



Innovaciones tecnológicas en la agricultura. Surgimiento y desarrollo de las técnicas de protección de cultivos

Mesa 7: Historia de las innovaciones y la tecnología

Masiá, Gerardo¹ y Moltoni, Luciana²

Resumen:

El uso de algunas sustancias químicas como método de control de plagas data de la antigüedad; en el 2500 a.C., los sumerios empleaban compuestos de azufre para controlar insectos, los chinos usaban el mercurio y tanto Aristóteles en la antigua Grecia, como Catón en Roma describen formas de protección vegetal a base de azufre. El empleo de distintas técnicas de control de plagas fue de vital importancia desde sus inicios ya que con él se conseguía afirmar la seguridad alimentaria de los pueblos y, en algunos casos, incrementar la productividad de los cultivos.

El presente trabajo tuvo como objetivo general estudiar el surgimiento y evolución de las innovaciones tecnológicas vinculadas a los componentes mecánicos y productos químicos que hacen a la técnica de protección de cultivos desde sus inicios hasta la actualidad. En relación a este objetivo se trabajó en torno a tres ejes de discusión: la incidencia de las plagas agrícolas en relación con los cambios en los sistemas productivos, el rol que ocupan los agroquímicos y la evolución de las técnicas de distribución de plaguicidas.

El estudio se realizó en base a una revisión bibliográfica exhaustiva, combinada con el uso de distintas series estadísticas. Las fuentes estadísticas empleadas en este estudio provinieron de FAO, la Cámara Argentina de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFE), las Estimaciones Agrícolas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina (MinAgri) y de BBC Reserach, Estados Unidos.

1. Introducción: el sistema agroproductivo

¹ Magíster en Control de Plagas y su Impacto Ambiental. Coordinador de Investigación y Desarrollo, Instituto de Ingeniería Rural (IIR), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). E-mail: gmasia@cnia.inta.gov.ar

² Magíster en Estudios Sociales Agrarios. Investigadora del Instituto de Ingeniería Rural (IIR), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). E-mail: lmoltoni@cnia.inta.gov.ar

Desde sus inicios, la evolución de la especie humana estuvo íntimamente ligada al medio natural en el que se desarrollaba su vida. Esta interacción con el entorno aportó al ser humano suficiente conocimiento empírico de su hábitat como para procurarse alimentos, mayoritariamente vegetales, base de su subsistencia.

Las primeras especies cultivadas y que actualmente continúan en producción fueron el Mijo y Sorgo en el norte de África; el Arroz en la India y China; y el Maíz en América. En cuanto a Europa, se extendieron los cereales de invierno: Trigo, Cebada y Centeno, probablemente introducidas desde Asia.

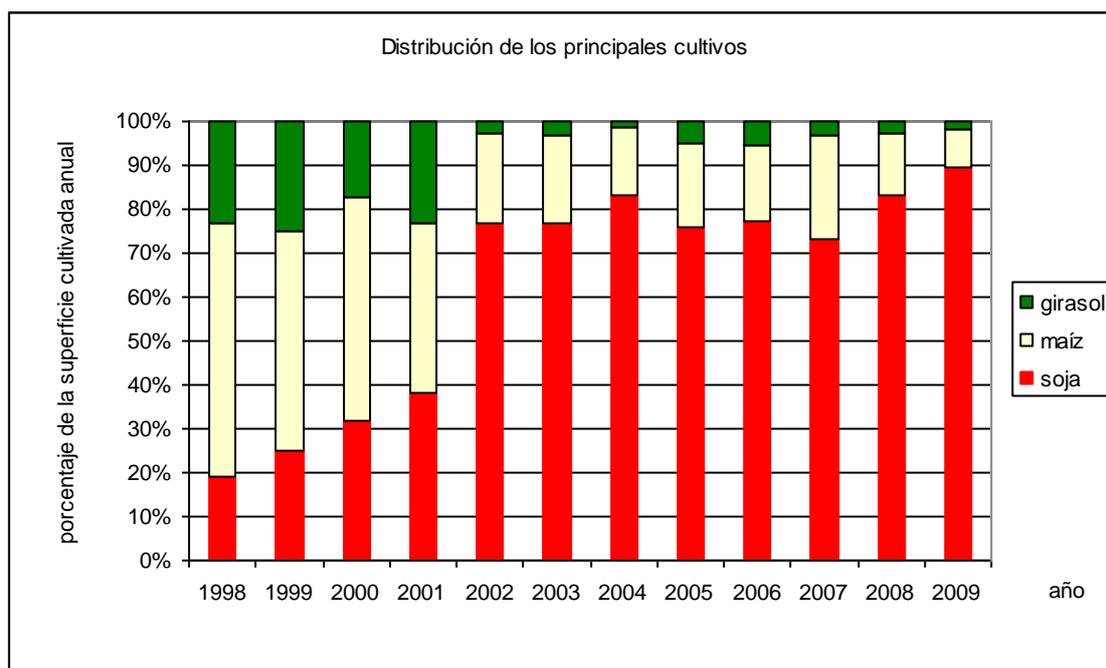
En nuestro territorio la agricultura data desde la época precolombina. El caso típico lo representa las culturas del norte de nuestro país (Diaguitas y Matacos), en la región puneña, en la cual se sistematizaron las zonas aptas para los cultivos construyendo terrazas para aprovechar el recurso hídrico y evitar la erosión. Allí se desarrolló la mayor cantidad de especies domésticas: Maíz, Quinoa, Papa y diversas legumbres. El área de agricultura Guaránica, nos ha legado una serie de cultivos que abarcaba desde las variedades autóctonas de Maíz, Zapallo, Algodón, Porotos, Maní y Batata, hasta la Mandioca, y la Yerba Mate. En los valles andinos del Neuquén, Río Negro y norte del Chubut tuvieron cabida las prácticas agrícolas Araucanas.

Tres zonas agrícolas, con identidad propia, se distinguieron tempranamente: el cultivo del Algodón en Tucumán y Santiago del Estero, los viñedos, cereales y algodones de Córdoba y las viñas y trigales en Cuyo, en donde, el cultivo de la Alfalfa adquirió una relevante importancia (Gorostegui de Torres, 1992). La expansión de la agricultura a partir de los años 40 del siglo XIX se desarrolló en provincias que hasta entonces no estaban constituidas, como Santa Fe y Entre Ríos, superponiéndose temporalmente con la expansión ovina. La literatura especializada (Garavaglia, 1999; Barsky y Gelman, 2001; Barsky y Djenderedjian, 2003) señala que la economía agraria comprendida entre 1840 y 1880 estaba signada por dos espacios productivos bien diferenciados: el de la agricultura cerealera, en las colonias agrícolas en Santa Fe y otras del litoral (gestoras de la gran expansión ocasionada en periodos venideros), y las áreas del desarrollo de la ganadería ovina para la producción de lana, en la provincia de Buenos Aires³.

³ Estudios comparativos de los periodos 1751–1815 y 1816–1853 sobre las estancias de Buenos Aires, muestran una disminución de las actividades agrícolas (producción triguera), aunque paralelamente esta actividad comienza a tener cierta presencia a medida que se van ocupando las nuevas tierras. A su vez, se produce un gran crecimiento del stock ovino –aumenta en un 2,5 el número de cabezas– que en términos de valor monetario pasa a ocupar el segundo lugar después del ganado vacuno (Garavaglia, 1999).

A partir de 1880 se asiste a una eclosión de la agricultura. Muchos fueron los factores que se conjugaron para alcanzar este estadio. En primer lugar, los cambios económicos producidos durante la segunda mitad del siglo XIX, materializados en infraestructuras que posibilitaron un transporte más rápido y barato, con más capacidad y convergencia a los puertos, junto a los contingentes de inmigrantes europeos que facilitó la proliferación de la mano de obra agricultora (Armus, 1983), modificaron la configuración y el viejo paisaje del país. La construcción de vías de comunicación fue tan importante como la inmigración para el proceso de expansión agrícola y la mecanización. La primera colonia –Esperanza– fue creada en 1853. A su vez, se produce un perfeccionamiento de instrumentos para la producción agrícola como consecuencia de la importación de Europa y Estados Unidos de maquinaria agrícola, galpones, molinos, tanques australianos, tractores, etc. (Barsky y Ciafardini, 1974). Junto con estas incorporaciones de innovaciones se produce el avance en el cercado de los campos con alambrados que imposibilitaban que el ganado irrumpiera destructivamente en los sembrados. Así, el número de hectáreas sembradas en 1875, que llegaban a 340.000, fueron en 1888 ya 2,5 millones; en 1895 5 millones; en 1905 pasaron a 12 millones; y en 1914, alcanzaron a 24 millones. Los principales cultivos fueron el Trigo, y el Maíz, cuyos precios, en general, mejoran en el mercado internacional en esta etapa. A partir de 1900 se agregan la Alfalfa, para alimento del ganado fino, y el Lino. Las exportaciones de cereales, que en 1880 cubrían el 1,4% del total, en 1890 ascendieron al 25,4%, y en 1900, el valor de las exportaciones de cereales, ya con un 50,1%, es superior al de las exportaciones ganaderas. En 1912 se alcanzó el 57,9 por ciento (Cutolo, 1981). Y es necesario no ignorar la importancia de la propia calidad de las tierras de esa inmensa planicie, con su clima templado y sus lluvias superiores a los 600 milímetros anuales (Scobie, 1968).

Figura 1. Distribución porcentual de los principales cultivos de verano



Fuente: elaboración propia en base a Estimaciones Agrícolas (2009), SAGPyA

Durante los próximos ochenta años se incorporaron nuevas técnicas de cultivo, insumos y maquinaria agrícola que permitieron incrementar la superficie cultivada y en cierta forma los rendimientos, aunque muy por debajo de las potencialidades que ofrece el territorio. Tal es así que en la actualidad, el total de la superficie sembrada en nuestro país -en la campaña 07/08- fue de 30 millones de hectáreas, habiéndose incrementado un 52% con respecto a la campaña 88/89. Del total de esa superficie, un 59% corresponde a Soja, un 14,4% a Maíz, un 17% a Trigo y un 9.5% a Girasol (ACTA, 2008). En promedio, se considera que los cultivos extensivos de la Pampa Húmeda reciben 3 tratamientos fitosanitarios (1 ó 2 con herbicidas ó insecticidas), y los extra pampeanos, como algodón y arroz, más del doble. La cantidad de hectáreas total potenciales de aplicación resultantes es de aproximadamente 90 millones de hectáreas por año.

La evolución operada en los sistemas productivos en los últimos 15 años se destacó por una vertiginosa adopción de siembra directa y la adopción de la soja RR (resistente a Glifosato). Estos eventos revolucionaron el control de malezas del principal cultivo. En Maíz, los materiales Bt (para control del barrenador del tallo) aparecidos en 97/98, resolvieron el control de esta plaga. Ambos, biotecnología en Soja y Maíz, favorecieron un considerable y sostenido incremento de rindes de ambos cultivos. En el marco de este planteo productivo, el uso de productos químicos para el control de plagas resulta central. El objetivo del este trabajo es analizar el surgimiento y evolución de las innovaciones tecnológicas vinculadas a

los componentes mecánicos y productos químicos que hacen a la técnica de protección de cultivos desde sus inicios hasta la actualidad. En relación a este objetivo se trabajó en torno a tres ejes de discusión: la incidencia de las plagas agrícolas en relación con los cambios en los sistemas productivos, el rol que ocupan los agroquímicos y la evolución de las técnicas de distribución de plaguicidas.

2. La incidencia de las plagas agrícolas

Es evidente que al realizar un cultivo de una sola especie en un ambiente determinado se está afectando el nivel de diversidad y se genera -o al menos se induce- a un cambio en la composición de los ecosistemas naturales, alterando el flujo de materia y energía propia de los mismos. Esto ha provocado el incremento de algunas especies más generalistas, que denominamos plagas, y que se adaptan y proliferan por la presencia de un recurso trófico abundante al que llamamos cultivo (Abia, 2008). Si analizamos más detenidamente la aparición del fenómeno plaga existen variables que regulan sus poblaciones, entre las cuales se pueden citar el potencial biótico (capacidad reproductiva de una especie) y la resistencia del medio (factores abióticos que disminuyen la capacidad reproductiva) (Selfa y Aneto, 1997). La relación entre ellas nos indicará la abundancia poblacional de una especie dada. Cuando la resistencia del medio disminuye, se incrementa el potencial biótico y con él la abundancia de insecto, apareciendo la plaga (Barrientos, 1997).

A pesar que una plaga puede ser cualquier especie animal o vegetal, el concepto se asocia casi exclusivamente a los insectos. Esto puede deberse a que en todos los ecosistemas, incluidos los agrícolas, las cadenas tróficas que comprenden plantas verdes, insectos herbívoros e insectos parasitoides, representan aproximadamente la mitad de la biodiversidad de metazoos (Strong *et al.*, 1984; Price *et al.*, 1980), lo que hace de los insectos uno de los grupos zoológicos más diversos y mejor representado de nuestro planeta. Si bien dicha mayoría es relevante -desde el punto de vista agronómico- los insectos son tan perjudiciales como las malezas, moluscos, vertebrados, hongos, bacterias y virus, ya que pueden ser encuadrados dentro del siguiente concepto de plagas: “conjunto de organismos que reducen la disponibilidad, calidad ó valor de un recurso humano” (Flint y Van Der Bosch, 1981).

Sin embargo, a la humanidad le demandó un muy largo tiempo comprender la naturaleza de las enfermedades de sus cultivos. En el Antiguo Testamento, en el Libro de Amós (4:9), escrito alrededor del año 750 AC, el autor entiende que las enfermedades existentes en sus cultivos son simplemente castigos divinos por los pecados de los hombres. Posteriormente los romanos, dada su afición al politeísmo, crearon dos dioses, Robigo y

Robigus, varón y mujer, a quienes oraban para que la roya no atacara a sus granos. Varios años después, recién en 1667, Hooke observó por primera vez en el microscopio esporas de una roya. Pero no llegó a concluir que eran parte de un mecanismo reproductivo, sino que, probablemente influido por el pensamiento místico dominante en la época, pensó que se generaban espontáneamente. No hubieron muchos más avances en los siguientes doscientos años; sin embargo, poco después del trabajo de Hooke, algunos granjeros de Inglaterra notaron que las semillas de Trigo rescatadas de un naufragio eran menos propensas a ser atacadas por el carbón. Por ese motivo adoptaron la costumbre de sumergir en agua salada durante un cierto tiempo a las semillas usadas para la siembra. Pese a ello, el hecho pasó absolutamente inadvertido para la comunidad científica de la época.

Entre las plagas más recientes se recuerda la de 1970, que destruyó un sexto de las cosechas norteamericanas de maíz; en 1980 fue el turno de Java, que vio sus cosechas de arroz reducidas en más de 70% por la acción de *Nilaparvata lugens* (FAO, 1996). África y Asia occidental sufren periódicamente las plagas de la langosta del desierto, que en condiciones de humedad predisponentes se reproduce en grandes cantidades y si se ven favorecidas por vientos tibios recorren a gran velocidad miles de kilómetros, formando nubes compuestas por más de 400 millones de insectos, cada uno de los cuales come diariamente un volumen de vegetación equivalente a su propio peso.

La FAO estima que las pérdidas en la producción agrícola mundial causadas por diferentes plagas fluctúan entre 20% y 40%, y que por lo menos 10% de las cosechas es destruido por roedores e insectos en sus lugares de almacenamiento. Su magnitud varía de región a región, de año en año, y según el tipo de cultivo y el tipo de plaga como factor causal. Así, por ejemplo, en el Arroz las pérdidas se calculan en 46%. De este porcentaje, el 58% se debe a insectos y el resto a enfermedades y malezas. En Trigo, las pérdidas alcanzan 23.9%, siendo 41% imputable a malezas y 20% a insectos. En el caso de la Soja, cuyas pérdidas alcanzan 29.1%, 46% se debe a malezas y 15% a insectos. En cambio, en los cultivos de Papa, en los que las pérdidas ascienden a 32.3%, éstas se imputan en 67% a enfermedades y en 33% a malezas e insectos (National Research Council, 1977). Según el mismo organismo, los productores mundiales de papas gastan aproximadamente 1.600 millones de dólares para combatir el hongo que causó el desastre de las cosechas de Papa, y la consiguiente famosa hambruna de Irlanda en 1840.

La magnitud de las plagas varía entre regiones, en particular entre templadas y tropicales o subtropicales. Se ha señalado que un cultivo en los países en desarrollo compite al menos con 10 a 50 variedades diferentes de malezas (Chou y Harmon, 1979). Las mayores

pérdidas se registran en Asia y África, alcanzando 43.3% y 41.6% del valor potencial de sus respectivos cultivos. Las menores pérdidas se dan en Europa, donde ascienden al 26% del valor potencial de los cultivos. Las mayores causas son las plagas de insectos, con 11.3% seguidos por las malezas con un 9.7%. Los tipos dominantes de plaga también varían de región en región y dependen del cultivo dominante y por supuesto de las variables climáticas. En África, las malezas son la principal causa de pérdidas, mientras que las enfermedades son una amenaza constante para el Sorgo, el Maíz y la Soja en América Latina. Los insectos causan las mayores pérdidas en el Arroz y el Maní, dominantes en Asia. Obviamente, esto no implica que la mayor exposición a una plaga evite la vulnerabilidad a otras. Así, las malezas son también un factor limitante importante en el cultivo de Arroz, mientras que las enfermedades son un riesgo permanente para la Soja (Bifani, 1987). Según Pimentel *et al.* (1998), en los Estados Unidos las pérdidas totales en cultivos asociadas a malezas ascienden a 35.000 millones de dólares, mientras que los insectos generan mermas económicas que rondan los 20.000 millones de dólares.

El riesgo ha sido siempre parte de la agricultura. El sector agropecuario es un sector inestable, sujeto en ocasiones a gastos impredecibles que se agudizan en momentos de contingencias; los riesgos forman parte cotidiana del desarrollo del sector (Trujillo Rodríguez y Marrero Martínez, 2008). Los riesgos biológicos, dentro de los cuales se ubican las plagas, tienen una influencia directa sobre los productos que oferta el sector agrícola, generando la pérdida de una importante cantidad de productos que podrían ofertarse a la población y alivianar los problemas de seguridad alimentaría que aquejan a múltiples poblaciones en el mundo.

3. Rol de los agroquímicos.

El uso de algunas sustancias químicas como método de control de plagas data de la antigüedad; en el 2500 a.C., los sumerios usaban compuestos de azufre para controlar insectos, los chinos usaban el mercurio, y tanto Aristóteles en la antigua Grecia como Catón en Roma describen formas de pulverización a base de azufre. Los papiros de origen Egipcio, aproximadamente 3000 a. C., documentan la utilización de diversas soluciones de cobre para el control de hongos en cebada y el uso de soluciones acuosas de compuestos arsenicales para el control de la langosta (Rindos, 1987). Sin embargo, el uso amplio de pesticidas se inició recién en el siglo XVIII con base en extractos de piretrum, sustancias obtenidas de los pétalos del Crisantemo, compuestos de cobre y arsénico, o compuestos de arsénico y plomo. A comienzos de este siglo el azufre, el cobre y determinados venenos como la nicotina y el

arsénico eran de uso habitual en los cultivos de alto valor comercial: frutas, flores, plantas de invernaderos, entre otros. En 1802, en Francia, se pudo observar la germinación de una espora bajo el microscopio y se notó que, si se agregaba una gota de sulfato de cobre, dicha germinación no se producía. Comenzaba a nacer la era del control químico de las plagas.

A partir de la década del 30, se da inicio a la era moderna de plaguicidas orgánicos obtenidos sintéticamente. Entre las principales moléculas desarrolladas se encuentran los tiocianatos de alquilo, óxido etileno, bromuro de metilo, naftaleno y diclorobenceno. La segunda generación se la puede ubicar cercana al año 1939, en donde se descubren las propiedades insecticidas del DDT (Dicloro Difeníl Tricloroetano) y comienza la síntesis de hidrocarburos clorados: HCH (Ciclohexano, 1, 2, 3, 4, 5, 6 hexacloro), y Ciclodienos.

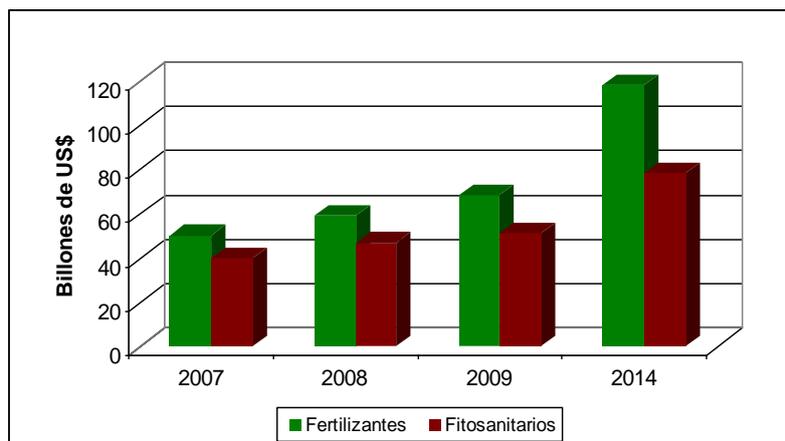
El gran salto en el uso de compuestos químicos ocurrió con la segunda guerra mundial; tanto es así que en la inmediata postguerra se usaban en forma masiva compuestos organoclorados (DDT, lindano y dielidín). En esta década Alemania comienza la síntesis de insecticidas organofosforados, mientras que Inglaterra produce los primeros herbicidas fenoxiacéticos (2, 4 D; 2, 4, 5 T). Durante el transcurso de los años posteriores, en los '50 y '60, se obtuvo el grupo de los carbamatos, el insecticida Malation (organofosforado) y varios funguicidas. La adopción masiva de los principios activos para controlar plagas se ve reflejada en el consumo de los productores norteamericanos, habiéndose multiplicado por un factor de 32 entre 1950 y 1970 y contando con más de 32.000 productos con mil ingredientes activos registrados. En 1970 el Doctor John Franz, investigador del laboratorio Monsanto, descubrió que un componente químico tenía la propiedad de detener el crecimiento de las plantas, el que más tarde se conocería como Glifosato. Se introducen gran variedad de familias de organofosforados y carbamatos, ambos neurotóxicos, así como funguicidas, herbicidas y otros plaguicidas.

Todo parecía indicar que con las moléculas descubiertas se contaba con la solución definitiva para las plagas que diezaban los cultivos; sin embargo, un libro escrito por Rachel Carson (*Primavera Silenciosa*) publicado en 1962 advertía de los efectos perjudiciales de los pesticidas para la salud humana y el ambiente. A partir de este momento se genera una preocupación, quizá desmesurada, por los indeseables efectos toxicológicos de los principios activos, forzando en cierto modo, a las compañías químicas a orientar sus investigaciones hacia productos de menor agresividad. Es entonces que tiene lugar la tercera generación de plaguicidas, donde los primeros insecticidas no neurotóxicos juegan un rol primario a través de los reguladores de crecimiento conocidos como IGR's. Más recientemente los principios activos basados en la modificación del comportamiento de los insectos como antialimentarios

y feromonas, las endotoxinas proteicas de origen microbiano, la copia de productos naturales (ivermectina, imidacloprid, etc.) y el empleo de ciertos aceites esenciales (limoneno, eugenol, etc), entre otros, conforman la cuarta generación de productos destinados al control de plagas, en donde la alta selectividad y la rápida degradación ambiental constituyen sus principales ventajas comparativas.

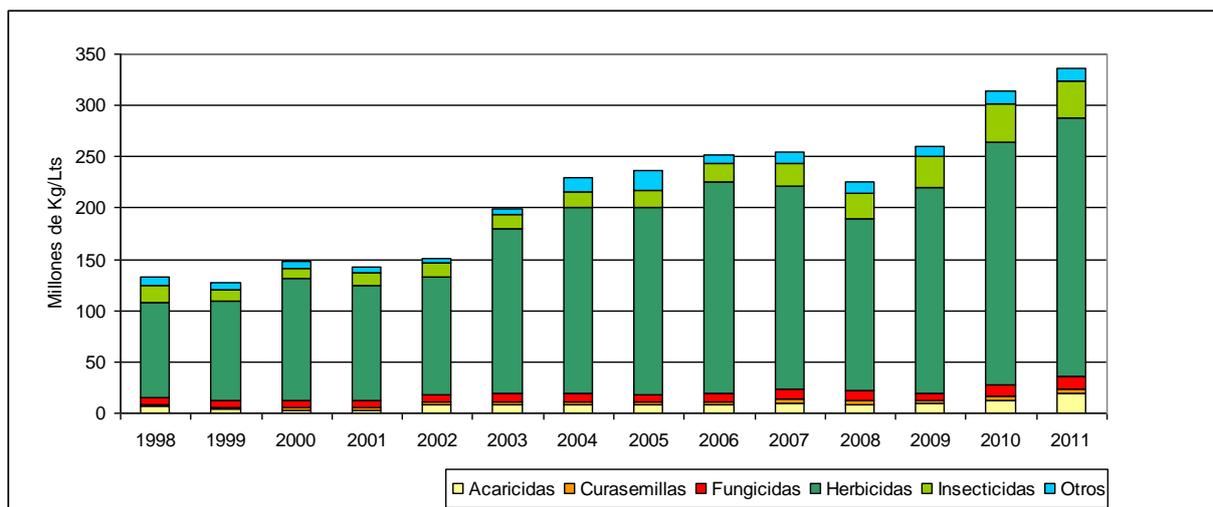
Dentro de la cadena de producción de agroalimentos el manejo integrado de plagas juega un rol preponderante, ya que asegura una cantidad y calidad económicamente aceptable del producto en cuestión (Kihm, 2005). Si bien dentro de este coexisten diferentes prácticas para mantener a las adversidades biológicas por debajo del umbral económico, la de mayor empleo hasta el momento se basa en el control químico (Molinari, 2005). Dicha aseveración se encuentra reflejada por el constante incremento del mercado mundial de agroquímicos de los 40 billones de dólares en el año 2007 se alcanzó a 46,7 billones de dólares en el 2009 con una proyección para el año 2014 cercana a los ochenta billones (figura 2).

Figura 2: Mercado mundial de agroquímicos



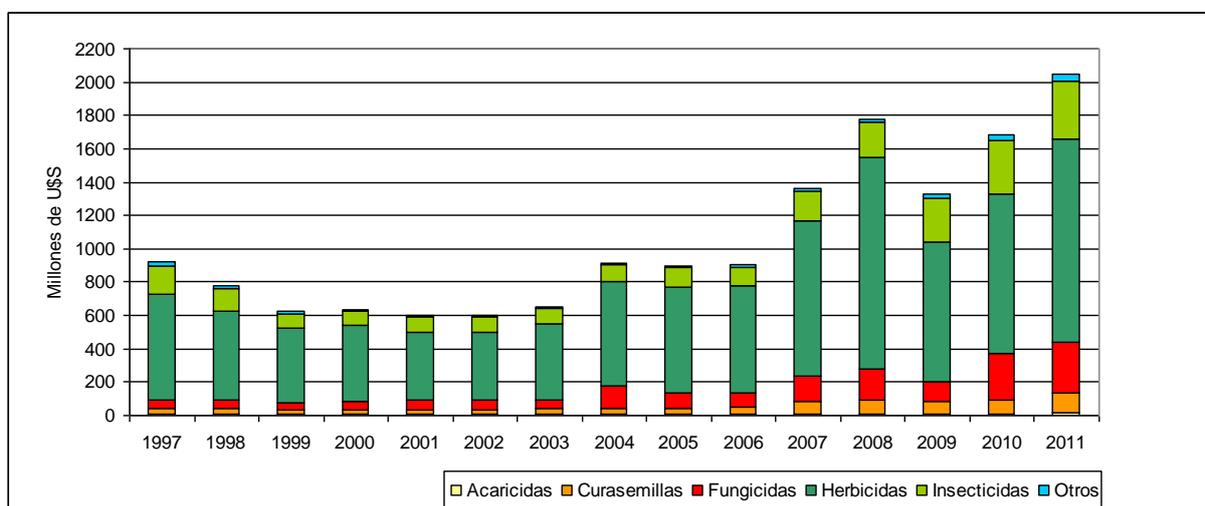
Fuente: elaboración propia en base a datos de BCC Research (2010)

Figura 3: Evolución del mercado argentino de fitosanitarios por cantidad de producto



Fuente: elaboración propia en base a datos de CASAFE (2009).

Figura 4: Evolución del mercado argentino de fitosanitarios por valor de los productos

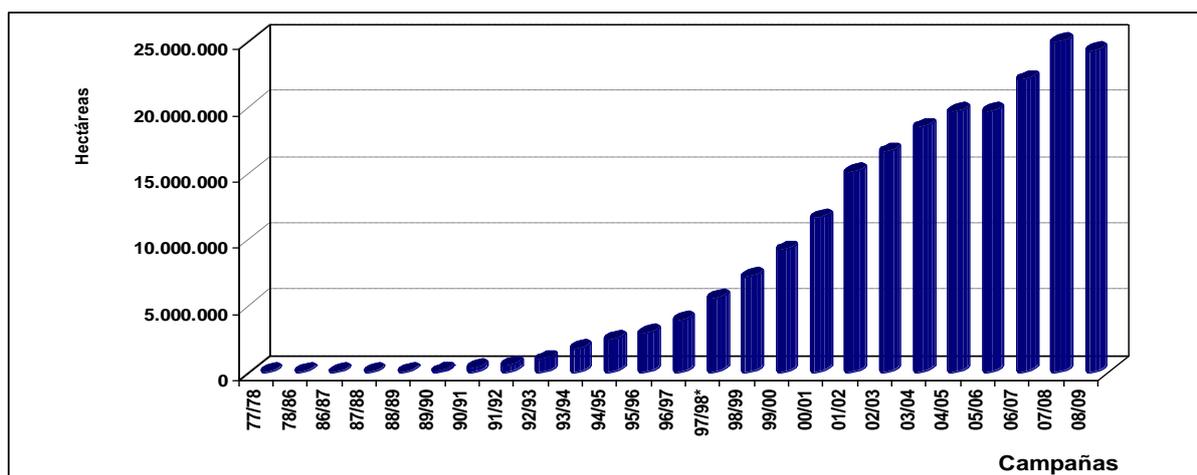


Fuente: elaboración propia en base a datos de CASAFE (2009).

A nivel nacional, el uso de fitosanitarios tiene una evolución extraordinariamente vertiginosa, alcanzando los 336 millones de kg/lt en la campaña 10/11 en comparación a los 40 millones en 91/92 (Figura 3). Esto significa un aumento de 8,4 veces en 19 años, representando un valor total que supera los dos mil millones de dólares (Figura 4).

Tal como puede observarse en la figura 3, la mayor proporción de productos fitosanitarios es ocupada por los herbicidas (aproximadamente un 70 % considerando los dos últimos años). Esta distribución es consecuencia de la implementación y alta adopción de la siembra directa. En 1990 la superficie en siembra directa era de solo 92 mil hectáreas. Para el 2009 esa superficie ascendía casi a unas 25 millones de hectáreas (Figura 5).

Figura 5: Evolución de la superficie sembrada en siembra directa (en has)

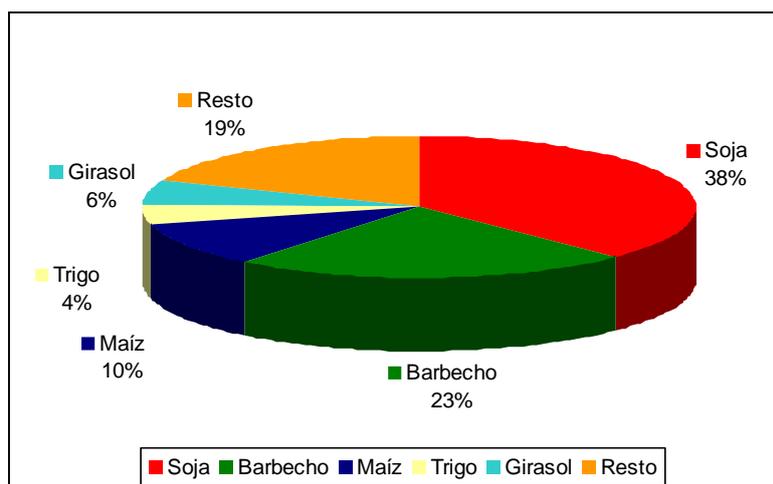


Fuente: elaboración propia en base a datos de AAPRESID (2012)

La siembra directa propone la no remoción del suelo para, de esta forma, lograr disminuir los daños ocasionados por la erosión. La utilización de herbicidas se ve incrementada ya que estos son aplicados para el control de malezas tanto en la instancia previa a la siembra (barbecho) como durante el ciclo del cultivo. En 2009 la cantidad de herbicidas involucrados en la instancia de barbecho representa el 23% sobre el total de los herbicidas consumidos (figura 6). Así, ciertos implementos agrícolas dedicados a la labranza del suelo se ven reemplazados por el uso intensivo de las pulverizadoras relacionado con el control químico de las malezas.

La Argentina posee una amplia diversidad de especies cultivadas, comercializando productos dentro de las más diversas cadenas. Entre ellas se puede mencionar las hortícolas, frutales, forestales, florales, textiles y oleaginosas, entre otras. Pese a esta diversidad, la mayor parte de los productos fitosanitarios (aproximadamente el 81%) se concentra en los denominados cultivos típicos extensivos (figura 6). En todos ellos la distribución de los plaguicidas se realiza por medio de pulverizadores hidráulicos, en donde la aplicación terrestre con equipos de botalón concentra la gran mayoría de los tratamientos efectuados.

Figura 6: Distribución de agroquímicos en los principales cultivos



Fuente: elaboración propia en base a CASAFE (2012)

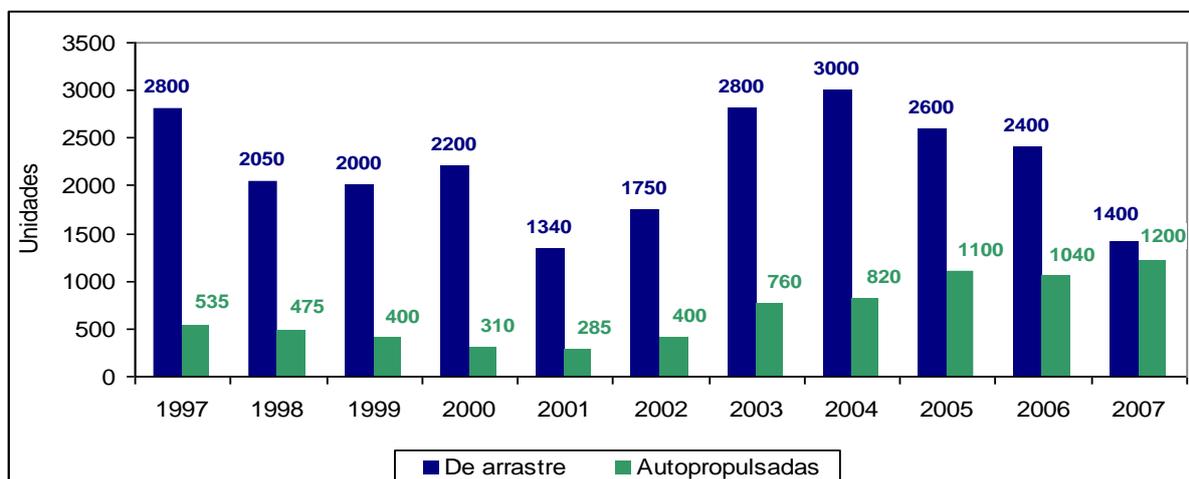
4. Técnicas de distribución de plaguicidas.

Desde que el hombre pasó de recolector a productor de alimentos, se produjo una evolución en un gran número de aspectos entre los cuales cabe mencionar los acontecidos en torno a la mecanización agrícola. El primer avance fundamental se dio el día en que el hombre que removía la tierra golpeándola con una herramienta tipo azada decidió avanzar con ella introducida en el suelo venciendo la resistencia natural del mismo. Nació así el arado en un tiempo indeterminado de la prehistoria (Ruiz Altisent y Gil Sierra, 2000). Esa primera máquina y las pocas que en muchos siglos después se diseñaron para trabajar la tierra estaban accionadas mediante la tracción a sangre, ya fuera la del hombre o de los animales de tiro. El siguiente paso decisivo, que libra al hombre de la necesidad de contar con fuerza muscular para trabajar el campo, se dio al aplicar a la agricultura la energía generada por motores que consumen combustibles. La construcción del primer tractor con motor de combustión interna, debida al estadounidense John Froelich en 1892, marca el inicio de la actual tractorización, proceso que puede ser considerado como el inicio del siglo XX en maquinaria agrícola. Algunos años antes, en 1887, Denis Gobet pone a punto su primer pulverizador de mochila con émbolo, el “Excelsior Gobet” para tratar el mildiú de la vid en la región francesa de Beaujolais.

Sesenta años más tarde se comienza con el desarrollo de los primeros equipos pulverizadores de botalón, coincidente con el auge en la adopción de productos fitosanitarios, provenientes en su mayoría del viejo continente. En nuestro país, los primeros equipos montados en el enganche de tres puntos del tractor datan de 1960 (Bragachini, 2009). Recién en el año 1974, la empresa PLA lanza al mercado la primera serie de equipos

autopropulsados. En la actualidad, el parque nacional de máquinas terrestres asciende a 30.000 unidades (CAFMA, 2009) de las cuales el 40 % son autopropulsadas (figura 7). En este último segmento, la industria nacional interviene en el mercado con un 85% de las máquinas comercializadas (Bragachini, 2008).

Figura 7: Mercado Argentino de máquinas pulverizadoras



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Bragachini. (2008)

De la observación de la figura 7 se desprende que el número de equipos autopropulsados se ha ido incrementado con respecto a los de arrastre en los últimos años. Esta tendencia obedece a la tercerización de la labor de pulverización, en donde la figura del “contratista” cobra mayor fuerza y por lo tanto requiere de maquinaria con gran capacidad de trabajo y alta velocidad de traslado que le permitan captar nuevos “clientes”.

En la práctica de control se identifican claramente tres aspectos fundamentales: el objetivo a controlar, el agroquímico utilizado y los elementos o medios con que se distribuye el plaguicida. Estos se vinculan a través de la técnica de aplicación, entendiéndose como tal a aquellos conocimientos en la materia y al uso de las herramientas disponibles. La adecuada combinación de ambos -conocimientos y herramientas- permite lograr el éxito del tratamiento. Estos componentes son imprescindibles y necesarios; un error o limitación solamente en alguno de ellos traerá aparejadas consecuencias negativas.

En el contexto actual, quizás no sea posible retrotraerse a planteos productivos que utilizan bajos niveles de insumos y obtienen menores rendimientos, pero tampoco resulta racional continuar con un uso inadecuado de aquellos que conlleven a la obtención de alimentos a costa de la degradación irreversible de los agroecosistemas. Surge entonces la necesidad de emplear la tecnología que resulte apropiada a fin de optimizar la utilización de los recursos disponibles para la producción. En el caso específico de la terapia química, el

aumento en la eficiencia de aplicación de los plaguicidas implica reducir las dosis y la cantidad de tratamientos, minimizando los indeseables efectos colaterales. Para alcanzar dicho incremento de eficiencia debe disponerse de técnicas de aplicación probadas y adaptadas a nuestras condiciones productivas, de operarios y responsables involucrados en este proceso y con los conocimientos necesarios para alcanzar tal objetivo y de un parque de pulverizadoras que resulte un medio válido para llevar a cabo los tratamientos.

El objetivo del proceso de distribución de agroquímicos radica en depositar, con la mayor eficiencia posible, el plaguicida sobre las áreas "objetivo" ocupadas por las plagas. Las gotas producidas durante la aspersión, constituyen el medio utilizado para depositarlos en dicho objetivo. La pulverización hidráulica, que es la forma de mayor adopción de distribución de plaguicidas, utiliza la energía de flujo de la vena líquida que transporta los diferentes productos para la formación de gotas de distintos tamaños. La atomización es una etapa crítica en la aplicación de los agroquímicos (Giles, 1988) y constituye un fenómeno físico complejo que aún no ha sido completamente dilucidado. En forma empírica se ha comprobado que la desintegración de la vena líquida se encuentra influenciada por propiedades del fluido tales como la viscosidad, la tensión superficial y la densidad (Sidahmed, 1996). La cantidad y tamaño de gotas obtenidas es conocido como espectro de distribución. Éste resulta ideal cuando permite controlar la plaga en cuestión con la mínima cantidad de producto, preservando la seguridad de las personas y el ambiente. Es entonces que los diámetros de gotas mayores no logran la misma uniformidad que las de menor diámetro, perdiendo efectividad (Smith *et al.*, 2000). Sin embargo, aquellos tamaños inferiores a los 100 micrones son susceptibles a no alcanzar el objetivo por diversos factores. La mayoría de los estudios coinciden en determinar un rango óptimo de tamaño de gota el cual abarca diámetros comprendidos entre los 100 y 300 micrones.

Todas las gotas que no alcancen el objetivo o no queden retenidas en él, constituyen una pérdida del fitoterápico aplicado y una consecuente reducción de la eficiencia de la pulverización, dando lugar a un proceso conocido como deriva. En términos generales se la puede definir como el movimiento o traslado del pesticida, durante o después de la aplicación, a un sitio diferente del elegido como blanco u objetivo (Ozkan y Derksen, 1998). Entre los principales factores que la generan se pueden citar el tipo de equipo pulverizador (Ware *et al.*, 1970) y los parámetros de aplicación seleccionados (Stewart y Gratkowski, 1976; Smith *et al.*, 1981), las propiedades físicas del producto y su formulación (Goering y Butler, 1974; Bouse y Merkle, 1975; Yates *et al.*, 1976a; Yates *et al.*, 1976b) y las condiciones meteorológicas (Yates *et al.*, 1966; Threadgill y Smith, 1975; Picot *et al.*, 1986).

La selección del volumen del líquido en que se debe aplicar un pesticida normalmente queda a criterio del usuario. En la práctica se usa el mismo caudal de campo contra una amplia diversidad de plagas y usualmente es determinado por la descarga que posee el equipo pulverizador. En aplicaciones de alto volumen, el objetivo es cubrir completamente toda el área y con tanta rapidez como sea posible. Se presta poca o ninguna atención al espectro de pulverización, de tal manera que en el transcurso de los años se ha empleado una gran diversidad de pastillas pulverizadoras, las cuales producen una amplia gama de tamaños de gotas. Al asperjar toda el área de un cultivo, muchas gotas pueden caer entre el follaje y en especial en el espacio que queda entre los surcos. Las que impactan sobre las hojas, pueden coalescer a tal grado que no permanecen retenidas y el líquido excedente gotea a las hojas inferiores y de allí al suelo, proceso conocido como endoderiva. Las propiedades físicas y químicas que definen la fórmula de aspersión afectará la retención de ésta, pero el escurrimiento puede iniciarse cuando se han aplicado tan poco como 100 L/ha a un cultivo ralo y con follaje escaso (Johnstone, 1973). Bajo estas condiciones y durante la realización del tratamiento, puede perderse en el suelo hasta un tercio de la sustancia aplicada al cultivo. Algunas estimaciones sugieren que finalmente es posible que hasta un 80% del total del pesticida utilizado llegue al suelo (Courshee, 1960). La contaminación del suelo por esos medios ha causado cambios de importancia en las poblaciones de los organismos no-objetivos.

Como se mencionara anteriormente, está comprobado que gotas menores a 100 micrones presentan alta probabilidad de ser arrastradas por el viento o evaporarse antes de alcanzar el objetivo, lo cual depende de la altura de descarga y de las condiciones climáticas (velocidad del viento, humedad relativa y temperatura). Ambas situaciones, arrastre y/o evaporación, son contempladas dentro del fenómeno denominado exoderiva (Planas de Martí, 1992; Doble *et al.*, 1985; Miller y Hadfield, 1989). Este proceso de transporte genera graves consecuencias: mermas en el rendimiento del cultivo; repetición de tratamientos; inducción a la resistencia por parte de los organismos a controlar; daños a cultivos sensibles; daños directos a personas y animales por exposición a la deriva e indirectos por consumo de alimentos contaminados; rechazos de productos en los mercados por presencia de residuos; demarcación de zonas de exclusión basadas en la alta presión urbana; litigios judiciales, entre otros (Matthews, 1985; Gil Moya, 1993, Thronhill *et al.*, 1995, 1996; Marrs *et al.*, 1993).

La exoderiva es un problema complejo, sobre el cual se han realizado investigaciones dirigidas a comprenderla (Courshee 1959; Salyani y Cromwell 1992; Bogliani y Masiá 1994) y también a tratar de controlarla o mitigarla (Piggott y Matthews, 1999). Se reconoce la

velocidad del viento y el tamaño de gota de la pulverización como factores clave que influyen sobre la misma. Con el fin de mantenerse dentro de un nivel aceptable de deriva se han introducido diversas mejoras tecnológicas al equipo de aplicación, entre las cuales se pueden citar el uso de pantallas protectoras del botalón (Smith et al. 1982), equipos con aplicaciones electrostáticas (Threadgill, 1973), con túnel de viento (Maybank *et al.*, 1979) y pastillas especiales (Mc Cracken *et al.*, 1998). En particular a estas últimas se ha actuado modificando su diseño de tal manera que el proceso de formación de gotas pueda orientarse hacia un rango de tamaños prefijado. Las primeras modificaciones dieron como resultado las denominadas de rango extendido en las cuales se logró conseguir un tamaño mayor que las estándar a bajas presiones de trabajo y manteniendo el ángulo de aspersion. A posterior tuvieron lugar las de baja deriva convencional o de pre orificio, el cual restringe el paso de la vena líquida logrando un aumento en su velocidad y produciendo gotas gruesas. Recientemente se han introducido en el mercado las denominadas pastillas de baja deriva con inducción de aire.

También se ha actuado sobre las propiedades físicas del caldo de pulverización, debido a que ésta es una forma de modificar el espectro de distribución y entonces mejorar el proceso de deposición del fitosanitario. El uso de coadyuvantes que permita incrementar el tamaño de las gotas y reducir la evaporación fue documentado por varios autores. Entre ellos se pueden citar a Ware *et al.* (1970); Bode *et al.* (1976) y Yates *et al.* (1976a). En un sentido más amplio, se denomina coadyuvante a aquella sustancia que al ser agregada a un pesticida, mejora su eficacia (Riverside, 1998). Existe una amplia gama de productos que pueden ser encuadrados dentro de este concepto, entre los cuales se puede mencionar a los tensioactivos, penetrantes, adherentes, correctores de agua, antiderivantes, compatibilizantes, limpiadores, colorantes, antiespumantes, etc. De hecho, el rendimiento de las pastillas pulverizadoras puede ser sustancialmente modificado a causa de los coadyuvantes (Miller *et al.*, 1997). Desafortunadamente, la información relacionada con el rendimiento de estos es limitada. Los resultados de un estudio realizado por Bouse *et al.* (1988) indican que el efecto en el tamaño de las gotas depende del tipo de polímero.

5. Consideraciones finales

Los cambios acontecidos en el sistema agroproductivo argentino en los últimos veinte años indican que se ha incrementado la superficie bajo agricultura por incorporación de áreas antes consideradas marginales, con alta incidencia del monocultivo de soja en siembra directa, un incremento en el uso de plaguicidas y en particular fungicidas para el cultivo de Soja. Los números en relación con la vertiginosa adopción de la siembra directa son más que

elocuentes: solo 3 millones de hectáreas en la campaña 95/96 eran trabajadas en siembra directa, 15 millones en 2001/02 y alcanzando casi 24 millones en la campaña 2008/09. En lo que respecta al uso de fitosanitarios, su consumo se incrementó 8,4 veces. Esta tendencia parece establecerse fuertemente y muestra indicios de continuar en ascenso. Como se mencionó anteriormente, se considera que en promedio los cultivos extensivos de la Pampa Húmeda reciben 3 tratamientos fitosanitarios (1 ó 2 con herbicidas ó insecticidas), y los extra pampeanos, como algodón y arroz, más del doble.

Estas modificaciones en el sistema agroproductivo resaltan la importancia de la tecnología de aplicación como herramienta en protección vegetal, a la cual se suma el hecho de haberse reducido el número de herramientas, para el planteo en siembra directa, a sólo 3 máquinas -sembradora, pulverizadora y cosechadora- revalorizando la participación de los pulverizadores. En este sentido –y en lo que respecta a las innovaciones mecánicas de estos equipos- Argentina parece ubicarse en un lugar de privilegio. La demanda nacional de equipos pulverizadores es satisfecha casi en su totalidad localmente y la introducción de innovaciones tecnológicas es permanente. El 92% de los pulverizadores de arrastre y el 85% de los autopropulsados son de origen nacional. En este sector es altamente importante el impulso casi nulo hacia la estandarización del producto. Estos equipos responden a necesidades propias y específicas del mercado nacional y sólo aquellas firmas que consiguen comprender y fabricar sus productos en función de estos requerimientos absorben la demanda existente.

Sin embargo, aun quedan varias cuestiones pendientes. Las investigaciones e innovaciones vinculadas a las técnicas de distribución de plaguicidas no han resuelto en forma definitiva algunos temas clave como lo constituyen las pérdidas generadas por acción del viento y la evaporación, como factores predominantes. Estas afectan negativamente a la eficiencia de aplicación, llegando en casos muy extremos a la intoxicación de poblados cercanos al área tratada ó a la falla completa del control fitosanitario que se pretende lograr.

Para minimizar dichos efectos será necesario contar con herramientas de última generación y con actores capacitados que posibiliten el óptimo empleo de las mismas.

6. Bibliografía

AAPRESID. 2012. Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. [en línea] www.aapresid.org.ar

Abia, M. C. 2008. La agricultura y el control de plagas de insectos. Una perspectiva alejada del antropocentrismo. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Unidad de Sanidad Vegetal.

Asociación de Cámaras de Tecnología Agropecuaria. (ACTA). 2008. Disponible en: <http://www.acta.com.ar/indices.html>

Armus, D. 1983. Historia testimonial argentina: Manual del inmigrante italiano. Documentos vivos de nuestro pasado. N: 8. Editorial CEAL. Buenos Aires.

Barsky, O.; Ciafardini, H. 1974. Producción y tecnología en la región pampeana. En Historia integral de los argentinos. Editorial CEAL. Buenos Aires.

Barsky, O. y Djenderedjian, J. 2003. Historia del capitalismo agrario pampeano. Tomo I. La expansión ganadera hasta 1985. Buenos Aires, Universidad de Belgrano. Ed. Siglo XXI. Cap IV, pp 299-338.

Barsky, O. y Gelman, J. 2001. Historia del agro argentino. Ed. Grijalbo-Mondadori, Buenos Aires

Barrientos, J.A. 1997. ¿De perseguidos a protegidos?. Claroscuros de la vida de los artrópodos sobre la faz de la Tierra. Bol. S.E.A. 20: 65-68. Rey, J.1976. Gestión sobre plagas en Entomología. Graellsia, 32: 279-306.

BCC Research. 2010. Global Markets for Agrochemicals. Report Code: CHM054A, Published: January 2010.

Bifani, P. 1987. Socioeconomic aspects of technological innovation in food production systems. Memorie di Scienze Fisiche e Naturali. Accademia Nazionale delle Scienze, serie V, vol. XI, parte II, Roma, Italy.

Bogliani, M.; Masiá, G. 1994. Evaluación del efecto de una corriente de aire sobre los diagramas de distribución de picos pulverizadores. Análisis de la deriva. Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola. Chillan, Chile Resumen. Pag.3.

Bode, L.E.; Butler, B.J.; Goering, C.E. 1976. Spray drift and recovery as affected by spray thickener, nozzle type, and nozzle pressure. Transactions of the ASAE 19(2): 213-218.

Bouse, L.F.; Merkle, M.G. 1975. Comparison of recoveries from a tower-mounted dual sprayer. Transactions of the ASAE 18(3): 467-470.

Bouse, L.F.; Carlton, J.B.; Jank, P.C. 1988. Effect of water soluble polymers on spray droplet size. Transactions of the ASAE 31 (6): 1633-1641, 1648.

Bragachini, M. 2008. Crecimiento sostenido de la maquinaria agrícola argentina. Documento de divulgación interna, Proyecto de Eficiencia en Cosecha y Postcosecha de granos y oleaginosas, INTA.

- Bragachini, M.** 2009. Historia de la mecanización agrícola del país: del arado de reja a la siembra de precisión. En: La Argentina 2050. La revolución tecnológica del agro. CASAFA, 740 pp.
- CAFMA.** 2009. Producción de maquinaria agrícola 1999-1º semestre 2009. Disponible en: <http://www.cafma.org.ar/estadisticas.asp>
- CASAFA.** 2012. Cámara Argentina de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes, [en línea] www.casafe.org
- Courshee, R.J.** 1959. Investigations on spray drift. Part II : The occurrence of drift. Journal of Agricultural Engineering Research 4, 229–241.
- Cutolo, V.O.** 1981. Manual de historia económica mundial y Argentina. Bs. As. Pág. 89.
- Doble, S.J.; Matthews, G.A.; Rutherford, I.; Southcombe, E.S.E.** 1985. A system for classifying hydraulic nozzle and other atomisers into categories of spray quality. Proc. for BCPC Conference, pp. 1125-1133.
- Estimaciones Agrícolas.** 2009. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. [en línea]: www.sagpya.gov.ar
- FAO.** 1996. Programa especial sobre seguridad alimentaria. Disponible en: <http://www.fao.org/FOCUS/S/SpeclPr/spro12-s.htm>
- Flint, M.L.; Van Der Bosch, R.** 1981. Introduction to Integrated Pest Management. Plenum Press, New York, pp: 237.
- Garavaglia, J. C.** 1999. Un siglo de estancias en la campaña de Buenos Aires: 1751 a 1853. Hispanic American Historical Review, 79:4, Duke University Press.
- Gil Moya, E.** 1993. Pérdidas de productos fitosanitarios por deriva. ISSN: 0214-9206. Revista: MT. Máquinas y tractores agrícolas. 4 (3): 76-84.
- Giles, D.K.** 1988. Energy conversion and distribution in pressure atomizers. Transactions of the ASAE 31(6): 1668-1673.
- Goering, C.E.; Butler, B.J.** 1974. Analysis of paired microresidues using filter fluorometry. Weed Science 22(5): 512-515.
- Gorostegui de Torres, H.** 1992. Historia Argentina de la Organización Nacional. Buenos Aires. Ed. Paidós, Argentina.
- Johnstone, D.R.** 1973. Spreading and retention of agricultural sprays on foliage. In Pesticide Formulations. (Ed. W. Van Valkenburg). Pp.343-86. Marcel Dekker, New York.
- Kihm, U.** 2005. Conferencia Primer Congreso de Invernada, AACREA Disponible en: http://www.cartapolitica.org/index.php?modulo=ca_050627.php

- Marrs, R.H.; Frost, A.J.; Plant, R.A.; Lunnis, P. 1993.** Determination of buffer zones to protect seedlings of non-target plants from the effects of glyphosate spray drift. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 45, Issues 3-4, July 1993, Pages 283-293.
- Matthews, G. A. 1985.** Application for the ground. *Pesticide Application: Principles and Practice*. Claredon Press. Oxford. Pp. 95-177
- Maybank, J.; Yoshida, K.; Wallace, K.; Peters, M. 1979.** Herbicide spray drift and deposition characteristic for a prototype air cushion crop sprayer. Saskatchewan Research Council Report N° P 79-3.
- Mc Cracken, T.; Bennett, A.; Jonasson, K. 1998.** Improved spray efficacy and drift management for spray application using air to simultaneously atomize and propel spray droplets to the canopy. An ASAE Meeting Presentation. Paper N° 981016.
- Miller, P.C.H.; Hadfield, D., 1989.** A simulation model of the spray drift from hydraulic nozzles. *J. Agr. Eng. Res.* 42, 135-147.
- Miller, P.C.H.; Butler Ellis, M.C.; Ellis, M.C.B. 1997.** A review of spray generation, delivery to the target and how adjuvants influence the process. *Plant Protection quarterly*. 12: 1, 33-38.
- Molinari, A.M. 2005.** Control biológico. Especies entomófagas en cultivos agrícolas - 1° ed. INTA - Centro Regional Santa Fe - EEA Oliveros. Abril de 2005 Editorial Editar.
- National Research Council. 1977.** World food and nutrition study. National Academy of Science, Washington. EEUU.
- Ozkan, H.E.; Derksen, R.C. 1998.** Effectiveness of Turbo drop® and Turbo Teejet® nozzles in drift reduction. Ohio State University Extension. AEX-0524-98. 7 pp.
- Picot, J.J.C.; Kristmanson, D.D.; Basak Brown, N. 1986.** Canopy deposit and off-target drift in forest aerial spraying. The effects of operational parameters. *Transactions of the ASAE* 29 (1): 90-96.
- Piggott, S.J.; Matthews, G. A. 1999.** Air Induction nozzles: a solution to spray drift? *International Pest Control* 41. 24 - 28.
- Pimentel, D.; Lach, L.; Zúñiga, R.; Morrison, D. 1998.** Environmental and economic costs associated with non – indigenous species in the United Stated. Ithace, EEUU. Cornell University.
- Planas de Marti, S. 1992.** Aplicación de fitosanitarios. El control de los equipos de distribución. *Hortofruticultura* . 3:62-65

- Price, P.W.; Bouton, C.E.; Gross, P.; McPheron, B.A.; Thompson, J.N.; Weis, A.E.** 1980. Interactions among three trophic levels: influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 41–65.
- Rindos, D.** 1987. *The Origins of Agriculture: An Evolutionary Perspective*. Academic Press.
- Ruiz-Altisent, M.; Gil Sierra, J.** 2000. *La maquinaria agrícola en el siglo XX*. Depto. de Ingeniería Rural. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Salyani, M.; Cromwell, R.P.** 1992. Spray drift from ground and aerial application. *Transactions of the ASAE* 35(4):1113-1120.
- Selfa, J.; Anento, J.L.** 1997. Plagas agrícolas y forestales. *Bol. S.E.A.* 20:75-91. Aragón, España.
- Scobie, J.R.** 1968. *Resolución de las Pampas. Historia social del trigo Argentino. 1860 – 1910*, Solar, Bs.As.
- Sidahmed, M. M.** 1996. A theory for predicting the size and velocity of droplets from pressure nozzles. *Transactions of the ASAE* 39(2): 385-391.
- Smith, D.B.; Harris, F.D.; Goering, C.E; Butler, B.J.** 1981. Equipment and variables for spray drift reduction. *Proc. Fla. Conf. On Pesticide Application Technology*, 77-91.
- Smith, D.B.; Askew, S.D.; Morris, W.H.; Shaw D.R.; Boyette, M.** 2000. Droplet size leaf morphology effects on pesticide spray deposition. *Transactions of the ASAE* 43(2): 255-259.
- Stewart, R.E.; Gratkowski, H.** 1976. *Aerial application equipment for herbicidal drift reduction. General technical report. USDA Forest Service, Portland, OR.*
- Strong, D.R.; Lawton, J.H.; Southwood, T.R.E.** 1984. *Insects on plants*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. EEUU.
- Thornhill, E.W.; Matthews, G.A.; Clayton, J.S.** 1995 Potential operator exposure to herbicides: a comparison between knapsack and CDA hand sprayers. *Proc Brighton Conference 3*, - . Also printed in *The Planter*, Kuala Lumpur 72, 425-433 (1996).
- Threadgill, E.D.** 1973. Evaluation of aerial electrostatic spray charging equipment. *Mississippi Agric. Forestry. Bull.* N° 65. 12 pp.
- Threadgill, E.D.; Smith, D.B.** 1975. Effects of physical an meteorological parameters on the drift of controlled size droplets. *Transactions of the ASAE* 18(1): 51-56.
- Trujillo Rodríguez, C. M.; Marrero Martínez, Y.** 2008. La estimación de las pérdidas agrícolas en condiciones de riesgo. Disponible en: <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/libros/index/assoc/HASH01ff.dir>
- Ware, G.W.; Estes, B.J.; Cahill, W.P.; Gerhardt, P.D.; Frost, K.R.** 1970. Pesticide drift III. Drift reduction with spray thickeners. *J. Economic Entomology*. 63(4): 1314-1316.

Yates, W.E.; Akesson, N.B.; Coutts, H.H. 1966. Evaluation of drift residues from aerial applications. Transactions of the ASAE 9 (3): 389-393, 397.

Yates, W.E.; Akesson, N.B.; Bayer, D.E. 1976a. Effects of spray adjuvants on drift hazards Transactions of the ASAE 19 (1): 41-46.

Yates, W.E.; Akeson, N.B.; Bayer, D. 1976b. Effects of spray adjuvants on drift hazards. Transactions of the ASAE 19(2): 213-218.