ya sea para detectar invasoras o para alertar acerca de cambios en la composición florística, constatar la eficacia y/o las fallas de un tratamiento y/o la posible aparición de resistencia o para decidir acerca de la conveniencia económica de un tratamiento en un cultivo, el seguimiento constituye la base fundacional de todas las tácticas proactivas. En el Capítulo de interferencia II (Periodo Crítico

Libre de Malezas y Función de Pérdida-Umbrales), se ofrece una metodología basada en la bibliografía y desarrollada en base a la experiencia acumulada en la Argentina hasta la actualidad. Un seguimiento eficazmente realizado, es el componente vital de un programa de MIM. Y su realización correcta permite conocer el inventario de especies, su localización, la densidad aproximada y su estadio fenológico (Clay y Johnson 2002; Gold y otros, 1996; Leguizamón, 2012) y es la base para

- i) prevenir nuevos problemas y
- ii) realizar un análisis adecuado de la eficacia de las tácticas que se implementan a lo largo de la secuencia de barbechos y cultivos.

Los datos y sus conclusiones no sólo son útiles para tomar las decisiones anuales, sino que al almacenarse adecuadamente, permiten:

- i) conocer la situación de malezas de la campaña anterior al iniciarse cada campaña agrícola y
- ii) diseñar respuestas acordes a modificaciones en el tamaño de las poblaciones.

⁴Este término se utiliza como equivalente al inglés “Monitoring”.



Figura 8a. Andana concentrada lista para la quema. Foto: cortesía de W. Parker, Department of Agriculture and Food Western Australia.



Figura 8b. Quema controlada de las andanas (líneas oscuras en el centro de la fotografía). Foto: cortesía de A. and R. Messina, Mullewa Western Australia.

La disponibilidad de datos de seguimientos de bordes en una base de alcance zonal o regional, permitiría además extender su uso a sistemas de alertado de invasiones o escapes, mediante “Mapas de frecuencia” de acceso público, similares a los que se muestran, para *Conyza bonariensis* (Fig. 7a), y *Sorghum halepense* (Fig. 7b) en la región pampeana ampliada (Leguizamón y Canullo, 2008; Leguizamón, y otros; 2011).

2.1. Cultivos de cobertura (CC) en barbechos y cultivos

Véase este tema en el Capítulo “Alternativas al uso de herbicidas”.

2.2. Optimización del uso de herbicidas en barbechos

Véase este tema en los Capítulos “El manejo de malezas de barbechos en sistemas sin labranzas” y “Dinámica de los herbicidas en el suelo”.

2.3. Diversificación de uso del suelo I: rotaciones/secuencias de cultivos.

Las rotaciones se presentan como una de las prácticas más racionales para reducir el uso de herbicidas, por su potencial para generar combinaciones sinérgicas de tácticas reactivas y preventivas (Anderson, 2011).

El diseño de rotaciones debe tomar en consideración la “diversidad funcional” de los cultivos incluidos en las mismas. Esta diversidad no sólo está dada por diferencias en estacionalidad (inverno-primaverales o primavera-estivales), clase botánica (mono o dicotiledóneas), ciclo de vida (anuales o perennes), uso (cultivos de cosecha o pasturas) y otras características de crecimiento y desarrollo, sino principalmente, por las prácticas de manejo de malezas que los mismos admiten. Si, por ejemplo, una rotación se basa en cultivos anuales donde prevalecerá la aplicación periódica de una determinada práctica de control (ej. glifosato), es muy poco probable que esta diversificación pueda evitar seleccionar una comunidad de malezas especializada en perpetuarse en la secuencia de cultivos. Fiedrich (2010), luego de analizar críticamente la creciente dependencia del sistema de siembra directa de los herbicidas, concluye que los problemas de malezas en siembra directa están más asociados a monocultivos que al sistema de labranza: si este principio se aplicase en rotaciones que incluyan cultivos de cobertura y/o policulturas, sería posible aprovechar los beneficios de la labranza conservacionista y simultáneamente contribuir al MIM.

2.4. Diversificación de uso del suelo II: cultivos en franjas / policultivos

Véase este tema en el Capítulo “Alternativas al uso de herbicidas”

2.5. Promoción de la destrucción de semillas en el banco superficial

2.5.1. Quema de residuos de cosecha

La quema de residuos en otoño, ha probado ser una táctica exitosa en Australia para decrecer las densidades de malezas, ya que reduce las semillas viables que pueden ser aportadas al banco del suelo⁵. Las semillas que se encuentran cercanas a la superficie son más fácilmente destruidas que las que se ubican en profundidad. La combustión de residuos de cosecha de cualquier cultivo (canola, trigo, lupino, etc.) puede liberar suficiente calor como para elevar la temperatura en superficie a niveles letales para la mayoría de las semillas presentes. Esta temperatura será mayor cuanto más concentrada esté la andana de residuos, para cuyo propósito se agregan dos chapas laterales (8a), a la salida del sacapajas de la cosechadora, las que producen un estrechamiento de la “ventana” del desparramador. La andana de mayor volumen permite una combustión de mayor temperatura y más lenta y prolongada, logrando no sólo la pérdida de viabilidad de semillas sobre o próximas a la superficie del suelo sino también la destrucción de las plantas “guachas” del cultivo predecesor (8b). Los posibles efectos negativos de la quema de la andana de rastrojo, se minimizan al actuar sobre una pequeña proporción de la superficie total del campo.

2.5.2. Promoción de la predación y de otros procesos que reducen el banco de semillas.

La promoción de la herbivoría y de la descomposición microbiana de semillas constituyen importantes tácticas de prevención de los aportes / reducción del banco de semillas: por ejemplo la herbivoría puede decrecer la población de semillas del banco superficial en un 80 % (Harrison y otros, 2003; Kremer y Spencer, 1989).

La comprensión del efecto de las prácticas de producción sobre la herbivoría es muy importante, porque el tipo de labranzas o el volumen y características de la cobertura de residuos del cultivo antecesor producen variaciones muy importantes (Hulme 2006; Chandran y otros, 2011). La acción microbiana, por otra parte puede interactuar con la herbivoría, especialmente cuando los insectos que se alimentan conducen a una mayor infección fungosa de las semillas del banco (Kremer, 2001). Investigaciones realizadas en Australia, demuestran que la predación de semillas de *Lolium* sp por parte de insectos, puede contribuir a reducir el número de semillas del banco. Los niveles de predación pueden ser muy variables, con tasas de remoción de 0 a 100 %, dependiendo de la proximidad de las semillas a las colonias de hormigas, de las especies de malezas y de la remoción, ya que la labranza mínima mejora la actividad de granívoros. En la Argentina, varios estudios han abordado el papel que juegan los pequeños granívoros en la dispersión y predación de semillas de *Sorghum halepense* y otras especies (Dellafiore y Polop, 1994; Booman y otros., 2009). También se ha determinado el papel de varias especies de Carábidos en la ingesta de semillas de *Amaranthus quitensis* y otras especies (Nisensohn y otros, 1999). En el primer caso, el papel de la predación es significativo, ya que los roedores pueden consumir hasta el 80 % de la semilla recientemente aportada (“lluvia de semillas”) al banco superficial. En el segundo caso, la abundancia/actividad de insectos granívoros puede ser estimulada por la presencia de cobertura viva (Shearin y otros, 2008) o restos de cultivos en sistemas de labranza reducida o nula (Menalled y otros, 2000), aunque también los depredadores de estos insectos pueden ser más abundantes y activos en presencia de dichas coberturas (Gill y otros, 2011). Por lo tanto, aún cuando se han documentado altas tasas de granivoría por insectos, no es posible generalizar su eficacia a la diversidad de condiciones agroecológicas posibles.

⁵ Las semillas de *Polygonum aviculare* no resultan destruidas por esta técnica. Y en otros casos, el quemado puede estimular la germinación de algunas especies.

3.1. ¿Pulverizar o no pulverizar? Pérdida de rendimiento y bloqueo de fecundidad: umbrales de corto y largo plazo (UCP/ ULP)

Véase este tema en el Capítulo “Interferencia II. Modelos de pérdida”

3.2. ¿Cuándo pulverizar en Barbechos y Cultivos?: Período Crítico y bloqueo de fecundidad

Véase este tema en los Capítulos “Manejo de malezas en el barbecho” e “Interferencia II. Modelos de pérdida”.

3.3. Elección de principios activos: modos de acción y formas de aplicación.

Véase este tema en:

- a) Capítulos que desarrollan la clasificación, absorción y el transporte, el modo de acción y la selectividad de los Herbicidas.
- b) Capítulo “Resistencia a Herbicidas”,
- c) Capítulo “ Manejo de malezas en el barbecho”
- d) Capítulos que desarrollan el manejo de malezas en cada uno de los cultivos.

3.4. Optimización I: Dónde pulverizar: ¿Superficie total, banda de siembra o “manchones”?,

La aplicación en banda, es decir el tratamiento con el herbicida en una banda de diferente amplitud cuyo centro es la línea de siembra, fue desarrollada en la década del 1960 con el propósito de reducir el uso de herbicida (principalmente con el objetivo inicial de reducir costos) y generalmente combinada con el control mecánico entre líneas. Por ejemplo, Chandran y otros, (2011), lograron una reducción de 50% en las cantidades de atrazina, metolaclo y mesotrione empleadas normalmente en maíz, aplicando esos herbicidas sólo en bandas de 38 cm en surcos separados a 75 cm, sin reducción significativa de los rendimientos en comparación con los realizados con aplicaciones en cobertura total. En la misma línea, también se podrían emplear variantes tales como la aplicación en zonas (Donald y otros, 2004), variando la concentración del herbicida ya sea aplicado en entresurcos (la normal o inferior) o sobre los surcos (muy inferior a la normal), lo cual es factible empleando pulverizadoras duales con dos depósitos para almacenar diferentes concentraciones de herbicidas. Para completar esta temática, conviene resumir los estudios realizados por Combellack (1990), quien analizó los diferentes factores que son fuente de ineficiencias en el uso de herbicidas en Australia: el autor estimó que 20 a 30% de la reducción de uso se podría lograr ajustando el momento de las aplicacio-

Tabla 3. Eficacia de control de dos tamaños de *Sphaeralcea bonariensis* con glifosato pulverizado en dosis logarítmicas (adaptado de Ledda, 2011).

Dosis de glifosato (kg / ha)		Control (%) en los tamaños:	
En Ingrediente activo	En Formulado (e.a. 36 %)	Pequeño: Alt. 20/30 cm Nº de hojas: 18+/- 2	Grande: Alt. 60/70 cm Nº de hojas: 57+/- 2
0.06	0.12	1	1
0.12	0.24	1	1
0.24	0.47	3	1
0.48	0.95	60	2
0.96	1.9	92	58
1.82	3.8	95	60
3.64	7.7	99	99

nes, 12 a 25 % aumentando la eficiencia de las aplicaciones; 10 a 15 % utilizando formulaciones más efectivas, 30 a 70 % con aplicaciones sitio-específicas y 20 a 30 % tolerando mayores densidades de malezas o menores niveles de control (esto es, con cultivos menos susceptibles a la competencia de malezas). Según este autor, los avances citados no sólo serían aditivos sino que podrían generar sinergias, si por ejemplo, el desarrollo tecnológico de aplicadores de precisión inteligentes facilitara las aplicaciones en los momentos y lugares en que los herbicidas pueden ser más eficientes, tanto en términos de reducción de malezas como en la relación costo / beneficio. Véase la aplicación “sitio específica” de herbicidas en el Capítulo respectivo

3.5. Optimización II: reducción de la dosis: alcances y limitaciones. Modificadores del pulverizado

La adecuada performance de un herbicida depende de la selección correcta del herbicida y de la dosis adecuada para el tamaño, en el marco de las condiciones ambientales, además de una correcta pulverización (un aspecto que está ampliado en el Capítulo respectivo). Un conjunto de factores (climáticos, condiciones edáficas, momento de aplicación, deficiencias en los equipos) son determinantes de la calidad y eficiencia de las aplicaciones de herbicidas y, en casos extremos, pueden requerir repetir aplicaciones sobre un mismo lote, de manera que las “ventanas de oportunidad” para llevar a cabo la pulverización pueden estrecharse por la disponibilidad de herramientas e insumos o, más frecuentemente, por condiciones climáticas y el estado de desarrollo del cultivo y las malezas o incluso por la imposibilidad de acceso al sitio.

3.5.1. Dosis-respuesta

Durante la década del 1980, la legislación de los países del norte de Europa impuso una reducción obligatoria del uso de agroquímicos del 50 % en un lapso muy breve: varios

investigadores daneses (Streibig, Rasmussen y Christiansen entre otros) demostraron que era posible obtener niveles de control adecuados utilizando dosis reducidas, en muchos casos del 50 % de la recomendada en el marbete, sin resentir los rendimientos de los cultivos. El principio de este enfoque, que significó un enorme esfuerzo de investigación y extensión, es el de dosis-respuesta, que se fundamenta en el hecho que la inhibición de un proceso de tipo enzimático no está linealmente correlacionada con la concentración del inhibidor: para el caso de la actividad de un herbicida, la disminución de la dosis se traduce en una disminución de su actividad de tipo curvilíneo (logístico). Los parámetros de la función logística varían según el tamaño de la maleza y la sensibilidad al herbicida, entre otros factores. El enfoque dosis-respuesta se ejemplifica con resultados experimentales: en la Tabla 3: la respuesta de control de *Sphaeralcea bonariensis* a un rango de dosis logarítmicas de glifosato demuestra la importancia del tamaño de la maleza en relación con la dosis requerida para lograr una alta eficacia del herbicida, ya que el rango de dosis efectivas para el control de la maleza varía según el tamaño, la dosis necesaria para lograr buen control en individuos de gran tamaño es el cuádruple de la necesaria para individuos pequeños y no es recomendable disminuir la dosis de marbete, cuyo mínimo se sitúa en torno a los 1.8 Kg e.a/ha.

La baja sensibilidad al herbicida más frecuentemente utilizado cuando se aplica en estadios avanzados, la baja frecuencia de monitoreos durante el largo periodo de emergencia y la gran fecundidad que exhibe esta especie, explicarían su muy alta frecuencia en los agroecosistemas de la provincia de Chaco (Ledda, 2011).

En la Tabla 4, se exhibe la eficacia del mismo herbicida, basada en la determinación de la dosis necesaria para obtener el 90 % de control, calculado con funciones dosis-respuesta en cinco especies de malezas, en tres tamaños. Finalizado el experimento se determinó la fecundidad de los sobrevivientes, permitiendo de este modo el cálculo de la dosis mínima requerida para evitar aportes de semillas.

Tabla 4. Dosis de glifosato (Kg/ha de eq. ácido de sal isopropil-amina 380 g/litro) para lograr 90 % de control a los 30 días de la pulverización en cinco especies (Col.1) con tres tamaños distintos (Col. 2-4). La dosis requerida para lograr un control o reducción de biomasa de 90 %, surge de un modelo dosis-respuesta y se expresa en dos formatos: mediante evaluación visual y por reducción de biomasa, respecto del testigo no pulverizado (col. 5 y 6). En la Col. 7, se exhibe la dosis mínima de herbicida requerida para evitar fecundidad (Leguizamón y Ferrari, no publicado).

Especie	Estadios (y descripción) al pulverizar			Dosis para control 90 % (30 d.d.a) Kg e.a/ha		Dosis mínima para evitar producción de semillas (Kg e.a/ha)	
	Estadio	Nº de hjs ó macollas	Alt.(cm)	Visual	Biomasa		
<i>Chenopodium album</i>	1	7	13	0.14	0.67	0.380	
<i>Eleusine indica</i>		1	5	0.33	0.06	0.230	
<i>Digitaria sanguinalis</i>		1	5	0.36	1.03	0.230	
<i>Portulaca oleracea</i>		7	5	0.69	0.84	0.690	
<i>Anoda cristata</i>		3	6	0.96	1.41	0.270	
<i>Eleusine indica</i>		4	9	0.38	0.08	0.250	
<i>Anoda cristata</i>		6	13	1.74	3.14	0.720	
<i>Chenopodium album</i>		2	13	17	0.53	1.49	0.640
<i>Digitaria sanguinalis</i>			4	9	0.50	2.51	0.300
<i>Portulaca oleracea</i>			25	12	1.27	1.67	0.900
<i>Eleusine indica</i>	6		16	0.90	0.56	0.295	
<i>Anoda cristata</i>	10		26	3.99	3.23	1.110	
<i>Chenopodium album</i>	3	19	22	0.72	2.12	0.985	
<i>Digitaria sanguinalis</i>		6	16	0.61	3.40	0.310	
<i>Portulaca oleracea</i>		65	25	1.28	1.63	0.900	

Los datos mostrados en la Tabla 4, reafirman conceptos importantes, a saber:

- La dosis requerida para lograr un control del 90 % es variable y depende de la especie y de su tamaño. En general, las gramíneas (*Digitaria sanguinalis* y *Eleusine indica*) fueron más sensibles que las dicotiledóneas y entre éstas la más sensible fue *Chenopodium album*.

- La tolerancia al herbicida aumentó con el tamaño de planta, pero este aumento fue mayor en *Anoda cristata* y en *Portulaca oleracea*.

- La dosis mínimas de herbicida requeridas para evitar la producción de semilla fue también variable: el objetivo se logró con 1 litro del herbicida formulado en las gramíneas con cualquier tamaño (estadios 1, 2 y 3), pero tal dosis fue sólo eficaz en el estadio 1 de *A. cristata*. Fue necesario sin embargo duplicar la dosis cuando las dicotiledóneas alcanzaron el estadio 2, y la dosis debió superar los 2.5 litros/ha cuando las plantas de *A. cristata* se pulverizaron en estadio 3.

Debe señalarse que la aplicación del principio de dosis-respuesta con el propósito de disminuir las dosis recomendadas exhibe limitaciones a la hora de considerar la cuestión de la resistencia, puesto que existe evidencia que la utilización de dosis inferiores, en los casos en que la resistencia sea de naturaleza poligénica (creeping resistance)⁶, promueve la selección de biotipos con esta característica y por lo tanto, al cabo de unos pocos ciclos los mismos constituirán una población predominante en la comunidad de malezas .

3.5.2. Modificadores del pulverizado y calidad

Más del 95 % de los herbicidas aplicados al comienzo del ciclo de los cultivos no dan en el blanco (Pimentel, 1995; Miller 2004; Arias Estévez y otros, 2008) y, de acuerdo a las propiedades fisicoquímicas de los mismos, pueden degradarse, quedar retenidos por componentes minerales u orgánicos del suelo (incluyendo los organismos vivos) o migrar a través de volatilización, lixiviación, arrastre, suspensión de polvo o transporte biológico. Las migraciones (derivadas) en fases gaseosas, líquidas y biológicas que pueden abarcar grandes áreas de una región agrícola, explica la característica difusa de sus impactos ambientales y sanitarios por efectos de dispersión y dilución: esta es la explicación de la razón por la cual los efectos de algunos plaguicidas sobre la salud humana y el ambiente sólo se detectan al cabo de varios años, aún luego de suspenderse su uso.

Se deduce por lo tanto, que los especialistas en aplicaciones de herbicidas tienen amplio margen de oportunidades para mejorar la eficiencia de uso, no sólo controlando adecuadamente el volumen la concentración de producto activo y el tamaño de gota más apropiados a cada situación, sino además maximizando la eficiencia de captura de gotas por las plantas blanco y minimizando las derivadas fuera del cultivo tratado (Matthews, 2000). De

otro modo, el derroche de productos no sólo afecta los costos, sino que es fuente de externalidades negativas (costo público) y neutraliza cualquier presunta ventaja ambiental ofrecida por fabricantes y proveedores de estos insumos. En términos de optimizar la pulverización, resulta oportuna la revisión realizada recientemente por Young (2012), quien detalla los avances logrados en el campo de la micropulverización (Giles y otros, 2004; Sogaard y Lund, 2007; Nieuwenhuizen y otros, 2010): los autores demuestran que se puede lograr una reducción de hasta el 75 % de la dosis de glifosato para controlar adecuadamente a *Abutilon theophrastii*.

Amplíese este tema en el Capítulo “ Herbicidas: Introducción”

3.6. Optimización III: predicciones de emergencia y tamaño de plántulas y vástagos

A igualdad de otras condiciones, las pérdidas de rendimiento esperadas por la interferencia de las malezas en cultivos aumentan con su densidad y con la velocidad de emergencia relativa a la del cultivo. Por lo tanto, una herramienta para optimizar el uso de herbicidas es la de poder predecir la dinámica de emergencia de las malezas a partir de la siembra del cultivo y determinar el comienzo y el final del período en que las malezas pueden ocasionar pérdidas irreversibles de rendimiento (período crítico, Knezevic y otros, 2002).

Los estudios dirigidos a pronosticar esta emergencia a partir de información sobre contenido del banco de semillas del suelo y factores climáticos, emplean modelos empíricos denominados hidrotermales que relacionan la emergencia relativa acumulada con temperatura y humedad del suelo. Por ejemplo, Leguizamón y otros, (2009) describieron la dinámica de la emergencia de seis gramíneas termófilas que afectan al cultivo de soja en siembra directa a partir de siembras experimentales, a fin de otoño, observando una marcada variación entre especies, desde las más tempranas como *E. indica* y *E. colonum* a las más tardías como *D. sanguinalis*

⁶ “Creeping resistance”: resistencia que se incrementa en “escalones” a lo largo de sucesivas generaciones.

y *U. platyphylla* (Figura 3). Pero a su vez las especies difirieron en la extensión del período de emergencia: mientras que transcurrieron menos de 60 días desde 10 a 90% de emergencia para *S. geniculata* y *E. colonum*, las emergencias de *S. halepense* y de *E. indica* continuaron durante unas 3 o 4 semanas más que las anteriores (Véase Capítulo de Modelos, Caja Conceptual N°1). El concepto también puede extenderse para optimizar la aplicación de herbicidas preemergentes, como es el caso de gramíneas estivales: la confección de “Mapas de alertado” de la emergencia permite establecer prioridades de áreas a ser pulverizadas (Fig. 9a). Frente a estas variaciones, una decisión de control químico dirigida a reducir pérdidas de rendimiento no sólo tendrá que establecer el momento más propicio para una máxima eficacia del herbicida sino además conocerse durante cuánto tiempo debería ejercer su efecto, tomando en consideración la abundancia relativa de cada especie en la comunidad. Para anticipar la estructura de la comunidad emergente se puede recurrir a muestreos del banco de semillas e incubación de muestras de suelo bajo condiciones estandarizadas (Forcella y otros, 2004) o, alternativa o complementariamente, al empleo de dispositivos sencillos y económicos de incubación *in situ* denominados “*solaria*” (Eyherabide y otros, 2011). En ambos casos, la factibilidad práctica y económica de

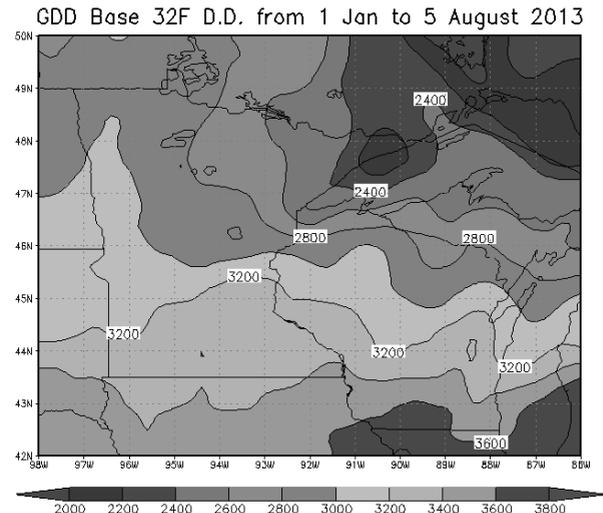


Figura 9a: Acumulación de °D en el suelo en Michigan (EE.UU) para una Tb de 32 °F. (<http://turf.wisc.edu/growing-degree-day-maps/crabgrass-pre-emergence-timer/>)

estos métodos de diagnóstico, resultan más aplicables a pequeñas superficies de producciones de alto valor, que a grandes áreas de cultivos extensivos.

Como se ha expuesto en las Tabla 3 y 4 la eficacia de un herbicida post-emergente está fuertemente condicionada por el estado de crecimiento o fenológico de la maleza. Y la generación de hojas en la plántula luego del consumo de reservas almacenadas en el embrión o endosperma, depende de la biomasa generada por fotosíntesis, entre otros sub-pro-

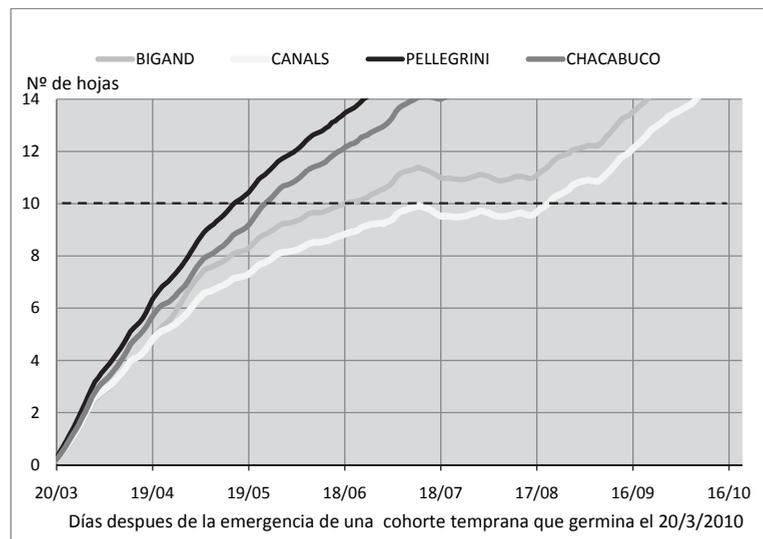


Figura 9b: Simulación de la acumulación del número de hojas (filocrono) en una cohorte de plántulas de *Conyza bonariensis* emergida el 20/3/2010 en cuatro localidades del área pampeana.

Tabla 5. Número de hojas en plántulas de cohortes de cinco especies de malezas según el estado fenológico del cultivo, en maíz con 8 hojas y soja con 3ª hoja trifoliolada.

Especies	Nº medio de hojas por planta en cohortes* de cinco especies de malezas según el estado fenológico del cultivo, en maíz con 8 hojas y soja con 3ª hoja trifoliolada.							
	Maíz	Soja	Maíz	Soja	Maíz	Soja	Maíz	Soja
	VE	VE	V1	V1	V2	V2	-	V3
<i>Amaranthus</i> sp	12.3	10.2	8.0	8.0	6.2	-	-	2.7
<i>Chenopodium album</i>	10.8	11.0	7.4	9.6	5.3	6.7	-	4.3
<i>Echinochloa crus-galli</i>	7.8	8.7	-	7.3	5.7	3.8	-	2.3
<i>Setaria</i> sp.	6.8	8.2	-	6.5	5.1	3.6	-	1.7
<i>Xanthium strumarium</i>	8.4	8.7	7.1	6.0	5.1	4.3	-	1.7

*Cohorte es la denominación de un grupo de individuos de la misma edad. Las cohortes VE comprenden a las malezas emergidas antes de maíz con dos hojas y de soja antes de primera unifoliada, las cohortes V1, a las emergidas con maíz en 2-3 hojas y con soja entre primera hoja unifoliada y primera trifoliolada. las cohortes V2, a las emergidas con maíz en 4-5 hojas y con soja entre la primera y la segunda hoja trifoliolada y las cohortes V3, a las emergidas con soja entre la segunda y la tercera hoja trifoliolada.

cesos. Al menos en la etapa inicial y antes de que se produzcan procesos de partición de biomasa durante la etapa adulta, existe por lo tanto una fuerte correlación entre el número de hojas y la biomasa foliar. En muchas especies, la relación entre el número de hojas y la temperatura es lineal, es decir que se puede relacionar con alto grado de precisión el tiempo de aparición de hojas (filocrono), con la acumulación de la temperatura por encima de un umbral o temperatura base, particular para ese proceso. El filocrono (intervalo de tiempo termal (°D ó GD) transcurrido entre la aparición de hojas sucesivas) puede parametrizarse y aportar otra herramienta para optimizar el momento de pulverización: seguidamente, se detalla el filocrono (°D) de siete especies (entre paréntesis, la temperatura base, T_b) (Benítez et. al, 2011):

- *Avena fatua* L.: 177°D (0°C)
- *Brassica rapa* L.: 77°D (4°C);
- *Conyza bonariensis*: 78°D (4.2°C);
- *Lolium multiflorum* Lam.: 148°D (0°C).
- *Parietaria debilis* G. Forst.: 62°D (5.6°C);
- *Sonchus oleraceus* L.: 103°D (2°C);
- *Taraxacum officinale* G. Weber ex F.H. Wigg.: 82°D (2 °C);

Este concepto se aplica seguidamente para simular el tamaño de las plántulas de dos cohortes de *Conyza bonariensis* en cuatro localidades de la región pampeana (Figura 9b):

De la observación de la Figura 9b, y teniendo en cuenta que la eficacia de un herbicida postemergente del tipo de glifosato o dicamba (los más frecuentemente utilizados en el "Barbecho químico") decrece cuando la maleza supera las 10 hojas, se deduce que la "ventana" de pulverización exitosa concluye hacia el 18 ó el 20 de mayo en C. Pellegrini (Santa Fe) y Chacabuco (Bs. As.) pero se extiende hasta el 18 de junio en Bigand (Santa Fe) o incluso 30 días después, en Canals (Córdoba). Estos gráficos permiten sustentar la hipótesis de que los problemas de control de esta maleza en barbechos y cultivos de soja que han surgido en años recientes, fruto de pulverizaciones muy tardías, pueden ser abordados utilizando los principios arriba ejemplificados, acompañados con el necesario e indispensable monitoreo durante el período del barbecho.

En el caso de los cultivos, Weaver (2003) propone el agrupamiento de la germinación de cohortes de diferentes especies en función de los estadios fenológicos de los cultivos: de esta forma sencilla, se puede establecer que,

Tabla 6. Consideraciones a tener en cuenta al decidir entre hacer heno o silo como táctica de manejo de malezas.

Objetivo	Heno	Silaje
Prevención de aportes de semillas viables al banco del suelo.	En ambos la eficiencia es similar, asumiéndose que no habrá producción de semillas antes del corte y que los rebrotes serán controlados para evitar ulterior producción de semillas.	
Potencial de las semillas de redispersarse a otras áreas por el Ganado.	Moderado a alto.	Bajo si se ensila apropiadamente.
Potencial de rebrote	Depende del estado de crecimiento de la maleza al momento del corte.	
Factibilidad	Depende de la escala de la operación, de los criterios de la empresa y de la distancia hasta el punto de uso del producto.	

por ejemplo en un cultivo de maíz con un estado fenológico de 8 hojas o uno de soja con 3 hojas trifolioladas, las plántulas de la primera cohorte de la especie *Chenopodium album* ya tendrán 11 hojas, las de la segunda 8 y las de la tercera, sólo 4 (Tabla 5).

El concepto de acumulación de grados-día también puede utilizarse para optimizar la eficacia de tratamientos en malezas perennes. Leguizamón (2012) reportó máxima eficacia del herbicida graminicida sistémico tipo FOP, cuando éste fue aplicado a Sorgo de Alepo en 180-200 °D⁷, momento en el que la biomasa de rizomas primarios y secundarios se encuentra en su mínimo nivel y aún no ha comenzado la producción de rizomas terciarios⁸. La “corona” en este momento, tampoco exhibe un volumen importante. Este autor observó además que, para ese tiempo térmico⁹:

- la mayor proporción de biomasa de la maleza aún se encuentra en el sistema subterráneo (relación Biomasa aérea / Biomasa subterránea = 0,7).

- el área foliar de una planta se encuentra en el orden de 150 cm² (unas diez veces inferior a la que exhibe con sólo 300 °D).

- la población de macollas es inferior al 20 % del total posible de emerger durante todo el ciclo estival y tienen una altura media de 40 cm¹⁰.

Todos estos elementos llevan a enfatizar el hecho que el herbicida debe aplicarse a la dosis recomendada (incluyendo modificadores del pulverizado, si fuesen necesarios¹¹) y que debe supervisarse la pulverización para lograr la máxima eficacia del herbicida. Por otra parte, la aplicación del herbicida en 200 °D es compatible con la maximización del rendimiento del cultivo de soja ó girasol, pues el mismo ocurre antes de la iniciación del período crítico de control.

⁷ Grados día, una medida de “tiempo térmico” generalmente calculada en base al promedio de la temperatura máxima y mínima y la sustracción de la Temperatura base de brotación (Tb). Tb es de 6.5

⁸ Cada campo y su particular condición ambiental requiere de un exhaustivo monitoreo del status poblacional de la maleza, dado que pueden presentarse situaciones que exceden el rango expuesto, pero que no invalidan el criterio general. Este principio es válido para poblaciones de plantas inferiores a un año y cuya estructura aérea ha sido destruída por las heladas del invierno.

⁹ La caracterización de las relaciones de biomasa y crecimiento de la maleza surgen de datos experimentales obtenidos bajo las condiciones ambientales de la región pampeana núcleo, en

poblaciones no resistentes.

La altura de las macollas puede ser aún mayor si provienen de rizomas muy largos, frecuentes en campos en siembra directa.

¹¹ Aceites, coadyuvantes, surfactantes, etc.

4.1. Control con métodos físicos y mecánico

Véase Capítulo “Alternativas al uso de herbicidas”.

4.2. Pastoreo / Silaje / Henolaje

El pastoreo, como método de control de malezas es factible en sistemas pastoriles y su efectividad depende del tipo de pastura, de la duración y presión del pastoreo y de las preferencias del ganado (Olson y otros, 2007; Pannell y otros, 2004). El pastoreo con ovejas también ha demostrado eficacia para reducir el número de plántulas de malezas gramíneas como raigrás, especialmente en el marco de manejo de biotipos resistentes al glifosato (Pannell y otros, 2004). La contrapartida, es la modificación de las comunidades de malezas debido al pastoreo selectivo que realizan: en general, el desplazamiento de la composición de la comunidad se inclina hacia especies dicotiledóneas cuando se utilizan vacunos, y hacia especies gramíneas cuando el pastoreo se realiza con ovejas o cabras (Lacey y Lacey, 1985). En pasturas también pueden aplicarse herbicidas no selectivos en dosis subletales a menudo del grupo de los fenóxidos, seguidos de un intenso pastoreo. En algunos casos se puede utilizar paraquat o glifosato en gramíneas en floración, para prevenir la producción de semillas. De esta manera se incrementa la proporción de leguminosas, aumentando la calidad del forraje. Este tipo de tratamiento ha resultado ser eficaz en Australia, para el control de *Hordeum* spp.

La decisión de convertir un forraje en heno o silo suele basarse en aquellos casos en los que el cultivo o la pastura tienen baja densidad, se encuentran en malas condiciones y/o exhiben alta abundancia de malezas. El objetivo principal de estas prácticas para el manejo de malezas es reducir el aporte de semillas al banco. Por esta razón, la elección del momento de realización del heno o del silo es una decisión crítica: en primer lugar para evitar rebrotes y en segundo lugar para lograr el objetivo perseguido (Tabla 6).

4.3. Métodos biológicos

Véase Capítulo “El control biológico de malezas”.

4.4. Bioherbicidas

En contraste con las tácticas de introducciones o inoculaciones múltiples, como las que utilizan insectos como controladores biológicos, otra modalidad empleada para implementar control biológico de malezas es la denominada “aumentativa”, “inundativa” o “táctica bioherbicida” (Phatak y otros, 1987). Esta táctica resulta más aplicable al control de malezas a corto plazo (reactiva), mediante inoculación con hongos y nematodos nativos. Si bien puede tener ventajas en términos de disponibilidad de inóculos y de adaptación a las condiciones ambientales locales, sus efectos son menos persistentes y requiere, como en el caso de los micoherbicidas o bacterioherbicidas, reiterar sus aplicaciones terrestres o aéreas mediante pulverizaciones, en cada ciclo de cultivo (ej. control de *Cyperus esculentus* con *Puccinia canaliculata*, Phatak y otros, *obra citada* y de *Senecio* spp. con *Puccinia lagenophorae*, Fernández y Montes, 1987; Wyss y Muller-Scharer, 2001; Reimer, 2008). Es importante tener en cuenta la posibilidad de antagonismos entre herbicidas y bioherbicidas, tal como fue reportado por Wyss y Muller-Scharer (*obra citada*). Estos autores observaron que los herbicidas 2,4-D, glifosato, linuron y MCPP pueden impedir, inhibir o retardar el desarrollo de *Puccinia lagenophora* para el biocontrol de *Senecio vulgaris*, aún a muy bajas concentraciones (0,025 x). Pero por otra parte, es auspiciosa la posibilidad de lograr efectos sinérgicos entre micoherbicidas y herbicidas (Gressel, 2010) particularmente frente a la emergencia de biotipos resistentes a herbicidas. Tanto si se emplean organismos nativos, pero sobre todo si son introducidos organismos exóticos como bioherbicidas, es imprescindible no sólo la evaluación previa de posibles impactos sobre la salud y los ecosistemas locales (Hoagland y otros, 2007), sino además implementar programas de monitoreo permanente, ya que la probabilidad de

afectar a organismos no blanco, y las funciones normales de los ecosistemas no es nula (Thomas y Reid, 2007) y aumenta con la presión de inóculos y la frecuencia y extensión de su uso. Por ejemplo, en 2002 se reportaron (Gulya, 2002) infecciones de la roya del cebollín en cultivos de girasol en Kansas (EEUU).

Por otra parte, existen complicaciones para el registro y comercialización de bioherbicidas por la falta de definiciones de los criterios para la evaluación de riesgos asociados a los metabolitos secretados por los hongos (principalmente de los saprotróficos). Algunos de los estudiados pueden ser muy tóxicos para mamíferos (fumonisinas, ocratoxinas, patulina, zearalenona) o carcinogénicos (moniliformina, aflatoxina). Estas micotoxinas pueden contaminar alimentos y forrajes y poner en riesgo la salud humana y de animales domésticos (Hoagland y otros, obra citada).

4.5. Aleloquímicos y bacterias alelopáticas

Veáse el Capítulo “Interferencia cultivo-maleza: la alelopatía y su potencialidad en el manejo de malezas”.

4.6. Optimización de captura de recursos por el cultivo

4.6.1. Fecha de siembra

La fecha de siembra es determinante no sólo de las condiciones climáticas que afectarán la emergencia y el establecimiento de malezas y cultivo, sino además de la composición de la comunidad de malezas, lo que a su vez puede afectar la presión competitiva sobre el cultivo. Cuando se determina experimentalmente la fecha óptima de siembra de un cultivar se lo hace en parcelas libres de malezas, no sólo porque se asume que en condiciones normales de cultivo puede lograrse la eliminación de las mismas, sino porque además la abundancia, distribución y composición de esta comunidad es muy variable, espacialmente y con la fecha de siembra, y constituye una fuente de error experimental

no controlable. Dado que estas investigaciones están centradas en el rendimiento de los cultivos y no en el manejo de las malezas, son muy escasos los trabajos que evalúan variaciones en el balance competitivo con la fecha de siembra. Los cambios estacionales en la comunidad de malezas han sido descritos por Requesens y Madanes (1992) para condiciones agro-ambientales similares a las de los experimentos comentados en la Caja Conceptual N° 2. Por su parte Williams II (2006), para maíz dulce en Illinois (EEUU), y Swanton y otros, 2008, para zanahoria en Ontario (Canadá), encontraron que el atraso de la fecha de siembra en primavera favorecía competitivamente al cultivo. En estos cultivos el período crítico para el control de malezas comenzó más tarde y fue más breve en siembras tardías que en las tempranas: una implicancia práctica de estos resultados es la posibilidad de reducir el uso de herbicidas. Por ejemplo, según Williams II (obra citada) los cultivos de maíz dulce sembrados en primavera tardía pueden ser eficazmente protegidos de malezas con una sola aplicación de herbicida u otro método de control en post-emergencia, contra dos o más aplicaciones de uso corriente en siembra temprana.

4.6.2. Época de siembra y arreglo (diseño / patrón de distribución) espacial del cultivo.

En algunos casos la modificación de la fecha de siembra, de la densidad del cultivo y de la forma de su establecimiento pueden reducir la emergencia de las malezas y/o incrementar la capacidad competitiva del cultivo (Möhler, 2001), si bien este efecto es dependiente en alto grado de las especies cultivadas y del ambiente. Spandl y otros, 1998 observaron que comparando la siembra de trigo en otoño con aquella de primavera, en esta última estación la maleza *Setaria viridis* emergió en un solo flujo, lo cual la hizo más vulnerable a los métodos de control de malezas (herbicidas o culturales). En casos como estos, la fecha de siembra del cultivo puede ser usada

por el agricultor como un método de manejo cultural. En otros cultivos como el caso de porotos de enrame o en papa, un aumento de la densidad de siembra puede conducir a una mayor habilidad competitiva del cultivo frente a las malezas pero con un cierto detrimento sobre los rendimientos en razón de la mayor competencia intraespecífica entre las plantas del cultivo (Lawson y Topham, 1985) o a una menor calidad de los tubérculos de papa y/o a una mayor susceptibilidad de este cultivo a las enfermedades (Litterick y otros, 1999).

Por el contrario, en los cultivos que muestran una mayor plasticidad fenotípica, la modificación de la densidad de siembra y/o del diseño de siembra puede ofrecer mejores oportunidades de ser explotada en las estrategias de manejo de las malezas. Este es el caso de la *Vicia faba* var. *minor*, una leguminosa adaptada a los ambientes del Mediterráneo que es, a la vez que fuente de proteínas para los animales, mejoradora de la fertilidad del suelo. Este cultivo puede ser sembrado en surcos poco distanciados (15 cm) o más espaciados (40-70 cm). En el primer caso el número de vainas y el rendimiento de grano por planta disminuyen y la altura de inserción de la vaina en el tallo aumenta (lo que reduce las pérdidas en la cosecha mecánica) pero el rendimiento de grano por unidad de superficie y el contenido de proteína cruda son aceptables (Bonari y Macchia, 1975). Gracias a esta plasticidad fenotípica es probable que el arreglo espacial de este cultivo pueda optimizarse aún más, por ejemplo, sembrando en pares de surcos y usando una distancia entre surcos (40-50 cm) que permite los trabajos culturales entre los surcos, obteniendo así, probablemente, un mayor control de las malezas. El uso de trasplantes en vez de semillas, como ocurre en el caso de muchas hortalizas, también aumenta la capacidad competitiva del cultivo al incrementar la diferencia de desarrollo entre los cultivos y las malezas con ventaja para los primeros. Más aún, el uso de trasplantes puede aumentar la selectividad (o sea, la relación entre el daño a las malezas y al cultivo) de las desmalezadoras de torsión que son herramientas simples

y poco costosas para el control de malezas entre los surcos (Melander, 2000). Por ejemplo, en la remolacha azucarera el control mecánico de las malezas puede ser hecho cinco días después del trasplante pero puede tener el efecto negativo de causar raíces bifurcadas que pueden disminuir su calidad. El uso de trasplantes, comparado con la siembra directa, a menudo aumenta los costos de producción de los cultivos y las necesidades de mano de obra. No obstante, en maíz dulce bajo condiciones agroecológicas del sudeste bonaerense (Rattin y otros, 2008), esta práctica puede aumentar tanto la productividad como la rentabilidad del cultivo.

4.6.3. Selección de especie y cultivar. Vigor de la semilla.

La utilización de técnicas culturales que enfatizan la competitividad del cultivo ha sido motivo de numerosas investigaciones e incluyen la selección del cultivar (Jordan, 1993; Wax and Pendleton 1968), la distancia entre surcos (Norsworthy and Frederick, 2005), la densidad (Norsworthy and Oliver 2001, 2002; Walsh and Powles 2007), el ajuste de la época de siembra (Walsh and Powles, 2007), el manejo de la irrigación (Walker and Buchanan 1982), la rotación de cultivos (Johnson and Coble, 1986; Schweizer and Zimdahl, 1984) y la juiciosa aplicación de fertilizantes, incluyendo su emplazamiento. La mayoría de las tácticas citadas, se corresponden con incrementos de rendimiento (Howe and Oliver, 1987; Norsworthy and Frederick, 2005; Norsworthy and Oliver, 2001). Mohler y otros (2001) destacaron, a partir de una revisión de 91 estudios en los que se evaluaron los efectos del aumento en la densidad de siembra sobre el crecimiento de malezas y el rendimiento del cultivo, que en 85 de ellos se registró una disminución en la biomasa de malezas con el aumento de densidad del cultivo y que en 64 ocurrió además un aumento de rendimiento de los cultivos. En ninguno de los experimentos revisados se registró una disminución de rendimientos.

En líneas generales, altas densidades de siembra y bajo espaciado entre surcos,

suelen aumentar la capacidad de los cultivos para suprimir el crecimiento de las malezas y reducir la necesidad de aplicar métodos de control. Tanto la densidad como el patrón espacial de siembra y la calidad de la semilla, pueden contribuir a anticipar el uso de recursos por el cultivo en detrimento de las malezas: por ejemplo, la intercepción de radiación por el canopeo del cultivo puede aumentar al disminuir la distancia entre surcos en soja (Puricelli y otros, 2003), pero puede retardarse el cierre del canopeo de cultivos con menor plasticidad que soja, como maíz (Fernández y otros, 2002). Ya sea disminuyendo la emergencia o el crecimiento de malezas, también suele disminuirse la fecundidad (Norsworthy y otros, 2007), un aspecto crítico y central para reducir el banco del suelo y los riesgos consecuentes de aparición de resistencia (Neve y otros, 2011)

En cualquier caso, las respuestas al cambio de la geometría de siembra, está condicionada, además de la plasticidad intrínseca del genotipo cultivado (Maddoni y otros, 2001) por la disponibilidad de agua y nutrientes necesaria para el rápido desarrollo del canopeo. Bradley (2006) revisó numerosos trabajos publicados entre 1964 y 2004 en los que se estudiaron las respuestas de soja a la reducción de la distancia entre surcos, encontrando que en 72 de 113 ambientes (año-sitio) se observó reducción en la biomasa de malezas y/o en la densidad de emergencia tardía (resurgencia o emergencia de fin de ciclo). Sin embargo ninguno de estos efectos se observaron reduciendo la distancia entre surcos en maíz. Una más rápida cobertura del suelo e intercepción de radiación con la reducción de la distancia entre los surcos de soja (Puricelli y otros, obra citada), se traduce además en cambios en el período crítico para el control. Knezevic y otros, 2003; calcularon que el comienzo del período crítico para soja en cultivos de secano, bajo las condiciones de sus experimentos y considerando un valor crítico de pérdida de rendimiento potencial de 5%, coincidieron con los estadios V3, V2 y V1, para distancias entre surcos de 19 cm, 38 cm y 76 cm, respectivamente. Los efectos sobre el comienzo y la duración del período crítico

para el control de malezas en otros cultivos no son tan consistentes como los descriptos para soja y varían con las especies y la densidad de malezas y las condiciones de suelo y clima locales (Nazarko y otros, 2005).

Con respecto a la orientación de surcos, los resultados obtenidos por Borger y otros, 2010; en el oeste de Australia, a latitudes de 31° a 32°S (similares a las del centro de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos en nuestro país), son muy promisorios como táctica para aumentar la capacidad competitiva de cultivos de trigo y cebada (al menos en latitudes medias, ya que sus beneficios potenciales disminuyen desde los 55° a los 25° de latitud S). Estos autores registraron reducciones de 51% y 37% en la biomasa de malezas cuando los surcos estuvieron orientados en dirección E-O respecto a la dirección N-S y aumentos de rendimiento de 24% y 26 % para trigo y cebada, respectivamente. Estos incrementos se asociaron a la mayor intercepción de radiación (28% y 18% en trigo y cebada, respectivamente). En cambio, no detectaron diferencias atribuibles a la orientación de surcos en cultivos de arveja, canola y lupino. Estos resultados fueron corroborados para cultivos de trigo en Egipto (30° N) por Hozayn y otros, 2012. En Argentina, en un experimento realizado para comprobar el efecto de la orientación de los surcos en cultivos en franjas de maíz y soja en dos años consecutivos, se determinó la orientación E-O como la más eficaz para optimizar el rendimiento del maíz y disminuir la penalización del rendimiento de soja por el sombreado producido por el maíz (Verdelli y otros, 2011).

Otro de los factores que puede ofrecer ventaja competitiva al cultivo es el vigor de sus plántulas asociado al tamaño de semillas. Por ejemplo Stougaard y Xue (2004) encontraron que un cultivo de trigo originado de semillas grandes tuvo un rendimiento 18% superior al de un cultivo de semillas pequeñas, cuando competía con *Avena fatua*. Este incremento fue mayor que el atribuido a un aumento en la densidad de siembra (12%). El uso combinado de ambas tácticas se tradujo en un aumento de 30% en el rendimiento de trigo.

Resultados similares reportaron Willenborg y otros, (2005) para 3 variedades de avena y Place y otros, (2011) para 3 variedades de soja. En los 3 cultivos reportados, el tamaño de semillas se asoció en forma positiva con la tasa de desarrollo del canopeo.

Una de las tácticas aún poco desarrolladas para el manejo de malezas es la de mejorar los cultivos por su capacidad competitiva (Olofsdotter y otros, 2002). La capacidad competitiva del cultivo tiene dos componentes: la tolerancia a la competencia (Callaway, 1992) y la capacidad para inhibir o reducir la germinación, el crecimiento y la reproducción de las malezas (Watson y otros, 2006). El primer componente es la habilidad para resistir y recuperarse del estrés por limitación de recursos en disputa con las malezas y mantener la estabilidad de rendimientos. Sin embargo un cultivo con alta tolerancia puede no ser capaz de reducir el crecimiento de las poblaciones de malezas, lo cual es objetivo estratégico para reducir los requerimientos de herbicidas. El mejoramiento de la capacidad inhibitoria o supresora, por el contrario, apunta a reducir las infecciones futuras limitando la recarga del banco de semillas. Más de 20 especies de cultivos anuales y algunos de interés forrajero como festuca y raigrás, presentan variabilidad genética en capacidad competitiva (Mohler, 2001). En trigo, Lemerle y otros, (2006) observaron que atributos como altura y tiempo a maduración son de herencia cualitativa, controlada por genes simples relativamente fácil de seleccionar. En cambio otras característica relacionadas con la capacidad competitiva de este cultivo, tales como el tamaño y vigor de la primera hoja, el índice de área foliar, la tasa de expansión foliar, el macollaje y el rendimiento en granos, son de herencia cuantitativa y requiere mediciones más extensivas y costosas para identificar los mejores genotipos. Por otra parte, se observó que la heredabilidad de atributos competitivos en este cultivo es baja, dificultando un rápido progreso a través de selección fenotípica. Las evidencias más consistentes en un conjunto de especies estudiadas indican que los atributos que aumentan la eficiencia de captura y de uso de

recursos edáficos (Kirk y otros, 1999) y, principalmente, de la radiación también contribuyen a la competitividad de los mismos (Buhler 2002; Watson y otros, 2006). Pero además se observó que la fenología reproductiva también puede relacionarse con dicha capacidad. Por ejemplo en maíz se encontró mayor tolerancia y capacidad supresora en dos híbridos precoces que en dos tardíos (Begna y otros, 2001), los cuales diferían además en la arquitectura del canopeo. Por el contrario, Nordby y otros, 2007, observaron en soja RR que las variedades de maduración tardía presentaron mayor tolerancia a la competencia de malezas y que esa mayor tolerancia no se relacionó con la arquitectura del canopeo.

Si bien se dispone de variabilidad genética para atributos de competitividad en todos los cultivos estudiados, el énfasis en el mejoramiento por rendimiento, calidad u otros atributos de valor comercial, puede haber descartado inadvertidamente características de competitividad. Fischer y otros, 2001 puntualizan que, en arroz, la selección de atributos de competitividad no es excluyente del mejoramiento por rendimiento: uno de los programas de mejoramiento que explícitamente establece la capacidad competitiva como uno de sus principales objetivos es el desarrollo de un ideotipo de "arroz competitivo", que se viene llevando a cabo con éxito en Filipinas. El mismo incluye, entre otros atributos fenotípicos competitivos, a la alelopatía (Olofsdotter y otros, 2002). Así, el cruzamiento interespecífico de *Oryza glaberrima* (arroz africano) y *O. sativa* ha permitido obtener un nuevo "arroz africano" con 24 % de aumento de potencial de rendimiento respecto al tradicional y con mayor capacidad competitiva frente a malezas que el arroz asiático. La variabilidad genética en capacidad alelopática está además documentada para otros cultivos tales como avena, pepino, soja, girasol, sorgo, trigo y cebada. Según Duke y otros, 2000; sería posible a través de mejoramiento biomolecular disponer de transgenes para aumentar la producción de aleloquímicos en los cultivos, a niveles suficientes para reducir sensiblemente el uso de herbicidas. Conviene advertir que no todas las características que dan

a los cultivos ventajas competitivas sobre las malezas pueden ser explotadas: por ejemplo, la altura de la planta, que está generalmente correlacionada con la supresión de las malezas (Benvenuti y Macchia, 2000), presenta a menudo una correlación negativa con el rendimiento del cultivo y una correlación positiva con la posibilidad de vuelco.

4.7. Manejo de la fertilización

Junto al ajuste de la densidad de siembra, el manejo de la fertilización es la táctica más eficaz para aumentar la capacidad supresora de los cultivos sobre las malezas (Bradley, 2006; O'Donovan y otros, 2007). En particular, la aplicación de fertilizantes nitrogenados puede magnificar las asimetrías competitivas, favoreciendo a cultivos que respondan a los mismos desplegando rápidamente su área foliar. Tal lo observado por Harbur y Owen (2004), comparando la respuesta a la fertilización nitrogenada de plántulas maíz y soja y de seis especies de malezas, bajo condiciones de alta y baja irradiancia. Estos autores encontraron efectos de interacción entre el nivel de fertilización y el de radiación fotosintéticamente activa sobre el crecimiento de las plántulas, a saber: con baja disponibilidad de N el aumento de radiación duplicó el peso medio de las plántulas mientras que sin limitación de N ese peso se multiplicó siete veces. Pero lo más relevante para el balance competitivo cultivo-maleza fue que las especies más sensibles a la disminución de la oferta de N fueron las de mayor tasa relativa de crecimiento (RGR) con alta disponibilidad de N, es decir las malezas. De manera que, esta mayor dependencia de las malezas por este nutriente para expresar su potencial de crecimiento puede ser aprovechado, y potenciado además, por el sombreo del cultivo, como táctica de manejo. Además, dado que RGR y tamaño de semillas correlacionan negativamente, ello puede contribuir a explicar la relación positiva entre tamaño de semilla y tolerancia a estrés, siendo las malezas (de semillas 10 a 20 veces más pequeñas que los cultivos), las más sensibles.

No obstante, en presencia de malezas perennes con propagación vegetativa, la respuesta a fertilización nitrogenada puede ser contraria a los objetivos del manejo, aun cuando se logre mayor sombreo por parte del cultivo. Tal el caso de *Rumex sp.* una invasora de cultivos orgánicos de cereales de invierno: Stilman et.al (2012), observó un aumento de la densidad de ramets o vástagos de multiplicación clonal de esta maleza asociada a mayor disponibilidad de N. La fertilización nitrogenada de presembrado puede aumentar la capacidad competitiva del cultivo frente a las malezas en aquellos cultivos que en las primeras etapas tienen altas tasas de crecimiento. Sin embargo, este efecto es modulado por el tipo de malezas que prevalecen en el campo: por ej., en girasol cultivado en las condiciones del Mediterráneo, el fertilizante nitrogenado sintético incrementó la supresión de especies de emergencia tardía como *Chenopodium album*, *Solanum nigrum* y *Xanthium strumarium*, en comparación con una aplicación fraccionada 50 % en presembrado y 50 % en cobertura (Paolini y otros, 1998). Por el contrario, la misma técnica dio lugar a una ventaja competitiva para malezas de emergencia temprana como *Sinapis arvensis*. En el caso de remolacha azucarera, la anticipación o la demora de la aplicación en cobertura del nitrógeno incrementa la capacidad competitiva con dominancia de malezas de emergencia tardía o temprana, respectivamente (Paolini y otros, 1999). Por lo expuesto, no es posible generalizar y predecir las consecuencias de la fertilización nitrogenada, ni siquiera para un par cultivo-maleza dado y las respuestas suelen ser contradictorias al depender de la interacción de la fertilización con condiciones del sitio, año, cultivar, composición de la comunidad de malezas, momento de fertilización y sistema de labranza.

Respecto a fertilización fosforada y dada la escasa movilidad de las formas asimilables de este mineral en el suelo, su aplicación localizada puede emplearse eficazmente como táctica para favorecer la capacidad competitiva del cultivo, en suelos con disponibilidad limitante. Por ejemplo, la distribución en bandas de siembra de lechuga permite reducir las

pérdidas provocada por la competencia de *Amaranthus sp.* y *Portulaca sp.* respecto a la distribución a voleo. En general, la fertilización localizada en espacio y en tiempo, respecto al estado de desarrollo y las necesidades de los cultivos (Di Tomaso, 1995; Blackshaw y Molnar, 2003) mejora la competitividad de los mismos frente a las malezas. Como éstas, debido a su alto potencial de crecimiento, pueden adelantarse al cultivo en la absorción de nutrientes durante estadios muy tempranos, los fertilizantes sintéticos de liberación controlada o los abonos orgánicos pueden ser eficaces para evitar o reducir una posible ventaja competitiva inicial de las mismas.

4.8. Manejo del riego

La inundación ha sido un método efectivo para el manejo de malezas en arroz desde hace mucho tiempo (Smith et. al., 2006). La irrigación antes de la siembra del cultivo, puede ser utilizada para inducir la germinación de semillas y luego utilizar una labranza o control químico de la vegetación emergida, reduciendo así la fracción de semillas germinables disponibles en el banco del suelo y que –de otro modo- lo harían durante el ciclo del cultivo. La inundación temprana de los campos a ser cultivados con arroz permite mejorar el control de numerosas especies y-de hecho- es la práctica recomendada luego de aplicarse un herbicida de pre-inundación (Baldwin y Slaton, 2001). Más aún, en los cultivos de arroz bajo inundación, en los cuales la semilla pregerminada de arroz se distribuye en el lote, es una técnica que ha sido utilizada para el manejo de malezas problemáticas como es el caso del arroz rojo en arroz convencional (Baldwin y Slaton, 2001).

Véase otros ejemplos de aplicación de tácticas de MIM en las cajas conceptuales N° 3 y 4.

Caja Conceptual N° 1

Manejo Integrado de malezas. Fernández, O.A. 1982 *Planta Daninha* V (2):69-79.

Las plagas de los cultivos: malezas, insectos, hongos, nematodos, vertebrados y otros organismos, están en directa competencia con los mismos recursos ambientales y energéticos que ambos necesitan para su propia supervivencia. Las plagas atacan contra un sistema tecnológico que exige alta eficiencia en la producción de alimentos y fibra para el consumo humano. Los sistemas de manejo integrado de las plagas tienen su origen en el control de insectos perjudiciales: el uso abusivo e indiscriminado de los plaguicidas químicos a partir de la Segunda Guerra Mundial, creó preocupación debido a sus efectos sobre el ambiente y la salud humana. Los entomólogos, a principios de la década de 1950 fueron los primeros en reconocer los problemas derivados del uso indiscriminado de insecticidas. El sector agropecuario observó con preocupación que el uso rutinario de estos productos resultaba en la aparición de poblaciones de insectos resistentes a los mismos, y de nuevas plagas que antes tenían importancia secundaria o incluso se desconocían. La acción residual de los productos empleados se tradujo en muchos casos en un agente de contaminación ambiental, afectando a las poblaciones de otros animales. Estos hechos se tradujeron en un cambio de mentalidad en la aplicación rutinaria de productos químicos como medida casi exclusiva para el control de insectos perjudiciales. Se vio la necesidad de un enfoque holocénico para el control de las plagas asociadas al ambiente en que se desarrollan las plantas cultivadas, integrando de manera razonable el uso de los plaguicidas químicos con otras formas de control y sustancialmente con el estudio de los ciclos de vida y ecología de las mismas. En 1963, la FAO muestra su interés por los peligros potenciales derivados del uso intensivo de los agroquímicos en el control de plagas y en 1965 se celebra el primer simposio sobre el control integrado de plagas. Diez años más tarde se realizó el primer simposio sobre control integrado de malezas (Fryer y Matsunaka, 1977). Actualmente existen numerosos ejemplos de programas de sistemas de manejo integrado de plagas (Van Huis, 1981; Blair y Parochetti, 1982), algunos haciendo énfasis en el control de malezas. Las malezas constituyen un factor a considerar en todo programa de productividad agropecuaria. Las áreas en las cuales causan perjuicios son muy variadas: cultivos, sistemas de regadío, campos naturales, viveros, bosques, caminos, etc. Las pérdidas económicas más significativas y los costos más elevados para su control ocurren asociadas a las áreas cultivadas, en donde compiten por nutrientes, agua, luz y espacio. Asimismo en dichas áreas, entorpecen las tareas de la cosecha, desvalorizan el producto final y lo encarecen dado que para su control deben invertirse sumas importantes, siendo en consecuencia no solamente un problema para el productor sino que su presencia perjudica, en última instancia, al consumidor. Los métodos que se utilizan para su control pueden afectar la calidad ambiental y son entonces de interés para la sociedad. Es importante para todo aquel que se encuentra involucrado en los problemas derivados de la presencia de malezas y su manejo, comprender como principio básico de acción, que las leyes que gobiernan las relaciones entre los cultivos como organismos útiles y las malezas como organismos indeseables, son las mismas que gobiernan todos los sistemas ecológicos naturales. Así la presencia de una maleza se identifica más bien con un fenómeno natural relacionado a la adaptación ecológica y la evolución de dichos organismos a ambientes modificados por la actividad humana, y sólo incidentalmente puede estar vinculada a la consideración de que una especie sea indeseable o no (Harlan y de Wet, 1965). Es conocida la frase de Bailey (1895) quien afirmó que "la Naturaleza no reconoce plantas como malezas". Las prácticas agropecuarias ofrecen numerosas oportunidades para las especies colonizadoras: por ejemplo, el laboreo del suelo ofrece una cama limpia y en general el agua y los nutrientes no faltan, especialmente durante los primeros estadios del cultivo. Algunas de estas especies son capaces de adaptarse evolutivamente a las nuevas situaciones (Fernández, 1979) convirtiéndose en malezas especializadas de un cierto cultivo, a tal punto que frecuentemente son desplazadas por la vegeta-

ción nativa del lugar si el cultivo desaparece. Raramente, las plantas cultivadas se utilizan sin que hayan sido sometidas a un proceso de “mejoramiento” y con frecuencia se cultivan en ambientes que se hallan fuera de su óptimo ecológico. Como resultado, son pobres competidoras, obteniéndose en lugar de un monocultivo, una comunidad compuesta por plantas cultivadas+malezas. La presencia de las malezas es casi siempre una indicación de una etapa de sucesión secundaria. La tendencia constante de las áreas cultivadas de revertir a un sistema de vegetación natural, lleva implícito el principio de que controlar las malezas es una tarea inevitable para una eficiente producción de alimentos.

La era de los herbicidas

El descubrimiento a mediados de la década del 1940 de las propiedades selectivas de los compuestos fenoxiacéticos (Marth y Mitchell, 1944; Nutman, et, al; 1945; Slade et. al., 1945), representó el comienzo de una nueva etapa en los métodos de control de malezas. En pocos años siguió un desarrollo explosivo del uso de distintos tipos de herbicidas, existiendo en la actualidad más de 400 formulaciones que contienen más de 100 principios activos que están comercialmente distribuidos por todo el mundo. El potencial de estos nuevos productos ha sido tal que ha significado una respuesta fácil para muchos de los problemas ocasionados por las malezas de los cultivos. Es así que, en el transcurso de pocos años, los sistemas agropecuarios de todo el mundo han dependido más y más del uso de los herbicidas como estrategia casi exclusiva para resolver el problema que representa la presencia de malezas. Por otro lado, si bien es cierto que el empleo extensivo de los herbicidas ha significado el uso de una práctica agropecuaria cuyas ventajas están fuera de discusión, también lo es el que el problema de malezas no ha desaparecido y en muchos casos particulares se ha agravado. Además, en forma similar como ha ocurrido anteriormente con los insecticidas, ha empezado a preocupar el impacto que puede tener sobre el ambiente el uso repetido o indiscriminado de estos productos. Un número de razones ha traído a un primer plano de consideración la búsqueda de alternativas más racionales para resolver el problema que representan las malezas de los cultivos, en contraposición con una única alternativa, la química, que se ha venido enfatizando durante los últimos treinta años. Estas razones pueden resumirse en los siguientes cuatro puntos principales:

a) El uso indiscriminado de los herbicidas puede causar perjuicios e interacciones en el mantenimiento de los ecosistemas naturales que deben ser tomados en consideración y que se hallan muy poco documentados. Las malezas constituyen poblaciones dinámicas que interaccionan con su medio. Como productores primarios juegan un papel significativamente importante en relación con la fauna, microorganismos y otras plantas. Si bien es cierto que conjuntamente con la flora del lugar pueden hospedar organismos perjudiciales a los cultivos, en otros casos representan una contribución significativa al mantenimiento de poblaciones útiles de insectos u otros animales (Blair y Parochetti, 1982). Pueden ser valiosas por ejemplo, en el mantenimiento de insectos polinizadores. En determinadas circunstancias, su utilidad podría estar asociada a los momentos en que el cultivo no se encuentra en desarrollo. Más importante a largo plazo, quizás, es que la aplicación extensiva e indiscriminada de los herbicidas estaría asociada a la destrucción de la reserva de germoplasma de la flora nativa de cada región. El potencial del contenido génico de las especies silvestres es muy poco conocido. Aún aquellas especies que en estos momentos carecen de aparente valor económico, son depositarias de características heredables imposibles de recrear una vez perdidas, y cuya utilidad futura no se puede prever.

b) Un aspecto importante, responsable de la persistencia del problema de las malezas, es el reemplazo del tipo de malezas como consecuencia del uso de los herbicidas selectivos. En la literatura existen numerosos ejemplos (Ennis, 1974; Soerjani, 1977; Böger y Vetter, 1978) en donde las malezas susceptibles a los herbicidas son reemplazadas por otras tolerantes y más difíciles de eliminar. Frecuentemente sucede en estos casos que un problema, razonablemente simple de corregir

por medios químicos, es reemplazado por otro más difícil. Plantas que antes eran representantes menores de la flora regional, encuentran condiciones favorables y nichos ecológicos disponibles que colonizan con gran rapidez. Frecuentemente pueden evolucionar dentro de los mismos dando lugar a la formación de nuevos biotipos (Fernández, 1979).

c) Otro motivo significativo es el costo creciente de los herbicidas, particularmente a partir de la denominada crisis energética de la década del setenta. El costo de los productos químicos para aplicar en situaciones específicas de numerosos cultivos no está al alcance del productor medio de muchas regiones del mundo. Frecuentemente las cantidades limitadas que se necesitan de dichos productos hacen que no se fabriquen localmente, debiendo en consecuencia ser importados con su consiguiente encarecimiento.

d) A pesar del número elevado de herbicidas existentes y la tecnología moderna puesta al alcance del productor, el problema de las malezas persiste. Existen problemas serios a nivel de cada región y otros que pueden considerarse de nivel internacional. Una publicación reciente (Holm, y otros, 1977) evalúa la distribución mundial de las malezas más importantes y los cultivos que infestan, resume información biológica sobre las mismas y proporciona un caudal importante de referencias bibliográficas. *Agropyron repens*, *Sorghum halepense*, *Avena fatua*, *Eichornia crassipes*, *Convolvulus arvensis*, *Cyperus rotundus*, *Imperata cilindrica*, *Solanum eleagnifolium* y *Potamogeton* sp., son ejemplos de algunas de las malezas que debido a su capacidad competitiva y estrategias de sobrevivencia constituyen problemas graves en varias partes del mundo. Debido a nuestra incapacidad para anular la capacidad competitiva de las malezas, todos los años se repiten los costos elevados necesarios para su control. Existe coincidencia entre los técnicos y científicos dedicados al estudio de este tipo de plantas, que se está aún lejos de una solución definitiva al problema de las malezas de los cultivos en base a las metodologías existentes. De allí que un nuevo enfoque hacia tales problemas se hace indispensable.

Un enfoque moderno para el control de las malezas.

La presencia de una maleza en un cultivo, en un canal de riego, en una pastura, etc., deriva de una serie de acontecimientos abióticos y bióticos que debido a su interdependencia o interacción, pueden ser vistos como un suceso único. Esta forma de pensar, enfocando como una unidad una serie compleja de factores y hechos que, en este caso determinan la abundancia de una planta indeseable, ha llevado al estudio del manejo de las malezas en su medio como un sistema. En última instancia, la presencia de una maleza en un lugar determinado es un problema complejo de orden ecológico, y la ecología se ocupa a muy distintos niveles del estudio de sistemas. El enfoque de manejo de malezas como un sistema, o si se quiere como un subsistema se está trabajando en el marco de un programa de manejo integrado de plagas, puede contribuir notablemente al desarrollo de modelos que permitan disponer de más de una estrategia para reducir su densidad. Es por su propia idiosincrasia flexible y puede estar sujeto a una permanente evaluación y modificaciones.

Sistema de Manejo Integrado de Malezas (MIM).

Una definición de manejo integrado de plagas es difícil de establecer dado que su filosofía es amplia y está en constante evolución o bien puede ser distinta para problemas distintos. Resumiendo los conceptos vertidos por varios autores (Ennis, 1977; Allen y Bath, 1980; Baldwin y Santelman, 1980; Binir y Parochetti, 1982) y otros enunciados en este trabajo, podemos decir que un sistema de manejo integrado de malezas (MIM) enfoca el problema utilizando en forma compatible con la calidad ambiental, todas las técnicas adecuadas y conocimientos existentes para reducir una población de malezas a niveles tales que los perjuicios económicos que produzcan se hallen por debajo un umbral, -económico- aceptable. En muchos casos puede incorporar métodos físicos, químicos, mecánicos, biológicos, genéticos conjuntamente con medidas preventivas y estudios básicos sobre

biología y ecología de las malezas, así como el entrenamiento de técnicos y extensión a nivel de productores. No consiste simplemente en la aplicación de una o dos medidas de control, sino que incluye el estudio del problema en forma interdisciplinaria, siendo en consecuencia holocénico por naturaleza. Es erróneo pensar que MIM constituye una idea revolucionaria para los sistemas de producción agropecuaria. Antes del descubrimiento de los herbicidas modernos, el productor agropecuario estaba forzado a un enfoque integrado para el control de malezas simplemente por el hecho de que ninguna de sus tecnologías separadamente era suficiente para lograr el control deseado. Partiendo de los métodos más antiguos, todos de naturaleza no química, tales como: aradas, carpidas, rotaciones, empleo de semilla limpia, fuego, inundación, manejo de pastoreo, cultivos de limpieza, época de plantado, uso de variedades resistentes, etc., todos son métodos válidos hoy. En el control de malezas se puede decir que nunca se llegó a abandonar un método de combatirlos, simplemente se han agregado otros nuevos. El MIM viene a retomar así un concepto clásico en el que estamos de vuelta como si se cerrara un ciclo. Nos vemos obligados a revivirlo, ante el potencial descalabro ecológico que nos enfrenta el uso indiscriminado de productos químicos y la falta de solución al problema de las malezas que persiste. En el futuro, será necesario tomar lo mucho favorable que ofrece el control químico adaptándolo a los requerimientos de preservación ambiental y compatibilizarlo con las necesidades del productor.

Caja Conceptual N° 2

Cultivos y fechas de siembra. Fernández y otros, 1998.

Se presentan los resultados de un experimento realizado en la Unidad Integrada Balcarce (INTA-UN-MDP) durante tres campañas agrícolas (1996-97-98) donde se analizaron, entre otras respuestas, los efectos de diferentes cultivos (avena, cebada y trigo) sin limitaciones de N y P, sobre el crecimiento de malezas hasta la cosecha. Además, para el cultivo de trigo, los efectos de la fecha de siembra (temprana y tardía). Los resultados pusieron en evidencia que, con el retraso de la fecha de siembra, el cultivo de trigo aceleró el desarrollo del canopeo, por lo cual se esperaba un mayor efecto supresor sobre las malezas y mayor tolerancia a la competencia. No obstante, la biomasa de maleza a cosecha fue marginalmente ($p < 0,10$) superior en el cultivo tardío y la reducción respecto a testigos de malezas sin cultivo no difirió significativamente entre fechas de siembra, en ninguno de los tres años. Por su parte, las malezas redujeron en 7,6% y 11,1% los rendimientos del cultivo temprano y tardío, respectivamente en promedio de los 3 años. La explicación más probable puede encontrarse en diferencias en composición y producción de biomasa de la comunidad de malezas que emerge a fin de otoño y en primavera en Balcarce. Si bien no se encontraron diferencias en densidad de plántulas en parcelas testigo (sin cultivos) entre fechas de siembra en ninguno de los tres años ($528 \text{ m}^2 \text{ DE } 80 \text{ m}^2$) la biomasa de la comunidad, al final del ciclo de los cultivos, fue 24 % superior en las correspondientes a siembra tardía respecto a la de siembra temprana. Pero además, en las primeras fueron co-dominantes especies primavera-estivales tales como *Amaranthus quitensis*, *Chenopodium album* y *Echinochloa cruz-galli* que no se presentaron o fueron muy escasas en la siembra temprana. Por lo tanto, en agricultura de climas templados es importante tomar en consideración al decidir la fecha de siembra, no sólo las condiciones climáticas óptimas para que el cultivo pueda expresar su potencial libre de malezas, sino además que tal decisión va a determinar diferentes patrones de emergencia, composición comunitaria y balance competitivo entre malezas y cultivo.

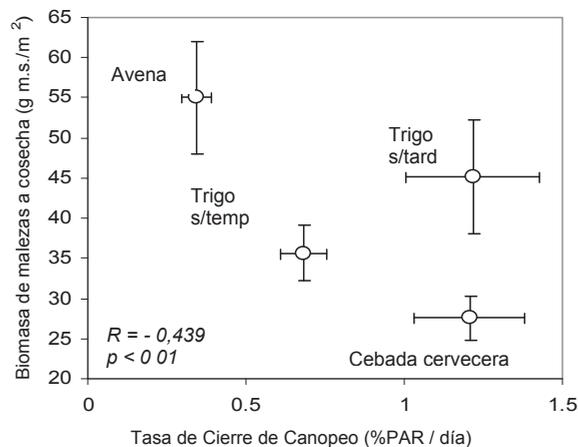


Figura 9. Relación entre la tasa media de cierre del canopeo durante las primeras 5 semanas desde emergencia y la biomasa de malezas acumulada a cosecha en 4 cultivos experimentales fertilizados con N (200 kg/ha de urea) sin control de malezas durante 3 ciclos (1996, 1997 y 1998 en Balcarce). Los segmentos indican $\pm 1EE$ (n=9). Las pérdidas de rendimiento relativo a testigos con control químico aplicado a macollaje (Bentazon 24,0% + 2,4 DB dimetilamina, 1,5 L de formulado /ha) fueron 15,3% \pm 3,1 %, 7,6 % \pm 2,6%, 1,1% \pm 2,9% y 9,6 % \pm 1,7% para avena (*Avena sativa* var. Bonaerense Payé), trigo de siembra temprana (*Triticum aestivum* var. Buck Palenque), trigo de siembra tardía (ibidem) y cebada cervecera (*Hordeum vulgare* var. Quilmes Palomar), respectivamente.

Caja Conceptual N° 3

Dosis respuesta, aumento de competitividad del cultivo y regulación de la fecundidad de *Avena spp.* en Cebada. Fernández Quintanilla y otros, 2006.

La utilización de dosis por debajo de las recomendadas, pueden proveer de un buen control de malezas sin que el rendimiento se vea negativamente afectado (Zhang y otros., 2000). En Australia, un modelo de simulación indica que las dosis económicamente óptimas para el control de *Avena spp.*, suelen encontrarse por debajo de las recomendadas en los marbetes (Martin y otros., 1990). Una reducción en las dosis de herbicida podría traducirse en una reducción de los costos de producción, y por lo tanto en un aumento de rentabilidad en áreas marginales. Y desde el punto de vista ambiental, también es auspicioso el hecho de considerar reducciones en las dosis. También es necesario puntualizar que existe el problema potencial que el uso de dosis reducidas de herbicida conduzca a un incremento en las poblaciones en los años subsiguientes, al no prevenirse totalmente la producción de semillas. La utilización de prácticas de manejo que incrementen la competitividad del cultivo o el empleo de cultivares más competitivos, pueden reducir por lo tanto los efectos negativos asociados al uso de dosis reducidas de un herbicida. El impacto sobre malezas se traduce en reducciones en el peso y número de sus semillas. En el trabajo que aquí se resume, se evaluaron combinaciones de tácticas para optimizar el control de *Avena spp.* en tres experimentos conducidos durante tres años con cultivo de cebada. Los tratamientos incluyeron:

- a) un rango de dosis de tres tipos de herbicidas.
- b) cuatro variedades de cebada.
- c) tres densidades de siembra.

Los resultados demostraron que las dosis de herbicida que produjo una reducción del 50 % del peso fresco de la maleza fué más elevada con diclofop que con imazethabenz o tralkoxydim. En condiciones de adecuada precipitación, la reducción de la dosis en 50 % no produjo reducciones significativas en la fecundidad de *Avena spp.* Sin embargo, en condiciones de estrés hídrico, la producción de semillas fue significativa con bajas dosis del herbicida, especialmente cuando la densidad de la maleza fue elevada. Los rendimientos de cebada fueron afectados por la condición hídrica del año y ello interaccionó con los herbicidas y sus dosis: por ejemplo la reducción de 50 % de la dosis recomendada de tralkoxydim se tradujo en una reducción del rendimiento del 32 % en el primer año pero de sólo el 3 % en los dos años restantes; la elevada pérdida en el primer año puede estar asociada con elevadas densidades de la maleza y estrés hídrico. El factor variedad tuvo también interacciones con el herbicida tralkoxydim: así la ED₅₀ fue de sólo 8 % para la variedad "Albacete" (de elevado porte y ciclo largo) y de 18 % para "Barbarrosa" (mediana altura, ciclo intermedio). La eficacia de bajas dosis de tralkoxydim en reducir la producción de semillas no mejoró al aumentar la densidad de siembra del cultivo.

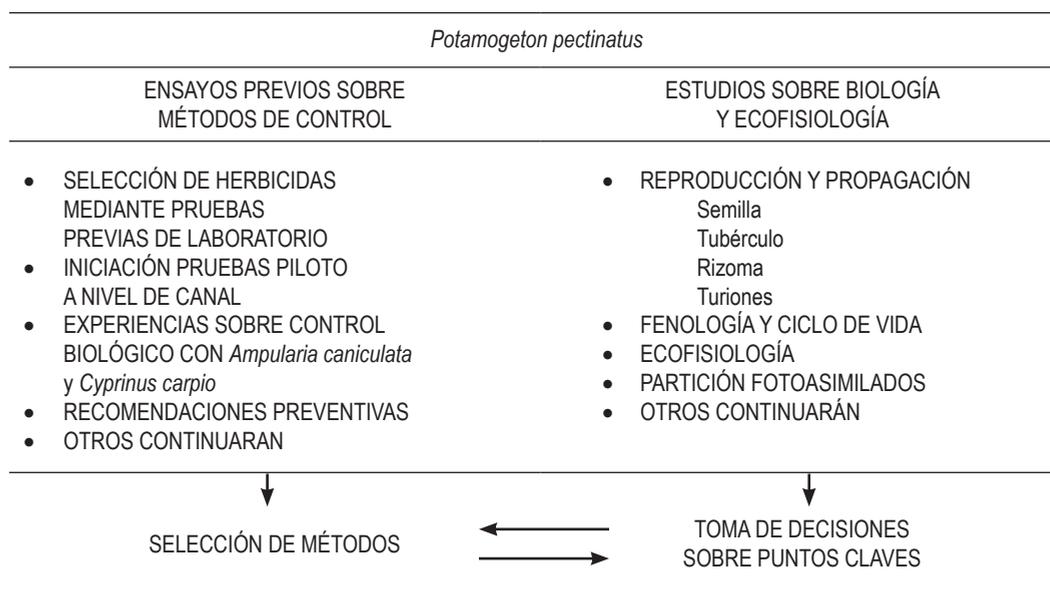
Estos resultados sustentan los reportados por Wille y otros. (1998) quienes concluían que si bien las poblaciones de *Avena spp.* pueden ser manejadas exitosamente con dosis reducidas cuando las poblaciones tienen baja densidad, ninguna táctica simple o única es suficientemente efectiva cuando las densidades poblacionales son elevadas; en otra palabras, la reducción de dosis al 50 % de la indicada en el marbete es una práctica segura cuando la densidad de la maleza es baja o moderada. Aún así, la reducción de dosis puede conducir a riesgos de pérdida de rendimiento mas elevados debido a un incremento en las densidades poblacionales en los años subsiguientes, aunque este riesgo puede ser minimizado mediante la siembra de variedades más competitivas.

Caja Conceptual N° 4

Enfoque integrado horizontal y vertical para el MIM. Fernández, 1982.

Un análisis rápido de la complejidad del MIM muestra las ventajas de evaluarlo desde dos niveles de acción distintos, que han sido denominados “enfoque integrado horizontal” y “enfoque integrado vertical” (Soerjani, 1977, Fernández, 1982). El punto de vista de integración horizontal abarca las relaciones interdisciplinarias inherentes a la presencia de la plaga y su manejo, considera a la maleza en su interrelación con otros componentes del ecosistema y las consecuencias que se pueden derivar de cualquier acción sobre el mismo. De tal manera, si una práctica de control de malezas afecta a los insectos, otras plantas, a los microorganismos del suelo, a la fauna del lugar o al ser humano, este efecto debería ser evaluado y si es posible cuantificado, pasando a ser parte de la información (enfoque *holocenótico*, en la Caja Conceptual 1). El punto de vista del manejo integrado vertical se relaciona con todo tipo de actividades que directamente pueden contribuir a reducir la densidad de una población de malezas por debajo de los cuales se considera que sus perjuicios económicos son tolerables. Significa el uso de todas las combinaciones apropiadas y tecnológicamente compatibles para el control y la prevención de problemas de malezas. Asimismo, como se propone en este trabajo, abarcaría todos los estudios de carácter básico sobre la biología y la ecología de las malezas que tienden a producir información útil hacia el objetivo fundamental del manejo de sus poblaciones y comunidades y la reducción de sus perjuicios económicos y ambientales en los agroecosistemas. La necesidad de una integración horizontal y vertical en un programa de manejo integrado de plagas ha sido enfatizada por otros autores (Allen y Bath, 1980). La Figura 2 muestra la aplicación de los principios y fases del MIM por parte de la Universidad Nacional del Sur, la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y la Corporación de Fomento del Valle Inferior del Colorado, en una acción común para limitar los perjuicios causados por *Potamogeton pectinatus* y *Chara spp.* en la zona de regadío de la provincia de Buenos Aires mencionada anteriormente.

El resultado, luego de varios años de trabajo es un valioso caudal de información sobre la biología y la ecofisiología de las especies en estudio, y una serie de recomendaciones prácticas sobre manejo y control (Acosta y otros, 1998; Fernández y otros, 1998, Sidorkewicz y otros, 1998, 2004; Bentivegna y Fernández 2005).



Perspectivas: el desafío de implementar un programa de MIM y sus condicionantes

Existen numerosas y bien fundadas razones para revertir la tendencia creciente en el uso de herbicidas, tanto para preservar los beneficios económicos de los productores como la calidad alimentaria y ambiental de la población. Además, siendo técnicamente posible y económica viable (Pimentel y otros. 2005; Anderson 2005; Nazarko y otros. 2005), su prosecución es éticamente irrenunciable.

Como se desprende de la revisión de tácticas reactivas y proactivas, existe una amplia diversidad de opciones tecnológicas y herramientas teóricas que permitirían articular inteligentemente las mismas en el MIM. La transición desde el paradigma curativo del control al preventivo del manejo, no implica contraponer o subordinar decisiones y acciones de corto plazo a las de largo plazo, sino complementarlas y potenciarlas recíprocamente.

Esta integración sinérgica representa un enorme desafío tanto para la investigación como para la extensión agrícola, a fin de sustituir en la medida de lo posible el uso de herbicidas por el uso intensivo de conocimiento (Hails, 2002; Tilman y otros. 2002), e identificar y remover los factores de orden social, económico e institucional que obstaculizan la adopción de estrategias de manejo integrado (Mohler y otros., 2001). Entre las carencias institucionales se destacan:

- a) políticas de Estado que propicien el manejo integrado de los agroecosistemas (ej. que favorezcan rotaciones y desfavorezcan monocultivos) y regulen el uso de plaguicidas;
- b) prioridades de I+D pública orientada al conocimiento de base y al desarrollo de opciones tecnológicas no-químicas;
- c) educación superior y extensión agro-nómica *en ciencias de las malezas y no de los herbicidas*, con enfoque sistémico y en contexto del desarrollo integral sustentable.

Epílogo

Querer y Poder

La necesidad de contar con políticas específicamente orientadas a la reducción del uso de plaguicidas fue tempranamente reconocida por países escandinavos y actualmente se implementan políticas de Estado en otros países de la UE. Junto con instrumentos regulatorios de naturaleza jurídica o económica, en esos países se desarrollan programas de educación ambiental, de concienciación pública y de extensión agrícola que facilitan la adopción de tácticas preventivas así como la eficiencia de uso y la sustitución de plaguicidas (ej. Programas de Acción Nacional previstos en la Directiva N° 128 /09). Sin embargo, parece razonable cuestionarse la aplicabilidad de este tipo de políticas al contexto socio-económico de otras naciones donde, como en Argentina, la actividad primaria continúa siendo uno de los pilares de la economía. Se podría argumentar que la internalización de costos ocultos de la elaboración y uso de plaguicidas haría perder competitividad al sector en el mercado global. Pero, ¿quién paga entonces el costo de esa competitividad? Es evidente que el mercado no es capaz de evitar fallas o externalidades negativas provocadas por el modelo de agricultura industrial predominante. Por lo tanto y dado que es función primordial e indelegable de los Estados velar por intereses públicos, deben ser sus instituciones las que provean mecanismos para que los intereses privados, individuales o corporativos, no prevalezcan sobre los del conjunto de la sociedad. Lamentablemente, el necesario debate sobre este punto no parece integrar la agenda de prioridades políticas de nuestro país. Si bien es indispensable la voluntad política y el consenso público para limitar el uso de plaguicidas, el Querer puede ser solo declamatorio si las instituciones públicas no disponen del Poder suficiente (ej. instrumentos jurídicos; sistema de innovación y transferencia, capacidad de monitoreo y regulación, recursos para estímulos fiscales) para su concreción.

La paradoja de Séneca

“No es porque las cosas sean complicadas que no nos atrevemos a cambiarlas, sino todo lo contrario” (Séneca 4aC – 65dC)

La cita de Séneca (versión libre del original) encierra algunos de los prejuicios o temores frecuentes cuando se argumenta sobre las dificultades para diseñar y adoptar prácticas culturales preventivas para el manejo integrado de malezas, no sólo entre productores sino inclusive entre profesionales y académicos de la agronomía. También sostenía Séneca que las personas creen más en lo que ven que en lo que escuchan y, con prescindencia del cuestionable rigor científico de esto último, se debe aceptar que uno de los principales desafíos de las investigaciones para el manejo integrado de las malezas es justamente, poner en evidencia y mostrar en acción, a escala de sistemas productivos reales, que las cosas no son tan complicadas como suenan.

Pero para mostrar resultados convincentes y disipar la natural aversión al riesgo que provocan las incertidumbres, se deben implementar estrategias metodológicas para la investigación y la extensión diferentes a las empleadas con las tecnologías basadas en insumos. La investigación agrícola tradicional está orientada a ofrecer a los productores recomendaciones o prescripciones generales, adecuadas a situaciones “promedio o representativas” de una zona. Típicamente, las prioridades de investigación en malezas para cada región se establecen por cultivo y, a veces, por problemas especiales (ej. malezas resistentes a herbicidas).

La adaptación tecnológica surge de experimentos en parcelas, de tipo *insumo-producto* o *factor-respuesta*, repetidos varios años y/o localidades para los diferentes componentes de un paquete tecnológico (variedades, dosis de fertilizantes y plaguicidas, riego, fecha y densidad de siembra óptimas). Aún cuando los conocimientos originados de este tipo de experimentos no puedan abarcar la variabilidad natural y los cambios aleatorios que tienen lugar en el sistema real, ofrecen al investigador la posibilidad de mostrar rá-

pidamente resultados a potenciales usuarios (productores, asesores, extensionistas), y publicarlos a corto plazo en revistas científicas y de divulgación especializadas. Este modelo lineal y unidireccional de investigación-desarrollo-transferencia desde el campo experimental al medio productivo (Staver, 2001) demuestra ser eficaz para la adaptación y prescripción de tecnologías de insumos, particularmente cuando los sistemas de producción de la región poseen alto grado de uniformidad y estandarización tecnológica; pero es poco o nada adecuado para el desarrollo de manejo integrado de plagas y, especialmente, de malezas, basado en tecnologías de procesos, conocimiento-intensivas.

La adopción de prácticas proactivas para el manejo de malezas en agroecosistemas, puede verse dificultada no sólo por la imposibilidad de mostrar resultados de largo plazo, sino además porque se reconoce *a priori* la necesidad de abordar la complejidad sistémica y de tomar en cuenta la variabilidad no controlable y la irrepitibilidad de la casuística real: un avance importante en esta dirección es el logro mediante la implementación del modelo de investigación-acción participativa “en chacra” (Snapp, 2012). Si lo que se pretende manejar son sistemas, es lógico que la búsqueda de conocimiento se realice en sistemas, sin ignorar sus singularidades y rechazando el supuesto no realista que es posible controlar todos los factores que gobiernan los procesos a manejar; pero fundamentalmente, tomando en cuenta el marco de restricciones y riesgos en que cada productor debe tomar sus decisiones. Este tipo de abordaje metodológico articula la investigación planificada y supervisada por académicos, tanto en campo experimental como en una red local de sistemas productivos reales, donde además de los propios productores participan extensionistas y asesores. Además de las técnicas estadísticas paramétricas y no-paramétricas, uni o multivariadas empleadas en estudios convencionales, se pueden aplicar aquí técnicas de Modelado de Ecuaciones Estructurales, a partir de la formalización de una hipótesis compuesta que integra una serie de relaciones causa-efecto variables. La relevancia de

esta modalidad multidireccional en flujos de información y de conocimiento y de su aplicación y evaluación continua en las propias chacras, facilita al productor constatar *in situ* (“*ver para creer*”, según Séneca) la efectividad de sus decisiones y adquirir un estrecho compromiso con su propio aprendizaje y el de otros miembros de su grupo de interés, compartiendo innovaciones y capacitándose en técnicas de monitoreo y de ensayos experimentales (Staver, *op.cit.*). Por su parte, en este modelo los investigadores encuentran oportunidad de conducir experimentos de largo plazo y a escala espacial relevante para abarcar la diversidad socio-ambiental de la región, en estrecha colaboración con agentes de extensión y asesores privados. Estos experimentos a largo plazo en sistemas reales constituyen asimismo una plataforma apropiada para el abordaje interdisciplinario a la sustentabilidad de agroecosistemas, donde el manejo adaptativo de las malezas es un componente más de programas que abarcan otras problemáticas agronómicas y socio-económicas de las empresas.

Una estrategia complementaria a las descriptas, es la que desarrolla y aplica modelos de simulación para asistir la toma de decisiones. Cuando se cuenta con suficiente conocimiento sobre la dinámica de procesos comunitarios y poblacionales de las malezas, el mismo puede sintetizarse en los denominados modelos dinámicos bioeconómicos (MDB). Estos permiten, al menos en forma virtual, ampliar el rango de situaciones en que pueden presentarse los problemas y evaluar diferentes decisiones de manejo, tanto por sus beneficios económicos como por sus efectos sobre las malezas, a mediano y largo plazo.

El desarrollo de estas herramientas representa un avance importante para ayudar a los productores de una región en sus decisiones y en particular, para facilitar el trabajo de asesores y extensionistas en la transferencia del enfoque sistémico y del manejo estratégico- adaptativo. Uno de estos modelos es el empleado en Australia (Pannell y otros. 2004) para evaluar los resultados de diferentes alternativas de manejo integrado de raigrás

en cultivos de cereales, legumbres, canola y verdeos, frente a las dificultades que plantea la evolución de resistencia a herbicidas en esa maleza, denominado RIM (Resistance Integrated Model). Como sus autores lo destacan, el modelo le ofrece a los productores la posibilidad de “experimentar” diferentes secuencias y opciones de manejo en términos, biológicos, económicos y agronómicos a largo plazo (5 a 10 años) disipando temores de asumir riesgos, al poder constatar que la integración de tácticas reactivas y proactivas no solo no es tan complicado como parece sino que, para el caso particular del manejo de evolución de resistencia, es la estrategia más eficaz de preservar la viabilidad económica de su empresa. Más recientemente Beltran y colaboradores (2012) publicaron un MBD que permite analizar programas de manejo integrado de *Echinochloa crus-galli*, una de las malezas más perjudiciales en cultivos de arroz. Este modelo permite proyectar los resultados de 49 combinaciones posibles de diferentes prácticas durante períodos desde 5 a 20 años. Los resultados de este modelo, así como los del RIM desarrollado para raigrás, ponen en evidencia los importantes beneficios económicos asociados con estrategias de manejo de largo plazo. Pero no menos importante, permite visualizar aquellos procesos críticos para el éxito del manejo de las infestaciones y la prevención de sus daños que pueden requerir mayor grado de conocimiento para mejorar las proyecciones del modelo, orientando así futuras investigaciones.

Resumen

La puesta en marcha de un programa de MIM en forma exitosa integra sinérgicamente tácticas reactivas y proactivas para:

- a) aumentar la eficiencia de uso de los herbicidas,
- b) sustituirlos o complementarlos con métodos no químicos y
- c) reducir la necesidad de utilizar tácticas de control reactivas a través del rediseño y manejo de los agroecosistemas, de manera de potenciar los mecanismos de resistencia a invasiones y la biorregulación de la dinámica poblacional de malezas.

La necesaria transición hacia el logro de los objetivos de un programa de MIM exitoso demanda reencauzar investigaciones en ciencias de las malezas, con mayor vocación y con inversiones en cuestiones relacionadas con el desarrollo de opciones tecnológicas eficaces, económicamente viables y coherentes con metas de desarrollo sustentable de los agroecosistemas. Las investigaciones tradicionales, efectivas para la adaptación de tecnologías de insumo y la resolución de problemas por cultivo, no lo son para el desarrollo y transferencia de tecnologías de proceso, que demandan el manejo adaptativo de problemas a escala de sistemas de producción. Varias experiencias internacionales de investigación-acción participativa “en chacra”, así como la capacitación de productores y asesores en la aplicación de MDB señalan caminos posibles para el abordaje sistémico de la complejidad y la facilitación de la enseñanza y la extensión agronómica del manejo de malezas. Algunas de las barreras a la adopción de prácticas de manejo menos dependientes de herbicidas (y de plaguicidas en general) pueden identificarse en la formación profesional y académica en Ciencias Agrarias. Otras, en la carencia de políticas públicas pro-activas que establezcan taxativamente metas y plazos y faciliten la transición tecnológica necesaria para minimizar esa dependencia.

Bibliografía

- Acosta, L.W., M.R.Sabbatini, L.F.Hernández y O.A. Fernández. 1998. Regeneración de cuerpos reproductivos de *Potamogeton pectinatus*, *Ruppia maritima*, *Zannichellia palustris* y *Chara contraria*: efecto de la temperatura. *Øyton* 63 (1/2):167-178.
- Allen, G.E y J.E.Bath. 1980. The conceptual and institutional aspects of integrated pest management. *Bioscience* 10: 658-664.
- Anderson, R. L. 2005. A multi-tactic approach to manage weed population dynamics incrop rotations. *Agronomy Journal* 97: 1579–1583.
- Anderson, R.L. 2011. Synergism: a rotation effect of improved growth efficiency. In D.L. Sparks ed.: *Advances in Agronomy* 112: 205-226.
- Arias Estévez M., E. López Periago, E. Martínez Carballo, J.Simal Gándara, J.C. Mejuto y L.García Río 2008. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123: 247–260.
- Bagavathiannan, M. V., and J. K. Norsworthy. 2013. Occurrence of arable weeds in roadside habitats: implications for herbicide resistance management. In: Proceedings of the Weed Science Society of America Annual Meeting , Baltimore, Maryland. USA.
- Bailey, I.H. 1895. Some reflections upon weeds. Bulletin, Cornell University Agricultural Experimental Station 102:522-526.
- Baldwin, F.L y N.A.Slaton, 2001. Rice weed control. pp. 42-44 In: N.A. Slaton (ed.). Rice Production Handbook, MP-192. University of Arkansas, Division of Agriculture, Cooperative Extension Service, Little Rock.
- Baldwin, F.L y P.W.Santelman. Weed Science in integrated pest management. *Bioscience* 10:675-678.
- Ballaré, C.; A.L. Scopel; C.M. Ghersa y R.A. Sánchez.1987. The population ecology of *Datura ferox* (L.) in soybean crops. A simulation approach incorporating seed dispersal. *Agriculture, Ecosystems y Environment*. 19: 177-188.
- Begna, S.H., Hamilton, R.I., Dwyer, L.M., Stewart, D.W., Cloutier, D., Assemat, L., Foroutan-Pour, K.y Smith, D.L. 2001. Morphology and yield response to weed pressure by corn hybrids differing in canopy architecture. *European Journal of Agronomy* 14: 293–302.
- Beltran, J.C., Pannell, D.J., Doole, G.J. y B.White 2012. A bioeconomic model for analysis of integrated weed management strategies for annual barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* complex) in Philippine rice farming systems, *Agricultural Systems* 112: 1–10.
- Benítez, C.; Benítez, L; Galetti, L.; Leguizamón, E. 2011. Filocrono de malezas de ciclo otoño-invernal. XXXIII Reunión Argentina de Botánica (Misiones).
- Bentivegna, D. J. and O. A. Fernández. 2005. Factors affecting the efficacy of acrolein in irrigation channels in southern Argentina. *Weed Research* 45: 1-7.
- Benvenuti, S. y M. Macchia, 2000. Role of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) canopy height on *Sinapis arvensis* L. growth and seed production. En: *Proc. XIème Colloque Intl. sur la Biologie des Mauvaises Herbes*, Dijon, Francia. pp.305-312.
- Blackshaw, R. E. y L.J. Molnar 2003. Nitrogen fertilizer timing and placement effect on weeds and spring wheat. *Weed Science Society of America Abstract* 43: 56.
- Blair, B.D. y J.V. Parochetti, 1982. Extension implementation of pest management systems. *Weed Science* 30:48-53.
- Blair, B.D. y J.V. Parochetti. 1982. Extension implementation of integrated pest management systems. *Weed Science*. 10, Supplement 1:48-53.
- Böger, P y H.Vetter.1978. Herbicides in modern crop farming. *Plant Research and Development* 8:79-101.
- Bonari, E. y M. Macchia, 1975. Effetto dell' investimento sulla produzione del favino (*Vicia fava* L. var. *minor* Peterm Beck). *Rivista di Agronomia* 9:416-423.
- Booman, G. C., P. Lateralra, V. Comparatore y N. Murillo 2009. Post-dispersal predation of weed seeds by small vertebrates: Interactive influences of neighbor land use and local environment. *Agriculture, Ecosystem y Environment* 129: 277-28.
- Borger, C.P.D., A. Hashem y S. Pathan 2010. Manipulating crop row orientation to suppress weeds and increase crop yield. *Weed Science* 58:174–178.
- Bradley, K. W. 2006. A review of the effects of row spacing on weed management in corn and soybean. *Crop Management*. www.plantmanagementnetwork.org/pub/cm/review/2006/weed/ (on line).
- Buhler, D.D. 2002. Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Science* 50:273–280.
- Callaway, M. B. 1992. A compendium of crop varietal tolerance to weeds. *American Journal of Alternative Agriculture* 7: 169-180.
- Chandran, R.S., C.W. Yohn y C.W. Coburn 2011. Effect of herbicide banding on yield and biodiversity levels of field corn. *Proc. Northeast Weed Science Society* 65:93.
- Clay, S.A y G.A.Johnson, 2002. Scouting for weeds. Crop Management. Doi:10.1094/cm-2002-1206-01-MA.

- Combella, J.H. 1990. Efficient utilisation of herbicides. *Proceedings of the 9th Australian Weeds Conference*. Adelaide, Australia August 6-10.
- Daalgard, T; Hutchings. N.J. and Porter, J.R. 2003. Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 100. 39-51.
- Dauer, J., D.A. Mortensen, M. VanGessel, E. Shields. January, 2009. *Conyza canadensis* seed ascent in the lower atmosphere. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149:526–534
- DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) 2002. The Strategy for Sustainable Farming and Food. Facing the Future. DEFRA Publications, Londres. 52 pp.
- Dellafiore, C, M; Polop, J.J. 1994. Feeding habits of *Calomys musculus* in the crop fields and its borders. *Mastozoología Neotropical* 1(1) 45:50.
- Di Tomaso, J.M. 1995. Approaches for improving crop competitiveness through the manipulation of fertilization strategies. *Weed Science* 43: 491-497.
- Donald, W.W., D. Archer, W.G. Johnson y K. Nelson 2004. Zone herbicide application controls annual weeds and reduces residual herbicide use in corn. *Weed Science* 52:821-833.
- Duke, S.O. 2012. Why have no new herbicides modes of action appeared in recent years ?. *Pest Management Science* 68:505-512.
- Ennis, W.B. 1974. Weed science in pest management programs. Annual meeting of the Southwestern Weed Science Society. Atlanta: 8-14.
- Eyherabide, J.J., M.G. Cendoya, F. Forcella y M. Irazabal 2011. number of solaría needed to predict weed seedlings in two summer crops. *Weed Technology* 2011 25:113–118. FAO 2012. FAO Statística Division, www.faostat.fao.org.
- Fernández, O. A, K. J. Murphy, A. López Cazorla, M. R. Sabbatini, M. A. Lazzari, J. C. J. Domaniewski and J. H. Irigoyen. 1998. Interrelationships of fish and channel environmental conditions with aquatic macrophytes in an argentine irrigation system. *Hidrobiología* 380 (1/3): 18-25.
- Fernández, O.A. 1979. Las malezas y su evolución. *Ciencia e Investigación*. 35:49-60.
- Fernández, O.A. 1982. Manejo Integrado de malezas. *Planta Daninha* 5:69-79.
- Fernández, O.N. 1986. Aspectos metodológicos del estudio de poblaciones de malezas. In Diálogo XXVI *Dinámica de poblaciones y control de malezas en soja*. J.P. Puignau ed. IICA-BID-PROCISUR, Oliveros, Santa Fé pp. 49-62.
- Fernández, O.N. y L. Montes 1987. Un enemigo natural de *Senecio madagascariensis* Poiré (Compositae). *Fitopatología* 22: 37-38.
- Fernández, O.N., O.R. Vignolio, P. Láttera, M.A. de Dios y M.I. Leaden 1998. Análisis de los efectos de competencia en policulturas de trigo y pasturas / Congreso Nacional de Trigo. 4º, Mar del Plata, Buenos Aires AR, nov 11-13 p.3-21.
- Fernández, O.N., Vignolio O.R y E.C. Requesens, 2002. Competition between corn (*Zea mays*) and bermudagrass (*Cynodon dactylon*) in relation to the crop plant arrangement. *Agronomie* 22, 293-305.
- Fernández, O. N. 2010. Evolución, ecología y manejo de la resistencia a herbicidas. *Análisis de Semillas* 4: 72-76. Rosario, Argentina.
- Fernández-Quintanilla, C; E. S. Leguizamón; M. J. Sánchez del Arco, C. de Lucas y L. Navarrete. 2006. Integrating herbicide rate, barley variety and seeding rate for the control of sterile oat (*Avena sterilis*-spp. *ludoviciana*) in central Spain. *European Journal of Agronomy* (25) 223-232.
- Fiedrich, T. 2010. Does no-till farming require more herbicides?. Agricultural and Food Engineering Technologies Service, FAO, Rome, Italia (*on line*).
- Fischer, A. J., H. V. Ramírez, K. D. Gibson, and B. Da Silveira Pinheiro. 2001. Competitiveness of semidwarf upland rice cultivars against palisadegrass (*Brachiaria brizantha*) and signalgrass (*B. decumbens*). *Agron. J* 93:967–973.
- Forcella F., Y. Webster y J. Cardina, 2004. Protocolos para la determinación de bancos de semillas de malezas en los agrosistemas. Cap. 1.p. 3-22. In R. Labrada, (ed.) *Manejo de malezas para países en desarrollo*. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal-120. Addendum I. FAO, Roma, Italia.
- Fried, G., B. Chauvel y X. Reboud. 2009. A functional analysis of large-scale temporal shifts from 1970 to 2000 in weed assemblages of sunflower crops in France. *Journal of Vegetation Science* 20:49–58.
- Fryer, J.D y Matsunaka, S. 1977. Integrated control of Weeds. Japan Scientific Society Press. 262 p.
- Giles, D.K, Downey, D; Slaughter, D.C et al. 2004. Herbicide micro-dosing for weed control in field grown processing tomatoes. *Applied Engineering in Agriculture* 20, 735-743.
- Gill H..K., R. M. Sorley y M. Branham 2011. Effect of organic mulches on soil surface insects and other arthropods. *Florida Entomologist* 94 : 226-232.
- Gold, H. J., J. Bay y G. G. Wilkerson. 1996. Scouting for weeds, based on the negative binomial distribution. *Weed Science* 44:504-510.

- Gossen, R.R.S., R.J. Tyrl, M. Hauhouot, T.F. Peeper, P.L. Claypool, and J.B. Solie. 1998. Effects of mechanical damage on cheat (*Bromus secalinus*) caryopsis anatomy and germination. *Weed Science* 46:249-257.
- Gressel, J. 2010. Herbicides as synergistics for mycoherbicides and vice versa. *Weed Science* 58: 324-328.
- Guglielmini, A.C., C.M. Ghersa y E.H. Satorre 2007. Co-evolution of domesticated crops and associated weeds. *Ecología Austral (Debate)* 17:167-178.
- Gulya, T.J. 2002. First Report of *Puccinia canaliculata* on Sunflower. APS Net 86: 559.2 - 559.2 (on line).
- Hails, R.S. 2002. Assessing the risks associated with new agricultural practices. *Nature* 418: 685-688.
- Harbur M.M.y M. D. K. Owen 2004. Light and growth rate effects on crop and weed responses to nitrogen. *Weed Science* 52: 578-583.
- Harper, J. C. 1956. The evolution of weeds in relation to herbicides. Proc. Brit. Weed Contr. Conf. 3: 179-188.
- Harper, J.L. 1977. Population Biology of Plants. Academic Press. Londres.
- Heap, I. 2012. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Weed Science Society of America. <http://www.weedscience.org/In.asp>. Rec. Nov 2012.
- Hoagland, R.E. C. D. Boyette, M.A. Weaver y H.K. Abbas 2007. Bioherbicides: research and risks. *Toxin Reviews*, 26:313-342.
- Holm, L.J.; D.L. Plucknett, J.V. Pancho y J.P. Herberger. 1977. The world's worst weeds. University Press of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 609 pp.
- Howe, O. W. y L. R. Oliver. 1987. Influence of soybean (*Glycine max*) row spacing on pitted morningglory (*Ipomoea lacunose*) interference. *Weed Science* 35:185-193.
- Hozayn, M., T. Abd-El-Ghafar El-Shahawy y F. Ahmed Sharara 2012. Implication of crop row orientation and row spacing for controlling weeds and increasing yield in wheat. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 6: 422-427.
- Hulme, P.E. 2006. Beyond control: wider implications for the management of biological invasions. *Journal of Applied Ecology* 43: 835-847.
- Johnson, W. C., III y H. D. Coble 1986. Crop rotation and herbicide effects on the population dynamics of two annual grasses. *Weed Science* 34:452-456.
- Jordan, N. 1993. Prospects for weed control through crop interference. *Ecological Application* 3: 84-91.
- Kirk, G. J. D., E. E. Santos y M. B. Santos 1999: Phosphate solubilization by organic anion excretion from rice growing in aerobic soil rates of excretion and decomposition, effects on rhizosphere pH, and effects on phosphate solubility and uptake. *New Phytologist* 142: 185-200.
- Kjær J., P. Olsen, M. Ullum y R. Grant. 2005. Leaching of Glyphosate and Amino-Methylphosphonic Acid from Danish Agricultural Field Sites. *Journal of Environmental Quality* 34: 608-620
- Knezevic, S.Z., S.P. Evans y M. Mainz 2003. Row spacing influences the critical timing for weed removal in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology* 17: 666-673.
- Knezevic, S.Z., S.P. Evans, E.E. Blankenship, R.C. Van Acker y J.L. Lindquist 2002. Critical period for weed control: the concept and data analysis. *Weed Science*, 50:773-786.
- Kremer, R.J. 2001. Bioherbicides: potential successful strategies for weed control. In O. Koul y G. S. Dhaliwal eds. *Microbial Biopesticides* Cap 9. CRC Press.
- Kremer, R. J., and N. R. Spencer. 1989. Impact of a seed-feeding insect and microorganisms on velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) seed viability. *Weed Science* 37: 211-216.
- Lacey, J.R.; C. Lacey. 1985. Controlling pasture and range weeds in Montana. Cooperative Extension Service, Montana State University. 34 pages.
- Langer, V. 2012. Eco-functional intensification as an approach to developing sustainable pest management .. *Chinese-Danish Workshop Systemic Approaches to Pest Management*. Department of Agriculture and Ecology. University of Copenhagen.
- Ledda, A. 2012. Persistencia de *Sphaeralcea bonariensis* Cav. Griseb. (Malva blanca): Comportamiento germinativo, fenología y respuesta al herbicida glifosato. Tesis Maestría Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE. 186 pág.
- Leguizamón, E.S., N. Rodríguez, H. Rainero, M. Pérez, L. Pérez, E. Zorza y C. Fernández Quintanilla, C. 2009. Modelling the emergence pattern of six summer annual weed grasses under no tillage in Argentina. *Weed Research* 49, 98-106.
- Leguizamón, E.S., Berbery, M.T., Cortese P., García Sampedro, C., Heit, G., Ochoa, M. del C., Sobrero, M.T., Arregui, C., Sánchez, D., Scotta, R., Lutz, A., Amuchástegui, A., Gigón, R., Marchessi, J.E., Núñez, C., Zorza, E., Rivarola, R., Scapini, E., Fernández, M., Suárez, C.E., Troiani, H. 2011. Vigilancia Fitosanitaria en Argentina: detección precoz de malezas cuarentenarias. XXXIII Reunión Argentina de Botánica (Misiones).
- Leguizamón, E.S. 2012. Sorgo de Alepo (L. Persoon). Bases para su manejo y control en sistemas de producción. Manejo de Malezas Problema. AAPRESID. 20 p.

- Leguizamón, E.S y Canullo, J.M. 2008. Mapas de infestación de malezas en la provincia de Córdoba. *Agromensajes*. 26. 10-14. Facultad de Ciencias Agrarias. UNR.
- Lemerle, D., B.Verbeek y B. Orchard 2001. Ranking the ability of wheat varieties to compete with *Lolium rigidum*. *Weed Research* 41:197-209.
- Liebman M. y E.R. Gallandt 1997. Many little hammers: ecological Management of crop-weed interactions. In: L.E. Jackson (ed), *Ecology in Agriculture*. Cap 9. pp. 291-243. Academic Press, San Diego, California. 472 p.
- Liebman, M. y A.S. Davis 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research* 40: 27-47.
- Maddoni, G.A., M.E.Otegui y A.G..Cirilo 2001. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. *Field Crop Research* 71: 783-793.
- Madsen K.H. y J.C. Streibig 2004. Benefits and risks of the use of herbicide-resistant crops. In R.Labrada ed. *Weed management for developing countries* Cap.3. FAO Corporate Document Repository.
- Marshall, E.J.P. 1989. Distribution patterns of plants associated with arable field edges. *J. Appl. Ecol.* 26:247-257.
- Martin, R.J., Pannell, D.J., 1990. A model for estimating the optimal economic rate of tralkoxydim for control of wild oats (*Avena* spp.) in wheat. In: Proceedings of the EWRS Symposium 1990 Integrated Weed Management in Cereals, pp. 305–313.
- Marth, P. C. y J. W. Mitchell, 1944. 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid as a differential herbicide. *Botanical Gazette* 106:224-232.
- Matthews G.A. 2000. *Pesticides Application Methods* 3ª ed. Blackwell Sci., Malden, EEUU. 432 pp.
- Maxwell B.D. y C.M. Ghera 1992. The influence of weed seed dispersion versus the effect of competition on crop yield. *Weed Technology* 6: 196-204.
- McCanny, S. J., y Cavers, P. B. (1988). Spread of proso millet (*Panicum miliaceum*L.) in Ontario, Canada. II. Dispersal by combines. *Weed Research*, 28, 67–72.
- Melander, B; Nicolas Munier-Jolain, Raphaël Charles, Judith Wirth, Jürgen Schwarz, Rommie van der Weide, Ludovic Bonin, Peter K. Jensen and Per Kudsk. 2013. European Perspectives on the Adoption of Nonchemical Weed Management in Reduced-Tillage Systems for Arable Crops. *Weed Technology* 27:1, 231-240
- Menalled, F. D., R. G. Smith, J. T. Dauer, and T. B. Fox. 2007. Impact of agricultural management on carabid communities and weed seed predation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118: 49–54.
- Menalled, F.D., P. C. Marino, K. A. Renner y D. A. Landis 2000. Post-dispersal weed seed predation in Michigan crop fields as a function of agricultural landscape structure. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 77: 193–202.
- Menalled, F.D. M.Liebman y K.A.Renner 2006. The ecology of weed seed predation in herbaceous crop systems In Sing, H.P., Batis, D.R y Coolí, R.K. eds. Cap 11 297-326., pp. *Handbook of sustainable weed management* . Food product Press. New York 892pp.
- Miller, G.T. 2004. *Sustaining the Earth*, 6th edition. Thompson Learning, Inc. Pacific Grove, California. Chapter 9, Pages 211-216.
- Mohler, C.C. 2001. Enhancing the competitive ability of crops. In Liebman M, C.L. Mohler y C.P. Staver (eds.) *Ecological management of agricultural weeds*. Cap. 6 pp.269-321. Cambridge University Press. Oxford.
- Mohler, C.C, M.Liebman y C.P. Staver.2001. Weed management: the broader context. In Liebman M, C.L. Mohler y C.P. Staver (eds.) *Ecological management of agricultural weeds*. Cap. 11pp.494-517. Cambridge University Press. Oxford.
- Mortensen, D.A., J. F. Egan, B.D. Maxwell, M.R. Ryan y R.G. Smith 2012. Navigating a critical juncture for sustainable weed management. *BioScience* 62: 75-84.
- Mortimer, A.M. 1996. La clasificación y ecología de las malezas. En: Manejo de Malezas para países en Desarrollo. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal N° 120. Capítulo 2: www.fao.org/docrep/T1147S/T1147S00.htm
- Navas, M.L. 2012. Trait-based approaches to unravelling the assembly of weed communities and their impact on agro-ecosystem functioning. *Weed Research* 52: (in press).
- Nazarko, O.M., RC. Van Acker y M.H. Entz. 2005. Strategies and tactics for herbicide use reduction in field crops in Canada: A review. *Canadian Journal of Plant Science* 85: 457–479.
- Neve, P., y otros. (2011) 'Modelling evolution and management of glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*', *Weed Research*, 51 (2), 99 - 112
- Nieuwenhuizen, A.T; Hofstee, J.W y van Henten, H.W. 2010. Performance evaluation of an automated detection and control system for volunteer potatoes in sugar beet fields. *Biosystems Engineering* 107, 46-53.
- Niggli, U. 2012. The concept of eco-functional intensification for agricultural research. Research Institute of Organic Agriculture. ONG. Suiza, Alemania y Austria (PP)
- Nisensohn, L., D. Faccini, G. Montero y M. Lietti 1999 Predación de semillas de *Amaranthus quitensis* H.B.K. en un culti-

- vo de soja: influencia del sistema de siembra. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34: 377-384.
- Noordijk, J; Delille, K; Schaffers, A.P and Sykora K.V. 2009. Optimizing grassland management for flowering visiting insects in roadside verges. *Biological Conservation* 14: 2097-2103.
- Nordby, D.E., D.L. Alderks y E.D. Nafziger, 2007. Competitiveness with weeds of soybean cultivars with different maturity and canopy width characteristics. *Weed Technology* 21:1082-1088.
- Norsworthy, J. K. and L. R. Oliver. 2001. Competitive potential and economic analysis of a glyphosate-tolerant/conventional soybean mix. *Weed Technology* 15: 177-183.
- Norsworthy, J. K. y J. R. Frederick 2005. Integrated weed management strategies for maize (*Zea mays*) production on the Southeastern Coastal Plains of North America. *Crop Protection* 24:119-126.
- Norsworthy, J.K. , S.M. Ward , D.R. Shaw , R.S. Llewellyn , R.L. Nichols , T.M. Webster , K.W. Bradley , G.Frisvold , S.B. Powles , N.R. Burgos , W.W. Witt y M.Barrett 2012. Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. *Weed Science* 60 (Special Issue1): 31-62.
- Nutman, P.S; H.G.Thornton, J.H. 1945. Quastel. Inhibition of plant growth by 1,4-Dichlorophenoxyacetic acid and other plant growth substances. *Nature* 155:498.
- O'Donovan J.T., R.E. Blackshaw, K.N. Harker, G.W. Clayton, J.R. Moyer, L.M. Dosdall, D.C. Maurice y T.K. Turkington 2007. Integrated approaches to managing weeds in spring-sown crops in western Canada. *Crop Protection* 26, 390-398
- Oerke, E.C. y H.W. Dehne 2004. Safeguarding production—losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Protection* 23 : 275–285.
- Oldeman, L.R.; Hakkeling, R.T.A.; Sambroek, W.G. 1991. World map of the status of human-induced soil degradation. International Soil Reference and Information Centre, United Nations Environment Programme, Wageningen, Netherlands.
- Olofsson, M., L. B. Jensen, YB. Courtois 2002. Improving crop competitive ability using allelopathy -an example from rice. *Plant Breeding* 121:1-9.
- Olson, B. E.,R.T.Wallander y P.K.Fay.1997. Intensive Cattle Grazing of Oxeye Daisy (*Chrysanthemum leucanthemum*). *Weed Technology* 11: 176-181.
- Pannell, D.J., V.Stewart, A.Bennett, M.Monjardino, C.Schmidt y S.Powles 2004. RIM: a bioeconomic model for integrated weed management of *Lolium rigidum* in Western Australia. *Agricultural Systems* 79: 305-325.
- Paolini, R., Principi, M., Del Puglia, S. y Lazzeri, L. 1998. Competitive effects between sunflower and six broad-leaved weeds. In *Proc. 6th EWRS Mediterranean Symposium*, Montpellier, France, 81-88.
- Paolini, R., Principi, M., Froud-Williams, R.J., Del Puglia S. y Biancardi, E. 1999. Competition between sugarbeet and *Sinapis arvensis* and *Chenopodium album*, as affected by timing of nitrogen fertilization. *Weed Res.* 39: 425-440.
- Phatak, S.C., M. B.Callaway y C.S. Vavrina 1987. Biological control and its integration in weed management systems for purple and yellow nutsedge (*Cyperus rotundus* and *C. esculentus*). *Weed Technology* 1: 84-91.
- Pimentel, D., 1995. Amounts of pesticides reaching target pests: environmental impacts and ethics. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 8:17-29.
- Place, G.T., S.C. Reberg-Horton, T.E. Carter Jr y A.N. Smith 2011. Effects of soybean seed size on weed competition. *Agronomy Journal* 103:175-181.
- Puricelli, E. C., D.E.Faccini, G.A. Orioli yM.R.Sabbatini 2003. Spurred anoda (*Anoda cristata*) competition in narrow- and wide-row soybean (*Glycine max*). *Weed Technology* 17:446-451.
- Puricelli, E.C. y D.Tuesca 2005. Weed density and diversity under glyphosate-resistant crop sequences. *Crop Protection* 24(6): 533-542.
- Rattin J., J.P. Valinote, R. Gonzalo y A. Di Benedetto 2008. Efecto del método de implantación y la densidad de siembra en maíz dulce (*Zea mays* L.) *Horticultura Argentina* 27:5-10.
- Reimer N.J. 2008. Field release of *Secusio extensa* (Butler) (Lepidoptera: Arctiidae), for biological control of fireweed, *Senecio madagascariensis* Poiré (Asterales: Asteraceae), in Hawaii. Draft Environmental Assessment (DEA) was prepared by the Office of Environmental Quality Control (OEQC), Department of Health, State of Hawaii, to comply with the provisions of Hawaii Revised Statutes, Chapter 343, Environmental Impact Statements.
- Requesens, E.C. y N.Madanes 1992.Organización de comunidades estacionales de malezas en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Ecología Austral* 2: 101-108.
- Ryan, M.R, R.G. Smith, S.B. Mirsky, D.A. Mortensen y R.Seidel. 2010. Management filters and species traits: weed community assembly in long-term organic and conventional systems. *Weed Science* 58: 265-277
- Shearin, A. F., S. C. Reberg-Horton, and E. R. Gallandt. 2008. Cover crop effects on the activity-density of the weed seed

- predator *Harpalus rufipes* (Coleoptera: Carabidae). *Weed Science* 56: 442–450.
- Sidorkewicz, N.S., Lopez Cazorla, A.C., Murphy, K.J., Sabbatini, M.R., Fernandez, O.A. and Domomaniewski, J.C.J. 1998. Interaction of common carp with aquatic weeds in argentine drainage channels. *J. Aquat. Plant Manage.*, 36: 5-10,
- Sidorkewicz, N.S., Sabbatini, M.R., Fernández, O.A., and Irigoyen J.H. 2004. Aquatic Weeds. *In: Weed Biology and Management*. Inderjit (ed). Kluwer Academic Publications. The Netherlands.115-135.
- Smith, R. G. y K. L. Gross. 2006. Rapid change in the germinable fraction of the weed seed bank in crop rotations. *Weed Science* 54:1094–1100.
- Smith, R. G. 2006. Timing of tillage is an important filter on the assembly of weed communities. *Weed Science* 54:705–712.
- Smith, R. G., D. A. Mortensen y M. R. Ryan. 2010. A new hypothesis for the functional role of diversity in mediating resource pools and weed–crop competition in agroecosystems. *Weed Research* 50:37–48.
- Smith, R.G. y F.D. Menalled. 2006. Integrated strategies for managing agricultural weeds: making cropping systems less susceptible to weed colonization and establishment. Department of Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University. Online MontGuides, Visit www.msuextension.org.
- Snapp, S. 2012. Participatory on-farm research: beyond the randomized complete block design. Michigan State University. <http://www.extension.org>
- Soerjani, M.1977. Integrated control of weeds in aquatic areas. En: Fryer, J.D. y S. Matsunaka (Ed.). *Integrated control of Weed* sp. 121-149.
- Sogaard, H.T yLund, I. 2007.Application accuracy of a machine vision-controlled robotic micro-dosing system. *Biosystems Engineering* 96-315-322.
- Staver,C.P.2001. Knowledge, science, and practice in ecological weed management: farmer-extensionist-scientist interactions. *In* Liebman M., C.L. Mohler y C.P. Staver eds. *Ecological management of agricultural weeds*. Cap 3 99-133. Cambridge University Press.UK.
- Stilmant, D., B. Bodson y C. Losseau 2012. Impact of sowing density and nitrogen fertilization on *Rumex obtusifolius* L. development in organic winter cereal crops. *Biotechnology, Agronomy, Society y Environment* 16: 337-343.
- Stougaard, R.N. y Q.Xue 2004. Spring wheat seed size and seeding rate effects on yield loss due to wild oat (*Avena fatua*) interference. *Weed Science* 52: 133-141
- Swanton, C.J., K.J. Mahoney, K.Chandler y R.H. Gulden 2008. Integrated weed management: knowledge-based weed management systems. *Weed Science* 56: 168-172.
- Thomas, M.B. y A.M.Reid 2007. Are exotic natural enemies an effective way of controlling invasive plants? *Trends in Ecology y Evolution* 22:447–453.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S.2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418, 671-677. USDA-NASS, 2007
- van Acker, R. C., D.A. Derksen, M.H. Entz, G. Martens, T. Andrews y O. Nazarko 2001. Pesticide-free production: a reason to implement integrated weed management. Pages 61–73 *in* R. E.
- Van Huis, H. 1981. Integrated pest management in the small farmers’s maize crop in Nicaragua. Medelingen Landbouhogeschool, Wageningen, The Netherlands, 221 pp.
- Verdelli, D.M. y E.S. Leguizamón. 2011. Rendimientos de maíz y soja en monoculturas y en franjas: efectos de la orientación de la siembra. *AgriScientiae*, XXVIII (2):147-156.
- Vitta, J; Tuesca, D; Puricelli, E; Nisensohn, L; Faccini, D; Nisensohn, L; Leguizamón, E.S.2000. Glyphosate-tolerant soybean and weed management in Argentina: present and prospects. III International Weed Science Congress- IWSC (International Weed Science Conference - Foz do Iguazú-Brasil).p. 163.
- Walsh, M.J., S.B. Powles. 2007. Management strategies for herbicide-resistant weed populations in Australian dryland crop production systems. *Weed Technology* 21: 332-338.
- Walsh, M.J., R.B. Harrington, S.B. Powles. 2012. Harrington Seed Destructor: A New Nonchemical Weed Control Tool for Global Grain Crops. *Crop Sci.* 52: 1343-1347.
- Walsh, M. J. y S. B. Powles 2007. Management strategies for herbicide resistant weed populations in Australian dryland crop production systems.*Weed Technology* 21:332–338.
- Watson P.R., D.A. Derksen y R.C. Van Acker 2006. The ability of 29 barley cultivars to compete and withstand competition. *Weed Science* 54: 783-792.
- Wax, L. M. y J. W. Pendleton 1968. Effect of row spacing on weed control in soybean. *Weed Science* 16:462–465.
- Weaver, S; 2003. Correlations among relative crop and weed growth stages. *Weed Science*, 51: 163-170.
- Whitford F. (Coordinator Purdue Pesticide Programs), Fuhremann T. (Monsanto); Rao K.S. (Dow AgroSciences); Arce G.(Elf Atochem); Klaunig J.E. (Indiana University);

Blessing A. (ed.) 2012. Purdue University Cooperative Extension Service.

Willenborg, C.J., B.G. Rossnagel y S.J. Shirtliffe. 2005. Oat caryopsis size and genotype effects on wild oat – oat competition. *Crop Science* 4. 2001. Effects of selected herbicides on the germination and infection process of *Puccinia lagenophora*, a biocontrol pathogen of *Senecio vulgaris*. *Biological Control* 20: 160–166.

Wille, M.J., Thill, D.C., Price, W., 1998. Wild oat (*Avena fatua*) seed production in spring barley (*Hordeum vulgare*) is affected by the interaction of wild oat density and herbicide rate. *Weed Science* 46, 336–343.

Zhang, J., Weaver, S.E., Hamill, A.S., 2000. Risks and reliability of using herbicides at below-labeled rates. *Weed Technol.* 14, 106–115.

Han pasado más de 30 años de la última edición de la obra de Ángel Marzocca "Manual de Malezas" y si bien se han editado numerosos trabajos científicos y/o tecnológicos, informes técnicos y aún capítulos en libros de cultivos relacionados con la temática de las malezas, los mismos abordan aspectos con distinto grado de profundidad, enfoques parciales o bien se encuentran diseminados en múltiples publicaciones. Se estima que la edición de una obra actualizada que abrace buena parte de los conocimientos disponibles en Argentina sobre plantas invasoras, malezas y su manejo en los distintos sistemas de producción del país, representará un significativo aporte al conocimiento y será una fuente permanente de consulta en todas aquellas cuestiones coligadas con la presencia de este tipo de plantas que interfieren con la actividad productiva en los agroecosistemas. Hemos acordado publicar esta obra reconociendo principalmente la necesidad de un texto en idioma español orientado en particular a docentes universitarios y del nivel medio ligados a las ciencias agrarias, estudiantes de agronomía, profesionales y técnicos no sólo estrictamente vinculados con la productividad agropecuaria sino también de interés para toda persona interesada en el conocimiento de los atributos biológicos de las plantas espontáneas.

Esta Obra comprende tres tomos. El primero de ellos abarca todos los aspectos relacionados con la ecología de las malezas y su manejo en agroecosistemas. Los mismos incluyen desde aspectos más generales relacionados con la biología y la dinámica de poblaciones vegetales hasta más particulares, como es el manejo de malezas en cultivos extensivos e intensivos, la prevención de invasiones, el uso de modelos en la dinámica espacio-temporal de poblaciones, la residualidad y los efectos ambientales de los herbicidas o el control biológico, entre muchas otras temáticas, que son abordadas por 65 autores en 33 capítulos a lo largo de 950 páginas.

En el Tomo II se desarrollan los aspectos relacionados con la clasificación botánica e identificación de unas 600 especies, presentadas en páginas a todo color con una ficha descriptiva asociada, que jerarquiza los caracteres que permiten una rápida identificación en el campo de las especies tratadas.

En el Tomo III se abordan los atributos biológicos y eco-fisiológicos que caracterizan y contribuyen al éxito ecológico de una determinada especie. Las secciones incluyen revisiones y puesta al día de conocimientos que contribuyen a optimizar las herramientas de prevención y manejo de una especie. Los contenidos de cada una de ellas son construidos por investigadores que las han estudiado durante varios años, muchos de ellos en el marco de experimentos de Tesis de Maestría o Doctorado.



EDITORES

OSVALDO A. FERNÁNDEZ

EDUARDO S. LEGUIZAMÓN

HORACIO A. ACCIARESÍ

MALEZAS E INVASORAS DE LA ARGENTINA

TOMO I: ECOLOGÍA Y MANEJO



MALEZAS E INVASORAS DE LA ARGENTINA

Tomo I
Ecología y manejo

EDITORES

Oswaldo A. Fernández
Eduardo S. Leguizamón
Horacio A. Acciaresi



Malezas e invasoras de la Argentina : ecología y manejo / Osvaldo A. Fernández ... [et.al.] ; edición literaria a cargo de Osvaldo A. Fernández ; Eduardo S. Leguizamón ; Horacio A. Acciaresi. - 1a ed. - Bahía Blanca : Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediuns, 2014. 964 p. ; 28x21 cm.

ISBN 978-987-1907-70-0

1. Ecología. I. Fernández, Osvaldo A. II. Fernández, Osvaldo A., ed. lit. III. Leguizamón, Eduardo, ed. lit. IV. Acciaresi, Horacio A., ed. lit. CDD 577

Fecha de catalogación: 26/02/2014

Imagen de tapa: **Porción de césped - Estudio de mala hierba (1503). Alberto Durero**

La figura que presenta esta Obra como imagen de portada, acreditada bajo la denominación de "Porción de Césped - Estudio de Mala Hierba", es una reproducción de una acuarela sobre velo de 1503 que pertenece a Albrecht Dürer, más conocido en el mundo hispano como Alberto Durero. Indiscutiblemente distinguido en el mundo como uno de los artistas más radiantes del Renacimiento Alemán y de toda la historia del arte, su producción es acabadamente fructífera por sus dibujos, pinturas, grabados y textos teóricos sobre arte. Su talento se cautivó por modelar la naturaleza con devoción y su arte muestra una notable maestría en el trazado de la pintura y una delicada presentación del detalle. Característicamente, en muchas de sus obras sobresale su pasión por la naturaleza, que se plasma en acuarelas de deslumbrante realismo, como es la que aparece en la portada de este libro. Al respecto, vale acotar que la imagen de referencia coexiste como un atractivo especial para todos aquellos que estamos involucrados en los temas de botánica, haciendo que sea inevitable un sentimiento de agradecimiento hacia su autor por la fidelidad de su arte. La acuarela se nos presenta con poco orden y disposición, donde las raíces, tallos y flores de la vegetación parecen estar en oposición entre sí, pero el atento detalle de cada planta da a la pintura un increíble realismo. En la composición de Alberto Durero es dable reconocer especies que pertenecen a los géneros *Stellaria*, *Taraxacum* y *Plantago*, comunes en nuestros ambientes locales y en todo el mundo, frecuentemente calificadas como "malas hierbas" o "malezas". Sin embargo, por encima de todo, subyace en quienes las estudian un sentimiento especial de fascinación por sus "magias" o fenómenos de biología de vida y supervivencia; de allí que, estamos cautivados por el hecho que sean protagonistas inmortalizadas en una obra de tal trascendencia.

Alberto Duder nació en Nüremberg, Alemania el 21 de mayo de 1471y murió en la misma ciudad en 1528. La acuarela que se exhibe en la portada de esta Obra se encuentra en La Albertina, en el centro de Viena, Austria, que atesora aproximadamente 60.000 dibujos y más de un millón de grabados, desde comienzos del siglo XV hasta la actualidad. Los editores agradecen a Ingrid Kastel la autorización para reproducir como cubierta de esta Obra "Porción de césped" de Albrecht Dürer. Se han depositado los derechos de copyright correspondientes.



Editorial de la Universidad Nacional del Sur

Av. Alem 925 - Tel: 0291-4595173 - 8000 Bahía Blanca
www.ediuns.uns.edu.ar / ediuns@uns.edu.ar



**Red de Editoriales de
Universidades Nacionales**

Los autores han construido los contenidos de los Capítulos que se ofrecen en esta Obra, observando los procedimientos habituales y aplicando el rigor que caracteriza a una publicación científico-técnica. Además, están basados en el conocimiento y en la experiencia personal. Sin embargo, queda explícitamente establecido que la Editorial, los editores y los autores, no asumen ningún tipo de responsabilidad en relación con los efectos que podrían derivarse de la aplicación de las recomendaciones contenidas en esta Obra, en cualquier organismo o en el ambiente, tanto en la actualidad como en el futuro.

Diagramación interior y tapa: Fabián Luzi

No se permite la reproducción parcial o total, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446.

LIBRO UNIVERSITARIO ARGENTINO

Queda hecho el depósito que establece la ley 11.723

Bahía Blanca, Argentina, marzo de 2014

©2014 Ediuns

Capítulo **XXXI**

Modelización de sistemas agronómicos

Eduardo S. Leguizamón^{a*}
Guillermo R. Chantre^b

^a Departamento de Sistemas de Producción Vegetal / CONICET. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. S2125ZAA. Zavalla, Santa Fe. Argentina.

^b Departamento de Agronomía-CERZOS (CONICET), Universidad Nacional del Sur (UNSur), 8000 Bahía Blanca, Buenos Aires. Argentina

* Correo electrónico: esleguizamon1946@gmail.com

Sinopsis previa

- Un modelo es una representación simplificada de un sistema.
- Es la abstracción, es decir el nivel jerárquico en el cual luego se representarán matemáticamente los procesos del sistema, uno de los factores clave que distinguen a un modelo.
- Existen diferentes enfoques para diseñar un modelo, tanto en su estructura como en su complejidad (conceptuales / mecánicos; determinísticos / estocásticos; concentrados / distribuidos) y la amplitud de la escala espacio-temporal.

Introducción

Un modelo es una representación -generalmente simplificada- de un sistema, en nuestro caso, biológico. Los modelos en ecología tienen como objetivo proyectar y/o comprender el funcionamiento de una población vegetal o de una parte de la misma, bajo distintos “escenarios” o condiciones, con el propósito de calcular, estimar o predecir su comportamiento futuro, conocer el impacto de determinado manejo o explicar determinadas respuestas.

Etapas de desarrollo

El desarrollo de un modelo se inicia a partir de una idea simple: delinear o formular en forma sencilla sus posibles partes, imaginando su posible funcionamiento en el mundo real: este es el “modelo conceptual” (Vitta y otros, 1989). Un modelo conceptual simple sería por ejemplo, la representación de la relación entre una variable explicativa (x) y una dependiente (y) en el ámbito de dos ejes cartesianos.

A partir del modelo conceptual y tras sucesivas aproximaciones puede llegarse a la construcción de un modelo más complejo, por ejemplo bajo un formato de diagrama o “diagramático”, el cual vincula varios componentes o “variables de estado”, identificadas como cruciales. El “modelo matemático” surge al vincular con algoritmos o funciones, las variables de estado que representan dinámicamente los procesos subyacentes del modelo (Figura 1).

Para lograr la formulación del modelo matemático, se definen sus objetivos y sus límites, según distintos enfoques (véase más adelante). Una vez construido, el modelo puede simular el funcionamiento de un sistema biológico en diversos escenarios, utilizando diferentes “inputs” e incluyendo variables espacio-temporales. Cualquiera sea el enfoque o método de formulación y construcción de un modelo, debe ser perfeccionado en pasos sucesivos, luego de numerosas “corridas” de “prueba y error”, requiriendo en su fase final una validación o evaluación. En síntesis, todo el proceso de modelización puede ser dividido en las siguientes fases (Haefner, 2005; Wallach, 2006):

- Formulación y diseño
- Implementación
- Verificación
- Calibración
- Análisis
- Validación / Evaluación

Clasificación de los modelos

Es la abstracción, es decir el nivel jerárquico en el cual luego se representarán matemáticamente los procesos del sistema durante la etapa de formulación y diseño, uno de los aspectos clave que distinguen a un modelo.

Existe un primer grupo de modelos que no abordan los mecanismos responsables de un funcionamiento particular, ya que simple-

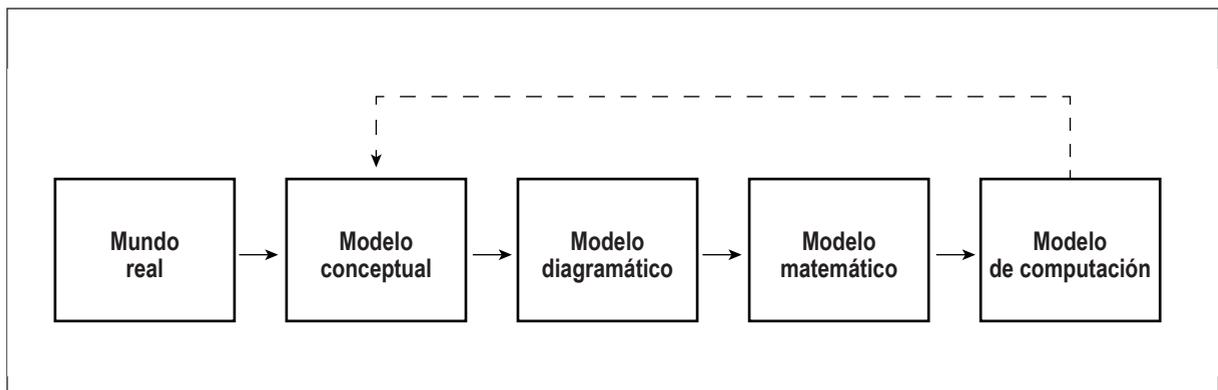


Figura 1. Etapas de construcción de un modelo a partir del mundo real.

mente son modelos ajustados a datos experimentales disponibles. A estos modelos se los refiere como *descriptivos* o de “*caja negra*” (Penning de Vries y otros, 1974) o también *empíricos* o simplemente *fenomenológicos* (France y Thornley, 1984; Haefner, 2005). El valor de un modelo empírico está determinado por la calidad de los datos que se utilizan para construirlo. En general, la aplicabilidad de estos modelos está restringida a las condiciones “particulares” de desarrollo de los mismos, presentando un potencial de interpolación determinado por la flexibilidad de los algoritmos utilizados y con escasa o nula capacidad de extrapolación fuera del ámbito de estudio.

En el segundo grupo, se encuentran los modelos *explicativos*, *mecanísticos* o *orientados a procesos*. En estos, los fenómenos se separan en procesos individuales que pueden representarse cuantitativamente a través de relaciones funcionales. En forma similar a los modelos empíricos, los parámetros de las ecuaciones surgen de datos experimentales. En general, los modelos mecanísticos, al proveer una descripción íntima de los procesos ecológicos y/o fisiológicos subyacentes son preferibles desde un punto de vista científico. Sin embargo, dichos modelos son más difíciles de construir que los empíricos y aunque los primeros se sustentan en procesos biológicos específicos suelen ser en gran medida “empíricos” por naturaleza (Grundy, 2003).

La sustitución de un modelo empírico por uno mecanístico generalmente implica la disección de aquel en varios procesos, cada uno de los cuales puede estar descrito por aproximaciones mecanísticas o empíricas (France y Thornley, 1984). Es por ello que es muy frecuente que un gran número de modelos exhiban partes de ambos, denominándose “*semi-empíricos*” o “*indexados*”, (Azam-Ali 1994).

Desde otra perspectiva, Singh (1995), propone una clasificación basada en los formatos de representación de los procesos (es decir, si se utilizarán modelos *determinísticos* o *estocásticos*).

Por otra parte, los modelos pueden considerar variaciones en la *escala temporal* y en la *escala espacial*.

Modelos empíricos, descriptivos, de “caja negra” o fenomenológicos

Estos modelos no incorporan ninguna descripción del funcionamiento del sistema estudiado. Veamos algunos ejemplos:

Modelos simples: el rendimiento del cultivo y la población de malezas¹

Uno de los modelos empíricos más conocidos en el ámbito de la ecología de malezas es el que relaciona el rendimiento del cultivo con la densidad de la maleza aunque otras aproximaciones utilizan a la biomasa o formas indirectas para su estimación, por ejemplo, la cobertura o el área foliar (Lotz, y otros, 1996). El modelo se ajusta a datos experimentales mediante la técnica de regresión y puede ser lineal (especialmente apto en bajas densidades de la maleza) o curvilíneo. En éste sentido, un modelo muy utilizado es el hiperbólico rectangular (Cousens, 1985 a, b) que describe la pérdida de rendimiento en relación con la densidad de la maleza. Este modelo si bien es empírico, tiene sustento biológico porque considera en forma indirecta la competencia intraespecífica: la pérdida de rendimiento ocurre a tasa decreciente.

El modelo simple arriba descrito, puede complejizarse al incorporar la mortalidad causada por un control mecánico o químico pudiendo incorporarse a un modelo de pérdida de rendimiento, porque es la densidad de malezas la que resulta afectada por el control (Lindquist et. al, 1996). Otras aproximaciones utilizan relaciones empíricas para predecir no sólo la pérdida de rendimiento del cultivo, sino también la que experimenta la maleza.

Siempre desde el punto de vista empírico, también se ha modelado la ocasionada por varias especies (Wilkerson et. al; 1990; Swinton y King, 1994; Pannell et. al; 2004; González-Andújar y Fernández Quintanilla, 2004).

¹ Otro típico ejemplo de esta categoría es la relación alométrica biomasa / fecundidad. Sin embargo, es ya conocido que estas relaciones están muy influenciadas por el momento de determinación y por la densidad, dado que la biomasa de las plantas disminuye con el incremento de la densidad (Freckleton y Watkinson, 1998).

En este caso se incorporan coeficientes particulares para cada una de las poblaciones que compiten (Maxwell y Ghersa, 1992).

Otros autores proponen incluso utilizar “Índices de Competencia Equivalentes”, para considerar el efecto de poblaciones multiespecíficas.

Inclusión de procesos vitales o partes del ciclo de vida

Varios modelos empíricos describen el crecimiento del cultivo y de las especies de malezas mediante una función logística. O bien incluyen el efecto del cultivo en la mortalidad de las plántulas de la maleza (Colbach y Debaeke, 1998) o en la germinación de las semillas (Jordan y otros, 1995). En este sentido, una variedad de modelos empíricos se han focalizado en la crucial etapa del ciclo de vida que es la semilla y suelen incluir subprocesos relacionados con los aportes, (fecundidad, dispersión, redispersión) y/o con sus fuentes de pérdida (predación, decaimiento). Algunos incluso, dividen al banco de semillas en dos sub-poblaciones: una superficial y otra profunda, con el propósito de describir con mayor grado de detalle las diferencias en la supervivencia y en los procesos de salida de la dormición y germinación de las semillas (Cousens y Moss, 1990).

En los años recientes, el modelado de la pérdida de dormición-germinación y de la emergencia de plántulas ha recibido especial atención. Las aproximaciones son variadas y los intentos por proveer de modelos robustos se basan en la inclusión de variables altamente determinantes del proceso de germinación-emergencia, como es el “status” termal diario del horizonte superficial del suelo donde se localizan las semillas (Caja Conceptual N° 1).

Con un mayor nivel de elaboración, otros modelos tienen en cuenta la pérdida de dormición de las semillas en el suelo, utilizando el potencial agua base medio ($\Psi_{b(50)}$) y su relación con la acumulación de tiempo térmico

de post-maduración: en este caso el modelo puede considerarse un “híbrido” empírico-mecanicístico (Caja Conceptual N° 2).

Modelos poblacionales

Los primeros esfuerzos de modelización del ciclo de vida de poblaciones de malezas fueron realizados por Sagar y Mortimer (1976) bajo la forma de modelos demográficos diagramáticos.

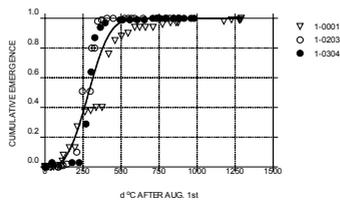
La estructura básica de un modelo poblacional se nutre del ciclo de vida y en su forma más simple (anual) consta de cuatro estados: semillas en el suelo (banco de semillas), plántulas, plantas adultas y producción de semillas (fecundidad). Un ejemplo se describe en la Caja Conceptual N° 3: los procesos demográficos (germinación, reproducción, supervivencia, mortalidad) se expresan como tasas de transición (usualmente como % anual) que se obtienen a partir de experimentos de campo o de fuentes bibliográficas. Cousens y Mortimer (1995) clasifican a estos modelos como de múltiples estados de cohortes simples. Desde 1976, muchos investigadores han seguido esta aproximación con diferente nivel de complejidad (Leguizamón, 1983; Leguizamón y otros, 1986; González Andújar y Fernández Quintanilla, 1991; Echeverría, 1991; Vidotto y otros, 2001; Puricelli y otros, 2002).

Otro procedimiento para modelar poblaciones es mediante el empleo de matrices (Silvertown y Charlesworth, 2001), con la ventaja de que con esta metodología no sólo se puede modelar el crecimiento de la población, sino que además se puede realizar un seguimiento del funcionamiento de sus componentes (clases de edades) al proyectarlas sucesivamente (Caswell, 2001). De este modo, la técnica de matrices permite identificar los puntos del ciclo de vida que son de particular interés para el diseño de las estrategias de intervención a lo largo del tiempo y en diferentes sistemas (Pino y otros, 1998). En el caso de malezas perennes, el uso de matrices puede significar una herramienta conveniente porque la población tiende a contener una va-

Caja Conceptual N° 1

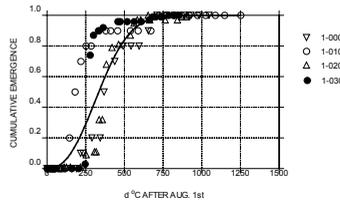
Modelos de emergencia de seis gramíneas frecuentes en el área pampeana núcleo. Leguizamón, y otros, 2009.

Se establecieron experimentos en cuatro sitios experimentales en cultivos de soja y maíz, cultivados en siembra directa. Semillas de *Digitaria sanguinalis*, *Eleusine indica*, *Sorghum halepense*, *Setaria geniculata*, *Echinochloa colonum* y *Urochloa platyphylla* se incorporaron a la superficie del suelo en el otoño anterior. Se hicieron registros regulares de las plántulas emergidas durante el periodo agosto-marzo. Se modeló la emergencia de plántulas en función del tiempo termal acumulado en el horizonte superficial del suelo a partir del 1 de Agosto. Una función de tipo Weibull describió con buena calidad ($r^2 = 0.73-0.93$) la emergencia de cada una de las especies, las cuales pueden agruparse en tres grupos: *E. indica*, *U. platyphylla* y *E. colonum* exhiben un amplio periodo de emergencia (940-1660 GD). En *D. sanguinalis* y *S. halepense* el periodo se acorta a 540-1090 GD, mientras que en *S. geniculata* el proceso de emergencia sólo se extiende entre 290 y 660 GD. Los parámetros difirieron según sitios y años, lo cual indica la necesidad de diseñar modelos con mayores capacidades predictivas.



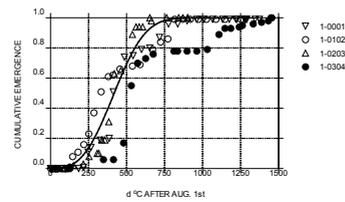
Tb= 13.6 °C

Fig. 2.
Digitaria sanguinalis.



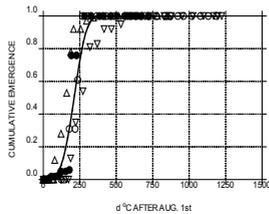
Tb= 10.0 °C

Fig. 3.
Echinochloa colonum



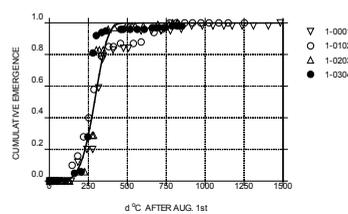
Tb= 12.6 °C

Fig. 4.
Eleusine indica



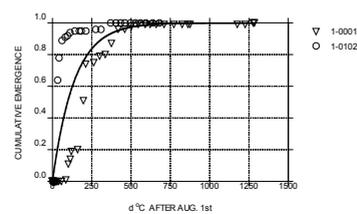
Tb= 10.0 °C

Fig. 5.
Setaria geniculata



Tb= 8.5 °C

Fig. 6.
Sorghum halepense



Tb= 13.0 °C

Fig. 7.
Urochloa platyphylla

Modelos de emergencia de plántulas utilizando como variable explicativa el tiempo térmico (GD) en los siguientes sitios experimentales (Figuras 2,4, 6 y 7 = Manfredi; Figura 3 = Zavalla; Figura 5 = Rio IV y Gral Villegas.

Caja Conceptual N° 2

Modelo de hidrotiempo para la salida de la dormición en semillas de *Lithospermum arvense*. Chantre y otros, 2010.

Lithospermum arvense L. es una maleza anual. Al momento de la dispersión primaria sus semillas presentan dormición fisiológica parcial. Los modelos de hidrotiempo describen la respuesta germinativa al potencial agua, (Ψ) de acuerdo a la siguiente ecuación: $\Theta_H = (\Psi - \Psi_{b(g)})t_g$

donde Θ_H es el hidrotiempo (Mpa h) requerido para la germinación, Ψ es el potencial agua del medio (MPa), $\Psi_{b(g)}$ es el potencial agua base que previene la germinación de una fracción g de la población, y t_g es el tiempo de germinación.

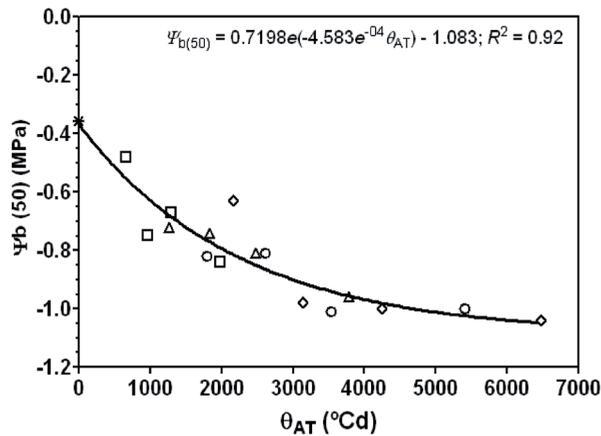


Figura 8. Valores estimados de $\Psi_{b(50)}$ para semillas recién cosechadas (\star) y almacenadas en seco a 5°C (\square), 15°C (\triangle), 24°C (\circ) y 30°C (\diamond) en función del tiempo térmico de post-maduración (Θ_{AT}).

Se desarrolló un modelo basado en la acumulación de tiempo térmico de postmaduración para describir los cambios en el $\Psi_{b(50)}$ como indicador del status de dormición de la población (Figura 8.). La capacidad predictiva del modelo desarrollado se evaluó con datos obtenidos de un experimento independiente. La proporción de semillas germinadas se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

$$p(\Psi_{b(g)}) = \Phi[(\Psi_{b(g)} - \Psi_{b(50)}) / \sigma_{\Psi_b}]$$

donde p es la proporción de semillas germinadas a un valor dado de Ψ_b correspondiente a una fracción g de la población. Φ es la integral de la probabilidad normal, $\Psi_{b(50)}$ y σ_{Ψ_b} son la media y el desvío estandar de la distribución normal. El modelo desarrollado logró estimar adecuadamente las curvas de germinación observadas (RMSE=10.8). Se obtuvo buena correlación entre valores de germinación observados y predichos ($r = 0.96$).

Caja Conceptual N° 3

Modelo diagramático de *Avena fatua** Maxwell, B. 2008. Curso de posgrado dictado en la Universidad Nacional de Rosario.

Avena fatua es una maleza frecuente en los sistemas de producción de trigo del norte de EE.UU y Canadá y del sudoeste de la Argentina. En la Figura 9 se exhiben los componentes del modelo diagramático:

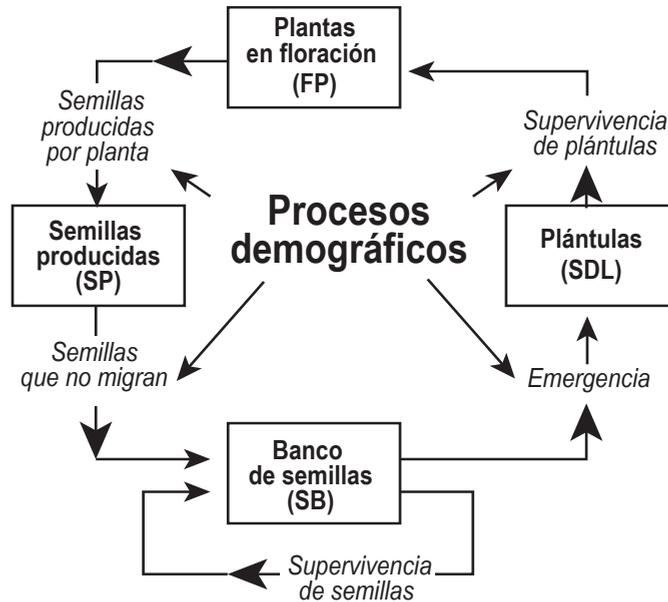


Figura 9. Modelo diagramático de una especie anual (*Avena fatua*)

Las *variables de estado*, constituyen estados significativos del ciclo vital, que pueden medirse o se toman de la bibliografía. (e.g. Banco de semillas – SB), las “Flechas” indican los *procesos* que vinculan a las variables de estado (e.g.. Germinación de las semillas-emergencia de las plántulas) y los Triángulos indican la *tasas* a las cuales el proceso ocurre. Las *tasas* pueden designarse como *la proporción* de individuos que se mueven de un estado a otro, en la dirección de las flechas o triángulos. Los parámetros de estas ecuaciones también surgen de datos experimentales propios o bien pueden ser extraídos de la bibliografía. El periodo de tiempo asociado a cada tasa varía según el proceso (horas, días, años). Por ejemplo, la tasa de supervivencia de semillas en el banco ocurre en el periodo de un año. *Las tasas se expresan en tanto por uno* es decir como una proporción. (e.g. Una tasa de supervivencia de semillas del 15 % se representa 0,15). A partir de un modelo diagramático sencillo, puede generarse un modelo matemático mediante ecuaciones (algoritmos) que vinculan a las distintas etapas del ciclo vital (*variables de estado*). Siempre las ecuaciones se resuelven *en secuencia* para simular la dinámica de la población en un número de generaciones, utilizando soportes de cálculo rápido, como por ejemplo Excel, o programas específicos como STELLA® (<http://www.iseesystems.com/>). Al calcular en secuencia las ecuaciones que vinculan el flujo de las variables de estado, también se puede simular el efecto de un herbicida preemergente, cambiando el nivel del proceso “emergencia”, o el de un herbicida postemergente, al modificar el nivel del proceso “supervivencia de plántulas”. Del mismo modo, se puede simular el efecto de la predación de semillas aportadas en los niveles del banco de los años subsiguientes.

riedad de individuos de diferentes edades y tamaños (Mortimer y Firbank, 1983; Maxwell et al; 1988). Estas ventajas fueron explotadas por Neeser y otros, (1998), para modelar la población de *Cyperus rotundus*.

Debe tenerse en cuenta sin embargo, que ya sea que se utilicen ecuaciones de diferencia o se proyecten matrices, las tasas empleadas para modelar el crecimiento de la población y sus componentes a lo largo del tiempo, son el resultado combinado de todos los factores agronómicos y biológicos y sus interacciones. Varios autores han encontrado grandes diferencias interanuales en las tasas demográficas (González Andújar y Fernández Quintanilla, 1991; 2004) a menudo relacionadas con ambientes climáticos contrastantes. Otro aspecto importante, es que ciertas tasas vitales no son independientes unas de otras. El reemplazo de tasas fijas por los componentes que representan los mecanismos, incluyendo el efecto del clima o ambiente si fuese relevante, puede eliminar esta desventaja (Colbach y Debaeke, 1998).

La tendencia reciente es la construcción de modelos de la dinámica de las poblaciones con una integración de un grupo de sub-modelos de sus componentes. Cada uno de los componentes o procesos utiliza el mejor modelo disponible, ya sea éste empírico o mecánico (Colbach y otros, 2005). Esta aproximación aparece como muy promisoría, tanto desde el punto de investigación como desde el punto de vista agronómico aplicado.

Por otra parte, las ecuaciones diferenciales se han usado muy poco para describir la dinámica de poblaciones de malezas (Squirre y otros, 1997; Madsen y otros, 1999). En una ecuación diferencial, la variable tiempo es -por definición- infinitesimal. Para el modelo matricial en cambio, debe seleccionarse el periodo de tiempo al proyectar la matriz n veces. En los modelos poblacionales, el tiempo suele estar acotado a un solo ciclo (coincidente con el ciclo del cultivo) o bien puede incluir más de una decena de "ciclos" si se incluyen las labranzas y el ciclo de la maleza (Colbach y otros, 2001).

Modelos poblacionales aplicados al estudio de la resistencia a herbicidas

La simulación de la evolución de una población resistente a herbicidas tiene como objetivo desarrollar estrategias de manejo que permitan dilatar la evolución de la resistencia (Putwain y Mortimer, 1989; Maxwell y otros, 1990). La mayoría de los modelos consideran que la resistencia es monogénica, simulando la dinámica de la población bajo diferentes escenarios de uso de herbicidas tanto en sub-poblaciones sensibles como en resistentes y cada una de ellas caracterizada por parámetros demográficos específicos (Putwain y Mortimer, 1989; Maxwell y otros, 1990). Morrison y Friesen (1996) han demostrado sin embargo, que si no se tiene en cuenta el tipo de herencia de la resistencia las conclusiones pueden ser erróneas. También resulta complicada la simulación del intercambio de genes entre genotipos resistentes y susceptibles (Diggle y Neve, 2001), aunque Wang, y otros, (2003), han podido simular la dispersión espacial de la resistencia a herbicidas mediante un modelo "celular autómatas".

Más recientemente, otros modelos simulan el flujo de genes desde cultivos transgénicos resistentes a herbicidas, a malezas emparentadas botánicamente o incorporando la dimensión espacial (Richter y otros, 2002).

Modelos ecofisiológicos, mecánicos o "de procesos".

En la línea de modelos eco-fisiológicos o mecánicos, los más conocidos son los que se relacionan con la competencia cultivo-malezas, desarrollados principalmente por los investigadores de la Unidad de Ecología Teórica de la Universidad de Wageningen (Holanda), líderes en ese campo (Spitters y Aerts, 1983; Kropff y otros, 1984; Kropff y Spitters, 1992; Weaver y otros, 1992). Si bien estos modelos son más útiles que los modelos empíricos para comprender la dinámica del proceso de competencia, la gran cantidad de datos eco-fisiológicos que se requieren de las especies, además de los datos micro-meteorológicos del sitio, significan una gran limitación para su

uso aplicado al manejo de malezas en agroecosistemas.

Merece destacarse sin embargo, el propuesto por Aikman y Scaife (1993) que requiere un limitado número de parámetros, fácilmente determinables. El modelo permite predecir el crecimiento de plantas en escenarios de monoculturas y de multiespecies (Park y otros, 2001).

Complejidades

• Densodependencia

La mayoría de los procesos poblacionales son denso-dependientes, es decir que las tasas de cambio varían según la densidad (Doyle, 1991). Los modelos que no incluyen la densodependencia no serán realistas en sus predicciones ya que supondrán un modelo crecimiento² geométrico o exponencial, omitiendo la capacidad de porte de un sistema dado. Esta es una de las principales limitaciones de un modelo construido con ecuaciones de diferencia o mediante matrices.

• Variaciones espaciales

La distribución de las malezas en el campo es agrupada, en manchones. Esto es consecuencia de la heterogeneidad de los factores ambientales y de las características biológicas particulares de las malezas, como por ejemplo las relacionadas con la dispersión o la dormición. La mayoría de los modelos suelen ignorar los atributos espaciales de la población y simplemente simulan la densidad promedio de un área determinada. Sin embargo, si existen diferentes sub-hábitats en el ámbito de un campo o lote, pueden modelarse separadamente sin agregar demasiada complejidad al modelo (véase más adelante).

² Los efectos de la densidad en la fecundidad y sus implicancias en la dinámica de la población, pueden incluirse en el modelo de la Caja Conceptual N° 3 si se reemplaza el número de semillas por planta por una función que describe ese proceso.

• Factores de manejo

Aún los modelos poblacionales sencillos incluyen el efecto de las operaciones de campo en los parámetros demográficos (e.g. Zwerger y Hurler, 1988; Gerowitt y Bodendorfer, 2001), como por ejemplo, el efecto del pastoreo, al incrementar la emergencia de la maleza (Gillman y otros, 1993) o bien reduciendo su fecundidad (Pannell y otros, 2004). Otros incorporan cálculos bioeconómicos (Doyle y otros, 1986; Swinton y King, 1994).

• Variabilidad

Se ha esbozado en la introducción, que una distinción muy importante entre modelos es si los mismos son *determinísticos* o *estocásticos*. La mayoría de los modelos son determinísticos, esto es que sólo se utiliza un grupo fijo de valores de "inputs" y en cada ecuación se utiliza un solo "juego" de parámetros, de manera que se genera un único valor de "output" o "salida".

En los modelos estocásticos, algunos o todos los "inputs" y parámetros incluyen la distribución estadística, en lugar de valores únicos³. Por ejemplo, en lugar de un único valor de "Tasa de emergencia" de plántulas, se define un rango, probablemente representado por la media y la desviación standard (basada en un gran número de datos experimentales o determinaciones directas en el campo⁴). Los modelos estocásticos generalmente requieren numerosas "corridas" (e.g. 10.000 veces), cada una con diferentes combinaciones de parámetros o de "inputs" posibles, resultando así numerosos "outputs", los que pueden ser analizados para definir la distribución de probabilidades. Este tipo de modelos pueden ser particularmente útiles cuando no se tiene la certeza acerca de los valores reales de los parámetros del modelo o de los valores de "inputs" posibles.

³ Los efectos de estocacidad pueden explorarse en el modelo de la dinámica de la población de *Avena fatua* (Caja Conceptual N° 3).

⁴ La posibilidad de obtener numerosos datos geoposicionados con las herramientas de siembra, pulverización o cosecha, abre un campo de gran potencial para este tipo de aproximaciones.

Como resultado de la distribución sesgada de muchos parámetros, el promedio de todas las réplicas, surgido de un modelo estocástico puede ser claramente diferente del valor surgido del modelo corrido una única vez con el promedio en el valor del parámetro, como ocurre con el modelo determinístico (Frekleton y Watkinson, 1998).

La decisión de utilizar un modelo estocástico o uno determinístico depende en gran medida de la cantidad y calidad de información disponible para construirlo y de la forma de la distribución de probabilidades del parámetro (Cousens y Mortimer, 1995).

- Escala espacial

Los modelos difieren acerca de cómo representan y formulan la escala espacial. Los modelos de sistemas de datos “concentrados” u “homogéneos” tratan a la modelización del área (e.g. un campo, una parcela) como una simple unidad y promedian los efectos de la variabilidad en esa unidad. En un sistema “concentrado”, las variables dependientes de interés son función solamente del tiempo: este sistema puede imaginarse como una serie de “cuentas” o “agrupaciones” conectadas por segmentos “sin peso” ($x_1 \dots x_N$) y limitadas a moverse sólo verticalmente.

Los modelos de sistemas de datos “distribuidos” o “discretos” separan la unidad a ser modelada en unidades discretas, permitiendo el uso de diferentes “inputs” o parámetros para representar esa variabilidad espacial. En un sistema “distribuido” las variables dependientes son funciones del tiempo y una o más variables de espacio: este sistema consiste en una cadena infinita y continua, con un inicio ($x=0$) y un fin ($x=L$). La variable dependiente (la posición vertical de la cadena ($y(x,t)$)) es calculada continuamente tanto en tiempo como en espacio.

La clasificación de datos como “concentrados” o “distribuidos” no dan una indicación en particular acerca de los métodos matemáticos que pueden usarse para representar los procesos individuales, simplemente enfatizan

sobre la aproximación espacial que se utiliza al representarlos.

Los modelos espaciales homogéneos no incluyen una representación explícita del espacio, mientras que los que sí lo incluyen (distribuidos), pueden utilizar formatos discretos (como el “Celular automático” (Wang y otros, 2003).

Por ejemplo, las poblaciones de semillas en el banco del suelo tienden a exhibir una distribución en parches. Esta heterogeneidad espacial es el resultado de efectos bióticos (tipo de curva de dispersión), abióticos (propiedades del suelo) y de manejo (labranzas, control, dispersión secundaria por la cosechadora) y sus interacciones (Blanco Moreno y otros, 2008). La heterogeneidad en la distribución puede ser simulada dividiendo el campo en áreas pequeñas, en las cuales la densidad de las malezas se la hace variar de acuerdo a una distribución binomial negativa; sin embargo, la mayoría de los modelos poblacionales ignoran la distribución espacial y el modelo de dispersión (González Andújar y otros, 1991; Dicke y otros, 2003; Holst y otros, 2007).

Tanto las características de la semilla (peso, atributos para volar, etc) como el tipo de manejo del agroecosistema (cultivos intensivos o extensivos, labranzas, procedimientos de cosecha-manual o mecánica, etc.) influyen en el diseño del submodelo de dispersión y para las especies que tienen dispersión anemócora, el submodelo de dispersión tiene necesariamente que ser incluido en la estructura del modelo poblacional (Dauer y otros, 2007). La misma consideración debe tenerse en cuenta para el caso de una especie cuya semilla es tomada por la máquina cosechadora y redispersada en otra parte del campo o eventualmente en otros campos (Ballaré y otros, 1987).

Análisis de Sensibilidad

Las predicciones que se realizan con un modelo son inciertas debido a las condiciones del escenario, especialmente aquellas que están fuera del control del ser humano (ej. ambiente

y clima, banco inicial de semillas) y además porque los componentes del modelo son -por definición- más simples que los de la realidad. Lo expuesto, ha llevado a la necesidad de incorporar el análisis de sensibilidad (Mortimer y Putwain, 1984) cuyos propósitos y técnicas han sido revisados por Pannell (1997).

El análisis de sensibilidad se realiza para determinar qué estimadores de los parámetros de un modelo tiene la mayor influencia sobre el cambio en la variable que se está evaluando (por ejemplo Densidad de la maleza = δ). Este procedimiento involucra simulaciones repetidas en las cuales cada parámetro se incrementa y reduce en un determinado porcentaje, manteniendo todos los restantes parámetros constantes. El coeficiente de sensibilidad (C) se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\frac{\Delta\delta}{\delta}}{\frac{\Delta \text{Parámetro}}{\text{Parámetro}}}$$

Donde: $\Delta\delta$ = cambio en la densidad poblacional
 δ = densidad de la población
 Δ Parámetro = variación porcentual del parámetro
 Parámetro = valor del parámetro

En poblaciones de malezas, el índice e es el más comúnmente utilizado (Monjardino y otros, 2003; González Andújar y Fernández Quintanilla, 2004).

Validación o Evaluación

Se suele aplicar el término validación o evaluación al ejercicio de comparar las “salidas” de un modelo con datos independientes, adicionales, tomados a campo. Un modelo validado por lo tanto, ha pasado por la prueba de evaluación exitosamente para lo cual se utiliza alguna herramienta estadística: la más sencilla es la correlación entre “valores observados” y “valores predichos”. En sistemas no-lineales se suelen utilizar indicadores de ajuste, tales como el MSE (cuadrado medio del error) o el RMSE (raíz MSE).

Epílogo

Uno de los pioneros en la utilización de modelos para estudiar el comportamiento de las poblaciones vegetales fue G. Sagar (1968), quien formaba parte del equipo liderado por John Harper en la Escuela de Biología Vegetal de la Universidad del Norte de Gales (Bangor). Desde entonces, han sido numerosos los aportes en el mundo, los que se potenciaron al disponerse de herramientas de cálculo y de computación. En una revisión reciente (Holst y otros, 2007), el número de trabajos científicos relacionados con modelización supera los 130, todos ellos focalizados al estudio de la dinámica de poblaciones de malezas, en más de 60 especies.

Una de las razones defendidas entusiastamente por los investigadores que adhirieron a este tipo de estudios fue que los mismos proporcionarían herramientas para optimizar las tácticas y estrategias de control de malezas en agroecosistemas (Cousens y Mortimer, 1995), en los últimos años extendidas a las invasoras (Thornby et.al., 2011). En años recientes, han aparecido algunas reflexiones un tanto escépticas acerca del rol que pueden jugar los modelos en el manejo de malezas, como es el caso de la pregunta que hiciera Moss (2007):

... “¿es éste el caso en que estamos tratando de predecir lo impredecible?”

Esperamos sin embargo que luego de leer y comprender este capítulo, el lector pueda discernir acerca de la utilidad real de estas herramientas, tenga en cuenta sus limitaciones y contribuya al diseño de mejoras que -eventualmente- potencien y amplíen sus aplicaciones. Siempre deberá tenerse en cuenta que cualquier modelo es una simplificación de la realidad, y por lo tanto tendrá limitaciones y restricciones.

Para concluir, sugerimos tener en cuenta las recomendaciones de Colbach y otros (2005)

- “Los aspectos biológicos y los efectos ambientales solo debieran tenerse en cuenta si los mismos interactúan con el cultivo”.
- “Las estructuras del modelo no tendrían que recargarse con procesos y complejidades que no tiene aplicación práctica inmediata”

Resumen

Un modelo biológico es un modelo matemático de un sistema biológico. Existen aproximaciones claramente diferentes al momento de diseñar un modelo, tanto en su estructura como en su complejidad (conceptuales / mecánicos; determinísticos / estocásticos; concentrados / distribuidos) y la amplitud de su escala espacio-temporal. Las funciones o algoritmos que pueden utilizarse implican la consideración de un crecimiento exponencial, sin restricciones (como es el caso de las funciones de diferencia o bien las matrices) o por el contrario, modelos poblacionales más realistas incluyen funciones diferenciales y agregan los efectos de la densidad. Los límites de la modelización están fijados por el objetivo y el ámbito de aplicación: así puede encararse la construcción de un modelo poblacional que comprenda varias etapas de la historia de vida de la maleza (Caja Conceptual N° 3), o bien sólo una pequeña fracción de la misma, como es el caso de los modelos de germinación y emergencia detallados en las Cajas Conceptuales N°1 y 2. En cualquier caso, la elección del tipo y enfoque a utilizar para construir el modelo debe surgir del balance entre la cantidad de datos que pueden disponerse y la posible utilidad o aplicación del mismo.

Bibliografía

- Aikman DP y Scaife A. 1993. Modelling plant growth under varying environmental conditions in a uniform canopy. *Annals of Botany* 72, 485-492.
- Azam-Ali, S.N; Crout, N.M:J and Bradley, R.G. 1994. Some perspectives in modeling resource capture by crops. *Proceedings 52nd Easter School in Agriculture Science*. Sutton Bonnington. UK.
- Ballaré C.L, Scopel, A.L, Ghera, C.M y Sánchez, R.A 1987. The population ecology of *Datura ferox* in soybean crops. A simulation approach incorporating seed dispersal. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 19, 177-188.
- Caswell, H. 2001. Matrix population models: construction, analysis and interpretation. 2nd Edition. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc. Publishers.
- Chantre, G.R.; Sabbatini, M.R. y Orioli, G.A. 2010. An after-ripening thermal-time model for *Lithospermum arvense* seeds based on changes in population hydrotime parameters. *Weed Research* 50, 218-227.
- Colbach N y Debaeke P 1998. Integrating crop management and crop rotation effects into models of weed population dynamics: a review. *Weed Science* 46, 717-728.
- Colbach N, Clermont-Dauphin C y Meynard JM 2001.GE-NESYS: a model of the influence of cropping system on gene escape from herbicide tolerant rapeseed crops to rape volunteers. I. Temporal evolution of a population of rapeseed volunteers in a field. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83, 235-253.
- Colbach N, Durr Roger-Estrade J y Caneill J (2005) How to model the effects of farming practices on weed emergence. *Weed Research* 45, 2-17.
- Cousens RD y Moss SR 1990. A model of the effects of cultivation on the vertical distribution of weed seeds within the soil. *Weed Research* 30, 61-70.
- Cousens, R. y M. Mortimer. 1995. Dynamics of weed populations. Cambridge University Press. 302-307
- Cousens, R. 1985a. A simple model relating yield loss to weed density. *Annals of Applied Biology* 107, 239-252.
- Cousens, R., 1985b. An empirical model relating crop yield to weed and crop density and a statistical comparison with other models. *Journal of Agricultural Science* 105, 513-521.
- Dauer, J.; Mortensen, D. A; vanGessel, M.J. 2007. Temporal and spatial dynamics of long-distance *Conyza canadensis* seed dispersal. *Journal of Applied Ecology* 44(1) 105-114.
- Dicke D, Krohmann P y Gerhards R. 2003. Spatial and temporal dynamics of weed populations in crop rotations Agriculture. (Eds JV Stafford and A Werner), 157-163. Berlin, Germany.
- Diggle AJ y Neve P. 2001. The population dynamics and genetics of herbicide resistance - a modeling approach. In:Herbicide Resistance and World Grains (Eds SB Powles & DL Shaner), 61-99. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Doyle CJ. 1991. Mathematical models in weed management. *Crop Protection* 10, 432-444.
- Echeverría, J.C. 1991. El chañar y la computadora. Información Técnica 118. INTA. Centro Regional San Luis. República Argentina. 16 p.
- France y Thornley, 1984. Mathematical models in Agriculture. A quantitative approach to problems in Agriculture and related sciences. Butterworths (London). 335 p.
- Freckleton RP y Watkinson AR. 1998.Predicting the determinants of weed abundance: a model for the population dynamics of *Chenopodium album* in sugar beet. *Journal of Applied Ecology* 35, 904-920.
- Gerowitz B y Bodendorfer H 2001.Long-term population development of *Viola arvensis* Murray in a crop rotation. II. Modeling population development. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 108, 269-283.
- Gillman M, Bullock JM, Silvertown J y Clear-Hill B 1993. A density-dependent model of *Cirsium vulgare* population dynamics using field-estimated parameter values. *Oecologia* 96, 282-289.
- González-Andújar JL y Fernández-Quintanilla C 1991. Modeling the population dynamics of *Avena sterilis* under dryland cereal cropping systems. *Journal of Applied Ecology* 28, 16-27.
- González-Andújar JL y Fernández-Quintanilla C 2004. Modeling the population dynamics of annual ryegrass (*Lolium rigidum*) under various weed management systems. *Crop Protection* 23, 723-729.
- Grundy, A. C. 2003. Predicting weed emergence: a review of approaches and future challenges. *Weed Research* 43, 1-11.
- Haefner, J. W. 2005. Modeling biological systems: Principles and applications. 2nd Edition. New York: Springer-Verlag. 480 p.
- Holst N, Rasmussen IA y Bastiaans L 2007. Field weed population dynamics: a review of model approaches and applications. *Weed Research* 47, 1-14.
- Jordan N, Mortensen DA, Prenzlow DM y Cox KC 1995. Simulation analysis of crop rotation effects on weed integrated weed management of *Lolium rigidum* in Western Australia. *Agricultural Systems* 79, 305-325.

- Kropff, M.J., Spitters, C.J.T., 1992. An eco-physiological model for interspecific competition, applied to the influence of *Chenopodium album* L. on sugar beet. I. Model description.
- Kropff, M.J., Vossen, F.J.H., Spitters, C.J.T., 1984. Competition between a maize crop and a natural population of *Echinochloa crus-galli* (L.) P.B. *Neth. J. Agric. Sci.* 32, 324-327.
- Leguizamón, E.S. 1983. Dinámica poblacional de sorgo de Alepo (*Sorghum halepense* L. Pers) en soja. Enfoque del estudio. Primeras estimaciones del impacto de diferentes niveles de control en el banco de propágulos. Informe Técnico No 32.EEA Oliveros INTA. 13 p.
- Leguizamón, E.S; Brovelli, E; Allieri, L; Giuggia, A.E. 1986. Dinámica poblacional de sorgo de Alepo (*Sorghum halepense* L) en la secuencia trigo/soja. IDIA 437-440:44-48.
- Leguizamón; Rodríguez, N; Rainero, H; Pérez, M, Pérez, L; Zorza, E; Fernández-Quintanilla, C. 2009. Modeling the emergence pattern of six summer annual weed grasses under no tillage in Argentina. *Weed Research* 49, 98-106.
- Lindquist JL y Kropff MJ 1996. Applications of an ecophysiological model for irrigated rice (*Oryza sativa*)-*Echinochloa* competition. *Weed Science* 44, 52-56.
- Madsen KH, Blacklow WM, Jensen JE y Streibig JC. 1999. Simulation of herbicide use in a crop rotation with transgenic herbicide-tolerant oilseed rape. *Weed Research* 39, 95-106.
- Maxwell BD y Ghera C. 1992. The influence of weed seed dispersion versus the effect of competition on crop yield. *Weed Technology* 6, 196-204.
- Maxwell BD, Roush ML y Radosevich SR. 1990. Predicting the evolution and dynamics of herbicide resistance in weed populations. *Weed Technology* 4, 2-13.
- Maxwell BD, Wilson MV y Radosevich SR. 1988. Population modeling approach for evaluating leafy spurge (*Euphorbia esula*) development and growth. *Weed Technology* 2, 132-138.
- Monjardino M, Pannell DJ y Powles SB. 2003. Multispecies resistance and integrated management: a bioeconomic model for integrated management of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) and wild radish (*Raphanus raphanistrum*). *Weed Science* 51, 798-809.
- Morrison IN y Friesen LF. 1996. Herbicide resistant weeds: mutation, selection, misconception. In: Proceedings 1996 Second International Weed Control Congress. (eds H Brown, GW Cussans, MD Devine, SO Duke, C of control strategies. In: Proceedings 10th International Congress of Plant Protection. 146-153. Brighton, UK.
- Mortimer AM y Putwain PD. 1984. The prediction of weed infestations: concepts and approaches. *Bulletin OEPP* 14, 439-446.
- Moss, S. R. 2007. Weed Management: is it a case of trying to predict the unpredictable? *Proceedings of the 14th EWRS Symposium*, Hamar (Norway), p. 10.
- Neeser C, Aguero R y Swanton CJ. 1998. A mechanistic model of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) population dynamics. *Weed Science* 46, 673-681.
- Pannell DJ. 1997. Sensitivity analysis of normative economic models: theoretical framework and practical strategies. *Agricultural Economics* 16, 139-152.
- Pannell, D.J., Stewart, V., Bennett, A., Monjardino, M., Schmidt C. & Powles, S.B. 2004. RIM: a bioeconomic model for integrated weed management of *Lolium rigidum* in Western Australia. *Agricultural Systems* 79:305-325.
- Park SE, Benjamin LR, Aikman DP y Watkinson AR. 2001. Predicting the growth interactions between plants in mixed species stands using a simple mechanistic model. *Annals of Botany* 87, 523-536.
- Penning de Vries, F.W.T., Berge, H.F.M.T., Bakema, A., 1974. Products, requirements and efficiency of biosynthesis: a quantitative approach. *Journal of Theoretical Biology*. 45, 339-377.
- Pino J, Sans FX y Masalles RM. 1998. Population dynamics of *Rumex obtusifolius* under contrasting lucerne cropping systems. *Weed Research* 38, 25-33.
- Puricelli, E; G. Orioli; M.R.Sabbatini. 2002. Demography of *Anoda cristata* in wide and narrow row soyabean. *Weed Research*, 44(2) 456-463.
- Putwain PD y Mortimer AM. 1989. The resistance of weeds to herbicides: rational approaches for containment of a growing problem. In: Proceedings 1989 Brighton Crop Protection Conference, Weeds. 285-294. Brighton, UK.
- Richter O, Zwerger P y Bottcher U 2002. Modelling spatio-temporal dynamics of herbicide resistance. *Weed Research* 42, 52-64.
- Sagar GR y Mortimer AM. 1976. An approach to the study of the population dynamics of plants with special reference to weeds. *Applied Biology* 1, 1-47.
- Silvertown, J. and Charlesworth, D. 2001. Introduction to Plant Population Biology. 4th Edition. Oxford: Blackwell Publishing. 347 p.

- Singh, V. P. (Ed.) 1995 Computer Models of Watershed Hydrology. *Water Resources Publications*, Highlands Ranch, Colorado, 1130 p.
- Spitters, C.J.T., Aerts, R. 1983. Simulation of competition for light and water in crop-weed associations. *Asp. Appl. Biol.* 4, 467-483.
- Squire GR, Burn D Crawford JW. 1997. A model for the impact of herbicide tolerance on the performance of oilseed rape as a volunteer weed. *Annals of Applied Biology* 131, 315-338.
- Swinton SM y King RP. 1994. A bioeconomic model for weed management in corn and soybean. *Agricultural Systems* 44, 313-335.
- Thornby, D., J. Garren, R. Carruthers, D. Spencer and J.P. Weber. 2011. A Structural Growth Model of the Invasive Weed Species Yellow Starthistle, *Centaurea solstitialis* L. Proceedings of the International Congress on Congress and Simulation.1305-1311.
- Vidotto F, Ferrero A y Ducco G. 2001. A mathematical model to predict the population dynamics of *Oryza sativa* var. *sylvatica*. *Weed Research* 41, 407-420.
- Vitta, J.I.; D.Tuesca; E.Puricelli y E.Leguizamón.1989.Modelo conceptual de la dinámica de semillas de sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*.L.Pers) en la secuencia trigo/soja. Implicancias en la persistencia de la maleza. Revista de la Facultad de Agronomía (UBA) 10(2):11-15.
- Wallach 2006. Evaluating crop models (11-53 p.) in Working with Dynamic Crop Models—Evaluation, Analysis, Parameterization, and Applications (Ed. D Wallach, D Makowski and J Jones), Amsterdam, Elsevier.
- Wang J, Kropff MJ, Lammert B, Christensen S y Hansen PK (2003) Using CA model to obtain insight into mechanism of plant population spread in a controllable system: annual weeds as an example. *Ecological Modelling* 166, 277-286.
- Weaver SE, Kropff MJ y Groeneveld RMW.1992. Use of eco-physiological models for crop-weed interference the critical period of weed interference. *Weed Science* 40,
- Wilkerson, G.G., Jones, J.W., Coble, H.D., Gunsolus, J.L., 1990. SOYWEED: a simulation model of soybean and common cocklebur growth and competition. *Agronomy Journal* 82, 1003-1010.
- Zwenger P y Hurle K. 1988. Simulation studies on the influence of crop rotations and control measures on weed infestation. *Zeitschrift fur Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderheft 11, 71-82.

Han pasado más de 30 años de la última edición de la obra de Ángel Marzocca "Manual de Malezas" y si bien se han editado numerosos trabajos científicos y/o tecnológicos, informes técnicos y aún capítulos en libros de cultivos relacionados con la temática de las malezas, los mismos abordan aspectos con distinto grado de profundidad, enfoques parciales o bien se encuentran diseminados en múltiples publicaciones. Se estima que la edición de una obra actualizada que abrace buena parte de los conocimientos disponibles en Argentina sobre plantas invasoras, malezas y su manejo en los distintos sistemas de producción del país, representará un significativo aporte al conocimiento y será una fuente permanente de consulta en todas aquellas cuestiones coligadas con la presencia de este tipo de plantas que interfieren con la actividad productiva en los agroecosistemas. Hemos acordado publicar esta obra reconociendo principalmente la necesidad de un texto en idioma español orientado en particular a docentes universitarios y del nivel medio ligados a las ciencias agrarias, estudiantes de agronomía, profesionales y técnicos no sólo estrictamente vinculados con la productividad agropecuaria sino también de interés para toda persona interesada en el conocimiento de los atributos biológicos de las plantas espontáneas.

Esta Obra comprende tres tomos. El primero de ellos abarca todos los aspectos relacionados con la ecología de las malezas y su manejo en agroecosistemas. Los mismos incluyen desde aspectos más generales relacionados con la biología y la dinámica de poblaciones vegetales hasta más particulares, como es el manejo de malezas en cultivos extensivos e intensivos, la prevención de invasiones, el uso de modelos en la dinámica espacio-temporal de poblaciones, la residualidad y los efectos ambientales de los herbicidas o el control biológico, entre muchas otras temáticas, que son abordadas por 65 autores en 33 capítulos a lo largo de 950 páginas.

En el Tomo II se desarrollan los aspectos relacionados con la clasificación botánica e identificación de unas 600 especies, presentadas en páginas a todo color con una ficha descriptiva asociada, que jerarquiza los caracteres que permiten una rápida identificación en el campo de las especies tratadas.

En el Tomo III se abordan los atributos biológicos y eco-fisiológicos que caracterizan y contribuyen al éxito ecológico de una determinada especie. Las secciones incluyen revisiones y puesta al día de conocimientos que contribuyen a optimizar las herramientas de prevención y manejo de una especie. Los contenidos de cada una de ellas son construidos por investigadores que las han estudiado durante varios años, muchos de ellos en el marco de experimentos de Tesis de Maestría o Doctorado.

