

PROPUESTAS PARA EVALUAR LOS DIFERENTES SISTEMAS DE APLICACIÓN DE DOSIS VARIABLES PARA FERTILIZANTES LIQUIDOS Y HERBICIDAS.

Cid Ramiro E.¹; Gerardo Masía¹; Andrés Méndez²; Andrés F. Moltoni¹

(1) Instituto de Ingeniería Rural CIA. INTA. Casilla de correo 25, Castelar, Bs. As. Argentina.

(2) INTA – EEA Manfredi – Pcia. Córdoba.

rcid@cnia.inta.gov.ar, gmasia@cnia.inta.gov.ar, agprecision@correo.inta.gov.ar, amoltoni@cnia.inta.gov.ar.

RESUMEN: El avance de las tecnologías de Agricultura de Precisión (AP), así como también el desarrollo de máquinas precisas es un hecho evidente en Argentina y en todo el mundo.

Específicamente en el área de las pulverizadoras, han sido desarrolladas numerosas innovaciones tendientes a facilitar el manejo sitio específico (MSE), es decir variar las dosis según las necesidades reales de cada ambiente homogéneo dentro del lote.

En el presente trabajo se efectúa una profunda revisión bibliográfica a fin de brindar un panorama amplio sobre estos sistemas. Se han considerado tanto aquellos basados en la combinación DGPS-GIS como aquellos basados en el uso de sensores cercanos de diferentes tipos.

En base a la información recopilada, pero fundamentalmente teniendo en cuenta el conocimiento y la experiencia de los autores, se propone generar una serie de pautas que efectivamente debieran cumplimentar las pulverizadoras desarrolladas para MSE en aplicaciones de herbicidas y fertilizantes líquidos, a fin de que realmente cumplan con su objetivo, teniendo en cuenta, además, las condiciones particulares de trabajo de nuestro país.

Finalmente, se evalúan los diferentes sistemas investigados, a los efectos de constatar en qué medida se ajustan a las pautas propuestas

Palabras clave: Pulverizadoras – Dosis variable – Manejo sitio específico.

PROPOSAL FOR THE EVALUATION OF THE DIFFERENT VARIABLE DOSE APPLICATION SYSTEMS FOR LIQUID FERTILIZERS AND HERBICIDES.

ABSTRACT: The advance of Precision Farming technologies as well as the development of precise machines is an evident fact, in Argentina and in all the world.

Specifically in the sprayers area several innovations have been developed to make site specific management (SSM) easier, that means to vary the doses according to the real necessities of each homogeneous place inside each parcel.

In this work, a deep bibliographical search is done with the objective of offering an ample panorama about these systems. We have considered the combined DGPS – GIS systems as well as those based in the use of near sensors of different types.

Using the recopilated information, but basically the knowledge and the experience of the authors, we purpose a sequence of criterious to be accomplished by the boom sprayers developed for SSM in liquid fertilizers and herbicides applications, so that they could be effectively useful for the objective, considering, besides, the particular conditions of the work in our country.

Finally, the different investigated systems are analyzed to verify the degrees of accomplishment of the purposed criterious.

Key Words: Sprayers – Variable dose – Site Specific Management

INTRODUCCION Y OBJETIVOS.

En nuestro país se ha registrado un importante incremento de las tecnologías de AP desde sus primeras experiencias en los años 90 (Bragachini y col., 2007). El criterio fundamental que la rige consiste en aplicar los insumos según requerimientos específicos de cada unidad homogénea dentro del campo o lote, lo que se ha dado en llamar MSE, (*Site Specific Management* – SSM) dejando de lado las aplicaciones fijas o uniformes comúnmente utilizadas.

Ello ha dado origen a la aparición de un sin número de instrumentos de alta tecnología aplicados a la maquinaria agrícola, generando el concepto de "máquinas precisas", es decir aquellas que, con el apoyo del GPS y de diferentes programas GIS, así como también sobre la base de distintos tipos de sensores que actúan en tiempo real, permiten efectivamente el uso de los insumos según las necesidades concretas de cada sitio específico del lote (Al-Gaadi y Ayers- 1998; Al-Gaadi y Ayers, 2001).

Las dos principales ventajas citadas para este tipo de manejo se basan en el ahorro en la cantidad de insumos utilizados, reduciendo costos (Moltoni y Moltoni, 2005; Lund Ivar, 2008; Lamastus-Stanford y Shaw, 2004; Nordmeyer, 2006; Gerhards y Oebel, 2006; Williams y *col.*, 2000; Dammer y Wartenberg, 2007; Tian y *col.*, 1999) y la menor contaminación ambiental (Heege y Thiessen, 2002; Nordmeyer, 2006). Estas dos ventajas se deben obtener sin provocar una merma en la calidad del tratamiento a realizar (Gerhards y Oebel, 2006; Nordmeyer, 2006; Heap y Trengove, 2008).

El concepto de MSE fundamenta a numerosas iniciativas en las cuales se desarrollan diferentes sistemas que, instalados en pulverizadoras, permiten llevarlo a cabo: (Clark y McGuckin, 1996; Tian, 2000; Vogel y *col.*, 2005; Raymond y Hilton, 2005; Gerhards y Oebel, 2006; Gavric y Martinov, 2007).

Cuando no se utilizan sensores, para lograr una aplicación correcta deben generarse los denominados "mapas de prescripción y/o recomendación" mediante técnicas de diferente naturaleza: sensores remotos (Lamb y Brown, 2001), o bien sensores cercanos en tiempo real con mapeo simultáneo (Tang y *col.*, 1999). También se da la situación en la que una persona hace un relevamiento a campo con una PC + *software* + GPS generando áreas de prescripción, donde posteriormente la máquina deberá aplicar el producto deseado.

Creemos que, dentro de este contexto, las técnicas de pulverización, han quedado relativamente rezagadas en relación, por ejemplo, con las de siembra y cosecha, fundamentalmente por razones de índole biológica de las plagas a combatir, aunque también por falta de desarrollo de la maquinaria comercial adecuada, tal vez por no existir una percepción clara de un mercado económicamente fuerte para las mismas.

En este estudio nos dedicaremos particularmente a la aplicación sitio-específica de fertilizantes líquidos y de herbicidas y a los diferentes sistemas desarrollados a tal fin, procurando sacar conclusiones sobre las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.

En cuanto a la primera de estas dos opciones, la aplicación de fertilizantes en dosis variables, existen varios ensayos y trabajos publicados en nuestro país, especialmente desde el INTA – EEA Manfredi, (Bragachini y Méndez, 2001) en las cuales se concluye en su factibilidad y conveniencia económica. Sin embargo, este manejo diferencial de las dosis, en dichos ensayos ha sido llevado a cabo sin contar con maquinaria que, de manera automatizada regulara el MSE.

En el caso de la aplicación de herbicidas, los sistemas convencionales utilizados en la actualidad, consisten en la aplicación, sobre todo el terreno, de una dosis uniforme de un herbicida o de una mezcla de ellos (Bogliani y *col.*, 2005). Sin embargo, los criterios de Agricultura de Precisión y de MSE, así como las herramientas actualmente disponibles buscan un manejo diferente.

Las malezas tienden a distribuirse en los campos o lotes en forma de manchones (patches) (Fernandez Quintanilla y Barroso, 2001; Ford y Dotray, 2007; Nordmeyer, 2006). Dichos manchones se conforman con individuos de diferentes especies y con densidades variables. Ello necesariamente implica que, al manejar el lote en forma homogénea se desconocen los requerimientos sitio-específicos, por lo cual en casi todos los puntos del mismo se utiliza un criterio erróneo en cuanto al manejo de las malezas (Gerhards R, 2006. – Citado por Heap y Trengove, 2008).

Los mismos autores (Gerhards y Oebel 2006) consideran que el manejo sitio específico ideal de malezas debiera basarse en tres aspectos fundamentales:

- El herbicida adecuado.

- En la dosis adecuada.
- En el lugar correcto.

Se podría agregar un cuarto aspecto, el momento oportuno, pero el mismo es independiente del equipo a utilizar.

Esto, obviamente se contrapone al manejo uniforme tradicional existente en la actualidad, mediante el cual, en forma homogénea se aplica un producto, o una mezcla de ellos sobre toda la superficie del lote a tratar. Pero los tres objetivos mencionados anteriormente, para llegar a concretarse en un manejo racional, requieren necesariamente de maquinaria que permita su puesta en práctica. Y es en este punto donde necesariamente comienzan a presentarse una serie de dudas sobre las características que dicha maquinaria debiera tener: tiempo de respuesta (inercia), nivel de discriminación de los sistemas, capacidad de trabajo y grado de variabilidad que los mismos pueden producir sobre las características del spray.

El propósito de este trabajo es realizar una búsqueda bibliográfica que permita disponer de información abundante sobre los diferentes diseños existentes en pulverizadoras con el fin de poder lograr un manejo sitio específico, tanto en lo que hace a sistemas de fertilización como a las aplicaciones de herbicidas.

Dada las especiales dificultades que presentan las aplicaciones sitio-específicas de insecticidas y fungicidas, se ha dejado de lado su análisis para posteriores instancias.

Se analizarán en forma separada aquellos sistemas que basan su accionar en sensores ópticos de diferente tipo, que actúan en tiempo real o casi real, y aquellos sistemas que basan su accionar en el uso de sistemas DGPS-GIS como fundamento para un mapa de prescripción.

Los primeros de estos sistemas (sensores) activan automáticamente la pulverización ante la presencia de los diferentes elementos que se van detectando y permiten realizar, a posteriori, y si así se lo desea, un mapa de prescripción para futuras aplicaciones. En el caso de los sistemas basados en GIS-DGPS es preciso un trabajo previo de análisis para elaborar el mapa de prescripción, el cual es imprescindible para poder realizar la aplicación. Como síntesis, en el primer caso (sensores) el mapa de prescripción es posterior al paso de la máquina y es su consecuencia. En el segundo, el mapa de prescripción es previo al paso de la máquina siendo la dosificación variable su consecuencia.

En base a los datos recopilados se buscará proponer una serie de pautas técnicas a cumplimentar por aquellas pulverizadoras que sean desarrolladas con el fin de poder realizar un MSE de las respectivas aplicaciones, ya se trate de fertilizaciones líquidas o aplicaciones de herbicidas.

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.

Sistemas DGPS – GIS.

Los primeros sistemas utilizados sobre la base de contar con un mapa de prescripción GIS y su aplicación mediante DGPS fueron elaborados utilizando el criterio de hacer variar la presión a fin de ajustar los caudales de acuerdo a cada situación.

Pero, en el caso de aplicación de herbicidas (y de otros agroquímicos que se encuentran afuera de este trabajo), se genera el serio inconveniente de que el tamaño de las gotas producidas y del ángulo de pulverización de las pastillas son excesivamente modificados. Surge así, la necesidad de originar mecanismos que permitan variar las dosis aplicadas, pero evitando estos inconvenientes (Ess y col., 2001 (SSM-4-W); Cid, 2007).

Para el caso de los fertilizantes, estos inconvenientes no tienen ocurrencia, ya que en las aplicaciones no se producen gotas sino chorrillos de líquido. Pero, sin embargo, no puede dejar de señalarse que el aumento de los caudales se encuentra seriamente limitado por la máxima presión tolerada por los diferentes componentes del equipo (Cid, 2007).

Sistemas de Inyección Directa

Dentro de los sistemas actualmente en uso para el MSE de las aplicaciones, la inyección directa ha sido la más estudiada y la primera en aparecer como una alternativa factible para este tipo de aplicaciones. Ya en 1996 un estudio sugería cuál debía ser el escenario para disponer de un equipo de estas características, inclusive suministrando un listado de empresas proveedoras de los diferentes componentes en EEUU (Clark y McGuckin, 1996)

Básicamente el sistema funciona como una pulverizadora común, pero el agroquímico no es mezclado en el tanque principal del equipo, sino que al mismo se le agrega uno o varios tanques accesorios, de mucho menor volumen, que contienen el principio activo tal cual como se lo formuló comercialmente. En conexión con cada uno de estos tanques debe haber una bomba inyectora que actúa como dosificadora de cada agroquímico, inyectándolo en el circuito de agua en un punto cercano al botalón. Ello facilita notablemente las tareas de limpieza, como así también la factibilidad de cambiar de producto y dosis según la población de malezas existentes en el lote.

Una tesis doctoral Landers (1992) mostró como un equipo pulverizador de 1500 litros, con inyección directa, podía ser limpiado en 45 segundos utilizando solamente 7,5 litros de agua.

Si bien originalmente fue concebido como un sistema que simplemente permitiría cambiar más fácilmente de un producto a otro en sucesivas aplicaciones, dado que permite trabajar con el tanque y la mayoría del circuito de pulverización libres de producto, muy pronto fue vislumbrada como una alternativa para aplicaciones variables, inclusive para diferentes productos y dosis en un mismo lote, según las necesidades (Frost, 1990)

En la figura 1 se puede ver el esquema de un sistema de este tipo.

Dicho esquema corresponde a un circuito de inyección directa para un solo producto (McNeill y col., 1992) con los diferentes componentes del mismo. Cada agroquímico suplementario que se desee agregar al sistema implica contar con otro tanque individual, otra bomba dosificadora y la correspondiente cañería para su circulación.

Pero el principal inconveniente para su efectiva implementación en MSE es el lento tiempo de respuesta ante un cambio de dosis prescripto.

Frost (1990) propuso una fórmula para mensurar dicho tiempo de respuesta:

$$T_{delay} = \sum_{i=1}^n \frac{\Pi L_i D_i^2}{4Q_i}$$

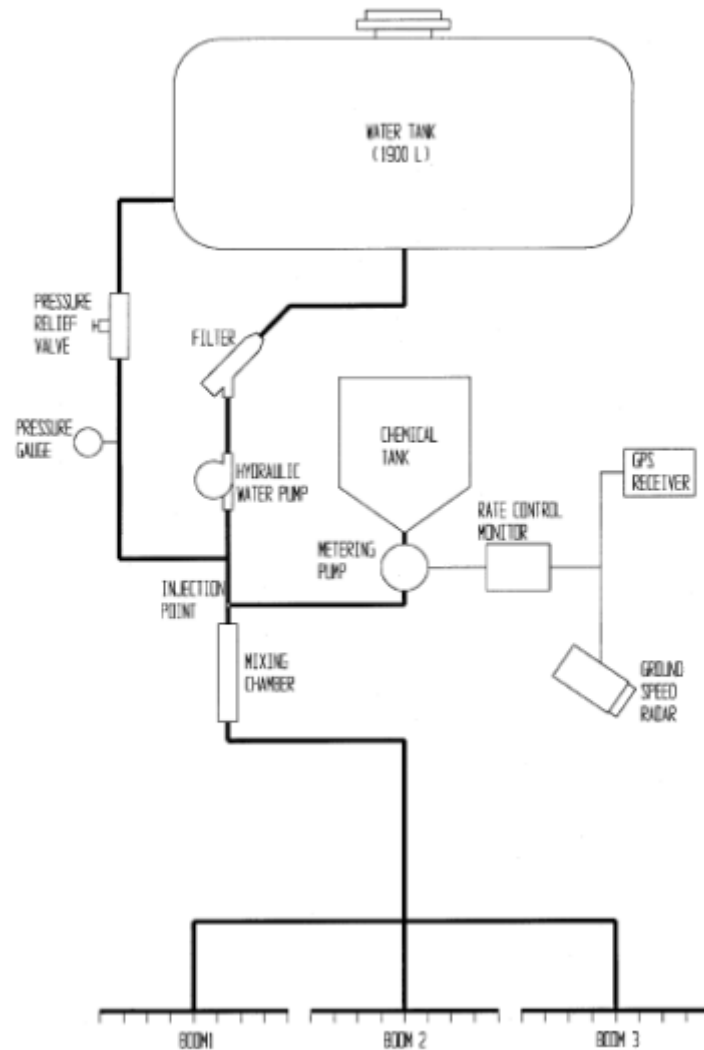


Fig 1: Esquema de un circuito de pulverización con inyección directa de un producto.

Donde T_{delay} es el tiempo de respuesta para un sistema de n vías, Q_i es el caudal en una cañería de diámetro D_i y L_i es la longitud de dicha cañería.

De la fórmula surge claramente que a mayor diámetro de la cañería y a mayor largo de la misma (distancia a recorrer por el agroquímico), el tiempo de respuesta se hace más prolongado. Como contrapartida, a mayor caudal, el mismo se hace menor.

Por lo tanto, en el diseño de los equipos de inyección directa, debiera ponerse especial énfasis en optimizar el diámetro de cañerías, minimizando las distancias a recorrer.

Otro criterio para reducir esta demora consiste en aplicar volúmenes relativamente altos de agua con el agroquímico a menor dilución.

Utilizando un equipo de estas características en 1998 se hizo una modelización sobre la aplicación de herbicida preemergente en trigo (Qiu y *col.*, 1998), mensurando los efectos sobre la misma variando el caudal de pastillas, el diámetro de las cañerías, la presión del sistema y la velocidad de trabajo. También se evaluaron modificaciones sobre el software que regula la dosis variable. El esquema de aplicación propuesto queda expuesto en la figura N° 2.

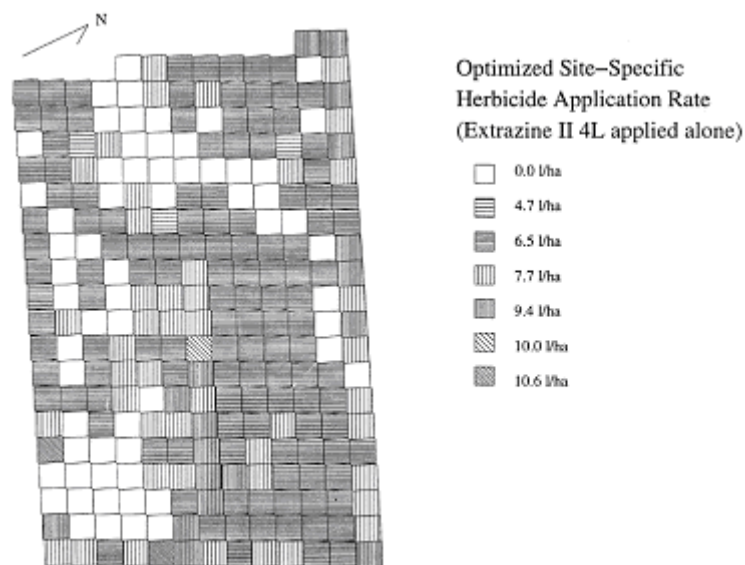


Figura 2: Manejo sitio específico propuesto (Qiu y col.)

La conclusión principal de dicho trabajo es que un equipo "convencional" de inyección directa, es decir tal como el de la figura 1, no es apto para el MSE, aún cuando modificaciones en el software utilizado hayan disminuido sensiblemente las fuentes de error originadas en los tiempos de demora. Por otra parte se constata que la optimización en los diámetros de las cañerías y el aumento de los caudales utilizados disminuyen dicho margen de error en tanto que las variaciones de velocidad lo incrementan.

Los autores, finalmente, proponen que el máximo margen de error aceptable debiera consistir en que no más del 5% del área total a tratar sufriera algún tipo de subaplicación. Si bien no se hace mención a las sobreaplicaciones, dado que el herbicida cumple con su función, las mismas también debieran ser tenidas en cuenta.

Como contrapartida otro estudio (Al-Gaadi y Ayers, 2001) encontró errores sensiblemente menores en los caudales de aplicación, inferiores al 1% en promedio, en tanto que los valores máximos de error se ubicaban en el 2%.

En este caso todos los caudales, así como su correlación con su ubicación geográfica DGPS fueron registrados mediante un DataLogger especialmente instalado para tal fin.

Posiblemente, parte de estos resultados se deban a la confección de un mapa de prescripción mucho más sencillo que el del estudio anterior, en el cual las zonas son sensiblemente más amplias existiendo muchos menos lugares de transición entre dosis y con mayor semejanza a los mapas reales de prescripción. De todas maneras, los mayores errores de dosificación siempre se produjeron en dichas zonas de transición o de cambio de dosis.

Los autores concluyeron, por lo tanto, que el sistema tenía la suficiente precisión como para ser confiable y repetible a fin de lograr las dosis de aplicación deseadas en los diferentes sitios del lote bajo tratamiento. Mediante una simulación en laboratorio (Schulze Lammers y col., 2005) se evaluó mediante un sistema de inyección directa el tiempo de llegada del agroquímico a dos puntos diferentes: en el centro de cada sector de botalón, con una demora de 7,5 segundos y sobre la cañería de alimentación en un punto ubicado al lado de cada pico pulverizador, con una demora de 2,8 segundos. Si bien se disminuyen los tiempos, se requiere de un sistema de conducción del agroquímico sensiblemente más complejo.

Otro ensayo, en este caso directamente sobre una pulverizadora, (Summer y col., 2001) evaluaron la uniformidad de la aplicación combinando diferentes caudales y distintos tipos de picos, concluyendo que ambos factores afectaban a la misma.

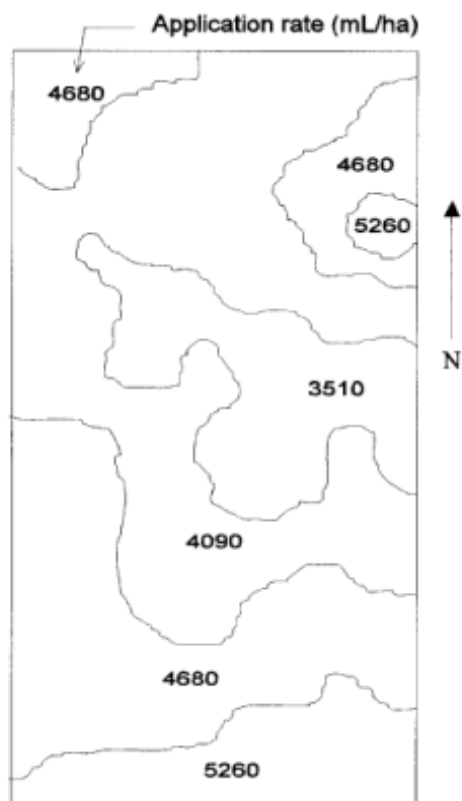


Fig. 3: Mapa de Prescripción (Al Gadi y Ayers)

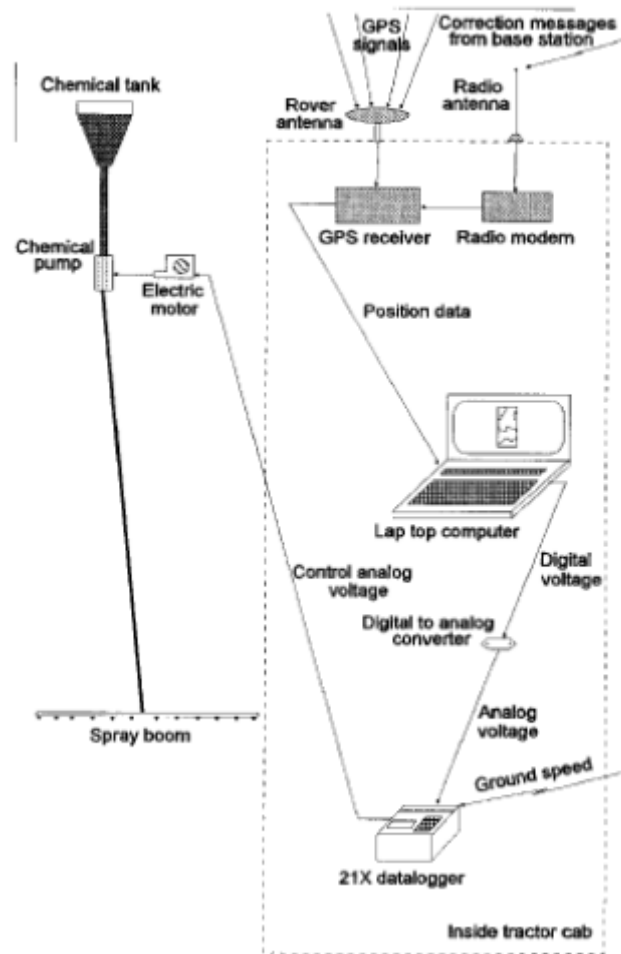


Fig. 4: Esquema del circuito (Al Gaadi y Ayers)

Finalmente, como información complementaria cabe mencionar un sistema de inyección directa mediante el cual la variación se generaba mediante aire comprimido sobre una válvula (Landers, 1997). Variando la presión del aire se aumentaba o disminuía respectivamente la dosificación. Si bien esto abarataba notablemente el costo del sistema, no solucionaba los problemas generados en los tiempos de reacción.

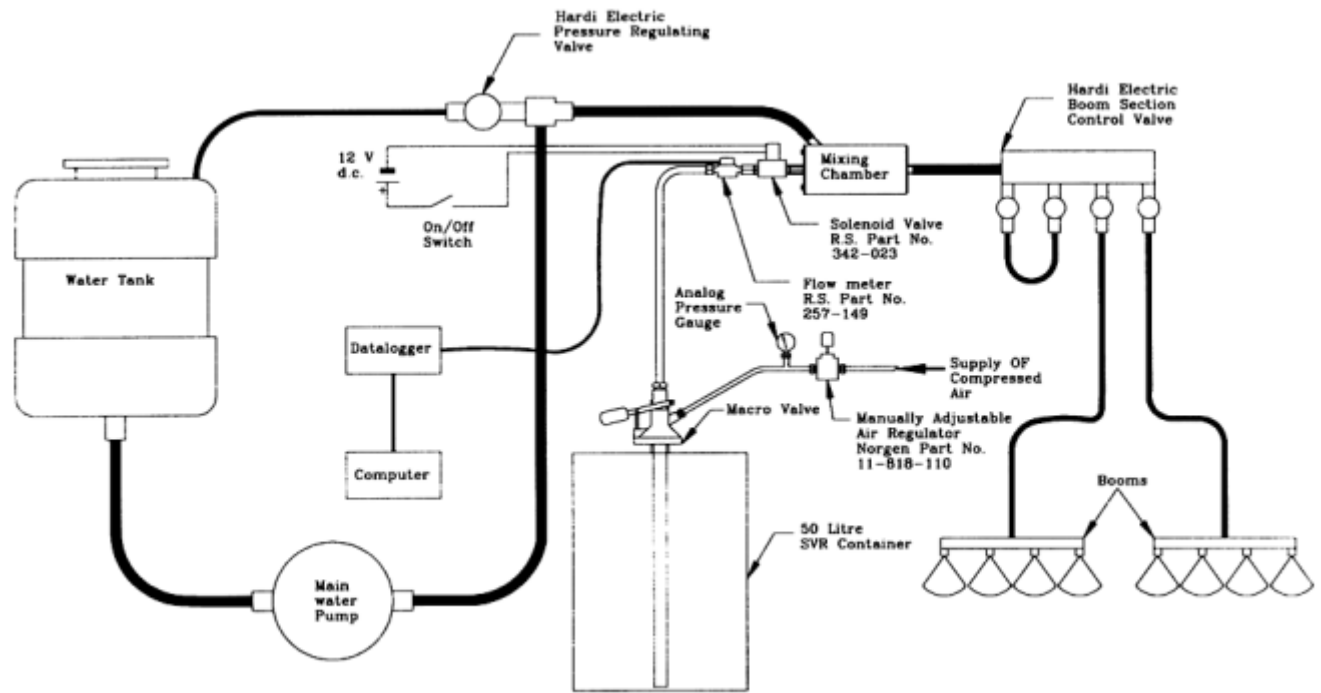


Fig. 5: Sistema de Inyección Directa por aire comprimido (Landers, 1997)

Sistemas en base a modulación por ancho de pulsos.

Ess y col., (2001) (SSM-5-W) analizaron de manera concreta su funcionamiento. En forma muy sintética, el criterio utilizado en estos equipos es que cada pico de pulverización posea una válvula solenoide, de muy rápido funcionamiento que regula su apertura y cierre. Dado que estas válvulas funcionan con una frecuencia de 10 Hz, el pasaje del caldo de pulverización puede ser abierto y cerrado hasta 10 veces por segundo.

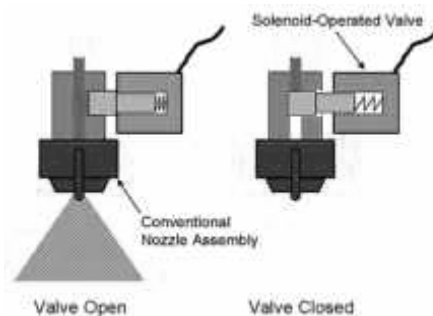


Fig.6: Sistema PMW

De esta manera, mediante una computadora que controle su accionar, es posible regular el porcentaje de tiempo en que el pico permanece abierto y/o cerrado. La válvula demora 4 milisegundos en responder al impulso eléctrico de apertura o cierre y, en la práctica se requiere de 8 milisegundos para el pasaje de totalmente abierto a totalmente cerrado o viceversa.

La gran rapidez de los ciclos hace que, aún cuando se regula el porcentaje de tiempo de apertura o cierre, el sistema funciona como si fuera constante a los efectos de la pulverización.

En la **figura 7** se pueden apreciar tres alternativas diferentes de ciclo de apertura-cierre. En el esquema superior el pico esta abierto solamente el 10 % del tiempo de aplicación, en la central el 50 %, en tanto que en la inferior el pico se abre el 90 % del tiempo total de pulverización. Debe tenerse en cuenta que esos porcentajes se deben referir al caudal correspondiente a la pastilla en uso y para la presión de trabajo que se esté utilizando.

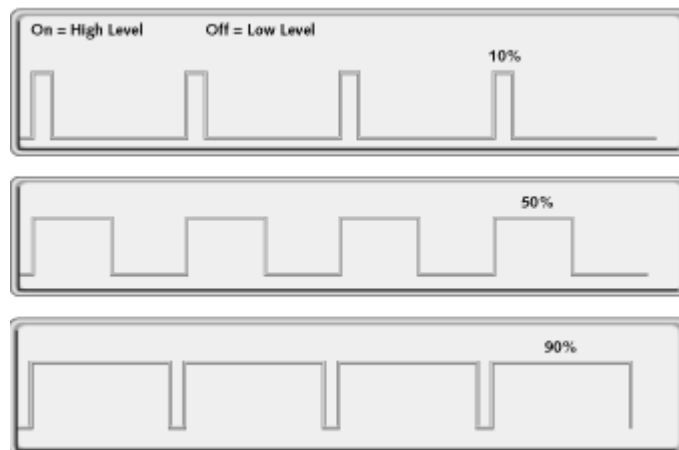


Fig. 7: PWM Ciclos de apertura y cierre

Como síntesis el sistema es sumamente rápido a las variaciones de dosificación, lo cual minimiza y prácticamente anula los errores de inercia característicos del sistema de inyección directa.

Como contrapartida, en este caso se puede trabajar solamente con un agroquímico (o a lo sumo, con una mezcla de ellos en el tanque, lo que impide aplicar diferentes productos en distintos lugares).

Ayers y Pierce (2001) evaluaron, para un equipo de estas características los siguientes parámetros:

- Variación en el caudal pico por pico. Los CV fueron menores al 2 %.
- Variación del caudal en los picos en relación al porcentaje del tiempo seteado, con errores menores al 4 %.
- Distribución general a lo largo del botallon, con CV menor al 10 %
- Al evaluar CV en la dirección de avance, los valores fueron sensiblemente mayores. A fin de verificar en qué medida ello afectaba la calidad de los tratamientos, realizaron un ensayo complementario tendiente a evaluar el grado de control de malezas con herbicidas postemergentes, llegando a niveles cercanos al 100%.

Scrock y *col.* (2001) ensayaron un equipo con estas características para fertilizaciones con amonio líquido, concluyendo que el caudal inyectado respondía adecuadamente a la presión y al grado de regulación de las válvulas PWM, asumiendo, además, que el sistema era apto para lograr un amplio rango de variación en las aplicaciones con este tipo de fertilizantes.

Como una información adicional, cabe mencionar el ensayo realizado por Lebeau y *col.*, 2004 en el cual se utilizaron electrónicamente una serie de válvulas PWM a los efectos de atenuar las variaciones puntuales producidas en los depósitos del pulverizado a causa de las oscilaciones horizontales del botallon.

Finalmente, cabe mencionar que Ess y *col.* (2001) (SSM-5-W) mencionan su aptitud para el uso con fertilizantes líquidos.

Sistemas de selección-combinación automática de picos.

En estos sistemas, en lugar de existir un único cuerpo a la distancia elegida, un diseño especial permite ubicar 2, 3 ó 4 cuerpos, cada uno de ellos con su correspondiente pastilla tal como se ve en la figura 7.



Fig. 8: Sistemas de selección-combinación de Lechler y de Arag

Como se puede ver en la imagen cada cuerpo tiene una pastilla de diferente caudal. Ante variaciones en la dosis requerida (o ante variaciones en la velocidad), la computadora del equipo elige cuál pastilla, o cuales pastillas activar para lograr dicha dosis sin variar la presión, y por lo tanto permite ampliar los caudales de pulverización, más allá de los límites habituales para una única pastilla.

Lamentablemente no nos ha sido posible encontrar ensayos que evaluaran la performance de estos sistemas. En el cuadro N° 1 se presentan los caudales logrados con distintas combinaciones de pastillas.

Cuadro N° 1: Variación de caudales sistema VarioSelect para varias presiones de trabajo

Pastilla IDK 120	150	200	250	300	350	400	450	500	600
0,1	34,3	39,2	44,1	47,8	51,4	55,1	58,8	62,5	68,6
0,15	51,4	58,8	68,6	72,2	77,1	83,3	88,2	93,1	103
0,2	67,3	77,1	86,9	95,5	104,1	110,2	117,6	123,7	135,9
0,25	85,7	98	112,7	123,7	128,6	138,4	146,9	155,5	171,4
0,1 + 0,2	91,6	116,3	131	143,3	155,5	165,3	176,4	186,2	204,5
0,1 + 0,25	120	137,2	156,8	171,5	180	193,5	205,7	218	240
0,15 + 0,25	137,1	156,8	181,3	195,9	205,7	221,7	235,1	248,6	274,4
0,2 + 0,25	153	175,1	199,6	219,2	232,7	248,6	264,5	279,2	307,3
0,15 + 0,20 + 0,25	204,5	233,9	264,5	291,4	309,8	331,9	352,7	372,3	410,3
0,1 + 0,15 + 0,2 + 0,25	238,8	273,1	308,6	339,2	361,2	387	411,5	434,8	478,9

(Valores de presión en Kpa y caudales en l/ha.)

a) VariTarget:

Probablemente sea el más reciente de los desarrollos tendientes a lograr dosis variable sin modificar sustancialmente las características de la pulverización fue galardonado con el premio ASABE 2006 a la innovación tecnológica.

El sistema funciona en base a la variación de área de un pre-orificio, que regula el caudal y un orificio de salida que regula las características del spray. Una suerte de cuña o chaveta de posición variable es la que regula el área del orificio superior, en tanto que el área del orificio inferior se modifica como consecuencia de la deformación general del dispositivo.

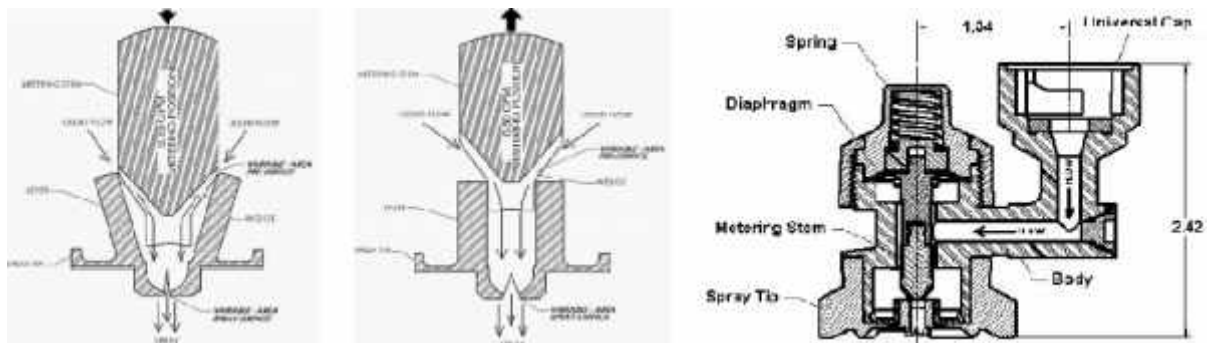


Fig. 8: VariTarget en caudales de 0,15 y 0,80 GPM y esquema del dispositivo completo

Bui (2005) describe el funcionamiento del sistema y especifica que existen dos modelos diferentes: uno de color negro para aplicar productos sistémicos y otro de color claro para productos de contacto.

En el primero de ellos, ante variaciones en la presión de 103,42 Kpa a 448, 15 Kpa, el caudal varía desde 0,378 hasta 3,028 litros.minuto⁻¹, en tanto que el Diámetro Volumétrico Mediano (DVM) de las gotas pasa de 425 a 325 micrones.

Para el modelo para productos de contacto, la variación del caudal es la misma, pero el DVM pasa de 240 a 200 micrones.

En ambos casos el ángulo de aplicación es de 110°, en tanto que el tiempo de respuesta ante variaciones del caudal es menor a 0,25 segundos.

Sistemas en base a sensores ópticos:

a) Herbicidas

Moltoni y Moltoni (2005) analizaron estos sistemas así como también la muy amplia bibliografía existente sobre este tema. Simplemente nos limitaremos a mencionar a los mecanismos que basan su accionar en sensores ópticos. Estos pueden clasificarse en tres grandes grupos, existiendo la posibilidad de combinaciones de ellos.

- Detección del color: Diferencian el verde de otros colores. Por lo tanto no pueden diferenciar malezas de cultivos. De esta manera su uso se limita a la aplicación de herbicidas en barbechos o, a lo sumo en los entresurcos de los cultivos, "tapando" la visión lateral de los sensores.
- Detección del rojo y del infrarrojo cercano (RR-NIR). Se aprovecha, para ello, la circunstancia de que las plantas y el suelo reflejan cantidades diferentes de ambos espectros. Presentan los mismos usos y limitaciones que el grupo anterior. Dentro de este grupo podemos incluir los trabajos de Alchanatis y Hetzroni (1997); Raymond y Hilton (2005) y de Moltoni y Moltoni (2005)
- Detección mediante visión artificial (uso de cámaras de video o fotográficas). Normalmente es el sistema más complejo ya que permite, en su expresión más avanzada, evaluar colores, formas y texturas que permitirían diferenciar malezas de cultivos si se utilizan programas computarizados complejos. Esto demanda la generación de gran cantidad de algoritmos y el uso de procesadores de gran capacidad. Esta complejidad del proceso, a diferencia de los dos grupos anteriores, puede generar complicaciones en cuanto al tiempo requerido para procesar las imágenes en relación con la velocidad de avance del equipo pulverizador. En este grupo podemos incluir los trabajos de Mao y col. (2003); Tang y col. (1999) y Tian y col. (1999) y Tian (2000).

b) Fertilizantes.

Existen al menos dos tipos de equipos comerciales para la aplicación de fertilizantes nitrogenados: N- Sensor y Green Seeker.

Tanto el N-Sensor como el Green Seeker funcionan sobre el mismo principio: lectura de la luz reflejada por la canopia y estimación de índice verde. Existe una correlación directa entre el contenido de clorofila y la biomasa de un cultivo con los requerimientos de nitrógeno para dicho cultivo. A mayor biomasa y mayor contenido de clorofila, mayor será el requerimiento de nitrógeno (Link y col., 2003).

Melchiori y col. (2006) analizaron el funcionamiento del primero de ellos en suelos con fertilidad nitrogenada bajo el criterio de MSE, constatando su adecuado funcionamiento A similares

resultados llegan Link y col. (2003), luego de evaluar 96 ensayos individuales realizados en diferentes países de Europa (R. Checa, Alemania, Dinamarca, Francia, Gran Bretaña, Hungría, Italia y Suecia) y en EEUU.

Zielman y col. (2005), luego de 4 ensayos realizados al sur de Alemania, llegan a conclusiones similares, pero haciendo la salvedad de que, ante la existencia de otro tipo de limitaciones en los suelos, más allá de la disponibilidad de nitrógeno, este tipo de equipamiento puede producir resultados contradictorios.

Sharma (2005) coteja los resultados generados por el Green Seeker y los coteja contra valores de NDVI, biomasa, rendimiento y contenidos de clorofila en hojas.

Si bien los dos sistemas funcionan sobre el mismo principio, El N-Sensor se ubica sobre la parte superior de la pulverizadora realizando dos lecturas hacia cada lado, con un total de 50 m², y sacando un promedio de ellas para determinar la cantidad de nitrógeno a aplicar. El Green Seeker, en cambio consta de sensores individuales que se colocan a lo largo del botalón, cada uno de ellos con una capacidad de visión de 60 x 60 cm.

Ambos equipos funcionan en tiempo real aunque, conectados a un DGPS y mediante el uso de un programa GIS, podrían elaborar mapas de prescripción de aplicación de fertilizantes nitrogenados para su uso posterior.

RESULTADOS Y PROPUESTAS

Tal como surge de la lectura y análisis del punto anterior del presente trabajo, existen una serie de mecanismos o sistemas que, mediante el uso de pulverizadoras, fueron diseñados específicamente para MSE, o bien pueden adaptarse a este criterio.

No obstante, las aplicaciones en dosis variables con pulverizadoras, y más concretamente en aplicación de herbicidas, insecticidas y fungicidas, conllevan una serie de dificultades que no se limitan al simple hecho de poder aplicar mayor o menor dosis de un producto dado. Esto marca una profunda diferencia, además de dificultades adicionales, en relación con otro tipo de tareas agrícolas (por ejemplo la siembra) donde la cantidad o dosis por hectárea es el único parámetro a considerar.

Es por ello que, en forma previa a la evaluación de los diferentes sistemas mencionados, se cree necesario efectuar algunas consideraciones sobre la estrecha relación existente entre los parámetros caudal, cobertura y tamaño de gotas en los sistemas tradicionales de aplicación, y sus eventuales efectos en un MSE:

Estas consideraciones se referirán a las aplicaciones de herbicidas, ya que en el caso de los fertilizantes, el tamaño de gotas y la cobertura no son valores relevantes.

Como puede apreciarse en la figura 9, estos conceptos están profundamente interrelacionados, y variaciones en cualquiera de ellos, necesariamente conlleva a variaciones en alguno de los otros dos, o en ambos (Cid, 2007).

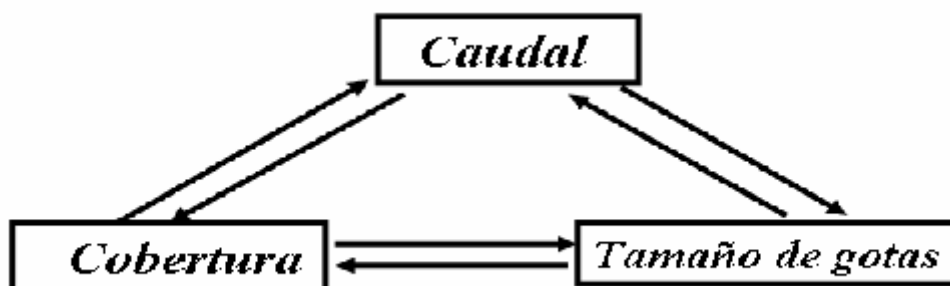


Fig. 9: Interrelaciones en cobertura, caudal y tamaño de gota

A modo de ejemplo, una disminución del caudal (litros.ha⁻¹), sin variar el tamaño de las gotas, implica necesariamente una disminución de la cobertura lograda (gotas.cm²). Si el objetivo es mantener la cobertura disminuyendo el caudal, necesariamente se deberá disminuir el tamaño de las gotas.

Vale decir que se genera la posibilidad de analizar, cuál es la influencia de cada uno de los parámetros sobre los otros dos, ya sea por un aumento o una disminución.

Este mecanismo de inter-relaciones es, virtualmente, un axioma en las aplicaciones tradicionales de dosis uniforme y, de hecho, la manera en que es abordado puede determinar el éxito o en el fracaso de una aplicación.

En el caso de los sistemas de dosis variables, por lo tanto, se debe contemplar que las variaciones de cobertura y tamaño de gotas sean lo suficientemente pequeñas como para no alterar el resultado de la aplicación.

Hechas estas salvedades previas, y para la evaluación de equipos precisos de dosis variable sobre una base exclusivamente bibliográfica, entendemos que, tanto para las aplicaciones de herbicidas como de fertilizantes los mismos debieran cumplir con una serie de pautas:

- Estar absolutamente automatizadas. Ello implica que una vez que la pulverizadora ingresa al lote para realizar el trabajo, la dosificación variable es manejada o bien por el sistema DGPS + GIS + controladora, o bien por los sensores en tiempo real.
- No se debiera disminuir a capacidad de trabajo en comparación con una aplicación convencional. De tal manera y, a modo de ejemplo, no parece criteriosa la variación de los caudales en base a la variación de la velocidad, ya que la misma incide directamente sobre la capacidad de trabajo.
- La variación en las dosis a aplicar debe permitir el trabajo para los valores actuales de uso habitual en nuestro país. Estos valores se han fijado, con cierto grado de arbitrariedad entre 0 y 450 litros/ha para el caso de fertilizantes y entre 0 y 8 litros/ha para los herbicidas.
- Para el caso de aplicación de herbicidas el sistema debe permitir su aplicación a las malezas en las diferentes zonas en las dosis previamente prescritas (o eventualmente mayores en los casos de cambios de dosis-zonas, nunca menores). Ello puede implicar que el sistema deba "anticiparse" al cambio de dosis antes de ingresar a una nueva zona de prescripción diferente, en función del tiempo de respuesta del equipo.
- La capacidad de reacción de los equipos ante un cambio en las dosis ordenadas o prescritas no debe superar ciertos parámetros para una velocidad de trabajo habitual (hasta 20 km/hora), lo que se traduce en una distancia máxima recorrida por el equipo mientras logra dicha variación. Arbitrariamente consideramos que en el caso de los fertilizantes no debieran superarse los 10 metros y, en el caso de los herbicidas, los 2 metros, sin que para este caso se invalide el punto anterior.

CONCLUSIONES

a) Adaptación de los diferentes sistemas a la aplicación de fertilizantes.

Los ensayos llevados a cabo con **sistemas de sensores de NDVI o índice verde** (Green Seeker y N-Sensor) indican que los sistemas se adaptan adecuadamente a las necesidades habituales de trabajo (Heege y Thiessen, 2002; Link y col., 2003; Melchiori y col., 2006; Sharma, 2005), variando correctamente las dosis aplicadas en función de los parámetros medidos por los sensores.

Los sistemas de **inyección directa**, dado su concepto de funcionamiento, no son adaptables a aplicaciones variables de fertilizantes, ya que su diseño está dirigido a variar la concentración del agroquímico a la salida del pico, pero sin variar el caudal por hectárea. En este caso, justamente, lo que se busca es variar dicho caudal, ya que el caldo de pulverización está reemplazado por el fertilizante líquido.

Los mecanismos de regulación de dosis mediante **Modulación por Ancho de Pulsos (PMW)**, aparentemente se adaptarían sin inconvenientes dentro de un rango de aplicación de 8 a 1 para cada pastilla elegida (Ess, y col., 2001). Para ello sería necesario utilizar pastillas para aplicación de fertilizantes de alto caudal (o bien un disco dosificador con alto volumen) y regular los porcentajes de aplicación correspondientes.

No obstante, deberá prestarse especial atención al eventual deterioro de este sistema de dosificación ante un producto muy abrasivo como son los fertilizantes líquidos.

En cuanto a los sistemas de **selección-combinación automática de picos**, tal como figura en el cuadro N° 1, la posibilidad de variar las dosis se aproxima mucho a lo deseable. Sin embargo, se trata de sistemas de lenta capacidad de respuesta, por lo cual sería necesario contar con mayor información sobre los tiempos de transición ante cambios importantes en las dosis. Este inconveniente podría significar un tránsito a menor velocidad en las zonas de intercambio, pero, indudablemente se requiere mayor experimentación al respecto.

Finalmente, en lo que hace al sistema **VariTarget**, cada pico permite variaciones de caudal desde 0,3302 hasta 3,028 litros.minuto⁻¹ (Bui, 2005). Para una pulverizadora que está operando a 15 km.hora⁻¹ esto significa un caudal máximo de 242 litros.ha⁻¹ y uno mínimo de 30,28 litros.ha⁻¹ (existiendo, además, la posibilidad de 0 litros.ha⁻¹ al cerrar el sistema).

Si hacemos los ajustes correspondientes a la densidad de los fertilizantes más comunes en nuestro país (1,28 kg.litro⁻¹), los caudales máximos y mínimos pasan a ser de 214 y 26,5 litros.ha⁻¹

Esto, según los parámetros fijados precedentemente, resultaría insuficiente para hacer dosis variables de fertilizantes.

Adicionalmente, al igual que en el caso del sistema de PMW, sería conveniente prestar especial atención a la abrasión de los fertilizantes en este tipo de pastillas.

b.- Adaptación de los diferentes sistemas a las aplicaciones de herbicidas.

Analizaremos, en primera instancia a aquellos sistemas que en base a diferentes tipos de **sensores ópticos** detectan la presencia de malezas para activar el mecanismo de aplicación del herbicida.

Evidentemente se hace sumamente complejo, y no es el objetivo de este trabajo, analizar a este grupo de mecanismos muy amplios. Pero ello ya fue oportunamente realizado por Moltoni y Moltoni (2005).

Sin embargo, es indudable que en ningún caso se trata de sistemas de aplicación de dosis variables. Simplemente se activa o desactiva un mecanismo de aplicación de dosis uniformes. Desde este punto de vista, estos sistemas quedarían afuera de los alcances de esta investigación. La calidad de su funcionamiento dependerá de la eficiencia de cada uno de los mecanismos desarrollados.

Los **sistemas de inyección directa** presentan dos ventajas inequívocas: la posibilidad de incorporar varios agroquímicos en forma simultánea y el hecho de no modificar los caudales de aplicación, lo que en la práctica se traduce en que tampoco se modifica la cobertura ni el tamaño de las gotas producidas. Esto hace a la calidad de la operación.

Otra ventaja está referida al hecho de trabajar en todo el circuito con agua limpia, aunque esto incide más en la practicidad del trabajo que en su eficiencia.

Sin embargo, los tiempos de respuesta medidos son largos. El menor de ellos citado en la bibliografía- Schulze y col. (2005)- menciona 2,8 segundos cuando en el diseño del sistema se hace llegar al producto directamente a cada uno de los picos de pulverización. Para una

pulverizadora que trabaja a 15 km.hora^{-1} , este tiempo implica un movimiento de 11,6 metros, lo cual supera ampliamente los valores que nos habíamos fijado como óptimos.

Los mecanismos de **selección y combinación automática** de picos, para el caso específico de aplicación de herbicidas, no presentan ninguna de las ventajas del sistema anterior, pero sí el mismo inconveniente en cuanto a la lentitud de respuesta, que queda sujeta a la velocidad de la válvula reguladora de presión. Los valores más frecuentes para una apertura-cierre total de las válvulas existentes en el mercado varían entre 12 y 20 segundos, lo que también supera, en este caso mucho más ampliamente, los valores que nos habíamos prefijado.

Quizás, antes de continuar en el desarrollo de estos sistemas, se haga necesario investigar mecanismos de válvulas reguladoras más veloces.

En el caso de los sistemas de **Modulación por Ancho de Pulsos (PMW)**, si nos atenemos a los autores ya mencionados, para cada tipo de pastilla, podemos variar los caudales en una relación 8:1 y con una velocidad de respuesta de 0,8 milisegundos. Es evidente que el tiempo de respuesta se encuadra cómodamente dentro de los valores de tolerancia que nos habíamos prefijado.

No obstante ello, el mecanismo de variación de los caudales puede presentar algún inconveniente en cuanto a la determinación del tamaño de gotas y, por ende la cobertura.

A modo de ejemplo, una pastilla XR8005, según el Catálogo de TeeJet, produce gotas gruesas a una presión de 200 Kpa, arrojando un caudal de $1,61 \text{ litros.minuto}^{-1}$. Si a esa pastilla la afectamos con un mecanismo de PMW a un 20% de su capacidad, arrojará $0,32 \text{ litros.minuto}^{-1}$, pero seguirá produciendo gotas gruesas, del mismo tamaño. Por lo tanto, la cobertura no debiera ser, seguramente, la misma en ambos casos. Por otra parte una pastilla XR8001 a la misma presión, produce exactamente el mismo caudal, es decir $0,32 \text{ litros.minuto}^{-1}$, pero con la importante diferencia de que produce gotas finas.

Sin embargo Ayers y Pierce (2001) señalan controles cercanos al 100% con herbicidas de postemergencia en el control de malezas a largo plazo. Esto, posiblemente esté más relacionado con la eficiencia de los herbicidas utilizados que con la calidad de la aplicación.

Se entiende que este juego de variación en la cobertura al variar los caudales debiera ser objeto de posteriores evaluaciones.

Finalmente, para el caso de los **picos VariTarget** se menciona que ante una variación en la presión de 103,42 a 448,15 Kpa, el caudal varía desde $0,3302$ hasta $3,028 \text{ litros.min}^{-1}$, en tanto que el tamaño de gota pasa de un DVM de 425 a 325 para el modelo correspondiente a productos sistémicos y de 240 a 200 para el modelo correspondiente a productos de contacto (Bui, 2005). Según el mismo autor el tiempo de respuesta es de 0,25 segundos.

Nuevamente recurriendo a la imagen de una pulverizadora avanzando a 15 km.hora^{-1} , este tiempo de respuesta corresponde a un recorrido de 1,04 metros.

Por otra parte, si dicha pulverizadora tiene sus picos a 50 cm, su variación de caudal irá desde los $30 \text{ litros.ha}^{-1}$ hasta los $240 \text{ litros.ha}^{-1}$, lo que se ajusta a los parámetros prefijados en este trabajo.

BIBLIOGRAFIA.

- ALCHANATIS V., HETZRONI A. – 1997- A multispectral imaging sensor for site specific application of chemicals (Abstract)- Third International Symposium on sensors in horticulture – N° 562 pp 119-125 – Tiberias – Israel – 17 al 21 de agosto .
- AL GAADI K.A., AYERS P.D.:- 2001 - Integrating GIS and GPS into a spatially Variable Rate Herbicide Application System.
- AL-GAADI K.A., AYERS P.D.:- 1998 - Assembling a real time DGPS – Testing and investigating factors that affect its accuracy – In "Applied Engineering in Agriculture"- ASAE Vol 14 (6) 659-665

- AYERS P.D., PIERCE R.: 2001 - Evaluation of deposition and application accuracy of a Pulse Width Modulation variable rate field sprayer. ASAE Paper nº 01-1077 in ASAE Annual Meeting Presentation— Sacramento – California – USA.
- BOGLIANI M, MASIÁ G, ONORATO A:- 2005 - Tecnología para las aplicaciones terrestres de fitosanitarios. En "Aplicar eficientemente los Agroquímicos". Instituto de Ingeniería Rural. Instituto Nacional de Ingeniería Rural. Ediciones INTA . Argentina.
- BRAGACHINI M., MÉNDEZ A. – 2001 -. Respuesta sitio-específica al nitrógeno en trigo generando franjas de diferentes dosis de fertilización líquida para medir con monitor de rendimiento su respuesta. Artículo en libro de Agricultura de Precisión, INTA Manfredi.
- BRAGACHINI M, MÉNDEZ A., SCARAMUZZA F., VILLARROEL D., VÉLEZ J.P. – 2007 - Proyecto Agricultura de Precisión – Actualización Técnica Nº 7 — EEA INTA Manfredi – Ediciones INTA .
- BUI, Q.D.: -2005- VARITARGET – A new nozzle with variable flow rate and droplet optimization. ASAE paper Nº 051125 in 2005 Annual International Meeting – Tampa- Florida – USA.
- CID, RAMIRO: - 2007 -Agricultura de Precisión y Aplicación de Agroquímicos. En resúmenes de trabajos presentados – 7º Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 2ª Expo de Máquinas Precisas- INTA Manfredi, Córdoba, Argentina.
- CLARK R.L., MCGUCKIN R.L.: -1996- Variable rate application equipment for precision farming. Written for presentation at 1996 Beltwide Cotton Conference- Jan 8-12 -1996 – Nashville – Tennessee – USA
- DAMMER K.H., WARTENBERG G. : -2007- Sensor based weed detection and application of variable herbicide rate in real time. Crop Protection 26 – 270/277
- ESS D.R., PARSONS S.D., MEDLIN C.R.: -2001- Implementing site specific management: Sprayer technology – Controlling application rate on-the-go. SSM-4-W - Purdue University.
- ESS D.R., PARSONS S.D., MEDLIN C.R. : -2001- Sprayer technology – Controlling Application Rate and Droplet size distribution on the go. SSM-5-W. Purdue University.
- FERNANDEZ QUINTANILLA C., BARROSO J.: -2001-La evaluación de malezas dentro de la agricultura de precisión. Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias – Año 2001 Nº 1 – Universidad Nacional de Rosario – Rep. Argentina.
- FROST A.R.: -1990- A pesticide injection meteringsystem for use on agricultural spraying machines – Journal of Agricultural Engineering Research – 46; pp 55-70- 1990
- FORD A.J., DOTRAY P.A.: -2007- Site specific management in peanut using webHADSS . (Abstract) – Weed Mgmt. Agr. Crops – Proceedings, Southern Weed Science Society – Vol 60
- GAVRIC M AND M. MARTINOV. -2007"Low Cost GPS-Based System for Site-Specific Farming at Flat Terrains – Case Study". Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript -ATOE 07 004. Vol. IX. July 2007
- GERHARDS R., OEBEL H.: -2006- Practical experiences with a system for site specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. European Weed Research Society – Weed Research – 2006 Vol 46 pp 185-193.
- HEAP J., TRENGOVE S.: -2008- Site specific weed management (SSWM) – weed mapping and patch spraying. South Australian Research and Development Institute (SARDI) Adelaide – SA - Australia-
- HEEGE H., THIESSEN E.: -2002-On the go sensing for site specific nitrogen top dressing. ASAE paper Nº 021113 in ASAE Meeting Presentation – Chicago – Illinois- USA – 28 al 31 de julio de 2002.
- LAMASTUS-STANFORD F.E., SHAW D.R.: 2004 Evaluation of site specific weed management – Implementing the Herbicide Application – Decision support system (HADSS)- Precision Agriculture 5 pp 411-426 – Kluwer Academic Publisher – Netherlands.
- LAMB D. W., BROWN R.B.: 2001 -Review Paper – Remote sensing and mapping of weeds in crops. – J. agric . Engng. Res 2001 V 78 (2) pp 117-125.
- LANDERS A.J.: 1992 The characteristics and performance of a direct injectioncrop sprayer. Ph.D. Thesis – University of Bath.
- LANDERS A: 1997 A compressed air direct injection crop sprayer- Department of Agriculture Engineering. Harper Adams College – Newport – Shropshire – TF10- 8NB – UK .
- LEBEAU F, EL BAHIR L., DESTAIN M.F., KINNAERT M., HANUS R.: 2004 Improvement of spray deposit homogeneity using a PWM spray controller to compensate horizontal boom speed variations.- In "Computer and Electronics in Agriculture – Vol 43 pages 149-161 Mayo 2004.
- LINK A., PANITZI M., REUSCH S.: 2003 Hydro N-Sensor: Tractor Mounted remote sensing for variable nitrogen fertilization. In Proceedings of the 6 International Conference on Precision

- Agriculture and Other Precision Resources Managements – Minneapolis – USA – 14-17 de Julio 2003.
- LUND IVAR: 2008 Aspects of droplets formation, targeting and effects in precision pesticide application. (Abstract). Institut for Jordbrugsvidenskab – Denmark -
- MAO WENGHUA, WANG YIMING, WANG YUEQING: 2003 Real time detection of between row weeds using machine vision. ASAE paper 031004 in 2003 ASAE Annual International Meeting – Lass Vegas – Nevada – USA.
- MCNEILL S.G., SHEARERS.A, SWETNAM L.D:1992 Demonstration spray rig with direct injection chemical metering.ASAE paper N° 92-109 – St. Joseph – Michigan-USA- 1992.
- MELCHIORI R.J.M., BARBAGELATA P.A., CHRISTIANSEN C., VON MARTINI A.: 2006 Manejo sitio específico de N en maíz – Evaluación del N-Sensor.- Proyecto de Agricultura de Precisión – EEA INTA Manfredi – Córdoba - Argentina.
- MOLTONI A., MOLTONI L.,:-2005- Pulverización selectiva de herbicidas. Implicancias tecnológicas y económicas de su implementación en la Argentina -CADIR 2005 – Villa de Merlo – San Luis – Argentina.
- NORDMEYER H.:2006 Patchy weed distribution and site specific weed control in winter cereals.Precision Agriculture 2006 Vol 7 pp 219-231.
- QIU W., WATKINS G.A., SOBOLIK C.J., SHEARER S.A.: 1998 A feasibility study of direct injection for variable rate herbicide application. – Transactions of the ASAE. Vol 41 (2) 291-299
- RAYMOND S.G., HILTON P.J.:2005 Intelligent crop spraying: a prototype development. 1st International Conference in Sensing Technology – 2005 Nov 21-23 – Palmerston North – New Zealand.
- SHARMA R.K.:2005- Green Seeker – A new initiative in Indo-Gangetic Plains. – Indian Council of Agricultural Research – Haryana - India.
- SCHROCK M.D., GRIMM J.J., OARD D.L., TAYLOR R.K., KOLB T.C., ANDERSON J.D.: 2001 - Performance of a multipoint pulse width modulation metering system for ammonia. Transactions of the ASAE – Vol 44, pages 211-216 –
- SCHULZE LAMMERS P., HLOBEN P., SÖKEFELD M. -2005 -Application of herbicides by direct injection for site-specific spray ring. University of Bonn. Institute of Agriculture Engineering – Bonn – Germany
- SUMNER H.R., SUMNER P.E., MULLINIX B.G.: - 2001- Injection Pump frequency effect on sprayer Uniformity – Asae paper N° 97-1046.
- TANG L., TIAN L.F., STEWARD B.L.:1999- Machine Vision-based high-resolution weed mapping and patch-sprayer performances simulation. 99F-38 (UIUC-ENG-99-7009) – Society of Automotive Engineers.
- TIAN, LEI:- 2000 - A "smart sprayer" for site specific weed management. Department of Crop Sciences – College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences – University of Illinois – USA.
- TIAN L.,REID J.L., HUMMEL J.W.:1999- Development of a precision sprayer for site specific weed management. Transactions of the ASAE – Vol 42 – pag 893-900.
- VOGEL J.W., WOLF R., DILLE A.:2005- Evaluation of a variable rate application system for site-specificweed management. ASAE Paper N° 051120 in ASAE Annual International Meeting – Tampa – Florida - USA.
- WILLIAMS M, GERHARDS R., MORTENSEN D.: -2000- Two year weed seedling population responses to a post emergent method of site specific weed management. Precision Agriculture 2 pp 247-263 –Netherlands.
- ZIELMAN E., GRAEFF S., LINK J., BATCHELOR W.D., CLAUPEIN W.: 2006 Assessment of cereal Nitrogen Requirements derived by the optical on-the-go sensors on heterogeneous soils. American Society of Agronomy – Madison – USA . Published on line 3- May .