

CAPÍTULO 10: Agricultura de Precisión y Aplicación de Agroquímicos.

1) Generalidades:

Es absolutamente evidente, para todas las personas que están en contacto con la producción agropecuaria, que los suelos sobre los cuales trabajamos presentan “variabilidad”. No es igual un suelo de la Cuenca del río Salado que uno de la zona de Pergamino o uno de Las Lajitas, en Salta.

Pero estas diferencias no se presentan solamente de localidad en localidad o de provincia en provincia. Inclusive dentro de un mismo lote, los suelos son heterogéneos o “variables”.

Esta variabilidad, normalmente, es clasificada en tres orígenes diferentes.

- *Espacial. Se refiere a la ubicación particular de cada sitio. No es lo mismo una loma, que una media loma o un bajo. Los suelos se pueden diferenciar por su contenido en sales, por su materia orgánica o por su textura y estructura.*
- *Temporal: Un mismo sitio puede variar sus rendimientos de año en año. Las condiciones climáticas, los ataques de diferentes plagas, etc. pueden ser las causas de estas diferencias.*
- *Inducida: se refiere a las variabilidades originadas a causa de las acciones del hombre.*

En muchos casos se hace difícil indicar a qué tipo de variabilidad se deben los diferentes resultados de un cultivo, ya que los mismos presentan interacciones entre sí.

Con las limitaciones del caso, podríamos definir a un “sitio específico” como un ambiente de características muy similares y, en el cual corresponde llevar a cabo un mismo manejo productivo.

Por lo tanto, se denomina “manejo sitio específico” a la aplicación diferenciada de insumos según las necesidades y rendimientos potenciales de los diferentes sitios del lote.

Se denominan “ambientes” a las zonas con el mismo manejo sitio específico.

Este tipo de manejo debiera permitir que cada ambiente del lote exprese su máximo potencial económico posible.

Podría definirse a la Agricultura de Precisión como la aplicación práctica de una serie de técnicas y conocimientos que permiten la realización del denominado “manejo sitio específico”.

Según Mantovani, Carvalho Pinto y Marçal de Queiroz (2006), “la agricultura de precisión es un conjunto de técnicas orientado a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola. Esta optimización se logra con la distribución de la cantidad correcta de esos insumos, dependiendo del potencial y de la necesidad de cada punto de las áreas de manejo”

Conceptualmente, no es un criterio nuevo. Desde siempre los campos fueron divididos en lotes de acuerdo a su capacidad de uso y productividad. Y, a cada uno de ellos se le daba un manejo particular, pero homogéneo dentro del mismo.

Ahora la tecnología nos permite ir más allá. Cada lote, y aún cada punto dentro de cada lote, puede ser georreferenciado mediante coordenadas geográficas (longitud y latitud), mediante el sistema GPS (Global Positioning System – Sistema de Posicionamiento Global). Además, contamos con herramientas que nos permiten variar puntualmente la aplicación de insumos sobre la marcha, sin necesidad de divisiones físicas previas.

Podríamos afirmar que las principales herramientas de la Agricultura de Precisión son (Mantovani, Assis deCarvalho Pinto, Marçal de Queiroz):

- *El Sistema de Geoposicionamiento Global.*
- *Los Sistemas de Información Geográfica (o programas GIS), que nos permiten, entre otras cosas, elaborar mapas de prescripción.*
- *Los mecanismos de dosificación variable.*
- *La percepción remota y cercana.*
- *El análisis de los datos georreferenciados.*

A ello habría que sumarle los diferentes tipos de sensores en tiempo real que se van desarrollando día a día.

No hay, hoy por hoy, ningún sector de la agricultura que tenga tanta dinámica como la Agricultura de Precisión. Día a día aparecen nuevas herramientas, nuevas técnicas, nuevos criterios. Esto hace que las posibilidades de manejo sitio específico se perfeccionen ininterrumpidamente.

Como contrapartida de lo anterior, debemos aceptar que muchas de las cosas que se escriben sobre el tema, rápidamente pueden ingresar a una situación de obsolescencia.

2) Sistema de Posicionamiento Global (GPS)



Figura N° 1: Configuración satelital. Fuente Von Martini y col. 2008

Es un sistema compuesto por una red de satélites (24 en el año 2008) denominados NAVSTAR, situados en una órbita ubicada a unos 20.200 km. de la superficie terrestre, y unos receptores GPS que permiten determinar nuestra posición en cualquier lugar del planeta, de día o de noche y bajo cualquier condición meteorológica. La red de satélites es propiedad del Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica y está gestionada por su Departamento de Defensa. Existen, también, otras redes de satélites (Cid Jimenez 2007)

¿Cómo funciona un receptor GPS?

Cada satélite procesa dos tipos de datos: las **Efemérides**, que corresponden a su posición exacta en el espacio y en el tiempo exacto en UTM (Universal Time Coordinated), y los datos del **Almanaque**, que son estos mismos pero en relación con los otros satélites de la red, así como también con sus órbitas. Cada uno de ellos transmite todos estos datos vía señales de radio hacia la tierra en forma ininterrumpida.

Cuando nosotros encendemos nuestro receptor GPS portátil y apuntamos la antena hacia el cielo, empezamos a captar y recibir las señales de los satélites (el receptor GPS no envía ninguna señal de radio, solamente las recibe), empezando por la más fuerte, de manera tal que puede empezar a calcular la distancia exacta hasta ese satélite, así como también saber dónde buscar a los demás satélites en el espacio.

Una vez que el receptor GPS ha captado la señal de, al menos, 3 satélites, entonces puede conocer exactamente la distancia a cada uno de ellos y puede calcular su propia posición en la tierra mediante la triangulación de la posición de los satélites y nos la presenta en pantalla como longitud y latitud. Si un cuarto satélite es captado, esto proporciona mayor precisión a los cálculos y se muestra también la altitud calculada en pantalla.

La distancia entre el receptor y el satélite se obtienen por medio del retardo temporal desde que el satélite envía la señal hasta que el receptor la recibe.

Dado que $V = E/T$ y siendo V y T valores conocidos, el mecanismo calcula E (distancia). (Velocidad = Espacio/Tiempo).

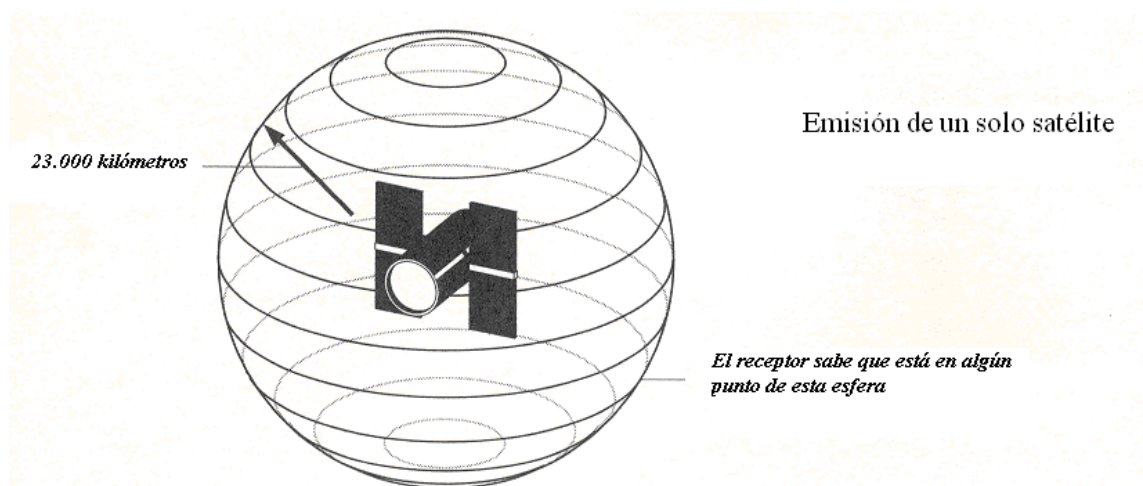


Figura N° 2: emisión de un satélite. Fuente Von Martini y col 2008

La figura 2 muestra la emisión de un solo satélite captada por un receptor GPS. El receptor conoce la distancia a un solo satélite. Por lo tanto se encuentra en algún punto de la esfera cuyo centro es el satélite y el radio es la distancia determinada.

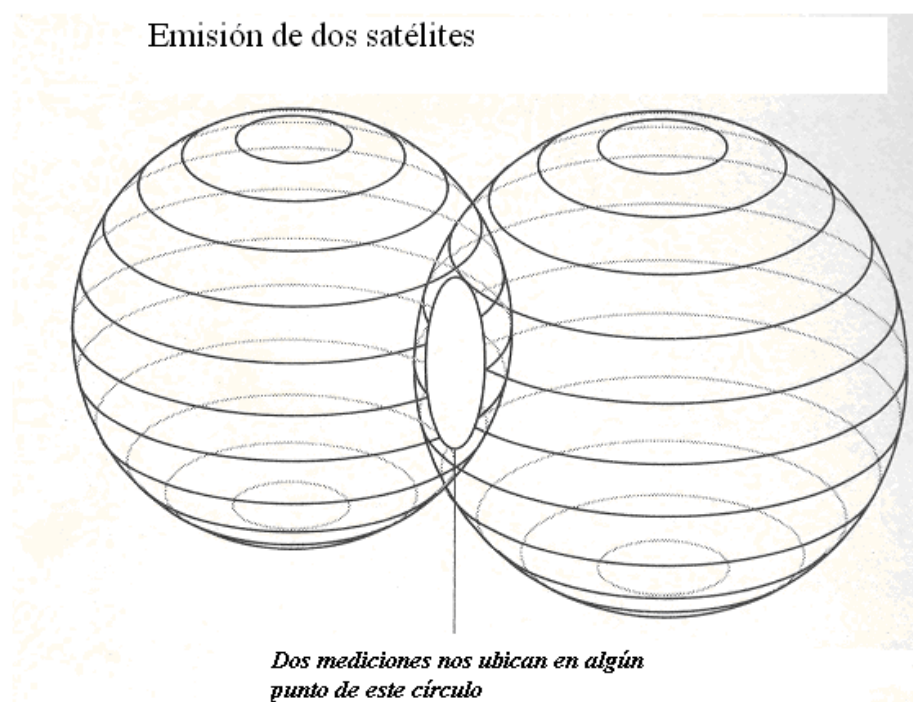


Figura N° 3: emisión de 2 satélites. Fuente Von Martini y col. 2008

En esta figura ya se está captando la señal de dos satélites. Y al conocer las distancias a ambos, el sistema sabe que el receptor se encuentra posicionado dentro de la circunferencia definida por la intersección de ambas “esferas”.

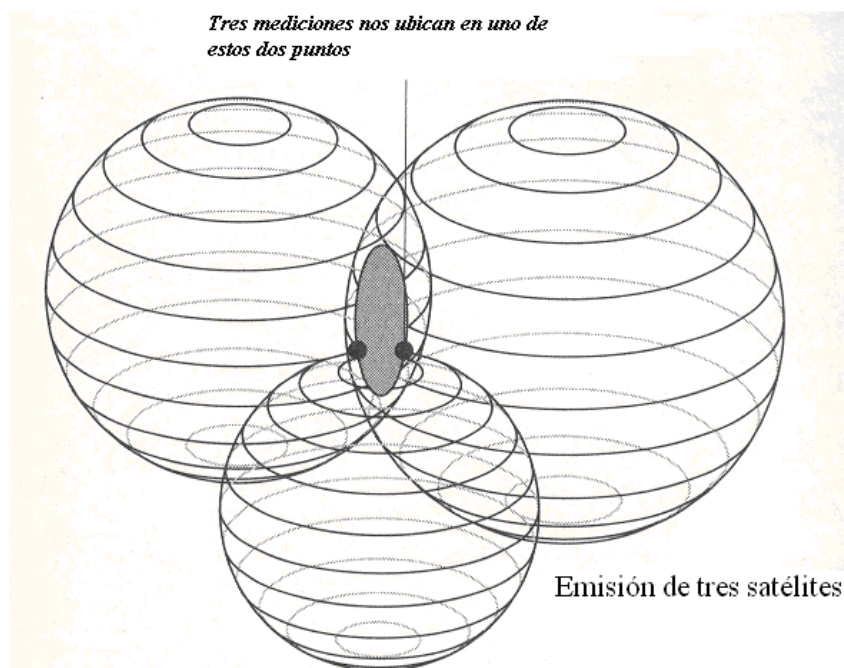


Figura N° 4: emisión de tres satélites. Fuente: Von Martini y col. 2008

Al captar el receptor la emisión de tres satélites, el sistema sabe que se encuentra en alguno de los dos puntos marcados. Normalmente el sistema detecta que uno de ellos es “incongruente” y lo descarta.

Los satélites son seguidos y monitoreados desde varias estaciones terrestres ubicadas estratégicamente alrededor del mundo. Esta red de estaciones se denomina “segmento de control” del GPS y su función es determinar permanentemente la órbita exacta de los satélites y ajustar sus señales de navegación: error del reloj, estado del satélite, correcciones, etc.

Algunos equipos ya han incorporado la posibilidad de hacer mediciones satelitales también a partir de la red GLONASS, de la Federación Rusa. Ambas redes (GPS + GLONASS conforman el denominado (GNSS – Sistema Global de navegación por Satélites). El concepto es exactamente el mismo. (Cid Jiménez 2007)

El sistema presenta algunas fuentes de error: pequeñas diferencias en los relojes de los satélites, diferencias en las órbitas, interferencias existentes en la atmósfera terrestre, multitrayectoria de la señal (rebotes), geometría satelital (ubicación espacial de los mismos) y errores propios del receptor GPS.

Cuando la precisión de las mediciones así lo exige, como en el caso de la Agricultura de Precisión, deben ser corregidas. Esta corrección se realiza mediante el apoyo de antenas terrestres (Beacon) o de satélites geoestacionarios. Este proceso se denomina “corrección diferencial” y, en este caso el sistema se denomina DGPS (Sistema de Posicionamiento Global Diferencial) o GPS con Corrección Diferencial.

Una corrección aún más precisa se puede lograr con los mecanismos denominados RTK (Real Time Kinematics), en los cuales las correcciones a la señal GPS son transmitidas en tiempo real desde un receptor de referencia, ubicado en un punto perfectamente identificado hacia otro, u

otros, receptores de posición desplazable. Este último sistema permite lograr precisiones del orden de los 2 cm.



Figura N° 5: Corrección de la señal GPS por RTK

3) El uso de sensores

En muchos casos puede resultar de suma utilidad el uso de “sensores cercanos”. Estos son mecanismos que permiten tomar mediciones puntuales sobre parámetros específicos que son importantes para conocer adecuadamente los lotes y hacer un mejor manejo sitio específico.

En algunos casos brindan la posibilidad de trabajar “en tiempo real”. Es decir que a medida que la máquina, provista de los correspondientes sensores, va avanzando sobre el lote, puede aplicar los insumos de acuerdo con las indicaciones que los sensores envían a la consola de control. Es el caso, por ejemplo, del N Sensor, del Weed Seeker y del Green Seeker y del Weed it que veremos más adelante.

Por otra parte, si el equipo está conectado a un sistema GPS, permite la elaboración de mapas georreferenciados que serán de suma utilidad en la planificación y elaboración de ajustes en el sistema de producción de cada establecimiento.

Algunos de los sistemas de sensores existentes son:

- Zeltex: Analizador de proteína y aceite en grano cosechado
- Veris: Medidor de la conductividad eléctrica del suelo.
- Sonda Enviroscan: medidor de la humedad edáfica a distintas profundidades. También permite la aplicación de otro tipo de sensores edáficos.
- Sensor N y Green Seeker: evalúan la necesidad de N en función del contenido de clorofila.
- Weed Seeker: Sensor de malezas.
- Weed it: Sensor de malezas.
- Cropmeter: medidor de biomasa en el cultivo.

Finalmente creemos importante mencionar el sistema de sensores para detección de malezas que se desarrolló en el Instituto de Ingeniería Rural del INTA.

Si bien el sistema, en una primera etapa se busca su aplicación solamente en lotes en barbecho, existe la firme voluntad de perfeccionar los mecanismos a fin de poder utilizarlo, también, con cultivos en pie.

Los trabajos publicados al respecto se encuentran disponibles on line (Moltoni y col 2005, 2006 y 2007)

4) El “ciclo de la Agricultura de Precisión”

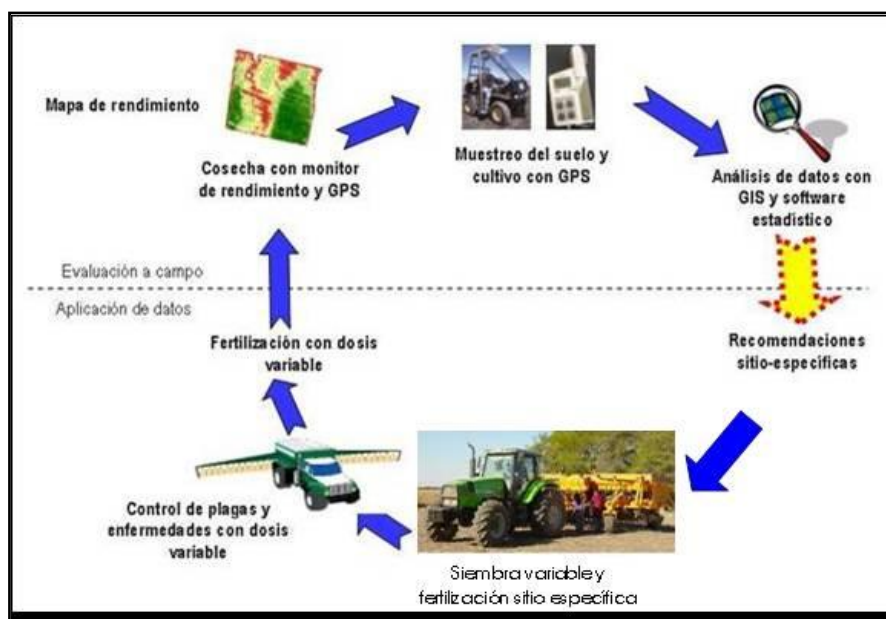


Figura N° 6: Esquema del ciclo de la Agricultura de Precisión. Fuente INTA. Proyecto Agricultura de Precisión

Tal como mencionáramos en la introducción, la Agricultura de Precisión implica un manejo sitio específico a fin de aprovechar al máximo las potencialidades de cada lugar del potrero. Por lo tanto, lo primero que se debe tener en claro es que si el lote es muy uniforme puede ser que no resulte conveniente utilizar estas técnicas y manejar el lote en forma homogénea, a la manera tradicional. Cuanto mayor sea la desuniformidad dentro del lote, mejores serán los resultados obtenidos al utilizar A.P.

Esquemáticamente, los pasos a seguir son los siguientes:

- Identificación de la variabilidad en forma objetiva y georreferenciada. La idea es definir y delimitar las zonas con diferentes potencialidades de producción. Las herramientas que se pueden utilizar en este paso son los mapas de rendimiento (para lo cual la cosechadora debe tener monitor de rendimiento), fotografías aéreas, imágenes satelitales, observaciones personales sobre los potreros, comparación de imágenes de año en año, etc.
- Determinar la causas de la heterogeneidad: posición de los suelos en el relieve, tipo de suelo, historia previa de manejo del potrero, presencia de tosca, profundidad de las napas, contenidos de materia orgánica, existencia de erosión, etc.
- Definir las estrategias de manejo para cada uno de los ambientes determinados: definir densidad de siembra y estructuras del cultivo, dosis variables de fertilización, eventual uso variable de agroquímicos, cálculo de extracción de nutrientes para su reposición, etc. (Programas GIS).
- Diseñar en qué forma se van a implementar las estrategias de manejo adoptadas para cada ambiente y las herramientas a utilizar: GPS a utilizar, banderilleros satelitales,

sensores diversos, monitores de control para cada operación, software a utilizar, manejo de registros, etc.

e) *Ajuste permanente de año en año en función de los resultados obtenidos.*

5.1. Banderilleros satelitales.

Es una herramienta que, mediante la utilización de un sistema GPS, permite definir con absoluta precisión cada una de las pasadas de la máquina, evitando los inconvenientes producidos por las superposiciones o solapamientos, como así también la existencia de zonas sin tratar (chanchos). No es una herramienta exclusiva para pulverizadoras, ya que otras máquinas pueden utilizarla (fertilizadoras, sembradoras, cosechadoras, etc.)

Es un mecanismo que reemplaza con amplias ventajas a los sistemas de demarcación tradicionales: el sistema de dos personas (banderilleros) que entre pasada y pasada se posicionan para que el conductor los tome como punto de referencia, así como también al sistema de marcadores de espuma.



Figura N° 7: Algunos modelos de banderillero satelital

Funciona de la siguiente manera:

Al ingresar a pulverizar un lote, se ubica a la máquina en un punto, que se define como punto de comienzo, o punto A en el receptor. Luego, haciendo la primera pasada, se avanza hasta el final del lote, donde se ingresa el punto B. En este momento, el banderillero traza infinitas líneas paralelas a la original A-B con una separación igual al ancho de trabajo de la pulverizadora (dato que debe ser ingresado por el operador).

Al finalizar cada pasada el sistema indica la posición de la siguiente para que el operador pueda ubicarse correctamente sobre la misma.

En algunos modelos una línea de luces marca la correcta dirección. Las luces centrales son verdes, en tanto que las laterales, que son rojas, indican que la máquina se está desviando hacia uno u otro lado. Por lo tanto se debe circular con las luces verdes centrales encendidas.

En otros modelos, directamente se marca sobre una pantalla una calle sobre la que se debe transitar, existiendo sistemas de alarma que se activan en caso de desviarnos de la trayectoria adecuada. Existen sistemas combinados.

A esta función básica, que era la única que tenían los primeros banderilleros satelitales se le fueron agregando otras a medida que iban evolucionando los equipos:

- Posibilidad de trabajar en líneas curvas (por ej. curvas de nivel).
- Posibilidad de trabajar “en contorno”.
- Memorias de recorrido efectuado y de la superficie tratada.
- Memoria de puntos de interés.
- Indicación de zonas sin tratar (obstáculos y corrección de la trayectoria)
- Función de retorno al punto de interrupción de trabajo.
- Bloqueo de sectores del botalón en caso de superposición de pasadas (corte por sección)

Finalmente se puede destacar que los sistemas más avanzados ya incluyen la posibilidad de conectarse con la consola de comando de pulverización, complementando perfectamente el sistema a fin de poder trabajar en Agricultura de Precisión, mediante un mapa de prescripción elaborado utilizando un programa GIS.

5.2. Autoguía Satelital (o Piloto Automático).

Es un paso más en la evolución de los sistemas de demarcación. Presenta todas las ventajas ya mencionadas para el banderillero satelital.

Pero además, el sistema no solamente delimita perfectamente cada una de las pasadas, sino que, automáticamente, un mecanismo actúa sobre la dirección del equipo de forma tal que no se hace necesario el manejo por parte del operador. Los equipos más evolucionados, inclusive, ya guardan en memoria los recorridos, inclusive con curvas y/o cabeceras, pudiendo repetir numerosas veces a dichos recorridos.

Teóricamente, el mismo podría ser prescindible en el trabajo, pero en la realidad esto no es así por dos motivos: interrupciones momentáneas de la recepción de las señales satelitales y presencia de obstáculos no especificados en los mapas de manejo sitio específico.

De todas maneras, estos sistemas permiten que el operario se pueda concentrar específicamente en el proceso de pulverización, disminuyendo además la fatiga propia del trabajo.

Tanto el “banderillero satelital” como el “piloto automático” son, ya, herramientas de uso habitual en nuestro medio.

6. Aplicación de agroquímicos en Agricultura de Precisión.

Siempre que hablamos de aplicación de agroquímicos, no ya en Agricultura de Precisión, sino con el sistema tradicional, hacemos hincapié en cuatro factores que definen el resultado:

- La calidad del agua de aplicación.
- Utilización del producto adecuado.
- El momento oportuno de aplicación.

- La distribución homogénea del producto.

Esta última consideración es, justamente, la que se contrapone a los conceptos de Agricultura de Precisión, que busca, precisamente, la aplicación de dosis variables.

Pero debemos tener muy en cuenta que, para este tipo de aplicaciones necesito dos tipos diferentes de herramientas que se complementen:

- Una máquina pulverizadora que me permita la aplicación de dosis variables, dentro de un rango amplio y con un tiempo de respuesta adecuado a las necesidades de las diferentes tareas.
- La posibilidad de elaborar, mediante algún programa GIS, un mapa de prescripción que defina, precisamente, cuáles van a ser las dosis a aplicar en cada ambiente o "sitio-específico", respondiendo a una lógica agronómica.

Analizaremos a estas dos herramientas en ese mismo orden.

6.1. Equipo necesario para Agricultura de Precisión:

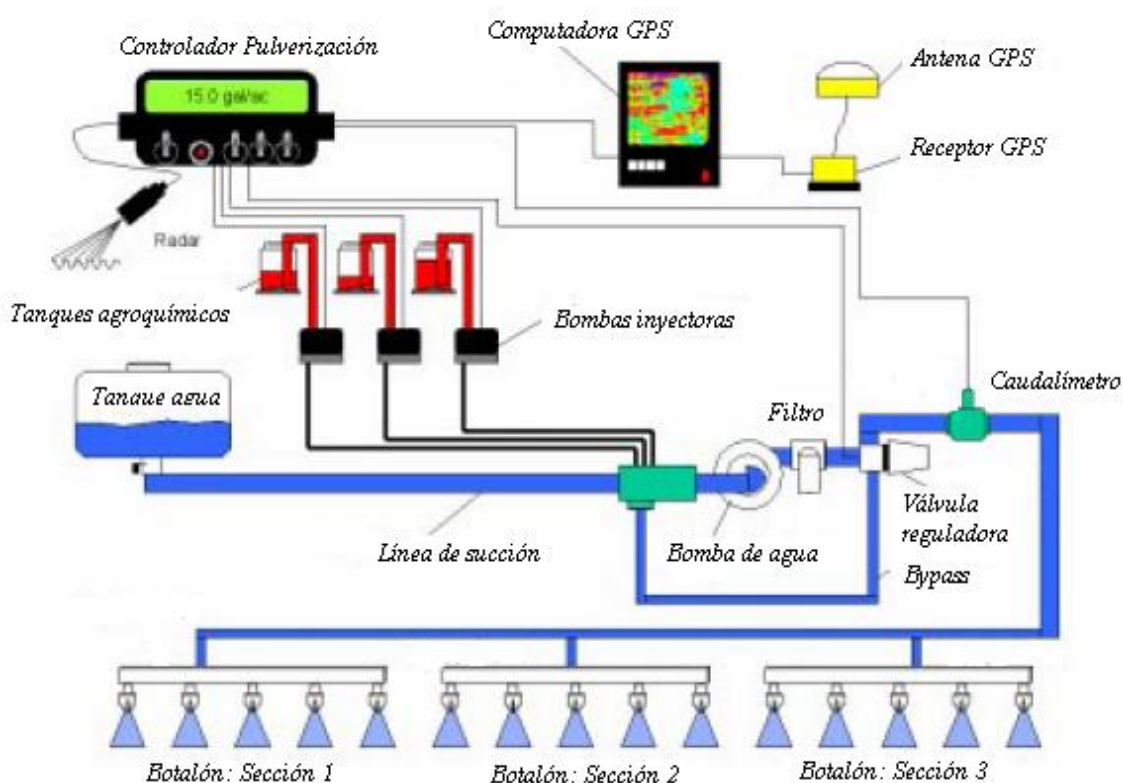


Figura N° 8: Equipo para AP utilizando sistema de inyección directa. Elaborado a partir de Landers 1992

Como puede verse en el esquema de la figura 7, necesitamos los siguientes elementos.

- Un sistema de recepción GPS.

- Un sistema GIS, con su correspondiente consola y software, que permita variar las dosis en los diferentes sitios del potrero según las prescripciones introducidas. Analizaremos luego este punto más profundamente.
- Un controlador del sistema de pulverización compatible con los equipos anteriores.
- Un mecanismo que nos permita, a la salida de los picos, variar efectivamente el caudal o la concentración del agroquímico a fin de modificar la dosificación.

Ya hemos visto en la introducción cómo funciona el sistema GPS y DGPS.

Los sistemas GIS, con su correspondiente software, en sus primeras versiones debían acoplarse a la consola de comando de la pulverizadora.

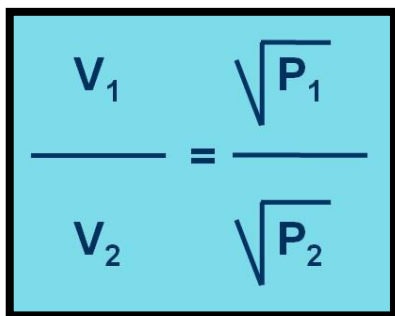


Figura N° 9: Distintas consolas de comando con sus sistemas GIS

Pero, en la medida en que los equipos fueron evolucionando, se generaron sistemas de monoconsola, que incluyen ambas funciones dentro de un único equipo, siendo esta la tendencia generalizada.

Ambas opciones se encuentran disponibles dentro del mercado y la elección del equipo deberá basarse en las prestaciones de cada uno y en su precio, teniendo en cuenta que normalmente no hay compatibilidad entre diferentes marcas.

Ahora bien, todas las computadoras de pulverización tradicionales basan su funcionamiento en el principio de modificar la presión de trabajo para ajustar el caudal. La relación entre caudales y presiones está establecida en la fórmula siguiente:



$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\sqrt{P_1}}{\sqrt{P_2}}$$

Es decir que partiendo de un volumen de aplicación (**V1**) y de una presión (**p1**) dadas, ante una modificación de la presión (**p2**), obtendremos un segundo volumen de aplicación (**V2**), cuya magnitud quedará definida por la fórmula anterior.

De la aplicación de la misma surge que **para duplicar el caudal debo multiplicar por cuatro la presión utilizada.**

La Norma ASAE EP 367.1 establece que **“la presión de operación también puede ser ajustada para modificar el volumen, siempre y cuando se opere dentro de una franja de presiones recomendadas y que ese ajuste del volumen sea inferior al 25%. Mayor variación afecta excesivamente el tamaño de gota y el perfil de distribución” (año 1985).**

Esta norma fue dictada ante la aparición de las primeras computadoras de pulverización, que ajustan el caudal por hectárea, ante modificaciones de la velocidad, en base a modificar proporcionalmente la presión.

Ahora bien, cuando estamos hablando, como en Agricultura de Precisión, de variaciones que exceden muy largamente el 25% mencionado en la norma, **debemos concluir en que las pastillas hidráulicas utilizadas actualmente para agroquímicos, no se adaptan al sistema de dosificación variable, ya que se afecta tanto el tamaño de gota como el perfil de distribución.**

No sucede lo mismo con los dosificadores para fertilizantes, por cuanto no producen gotas sino un chorreado. Se deberán respetar, en este caso, las presiones máximas toleradas por cada equipo, lo que se constituye, por lo tanto, en una nueva limitación, aunque, evidentemente, también afecta a las aplicaciones de agroquímicos.

6.2. Sistemas alternativos para dosificación variable en el botalón

En el punto anterior ya mencionamos que las controladoras comunes de pulverización no debieran efectuar ajustes superiores al 25 % del volumen a fin de no distorsionar ni el tamaño de las gotas producidas ni su distribución.

Cabe preguntarse, entonces, cuáles debieran ser los límites a cumplimentar a los efectos de considerar a un equipo pulverizador como apto para realizar dosis variables en Agricultura de Precisión. Otro aspecto a tener en cuenta debiera ser el tiempo de respuesta insumido para cambiar las dosis al pasar de un ambiente a otro con diferente prescripción de aplicación.

A dichos efectos nos ajustaremos a las pautas propuestas en el trabajo de Cid, Masiá, Mendez y Moltoni (2008) mencionado en la bibliografía, es decir:

- Las tareas deben estar absolutamente automatizadas mediante controladores.
- No se debe disminuir la capacidad de trabajo en relación con los equipos convencionales de pulverización.
- El equipo debe anticiparse a un cambio de ambiente (y de dosis) determinado en un mapa de prescripciones en función de su propio tiempo de respuesta. Es decir que, al momento de ingresar al nuevo ambiente, ya debe haber ajustado perfectamente la nueva dosis.
- En función de lo mencionado anteriormente, se podrían aceptar breves sobreaplicaciones a la salida de cada zona, pero no se aceptarían subaplicaciones al entrar a un nuevo ambiente.
- Las variaciones en las dosis deben poder ir de 0 a 8 litros/ha para herbicidas y de 0 a 450 litros/ha para fertilizantes líquidos. Estos son valores arbitrarios pero que se han fijado en función de los valores utilizados en nuestro país.
- Los tiempos de respuesta no debieran superar a los 10 metros para aplicaciones de fertilizantes líquidos y a los 2 metros en aplicaciones de herbicidas. En ambos casos la velocidad de trabajo de la pulverizadora no debiera superar a los 20 km/hora.
- En el caso de aplicaciones de herbicidas no debe distorsionarse ni las características de distribución ni el tamaño de las gotas. Esto pierde relevancia al tratarse de aplicaciones de fertilizantes líquidos.

Si bien estos puntos constituyen una propuesta o Protocolo de Cumplimiento se considera que los sistemas que se analizan a continuación debieran respetar dichas consignas.

6.2.1. Selección y combinación automática de pastillas.

Pastilla	Caudal (l/min)
A = 01	0,4
B = 02	0,8
C = 03	1,2
A + B	1,2
A + C	1,6
B + C	2,0
A + B + C	2,4

Cuadro N° 1: Selección-combinación automática de pastillas

Supongamos que en nuestro barral, a la distancia en que habitualmente se encuentran separadas nuestras pastillas “tradicionales”, colocamos una combinación de tres pastillas A, B y C, de caudales 01, 02 y 03 respectivamente, trabajando a 3 bares, cuyos caudales son los que indica el cuadro N° 1.

El sistema podría disponer el funcionamiento de alguna de las tres pastillas en forma individual, o bien la combinación de dos de ellas o, inclusive de las tres juntas. Con ello obtenemos un rango de caudales sumamente amplio. Modificando las presiones hacia arriba o hacia abajo se podrían obtener los caudales intermedios.

Obviamente cada una de las pastillas debe trabajar dentro de su rango de presión adecuado.

En este principio se basa el sistema “VarioSelect” de Lechler, así como también el sistema 4063 desarrollado por ARAG.

Pastilla IDK 120	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6
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+0,2+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

Cuadro Nº 2: Vario Select. Combinaciones y caudales

El cuadro que antecede muestra las posibilidades de variación de los caudales mediante el sistema VarioSelect, expresados en litros por hectárea y para diferentes presiones de trabajo. Del análisis del cuadro anterior surge que las variaciones de caudal se ajustan, en este caso, a lo previsto en 6.2., tanto en lo que hace a fertilizantes como a herbicidas. Sin embargo no nos ha sido posible obtener información sobre los tiempos de respuesta al transitar un cambio entre diferentes ambientes. Informalmente, sabemos que los tiempos de respuesta son excesivos para lo que se pretende.

6.2.2. Sistemas de inyección directa.

El principio de funcionamiento consiste en inyectar el agroquímico puro en forma directa en el pico pulverizador. La inyección debe hacerse en ese punto y no en algún punto anterior del circuito pulverizador a fin de evitar la demora necesaria para la llegada al producto al pico, así como su posterior etapa de "limpiado"

El sistema permite aplicar más de un producto ya sea en forma individual o simultánea con otros, pero para ello cada uno de los agroquímicos debe contar con su propio tanque de carga, y con su correspondiente bomba individual dosificadora.

El sistema tiene la gran ventaja de que, al cargarse el tanque principal solamente con agua, el circuito trabaja "limpio", no existiendo riesgo de contaminación al lavar los equipos y no existiendo restos de agroquímicos sin aplicar en la pulverizadora al finalizar las tareas cotidianas.



Figura N° 11: Sistema Jacto de Inyección directa. Fuente Torres. 2004

La firma Jacto ofrece como un opcional en sus pulverizadoras un sistema de inyección directa que permite trabajar en forma simultánea o individual con tres agroquímicos diferentes. El sistema cuenta con su propia consola de comando.

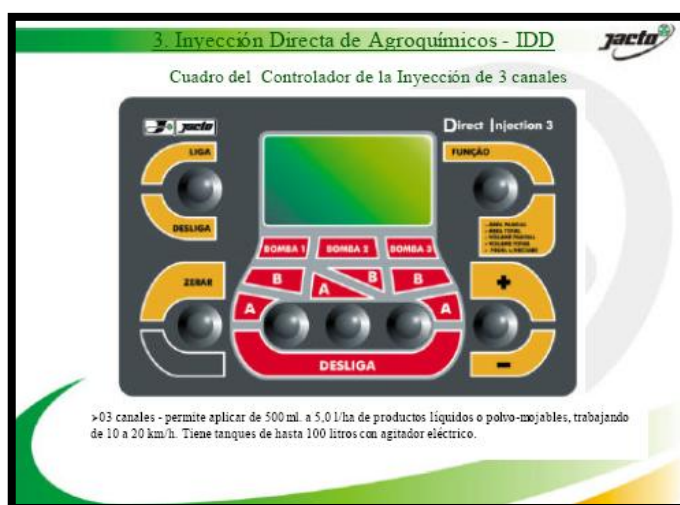


Figura N° 12: Consola del sistema de Inyección Directa Jacto de 3 canales. Fuente Torres 2004

Varias empresas, además de Jacto ofrecen sistemas de Inyección Directa, entre ellas Raven y TeeJet (esta última en conjunto con Mid-Tech)

Al intentar encuadrar este sistema en las pautas fijadas en 6.2. por Cid, Masiá, Méndez y Moltoni, surge claramente que no es un diseño previsto para aplicaciones de fertilizantes líquidos, ya que en el tanque principal solamente se coloca agua pura y las variaciones de dosis se realizan en la inyección de cada producto.

En cuanto a los tiempos de respuesta, el citado trabajo aclara que los mismos superan las pautas establecidas.

6.2.3. Sistema de Pulsos de Amplitud Modulada (Pulse Width Modulation)

Es un sistema que, en nuestro país, no ha alcanzado su fase comercial. En EEUU es ofrecido en los equipos Case como un opcional, incluyendo la controladora, un sincronizador de picos y el sistema propiamente dicho en cada uno de los picos e pulverización.

Este último se inserta en la parte superior de la pastilla, abriendo y cerrando el paso del líquido mediante oscilaciones electrónicas sumamente rápidas, lo que genera un funcionamiento, que en la práctica puede asimilarse a un caudal continuo.

Se puede regular los porcentajes de tiempo en el que el pico está abierto y/o cerrado, siendo el caudal, por lo tanto, dependiente de este porcentaje, de la pastilla que se esté utilizando y de la presión de trabajo, aún cuando se procura no modificar este parámetro a fin de no alterar las características de la pulverización.

Lógicamente, el sistema permite el recambio de pastillas ante diferentes requerimientos de caudal.

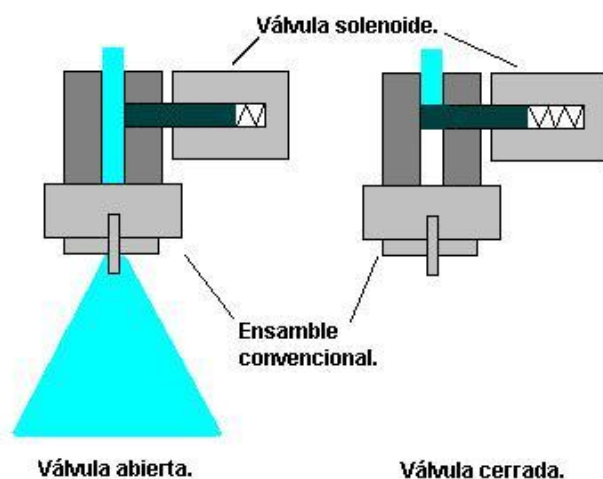


Figura N° 13: Sistema PWM. Adaptado de Ess y Col 2001

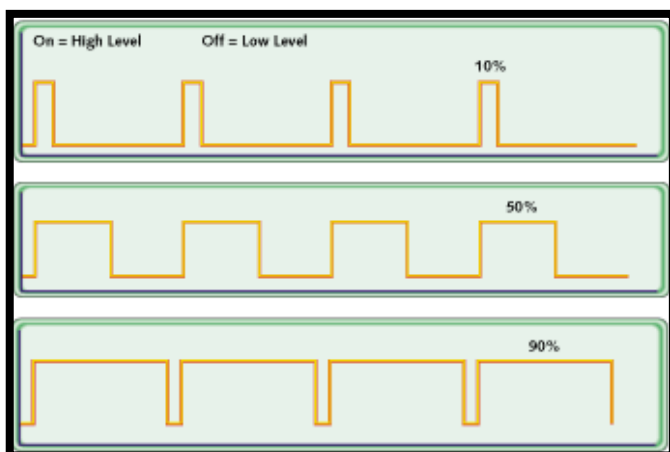


Figura N° 14: PWM. Esquema de diferentes porcentajes de paso del líquido modificando caudal.

El sistema funciona en una frecuencia de 10 Hz, con una tasa de ciclo (Duty Cycle) del 10 al 100 % (regulación de salida de líquido). El tiempo de apertura y cierre de cada ciclo es de 4 milisegundos y se requiere de 8 milisegundos para el pasaje de totalmente abierto a totalmente cerrado o viceversa.

Es, por lo tanto, un sistema que se adaptaría a las propuestas de Cid, Masiá, Méndez y Moltoni, tanto en lo que hace a caudales como a la velocidad de respuesta.

Cabría pensar, inclusive, en un sistema combinado de selección-combinación de pastillas en conjunto con PWM, con lo cual los rangos de aplicación y velocidades de respuesta variarían en forma casi instantánea.

6.2.4. Vari-Target.

Es el más reciente de los desarrollos tendiente a lograr dosis variables en pulverizaciones y ha sido objeto del premio ASABE 2006 a la innovación tecnológica.

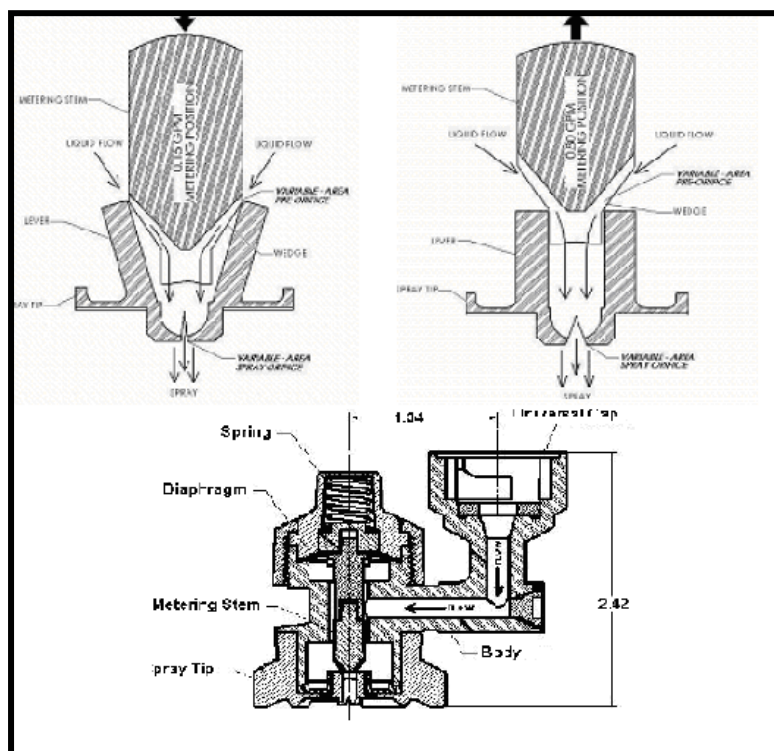


Figura N° 15: Vari Target. Fuente Bui 2005

El líquido debe pasar por un preorificio superior, que regula el caudal y un orificio de salida que regula las características del spray. El preorificio superior es regulado por una cuña o chaveta de posición variable, en tanto que el orificio inferior se modifica como consecuencia de la deformación general del dispositivo.

Existen dos modelos: uno para aplicaciones sistémicas y otro para productos de contacto.

En el primero de ellos, ante variaciones de presión de 15 a 65 psi, el caudal varía desde 0,10 hasta 0,80 galones por minuto, en tanto que el DVM de las gotas pasa de 425 a 325 micrones.

En el modelo para productos de contacto la variación de caudal es la misma, pero el DVM pasa de 240 a 200 micrones, con lo que se logra una cobertura sensiblemente mayor.

En los dos casos el ángulo de aplicación es de 110° y el tiempo de respuesta es menor a 0,25 segundos.

En función de lo expuesto anteriormente, el sistema se adaptaría perfectamente a la aplicación de herbicidas, tanto en lo que hace a dosis como a tiempos de respuesta.

Sin embargo, para la aplicación de fertilizantes líquidos no alcanzaría a cubrir los 450 litros por hectárea pautados en el punto 6.2.

Es un sistema que no ha llegado a desarrollarse comercialmente en forma amplia.

6.2.5. Pastillas Agrotop Modelo TurboDrop VR.

Recientemente la firma Agrotop de Alemania ha desarrollado estas pastillas que, según las especificaciones del fabricante, tienen un rango tal de variación del caudal al variar la presión que reemplazarían aproximadamente a 4 pastillas convencionales del mismo tipo pero de caudales diferentes. Por ejemplo, la Turbo Drop VR 1,5 a 2 bares de presión tiene un caudal de 0,49 l/min, pero a 10 bares el mismo es de 2,05 l/min.

Este tipo de pastillas se fabrican en tres variantes: standard, alta velocidad, con doble abanico y para fertilizantes.



Figura N° 16: TurboDrop VR std

6.2.6. Maquinaria disponible en nuestro país.

Los primeros pasos en cuanto a la fabricación nacional de una pulverizadora con dosis variable fueron dados con la firma PLA S.A. con el Sistema Vario Select (de Lechler – Alemania) en combinación con la computadora Müller, del mismo origen.

Un avance notable sobre este sistema es el denominado Seletrón, de ARAG. El concepto es el mismo, selección y/o combinación de picos, pero en este caso mediante un sistema totalmente electrónico, con lo cual los tiempos de respuesta son de centésimas de segundo. Además permite un corte pico por pico en caso de superposiciones.



Figura N° 17: Sistema Seletron de ARAG

Se espera, además, a la brevedad, el ingreso de sistemas de Modulación por ancho de pulsos.

7. Situación actual en diferente tipo de aplicaciones. Posibilidades de generar mapas de prescripción. Sistemas alternativos.

7.1. Aplicación de Fertilizantes Líquidos.

Tal como se mencionara anteriormente, la aplicación de fertilizantes líquidos no presenta el inconveniente de que el tamaño de gotas y la distribución se modifican ante cambios en la presión de trabajo. Esto es así ya que los fertilizantes líquidos se aplican, o bien a chorrillo simple con discos dosificadores, con o sin bajadas, o bien con pastillas para fertilizantes de chorros múltiples. Pero sea cual fuere el método elegido, el tamaño de gotas pierde relevancia en este caso.

Podría pensarse entonces en aplicar fertilizantes en dosis variable con un equipo convencional. Pero, en este caso, el factor que sigue siendo una limitante es la presión de trabajo máxima. Recuérdese que para duplicar el caudal, la presión debe ser multiplicada por 4 (ver módulo 6 – punto 3). Se debe tener en cuenta que algunos componentes de la pulverizadora pueden no resistir presiones mayores a 10 bares (filtros, válvulas, abrazaderas). Esto constituye un límite a un esquema de variaciones amplias, por lo que, de todas maneras, se hace necesario contar con alguno de los mecanismos descritos anteriormente para dosis variable.

En cuanto a la elaboración de mapas de prescripción en base a programas GIS, no existen hoy impedimentos para su desarrollo en base al análisis de información recopilada durante todo el ciclo de la Agricultura de Precisión.

Vale decir que el esquema de uso de DGPS, mapa de prescripción GIS y equipo de dosis variable es perfectamente utilizable para la aplicación de fertilizantes líquidos.

Es importante, además, mencionar que existen otros equipos para la aplicación de fertilizantes nitrogenados que funcionan en base a sensores de diferentes tipos, para su uso exclusivo sobre cultivos en pie.

7.1.1. N-Sensor.



Figura N° 18: N-Sensor Fuente: www.sensoroffice.com

Es un sistema que consta de 4 dispositivos, dos a cada lado, que le permiten ir sensando el estado del cultivo y su demanda de nitrógeno en base a la evaluación de la masa verde y su contenido de clorofila. Estos dos últimos parámetros están directamente relacionados con la cantidad de nitrógeno requerida.

Los sensores del sistema informan al procesador, que evalúa la cantidad de nitrógeno que está consumiendo el cultivo en cada sitio y, en base a ello dosifica el fertilizante requerido, ya sea en forma sólida o líquida, dependiendo del equipo utilizado.

Su capacidad de medición es de 50 m² por segundo.

El sistema fue ensayado en nuestro país con resultados satisfactorios por Melchiori y col (2001).

7.1.2. Green Seeker.

El funcionamiento es muy similar al del sistema anterior, pero en este caso cada equipo mide un área mucho menor, de 60 x 60 cm por segundo, enviando cada uno de ellos la información sensada a un procesador central.

Idealmente, podría colocarse uno en el lugar de cada pastilla. Pero por razones económicas normalmente se opta por colocar uno por cada sector de botalón.



Figura N° 19: Green Seeker. Fuente NtechIndustries Inc.



Figura N° 20: Green Seeker. Fuente NTech Industries Inc.

El Green Seeker puede funcionar tanto de día como de noche, ya que cuenta con sensores lumínicos.

Los sensores reaccionan en base a los denominados "NDVI (Normalized Difference Vegetative Index) o Índices Normalizados de Diferencia Vegetativa que les permiten diferenciar y "decidir" la cantidad de nitrógeno a incorporar en tiempo real. Si se los complementa con un sistema DGPS-GIS permiten elaborar mapas de aplicación para posteriores usos.

Los principales inconvenientes de estos dos equipos (N-Sensor y Green Seeker) son los siguientes:

- Costo muy elevado hasta este momento.
- Cada cultivo tiene NDVI diferentes, lo que obliga a desarrollar algoritmos para cada cultivo en particular. Algunos cultivos no tienen desarrollado dicho algoritmo.
- En el caso de la soja, las lecturas pueden verse interferidas por los mecanismos de fijación biológica de nitrógeno.
- Algunos investigadores han mencionado que el sistema no funciona adecuadamente cuando existen otras limitantes al desarrollo vegetal, además de la disponibilidad de nitrógeno.

7.2. Aplicación de Herbicidas.

Como ya hemos visto en los puntos anteriores que existe la posibilidad de equiparse con pulverizadoras aptas para Agricultura de Precisión, esto es: GPS – GIS, controlador automático de tareas y dosis variable.

Las preguntas que debemos formularnos son:

- ¿Es posible elaborar mapas con la distribución de las malezas en los potreros?
Si esto es así: ¿son estos mapas lo suficientemente “estables” para un uso confiable?
- ¿Es posible aplicar dosis variables para el combate de malezas?
- ¿Qué posibilidad existe de combatirlas mediante el uso de detección por sensores?

En cuanto a la primera pregunta, no cabe ninguna duda de que la presencia de malezas, así como también su conformación (cantidad-especies existentes), no es un parámetro tan estable como, por ejemplo el tipo de suelo o la posición en el relieve.

No obstante ello, algunas opiniones autorizadas sostienen que las malezas, especialmente las de tipo perenne, tienen una distribución relativamente estable durante un número dado de años, eventualmente, con algún tipo de corrección manual.

Este tema fue objeto de un minucioso análisis presentado por parte del Dr. Eduardo Leguizamón en el 8º Curso de Agricultura de Precisión, Octubre 2008, Manfredi Córdoba, concluyendo que podrían elaborarse mapas de malezas que, si bien no serían absolutamente estables, de alguna manera conformarían una base relativamente confiable de trabajo. Para ello podría discriminarse por bandas multiespectrales mediante sensores remotos instalados en satélites, aviones o helicópteros pequeños así como también en minitractores autoguiados.

Debiera procurarse confeccionar el mapa con la mayor cercanía posible a la fecha de aplicación. En este sentido, si bien podría disponerse de fotografías aéreas o satelitales, las mismas no se encuentran tan fácilmente disponibles para fechas cercanas de obtención.



Figura N° 21: Trabajos I.I.R. INTA para mapeo de malezas

En el Instituto de Ingeniería Rural del INTA se desarrollaron experiencias mediante el uso de un UAV con sistema de piloto automático que permitía un adecuado “barrido” de los lotes a tratar. Se esperaba, de esta manera, lograr un método que permita hacer un seguimiento de las malezas y su mapeo en forma rápida y económica. Hoy la experiencia fue abandonada, ya que varias empresas privadas se dedicaron a esta actividad, algunas de ellas haciendo el relevamiento de los lotes mediante UAV propios (estudio G & D) y otras, ofreciendo en el mercado UAV’s con el software adecuado para estas tareas (Geosistemas, Runco). Además, están comenzando a utilizarse para estas tareas los denominados “drones” de diversos formatos, que tienen la ventaja de poder variar su velocidad, detenerse, ascender o bajar sobre un sitio y seguir recorridos “no lineales”



Figura 22: Dron tipo “hexacóptero”

Como otra alternativa se ha puesto a disposición de los usuarios un software gratuito (Weedsite) para el manejo sitio específico de malezas. El sistema necesita en forma previa que el lote sea recorrido por un tractor equipado con cámara fotográfica y GPS. Se puede descargar desde la página <http://arsagsoftware.ars.usda.gov/> correspondiente al Agricultural Research Service del Departamento de Agricultura de EEUU. Queda pendiente la tarea de adaptar dicho software a la realidad de nuestro país.

En cuanto a la segunda pregunta, sobre si es posible aplicar dosis variables, la respuesta es que a cada maleza le debe llegar la cantidad necesaria para su control, ni más ni menos, y que actualmente, no disponemos de ningún mecanismo que determine esto fehacientemente y de manera automatizada maleza por maleza o punto por punto. Por lo tanto, y hasta que estos mecanismos no se desarrollen adecuadamente, las dosis serán homogéneas dentro de cada ambiente definido, variando, eso sí, las dosis entre diferentes ambientes.

No obstante ello debemos hacer una salvedad que creemos de importancia. Cuando estamos aplicando un producto uniformemente en función de la superficie, y la densidad de malezas es diferente en diferentes lugares del potrero, no hay ninguna duda de que la aplicación no es homogénea en función de la superficie foliar de las malezas. Esto es porque aplicamos una misma cantidad sobre superficies foliares diferentes.

Quizás ello implique, que en un futuro, las aplicaciones de herbicidas (y de insecticidas y fungicidas) dependan en AP de lectores de biomasa vegetal, al menos en cultivos ya instalados. Los primeros modelos de estos lectores de biomasa ya son una realidad.

En cuanto a la utilización de sensores, tercera pregunta formulada, nos detendremos en tres de ellos: el Weed Seeker, el sensor desarrollado en el IIR por parte del equipo del Ing. Moltoni, y el Weed it.

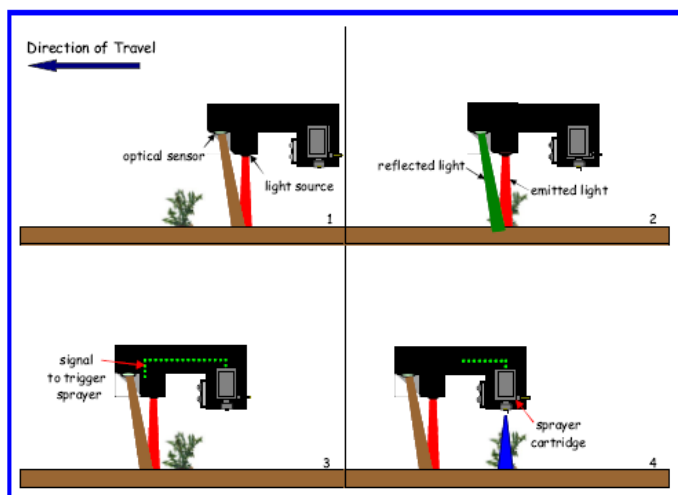


Figura N° 23: Weed Seeker. Fuente Ntech Industries Inc.

El Weed Seeker, elaborado por N-Tech. Industries, al igual que el Green Seeker, se coloca en el botalón de la pulverizadora, en el lugar de cada pastilla. En este caso no existe la posibilidad de colocar uno por cada sector del botalón. El equipo está normalmente cerrado. Cuando el sensor óptico detecta a las malezas y envía la información a la controladora, esta dispone la apertura de una válvula que habilita a la pastilla pulverizadora del equipo, la que es accionada aplicando solamente sobre la maleza en cuestión.

El sistema permite trabajar en tiempo real, tanto de día como de noche, pero no distingue malezas de cultivos, por lo que su uso se limita a los lotes en barbecho o, a lo sumo, a entresurcos amplios o utilizando pantallas protectoras que oculten al cultivo.

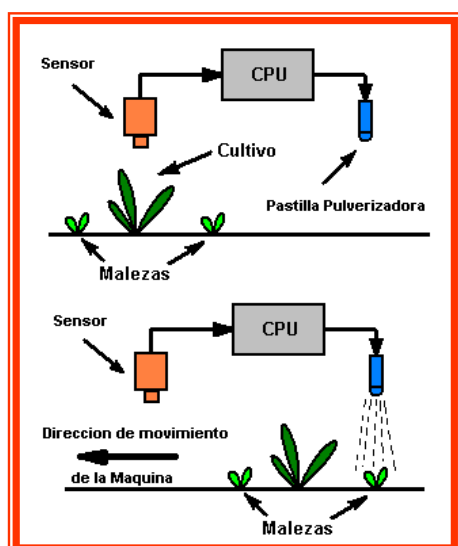


Figura N° 24: Esquema sensor de malezas IIR

En cuanto al sistema desarrollado en el IIR, el sistema funciona de manera muy parecida, habiéndose ensayado con éxito a los prototipos y constatado el correcto funcionamiento de los sensores, ya que se han superado con éxito las etapas dinámicas de ensayo a campo.

Se prevé que su uso principal será en barbechos. Téngase en cuenta que en la actualidad, en nuestro país, cerca del 60 por ciento de las aplicaciones corresponden a glifosato.

Los análisis económicos realizados marcan incrementos en los márgenes brutos del cultivo entre el 1,26% y el 9,20% según el diferente nivel de enmalezamiento y la zona de explotación (Moltoni 2005).

En cuanto al tercer sensor de malezas, denominado Weed it e importado por la firma Geosistemas SRL, se trata, sin ninguna duda, del más evolucionado de los tres, con 40.000 lecturas por segundo, una velocidad máxima de trabajo de 25 km/hora y capacidad para detectar malezas hasta del tamaño de una moneda.



Figura N° 24: Detector Weed it

La idea es que los sistemas se perfeccionen hasta llegar al punto en que el sensor diferencie malezas de cultivo, a fin de poder utilizarlo en cultivos en pie y no solamente en barbechos. Existen varios estudios proyectos científicos en este sentido, sin que hayan alcanzado un desarrollo comercial.

De todas maneras, debe entenderse que, hasta el momento, estos sistemas de aplicación de herbicidas mediante sensores no se ajustan al criterio de “dosis variable”. Ésta es siempre la misma, activándose o no mediante un sistema complejo de ON-OFF

7.3. Aplicación de insecticidas y fungicidas.

Si bien hay muchos investigadores trabajando en la interpretación de imágenes obtenidas en infrarrojo cercano (NIR) y en infrarrojo térmico (TIR), con resultados prometedores, por el momento no es posible confeccionar mapas georreferenciados sobre la presencia de insectos y enfermedades en los cultivos.

El comportamiento de los mismos es sumamente dinámico, variando de año en año e inclusive dentro del mismo año durante periodos cortos cuando se presentan las condiciones favorables, particularmente en el caso de insectos.

Tampoco existen sensores que permitan un manejo en tiempo real. Sin embargo, en ocasiones, empresas que realizan tareas de monitoreo de plagas, cuentan con la información de la ubicación GPS de las mismas y su intensidad. Contando con este material se podría, perfectamente, hacer aplicaciones localizadas.

Por lo tanto, por el momento, consideramos que no es posible el uso de A.P. para estos casos, aún cuando no se descartan avances en este sentido.

8) Conclusiones:

- *Existe, con mayor o menor grado de dificultad, disponibilidad de equipos para hacer aplicaciones de agroquímicos dentro de los conceptos de Agricultura de Precisión.*
- *No obstante ello, existen dificultades objetivas, de índole mayormente biológica, que han demorado el desarrollo de los mapas para aplicación de herbicidas.*
- *Esto se presenta en mayor medida en el caso de los insecticidas y los fungicidas, al punto de que hoy no es posible elaborar dichos mapas, salvo relevamientos manuales.*
- *Solamente en el caso de la aplicación de fertilizantes líquidos, están dadas todas las condiciones para su utilización inmediata y sin mayores inconvenientes.*
- *Probablemente, en un futuro no muy lejano, en la medida en que se desarrollen medidores o sensores de biomasa vegetal, las aplicaciones sean homogéneas en función de la biomasa vegetal y no en función de la superficie.*
- *Es de esperar que el uso de sensores de diferentes tipos se extienda. Quizás en un futuro cercano nos permitan georreferenciar plagas insectiles o enfermedades para utilizar dosis variables.*

9) Bibliografía consultada

- Bongiovanni, R; Mantovani E. Ch.; Best S.; Roel A; (Editores)- Agricultura de Precisión, Integrando Conocimientos para una Agronomía Moderna y Sustentable. - Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimenticio y Agroindustrial del Cono Sur. – PROCISUR.- Autores Varios Montevideo – Uruguay – 2006.
- Cid Jimenez, Gabino: 2007. Sistemas Globales de Navegación por Satélites. En 7º Curso Internacional de de Agricultura de Precisión y 2ª Expo de Máquinas Precisas. Resúmenes de trabajos Presentados. INTA Manfredi, Córdoba, Julio de 2007.
- Cid R; Masiá G; Méndez A; Moltoni A; Propuestas para la Evaluación de los diferentes sistemas de aplicación de dosis variables con fertilizantes líquidos y herbicidas. En 8º Curso de Agricultura de Precisión – INTA Manfredi – Octubre 2008.-
- Ess D.R., Parsons S.D., Medlin C.; 2001 . Implementing Site Specific Management – Sprayer Technology – Controlling Application Rate and Droplet Size on the go. SSM-5-W. Purdue University
- Fernandez Quintanilla; Barroso; La evaluación de malezas dentro de la Agricultura de Precisión – Secretaría de Investigaciones – Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad nacional de Rosario – Argentina – Revista de la facultad de Ciencias Agrarias – Año 2001 – Nº 1.
- INTA. Proyecto Nacional de Agricultura de Precisión. Actualización Técnica Nº 7. Febrer0 2007.
- Landers A., 1992. The characteristics and Performance of a direct injection crop sprayer. Ph. D. Thesis – University of Bath
- Leguizamón Eduardo: La Ecología de Malezas y la Agricultura de Precisión – En 8º Curso de Agricultura de Precisión . INTA Manfredi - Octubre 2008.
- Mantovani E., Carvalho Pinto F. de A., Marçal de Queiroz D., Capítulo 1- Introducción a la Agricultura de precisión - del Libro Agricultura de Precisión: Integrando Conocimientos para una Agricultura Moderna y Sustentable. PROCISUR: Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico, Alimentario y Agroindustrial del Cono Sur. Editores: Bongiovani R, Mantovani E., Best S., Roel A. – Montevideo – Uruguay – 2006.
- Melchiori R.J.M., Barbagelata C., Christiansen ., Von Martini A.; 2001. Manejo Sitio Específico de Nitrógeno en Maíz: Evaluación del N-Sensor. VII Congreso Nacional de Maíz. Pergamino. Argentina
- Moltoni A.F.; Moltoni L; 2005 . Pulverización selectiva de herbicidas: implicancias tecnológicas y económicas de su implementación en la Argentina. INTA. Instituto de Ingeniería Rural.
- Moltoni A.F., Moltoni L., Venturelli L., Fuica A., Masiá G.; 2006. Site specific weed control: desempeño de un detector de maleza diseñado y construido en el Instituto de Ingeniería Rural de INTA Castelar (Parte I) INTA. Instituto de Ingeniería Rural.
- Moltoni A.F., Masiá G., Fuica A., Moltoni L., Venturelli L., Cid R.: 2007. Site specific weed control: desempeño de un detector de maleza diseñado y construido en el Instituto de Ingeniería Rural de INTA Castelar (Parte II) INTA. Instituto de Ingeniería Rural.
- Quy D. Bui. 2005. VariTarget: A new nozzle with variable flow rate and Droplet Optimization. ASAE Paper Nº 051125 in 2005 ASAE Annual International Meeting. Tampa-Florida
- 7º Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 2ª Expo de Máquinas Precisas. Resúmenes de trabajos Presentados. INTA Manfredi, Córdoba, Julio de 2007.

- *8º Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 3ª Expo de Máquinas Precisas. Resúmenes de Trabajos Presentados. INTA Manfredi, Córdoba, Octubre de 2008.*
- *Torres F. 2004. La Experiencia de Jacto en Agricultura de Precisión. En 5º Curso de Agricultura de Precisión. INTA EEA Manfredi 13-15 Julio 2004*
- *Von Martini A., Bragachini M., Bianchini A.; 2008 -Sistemas de posicionamiento. Artículo Técnico en:*
<http://agriculturadeprecision.org/sistpos/SistemasPosicionamiento.htm>