

El camino hacia una agricultura con maquinarias autónomas: el control de malezas

Ing. Agr. Ramiro E. Cid – INTA – Instituto de Ingeniería Rural – rcid@cnia.inta.gov.ar

1) Resumen.

El uso de maquinarias autónomas en la producción agropecuaria es un proceso que aún no ha comenzado en nuestro país y que, a nivel mundial no ha pasado aún de la etapa de investigación y desarrollo. Sin embargo, algunos de los componentes de estos sistemas ya se encuentran en el mercado, y su constante perfeccionamiento hacen suponer que en no muchos años tendremos los primeros equipos disponibles, particularmente relacionados con el control de malezas.

Se pretende presentar una visión general de los avances en la materia, tanto en lo que se refiere a equipos específicos desarrollados completamente, como así también analizar los trabajos realizados en varios campos de la investigación que, en forma conjunta, indudablemente colaborarán en el desarrollo de maquinarias autónomas: sistemas de autoguiado, detectores de malezas, mapeo de malezas, interpretación de imágenes e, inclusive, control de malezas mediante métodos diferentes del sistema tradicional de aplicación de agroquímicos en cobertura total.

Palabras clave: sistemas autónomos, detección de malezas, transmisión de información.

2) Introducción.

Desde la más lejana antigüedad el hombre ha dedicado la mayor parte de sus esfuerzos agrícolas al control de las plagas, transformándose esta actividad en una parte fundamental de la actividad.

Hay antecedentes de uso de pesticidas desde el año 4500 AC con referencia al uso de azufre en Sumeria para control de hongos. Mucho más tarde, hacia el Siglo XV se utilizaron sustancias como arsénico, mercurio y plomo para combatir malezas. Más cerca de nuestra época, en el siglo XIX aparecieron los primeros insecticidas naturales como el piretro (del crisantemo) y la rotenona (de raíces de plantas tropicales) (www.pollutionissues.com)

Pero recién en 1939 fue descubierto por Paul Müller el DDT, que luego de la Segunda Guerra Mundial tendría uso masivo como insecticida y daría comienzo a la etapa en la cual el uso de agroquímicos se transforma en la principal manera de control de las plagas.

Sin embargo, debió transcurrir poco tiempo para que se tomara conciencia de que el uso indiscriminado de pesticidas podía ser atentatorio contra el medio ambiente.

En 1962 es publicado el libro “Silent Spring” (Primavera Silenciosa) escrito por la científica estadounidense Rachel Carson, en el cual se denuncian los efectos negativos del DDT, particularmente por su carácter “lipofílico”, que determinaba que se fijara a las grasas, produciendo el fenómeno de “biomagnificación”. Esto significa que, en la medida en que los organismos menores son consumidos por los mayores, el contenido del plaguicida se va concentrando hasta llegar a los mayores predadores, incluido el hombre. La autora acuñó, por primera vez el término “ecosistema” y se le puede atribuir el mérito de haber abierto la puerta de la conciencia ambiental. Sin embargo, no puede desconocerse que muchas de sus

afirmaciones sobre los agroquímicos, a la luz de la experiencia actual, han resultado claramente desmedidas.

Desde ese momento y hasta la actualidad ha habido un proceso de toma de conciencia mediante el cual ha quedado muy claro que el uso indebido y abusivo de los agroquímicos es perjudicial para la salud de las personas y para la preservación de los recursos naturales: agua, fauna y flora. Su adecuada utilización requiere de profundos conocimientos y de la instalación de mecanismos de control en la sociedad, así como también de maquinaria cada vez más eficiente y precisa, que siga los criterios de A.P.

En nuestro país, a pesar de los avances logrados en el campo de la preservación de la salud de los aplicadores, aún queda mucho camino por transitar hasta llegar a las condiciones laborales ideales (Vaca C. 2005). Algo similar sucede en el ámbito de la atención médica primaria (Bulacio y col. 2005). Y sin ninguna duda debe avanzarse en la capacitación de los aplicadores con la obligatoriedad de que posean una matrícula habilitante y con verificación periódica de sus máquinas, tal como lo establecen las leyes de uso de agroquímicos de algunas provincias.

Volviendo a la relación con el medio ambiente, periódicamente ocurren incidentes que ponen de manifiesto la conflictiva relación existente entre el uso de agroquímicos y las visiones productivas fuertemente ecologistas.

*En este sentido fue paradigmático el “caso Aguilucho Langostero”. Durante 1996, la comunidad científica y de la conservación internacional e, inclusive, la opinión pública se vio sacudida por el envenenamiento masivo de estas aves (*Buteo swainsoni*). La causa había sido un insecticida de muy amplio uso agrícola: el monocrotofos, cuyo uso fue prohibido y las partidas en circulación retiradas del mercado (Zaccagnini 2005). Además, como resultado de este incidente, con financiación de INTA, del United State Fish and Wildlife Service (USFWS) y del Neotropical Migratory Bird Conservation Act (NBMCA) y Canadian Wildlife Service, se instaló un proyecto de monitoreo constante de la población de aves que incluyó, como uno de sus productos un software denominado “Calculadora de Riesgo Ecotoxicológico para Aves” (Zaccagnini y col 2004).*

Otra muestra de la conflictiva relación agroquímicos-ecología es el surgimiento de lo que se ha dado en llamar la “producción orgánica” o “producción ecológica”. Este es un método agrícola que procura imitar a los ecosistemas naturales en los cuales las plagas se encuentran contrabalanceadas por los organismos benéficos, procurando mantener, además, a los suelos en su plenitud de fertilidad. (Organic Farming Compliance handbook www.sarep.ucdavis.edu/organic/complianceguide/intro.htm. Este esquema productivo, no permite el uso de agroquímicos. Pero, evidentemente, no puede alcanzar a cubrir la demanda total de alimentos, siendo sus costos sensiblemente mayores que los de la agricultura convencional, y, en ocasiones, con productos de menor calidad.

Es decir que, lamentablemente, y a pesar del reconocimiento de los problemas que, mal manejados, pueden ocasionar los pesticidas, no se ha podido encontrar ningún método que los sustituya con la misma eficacia en el control de las plagas, de manera tal de poder cubrir la demanda general de alimentos a valores económicamente accesibles.

Las cuestiones económicas ocupan también un papel fundamental. Como dato meramente indicativo los porcentajes, sobre el costo directo total de implantación de un cultivo, correspondientes a los tratamientos fitosanitarios, para un manejo promedio en nuestro país,

se calcularon en el 16,35 % para el trigo, 40,25 % para la soja de primera, 14,63 % para el maíz y 33,03 % para el girasol (calculado a partir de Información de Márgenes Agropecuarios – marzo 2009).

Dentro de las plagas a combatir, sin lugar a dudas las malezas ocupan un lugar preponderante. Su mismo origen etimológico – del latín *malitia*: malicia – da una idea de su carácter perjudicial. En investigaciones realizadas sobre el cultivo de girasol se pudo determinar pérdidas en el rendimiento entre un 4 y un 78%, con un promedio del 38 % según el grado de enmalezamiento del cultivo (Gries 2003). Múltiples factores inciden en el grado de enmalezamiento (Schweitzer 1983; Conn and Thomas 1987; Becket et al 1988).

Otro indicio de su importancia económica está dada por la utilización de herbicidas en los cultivos: según datos de CASAFE en nuestro país se utilizaron durante el año 2007 unos 198,42 millones de Kg o litros de herbicidas con un costo total de 932,22 millones de dólares. Numerosos trabajos indican que las malezas no poseen una distribución homogénea en toda la superficie de los lotes a cultivar, sino que suelen presentarse mediante manchones irregulares, pudiendo existir pocas áreas con elevada densidad y muchas otras con niveles poblacionales bajos o nulos (Leguizamón E. 2005, Fernandez Quintanilla C. y Barroso J. 2001)

Este tipo de observaciones da origen al criterio de Manejo Sitio Específico de Malezas (Site Specific Weed Management – SSWM), mediante el cual se busca aplicar el herbicida solamente en los lugares donde las malezas se hallan presentes y no sobre la totalidad de la superficie – en cobertura total – tal como se está haciendo en la actualidad.

El SSWM queda claramente englobado dentro de los conceptos de Agricultura de Precisión, donde los insumos se aplican en forma distinta según los requerimientos de cada ambiente dentro del lote, reconociendo el criterio de variabilidad (Menendez 2007). Los requerimientos básicos para llegar al SSWM fueron planteados por Cid (2007) y profundizado y ampliado por Cid y col. en 2008.

Hatfield (2001) presenta un esquema de cómo debiera orientarse la AP con el objetivo de lograr un adecuado manejo de las malezas con menor impacto ambiental y en forma económicamente viable. Auernhammer 2001 considera, además, que el éxito en la evolución del SSWM quedará inevitablemente ligado a que su utilización genere indudablemente mayores réditos a los productores que la adopten, por lo que el paquete tecnológico debiera ser accesible. Además sugiere que sería conveniente la búsqueda de mecanismos de compensación económica hacia aquellos productores que generen menor contaminación ambiental.

Carrara y col (2004) concluyeron que, haciendo aplicaciones de herbicida en dosis variables sobre trigo duro en la isla de Sicilia, habían logrado un ahorro del 29 % en este producto, con menor contaminación ambiental. Se logró, además, el mismo nivel de control de las malezas. El ahorro de herbicida se atribuyó a la distribución en manchones de las malezas.

Leguizamón (2008) confirma esta distribución de las malezas en “manchones” o “parches” y acepta que el desarrollo de tecnologías que permitan la aplicación solamente en esos sitios, en el momento y la dosis más apropiada debiera conducir en el corto o mediano plazo a una disminución de los costos y del riesgo ambiental y a una mayor aceptación social de los métodos de producción. Define, por otra parte, a los manchones como “poblaciones (de malezas) que aparecen localizadas en forma más o menos estable durante un periodo variable, superior a un año”.

Moltoni y Moltoni (2005) calcularon los siguientes incrementos en los márgenes brutos del cultivo de soja obtenidos a partir de la reducción en el uso de herbicidas mediante SSWM, no ya con la aplicación de dosis variables sino, simplemente con la aplicación o no de

herbicida (on-off) a través de la detección de las mismas mediante un sensor desarrollado en el IIR del INTA.

| Reducción de herbicidas Aplicados | Soja | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|--------------|---------------|
| | Incremento en el Márgen Bruto | | |
| | Norte Bs. As. | Sur Santa Fe | Oeste Bs. As. |
| 30% | 1,61% | 1,26% | 4,04% |
| 50% | 2,53% | 2,10% | 6,58% |
| 70% | 3,45% | 2,95% | 9,20% |

Cuadro 1: Incremento en márgenes brutos por ahorro de herbicidas (Moltoni y Moltoni . 2005)

Queda, pues, planteado que los caminos tecnológicos que en el futuro se orienten al control de plagas en general, y de malezas en particular deben contemplar en forma ineludible las siguientes condiciones:

- Incrementar la calidad en el control de las plagas. Como alternativa de mínima se podría contemplar un mismo nivel de control, pero nunca inferior.
- Tener en cuenta la salud de las personas, tanto de aquellas que se encuentran directamente involucradas en el proceso productivo, las que residen en zonas cercanas al establecimiento agrícola y aquellas que son consumidoras de los productos obtenidos.
- Tener el menor impacto ambiental posible, llevándolo a un nivel de mínimo riesgo o de riesgo cero.
- El costo económico debiera ser inferior al de los sistemas actuales, contemplando el ahorro de insumos por su aplicación localizada.
- Los productores debieran percibir claramente la conveniencia económica de adaptar estas nuevas tecnologías.

Katupitiya e Eaton aseveran que, en un futuro cercano, la siembras deberán tener un nivel de georreferenciación tal que se conozca la ubicación exacta, planta por planta. Así, los posteriores combates de las malezas se harán teniendo en cuenta fundamentalmente a la posición de las mismas; todo lo que no se encuentre en el lugar que le corresponde a una planta del cultivo, será considerado una maleza.

La tecnología disponible en la actualidad en el campo de la electrónica, los mecanismos de guiado automático de las maquinarias y los sistemas ópticos de última generación volcados a la detección de malezas permiten concluir que el diseño de instrumentos absolutamente autónomos para su control, sin que ello sea una alternativa excluyente, es hoy una factibilidad concreta.

En el presente informe se busca brindar un panorama sobre los avances tecnológicos y herramientas existentes en este campo, así como también sobre los diversos intentos y resultados sobre desarrollo de sistemas absolutamente autónomos para el control de malezas, en primera instancia, o bien para otro tipo trabajos agrícolas, en tanto y en cuanto se considere que su diseño puede servir como base, como etapa intermedia o como una herramienta más para la obtención de dicha maquinaria.

3) Componentes de los sistemas autónomos.

Slaughter, Giles y Downey (2008) señalan que todo equipo absolutamente autónomo (o robotizado) para el control de malezas, debe contar, al menos, con los siguientes tres sistemas o componentes:

- a) Guiado automático: este componente permite planificar la ruta o recorrido del robot. Este recorrido podrá ser eventual o permanente según las necesidades de nuestro esquema de producción.*
- b) Detección automática de las malezas, pudiendo, de alguna manera, diferenciarla de los cultivos.*
- c) Un mecanismo de respuesta, asociado como respuesta al punto anterior, que genere la remoción o destrucción de la maleza.*

En líneas generales compartimos este criterio, más allá de que indudablemente pueden existir sistemas autónomos que operen en cobertura total, por lo que el segundo aspecto no sería imprescindible. Pero creemos, además, que vale la pena considerar otros dos elementos: la plataforma móvil que va a transportar a todos los mecanismos y los sistemas de transmisión inalámbrica.

Un mal diseño de la plataforma base puede ser una seria limitante para las actividades posteriores. De manera sencilla podemos pensar en la misma como en el tradicional tractor que arrastra a un componente. Pero los sistemas de guiado autónomo no contemplan normalmente a dicho componente al doblar en las cabeceras, y esto se puede transformar en una seria dificultad que debe ser contemplada.

El segundo punto, las comunicaciones inalámbricas pueden ser consideradas como meros mecanismos transmisores de información sobre los trabajos realizados (ubicación, porcentaje del lote tratado, agroquímico consumido) o bien como medio de comunicación, articulación y comando entre diversas máquinas autónomas, para coordinar las actividades. Inclusive, uno de los desarrollos que mencionaremos más adelante contempla un sistema de múltiples robots pequeños, uno de los cuales funciona como master y el resto como esclavos a través de conexiones inalámbricas.

3.1. El guiado automático:

Existen, básicamente, dos grupos de sistemas de guiado automático: aquellos que basan su funcionamiento en la recepción de señal satelital y aquellos que lo hacen en base a sensores ópticos de diferentes tipos.

3.1.1. Guiado automático satelital.

Estos surgen como una continuación casi lógica de los sistemas de guiado satelital, comúnmente llamados “banderilleros satelitales”.

En su forma más simple, el operario se situaba en el punto en el cual comenzaría la tarea diaria, marcando en ese lugar el llamado “punto A”. Luego comenzaba a movilizarse siguiendo la primera pasada hasta que, habiendo hecho un cierto recorrido, marcaba el “punto B”. El banderillero satelital, marcaba una recta uniendo los dos puntos marcados, definidos claramente en longitud y latitud, y luego una serie indefinida de rectas paralelas a la anterior de un ancho exactamente igual al ancho de labor de la tarea a realizar.

Más adelante, los banderilleros satelitales fueron desarrollando, además, la posibilidad de trabajar siguiendo curvas, siguiendo contornos o siguiendo, por ejemplo, el dibujo de un círculo de riego (Bragachini y col. 2005)

Dado que en nuestro país el único sistema satelital disponible es el GPS, para alcanzar precisiones aceptables se utiliza un corrector denominado RTK (Real Time Kinematics).

En otros lugares están disponibles otros sistemas satelitales: GLONASS, operado por el Ministerio de Defensa de la Federación Rusa y GALILEO, de la Comunidad Europea. Todos estas constelaciones satelitales, más aquellas que se vayan incorporando, podrían, eventualmente, brindar servicios en forma conjunta en el futuro (Cid Jiménez-2007).

RTK es una estación terrestre de ubicación conocida, cercana al vehículo en operación, con un alcance de unos 15 - 17 kms. La ventaja es que sirve como base de ajuste a múltiples vehículos. Los sistemas GPS tradicionales, sin señal correctora tienen diferencias de más de 10 metros. Los DGPS suelen tener diferencias submétricas, pero el caso del RTK permite lograr exactitudes del orden de los 2 a 2,5 cm (según información suministrada por la firma John Deere para sus productos StarfireRTK trabajando con Autotrak - sistema de autoguía satelital) http://www.deere.com/es_AR/ag/ams/starfire.html

Como una continuación lógica de los sistemas de guía satelital, que marcaban muy claramente las trayectorias a seguir por la máquina, se pensó en lograr una automatización mayor, surgiendo los métodos de guiado automático satelital (o piloto automático). En este caso, el sistema de recepción de la señal satelital corregida (DGPS en nuestro país) la envía a un controlador o computadora que evalúa si el vehículo está siguiendo la trayectoria correcta. De no ser así, realiza una corrección para retomar a la misma.

Los primeros sistemas que ingresaron a la Argentina lo hacían a través de un componente que operaba girando el volante del tractor hacia uno u otro lado. Hoy, la mayoría de los mecanismos lo hacen a través de un componente que interviene directamente sobre la dirección hidráulica del vehículo motor.

Gan Mor y col.2007, usando este sistema de guiado, determinaron que las desviaciones del un implemento con enganche de tres puntos era fuertemente dependiente de su distancia al eje trasero del tractor, de la velocidad de trabajo y de la regularidad del suelo sobre el cual se transita. Esto implica que, por más que el tractor siga una línea adecuada, las oscilaciones del implemento significan desviaciones que deben ser tenidas en cuenta.

Esto puede ser muy importante en ciertos cultivos. Abidine y col (2002) determinaron que un implemento utilizado para control mecánico de malezas, operado a 5 cm de la línea de un cultivo de tomate dañaba a un 4 % de las plantas jóvenes, mientras que el mismo implemento a 7,5 cm. no causaba daño alguno.

Ensayos efectuados en el INTA Manfredi evaluaron la diferencia en los rendimientos económicos en maní, en la medida en que la reja inversora se alejaba de la línea central del cultivo. Para ello cotejaron un cultivo manejado de la manera tradicional vs. otro en el cual el tractor era guiado en la siembra y en la cosecha mediante un sistema RTK-GPS, encontrando una diferencia en los rendimientos de 400 kg a favor de la segunda. En función del valor del cultivo y de los implementos a utilizar, la adquisición del sistema de guiado se justificaba plenamente (Bragachini y col 2009).

Por otra parte, Noboru y col (2001) midieron desviaciones no mayores a 3 cm, trabajando a una velocidad de 9 km/hora utilizando un tractor robotizado mediante el uso de RTK-GPS sumado a la incorporación de un giróscopo de fibra óptica (FOG-Fiber Optic Gyroscope) y una unidad inercial de mediciones (IMU – Inertial Medition Unit). El tractor utilizado fue un Kubota MD 77 comercial.



Figura 1: Test del Sistema de Navegación GPS, ubicado sobre el terreno con Google Earth (de Katupitiya e Eaton. 2008).

Cabe mencionar, finalmente, que Ta-Te Lin y col (2008) desarrollaron un programa GIS con realidad virtual basada en visión estéreo computacional (VRGIS). Mediante este sistema, en forma computacional, se recrea la realidad tridimensional de cada punto de avance mediante el uso de varios pares de imágenes panorámicas reconstruidas hacia un sistema de visión stereo. Dichas imágenes son transformadas en mapas electrónicos que registran un VRGIS a escala real, lo que permite la navegación sobre la realidad virtual.

3.1.2. Guiado automático por sensores ópticos.

En uno de los primeras aproximaciones a este tipo de mecanismos, Arnex Navigation Systems AB, de Suecia, desarrolló un sistema óptico laser para determinar la posición de trabajo sobre la base reflectores pasivos simples. El navegador tenía un laser rotativo que se montaba sobre el vehículo y recogía las señales recibidos desde reflectores ubicados sobre el perímetro del lote. (Holmqvist 1993- citado por Keicher y Seufert 2000).

La exactitud de los movimientos era dependiente de la distancia a los reflectores y de la velocidad del vehículo, así como también de la cantidad de reflectores colocados y de su posición en el terreno. Para una distancia de 50 metros, y a una velocidad aproximada de 7 kms/hora, las desviaciones típicas eran de unos 5 cm para los tres ejes dimensionales. Es evidente que hoy se buscan mecanismos con más exactitud y menos complejidad operativa, pero es válido como antecedente.

Stentz y col (2002) desarrollaron un sistema óptico que, montado sobre un tractor u otro tipo de maquinaria, era capaz de detener la marcha en un trayecto predeterminado, cuando se detectaba sobre el recorrido algún tipo de obstáculo imprevisto, ya fuera una persona, un animal u otro vehículo. Para recomenzar las tareas era preciso que un operador reactivara una señal inalámbrica.

Billingsley a Schoenfisch (1997) dieron forma a un sistema de autoguiado que tomaba como base para el avance las líneas determinadas por las hileras de un cultivo de algodón. El sistema tenía la capacidad de corregir las irregularidades en esta línea y de proyectarla en aquellos sectores donde estaba ausente por fallas en la siembra. Lograron una exactitud de 2

cm., siendo éste el primer antecedente que hemos encontrado sobre el sistema de guiado por los surcos del cultivo.

Hoy, un sistema similar es ofrecido por una firma danesa. La misma ofrece un sistema con una o con dos cámaras que van siguiendo la línea definida por el centro de cada hilera de cultivo. La opción con dos cámaras se debe utilizar cuando existen fallas en algunas hileras y se precisa de una segunda "hilera guía". www.eco-dan.com. El sistema permite trabajar con un nivel de precisión inferior a los 2,5 cm.

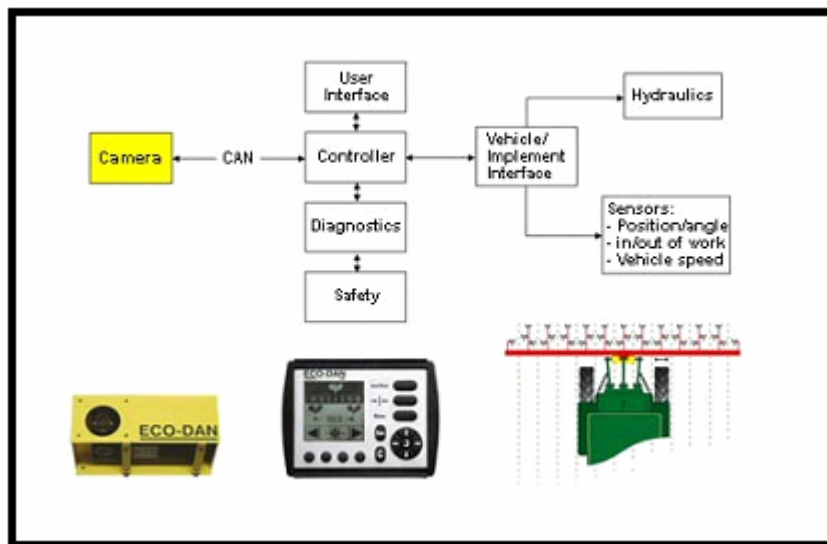


Figura 2: Esquema del sistema Eco-Dan de guiado por surcos.

Evidentemente, el sistema de guiado que utiliza para ello a las líneas de cultivo, presenta el serio inconveniente de que no puede utilizarse cuando el mismo no ha emergido.

Sumando a las dos opciones, DGPS + guiado por surcos, la firma Claas comercializa el denominado sistema AGROCOM Duo Drive, que combina su sistema de guiado por GPS, Agrocom E-Drive GPS, con un sistema óptico basado en una cámara 3D llamado EYE-DRIVE. Ello permite realizar con precisión todas las tareas desde el momento del barbecho, aplicaciones previas mediante un sistema DGPS y contar luego, cuando el cultivo ya ha emergido, con un segundo sistema, en este caso óptico, siguiendo a las líneas del cultivo ya implantado. <http://www3.agrocom.de/index.php?a=621>

3.2. Sistemas de detección de malezas.

Existen numerosos trabajos dedicados a la creación de sistemas de detección de malezas para efectuar aplicaciones selectivas.

Moltoni y Moltoni (2005) los clasifican en dos grandes grupos: detectores mediante sensores ópticos y mediante visión artificial. A su vez, dentro del primer grupo los divide en dos clases: por detección del color (verde) y por detección del rojo e infrarrojo cercano (RR/NIR). En tanto que dentro del segundo grupo los divide en tres clases: por análisis del color, por análisis de forma y por análisis de textura. Menciona, a su vez, la existencia de sensores combinados, es decir, que utilizan más de una herramienta de detección.

Esta sola clasificación ya da una idea de la cantidad de los trabajos que se están llevando a cabo en este sentido. De hecho, la firma N-Tech Industries ya ha colocado en el mercado,

desde hace varios años, un sensor de malezas que comercializa bajo el nombre de Weed Seeker (www.ntechindustries.com). Este sensor funciona sobre la base de la reflexión infrarroja.

Dentro del Instituto de Ingeniería Rural del INTA fue desarrollado un sensor de malezas que funciona en forma pasiva, es decir dependiendo de la luz solar y que funciona sobre la base de la reflexión de las ondas del infrarrojo cercano (Moltoni y col 2006 y Moltoni y col 2007). Actualmente se está trabajando a los efectos de transformarlo en activo, es decir, con iluminación artificial que permita su uso nocturno o en condiciones de baja visibilidad.

Hemming y Rath (2001) trabajaron sobre un sensor que analizaba en forma conjunta formas y colores, con lo que llegaron a niveles de identificación de diferentes especies de malezas entre el 51 y el 95 %. Admitieron, sin embargo, dificultades para el reconocimiento de las especies cuando diferentes malezas se encontraban entremezcladas en manchones. Los trabajos se realizaron a campo y con iluminación artificial.

Un estudio realizado en la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica – 2001) permitió diferenciar hasta el 86 % de especies vegetales de malezas y cultivos por las características de sus respectivos espectros de reflexión (Feyaerts F., van Gool L. 2001).

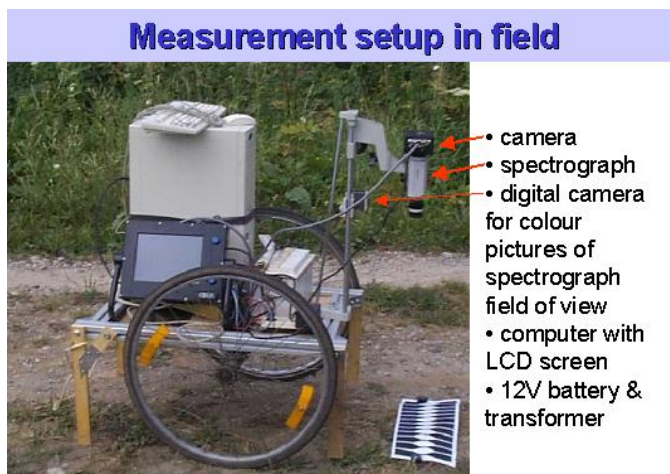


Figura 3. Espectrómetro utilizado en los ensayos de la U. Católica de Lovaina

Otros estudios en el mismo centro y con la misma técnica permitieron diferenciar en condiciones de laboratorio a 4 cultivos y 7 malezas. Posteriormente se realizaron los ensayos a campo con los mismos resultados sin necesidad de ajustes.

<http://www.biw.kuleuven.be/aee/amc/research/precag/Projects/weed/weed.htm>

En concordancia con ello, otro estudio (Bossu y col 2005) determinó que la identificación de malezas en condiciones de laboratorio era factible, pero que la misma, en condiciones de campo y en tiempo real no había sido exitosa.

Tellaeche y col (2008) proponen un método para la identificación de malezas y su posterior aplicación selectiva de herbicidas basado en el método Bayesiano (1) de segmentación de imágenes obtenidas a campo. El esquema de trabajo se presenta en la figura 4.

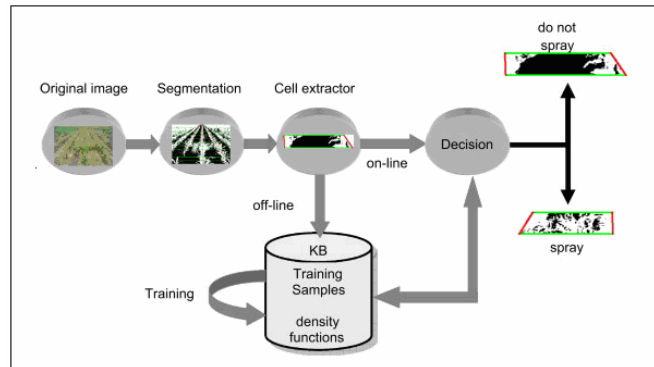


Fig 4: Esquema del método de segmentación (Tellaeché y col 2008.)

A su vez, en la figura 5 se puede apreciar dos imágenes tomadas a campo (parte superior) y su segmentación (parte inferior) para su posterior análisis por medio del método Bayesiano que implicará la toma de decisión sobre donde hacer las aplicaciones y donde no.

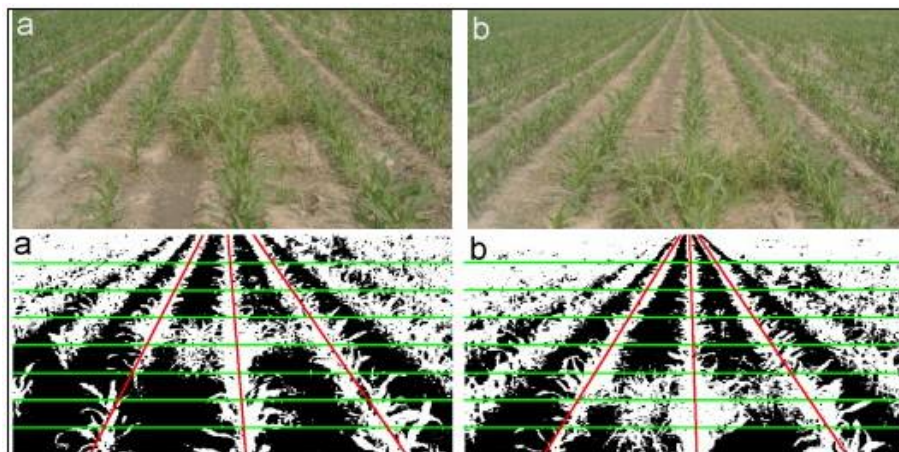


Figura 5: segmentación de imágenes (Tellaeché y col 2008)

Dammer y Wartenberg, 2005, en ensayos llevados a cabo entre 2000 y 2003, sobre cultivos de cereales y maní, mediante aplicaciones con herbicidas, utilizando sensores de malezas,

pudieron constatar, no solo una importante disminución en la cantidad de agroquímico utilizado, sino también que la población de malezas no presentaba diferencias significativas en relación con la metodología tradicional de cobertura total en etapas posteriores a la cosecha de los cultivos.

(1) Los métodos bayesianos, con una interpretación diferente del concepto de probabilidad, constituyen una alternativa a la estadística tradicional centrada en el contraste de hipótesis, denominada por contraposición estadística frecuentista. En esencia se diferencian en que incorporan información externa al estudio para con ella y los propios datos observados estimar una distribución de probabilidad para la magnitud -efecto- que se está investigando.

A modo de síntesis sobre los mecanismos de detección de malezas, podemos afirmar que:

- Existen numerosas iniciativas de investigación en diferentes partes del mundo.

- *Ya existen mecanismos altamente exitosos en cuanto a reconocer donde existe vegetación y donde no la hay. Esto permite efectuar las aplicaciones en tiempo real bajo determinadas condiciones (barbechos, entresurcos de cultivos).*
- *Existen, también, mecanismos que permiten identificar diferentes especies de malezas y de cultivos incorporando posteriores trabajos de laboratorio.*
- *Sin embargo, al día de hoy, la complejidad de los sistemas informáticos necesarios hace que la detección y aplicación en tiempo real con este tipo de detectores sea altamente dificultosa, requiriendo un cierto tiempo para su procesamiento. No obstante ello, no debe dejar de tenerse en cuenta que, dados los grandes avances en cuanto a velocidades de procesamiento de los equipos computarizados, dentro de no mucho tiempo estos sensores podrían llegar a ser viables en tiempo real.*

4) Mapeo de malezas.

Fernandez Quintanilla y Barroso (2001) plantean muy claramente las ventajas de generar mapas de malezas para luego transformarlos en mapas de prescripción de aplicación de agroquímicos: ahorro de insumos y menor contaminación al medio ambiente. Los autores consideran que, dada la tendencia de las malezas a distribuirse en forma irregular sobre la superficie de los lotes, a la posibilidad de demarcar perfectamente estas zonas mediante GPS y a la existencia de numerosos programas GIS, la aplicación de dosis variables de herbicidas o, inclusive, la posibilidad de utilizar diferentes herbicidas en diferentes lugares, pasa a ser algo factible.

En el mismo sentido se manifiesta Leguizamón (2005) al manifestar que “el avance de los fundamentos teóricos y de las tecnologías GPS, la fotografía aérea de alta definición y el análisis multiespectral mediante sensores remotos, permitirá disponer en un futuro próximo de mapas de tratamiento muy refinados, base de la aplicación sitio específica de insumos”. Confirma, también, que las malezas se presentan en forma de manchones, existiendo pocas áreas con elevada densidad y muchas otras con niveles poblacionales o nulos.

*En nuestro país, un claro ejemplo de la utilidad de poder desarrollar mapas de malezas fue dado por Olea y col (2003) al distinguir, en cultivos de caña de azúcar (*Saccharum spp*), las zonas invadidas por tupulo (*Sicyos polianthus*) basándose en las diferentes reflectancias de las longitudes de onda correspondientes al infrarrojo cercano en imágenes aéreas. El método permitió distinguir claramente las zonas invadidas y realizar los tratamientos localizados correspondientes.*

Johnson y col. (2006) demostraron que en campos con larga historia de actividades agrícolas, el uso de malezas podía ser sustancialmente disminuido si se confeccionaban mapas de malezas, ya que las mismas se encuentran altamente agregadas. En cultivos de soja y maíz, en los que se había hecho tratamientos con agroquímicos en las hileras del cultivo y control mecánico en el entresurco, el 30 % de la superficie de los entresurcos estaba libre de malezas de hoja ancha y el 70% libre de gramíneas, en tanto que en las hileras estos valores ascendían al 71% y 94% respectivamente (esto implica también una mayor eficiencia en el control de los métodos químicos sobre los mecánicos)

Pero, más allá de la demostrada conveniencia de utilizar mapas de distribución de malezas, sigue existiendo un impedimento muy concreto para su difusión: la complejidad para realizar los mapas. Es una obviedad afirmar que el uso de estos mapas no se instalará como una práctica habitual hasta tanto el costo de confección y su dificultad sea mayor que el de una

aplicación en cobertura total. Es por ello, que deberán realizarse más esfuerzos para simplificar las tareas que hacen a su confección.

Schuster y col. (2007) compararon, en tal sentido, tres metodologías diferentes para elaborar mapas de malezas: el sistema manual tradicional, que consiste en realizar grillas sobre el lote y hacer muestreos a campo con un nivel de repeticiones que lo hagan suficientemente demostrativo, uno semiautomático, fotografiando manualmente las mismas grillas y analizándolas "a posteriori" y uno automático que consistía en montar cámaras en un tractor y procesar en forma computarizada las imágenes obtenidas. Este último sistema fue claramente el más rápido pero, además, permitió reconocer el 98% de las dicotiledóneas y el 75% de las monocotiledóneas. Los ensayos se hicieron sobre un cultivo de remolacha azucarera.

Downey y col, 2004, en un cultivo de algodón, mediante una metodología muy similar, una videocámara montada sobre un tractor, también fueron obteniendo imágenes que luego procesaron y mapearon con un 85% de efectividad mediante el uso de RTK-GPS y programas GIS.

En la página <http://arsagsoftware.ars.usda.gov/agsoftware/> se puede descargar el software Weedsite Beta Version 1.00.111 que permite, acoplado una cámara fotográfica a un vehículo que recorra un lote, con el conjunto GPS-GIS, realizar el mapeo de malezas de los lotes. Sin embargo las malezas no son las mismas en todos lados y su aplicación seguramente requerirá de trabajos de adaptación a cada realidad.

Koller y Lanini (2005) confeccionaron mapas de malezas al momento de la cosecha utilizándolos como base de aplicación para el cultivo siguiente. Los ahorros de herbicida fueron del orden del 24 al 39%.

En cuanto al uso de imágenes aéreas para la confección de los mapas, ya mencionada por Leguizamón (obra citada) y efectivamente utilizada por Olea y col. (obra citada), Lamb y Brown (2001) concluyen que las imágenes satelitales no tienen un nivel de definición suficiente como para confeccionarlos de manera tal que sean confiables, pero que las imágenes obtenidas por avión sí lo permiten, trabajando dentro del rango del RGB (espectro visible) y del infrarrojo cercano (NIR).

5) Los sistemas de transmisión inalámbrica.

Se puede entender a las transmisiones inalámbricas como el proceso mediante el cual se envía información a través de ondas de diferente longitud a través del aire.

Por información se puede interpretar: datos, sonidos, videos, televisión, GPS e inclusive respuestas que activan mecanismos. Ejemplos cotidianos de su uso son las activaciones de alarmas (y cierre) de las puertas de los vehículos, la apertura-cierre de portones de garage, el encendido-apagado de diversos electrodomésticos, el radio control de aviones de aerodelismo, el seguimiento y control satelital de vehículos de diferente tipo, etc.

El equipamiento requerido para efectuar transmisiones inalámbricas requiere de un transmisor y de un receptor. El primero de ellos envía la información transformada en ondas y el segundo recibe dichas ondas y las transforma nuevamente en información.

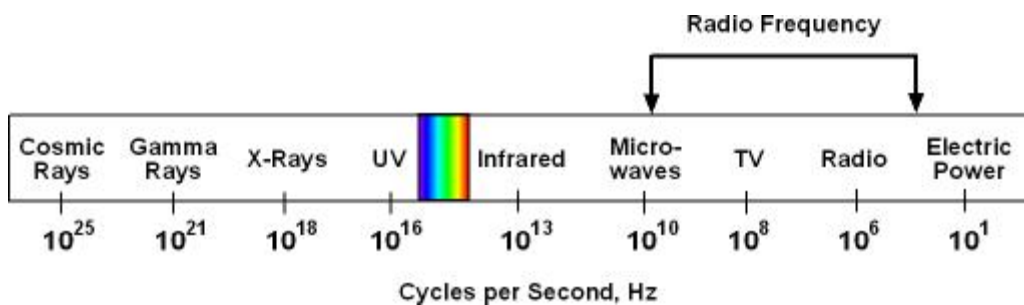


Fig. 6: Espectro electromagnético: fuente : Watermeier 2004.

Escapa al objetivo de este trabajo evaluar la tecnología de las transmisiones inalámbricas: simplemente nos limitaremos a mencionar algunos de sus posibles usos en el ámbito agrícola, así como también antecedentes existentes.

Wang y col. 2006, mencionan experiencias efectivamente llevadas a cabo mediante el uso de tecnologías inalámbricas en los siguientes campos: monitoreo ambiental y climático (con georreferenciación), transmisión de datos para su uso en A.P., irrigación precisa, tecnología de dosis variable, guiado automático de vehículos agrícolas y su gestión, procesos robotizados, automatización de invernáculos, alimentación de ganado en feed-lots y trazabilidad de productos alimenticios desde el campo hasta el consumidor.

En el Instituto de Ingeniería Rural de INTA se hicieron ensayos de transmisión inalámbrica, en bandas libres, sobre información de trabajos realizados a campo hacia un punto receptor de los datos: posición geográfica y velocidad de avance (Moltoni y col. 2009), midiendo los errores de transmisión (pérdida de datos), los cuales no superaron el 1,42 % a 27 km/hora de avance del tractor.

La firma alemana Claas ofrece para sus cosechadoras el llamado sistema Telematics. El mismo permite controlar el rendimiento de la cosechadora por internet, mediante un registro de usuario y un código de identificación. Cada 15 segundos el sistema copia información del CAN BUS y mediante un módem de telefonía móvil se llama a una estación de traspaso de datos que, a su vez, los envía a Internet cada 15 minutos. Así se va informando sobre datos de cosecha (rendimientos puntuales y promedios, superficie cosechada, etc.), de funcionamiento de la máquina cosechadora (plataforma embragada o no, velocidad del molinete, posición del mecanismo de corte vario, altura de corte, velocidad del cilindro, posición del cóncavo, velocidad del ventilador de limpieza, etc) y de rendimiento de la misma (ubicación, horas de servicio del motor, velocidad de avance, horas de trilla, nivel del depósito de combustible, etc.). El sistema permite, además, generar un servicio de notificación de services y reparaciones a efectuar.

Otra muestra de este tipo de usos lo constituye el servicio brindado por la firma Pessl Instruments, de Austria, con la fabricación de sus estaciones meteorológicas (Metos) que permiten el acceso a los datos medidos a través de internet, siempre bajo un registro y código de identificación.

Valmont Irrigation presentó el sistema Tracker Mobile para sus equipos Valley mediante el cual, vía internet, los usuarios pueden seguir la situación de cada uno de sus pivots de riego y controlar a distancia sus operaciones.

Como se podrá deducir, los usos de las tecnologías inalámbricas en el ambiente agropecuario recién están comenzando, pero las perspectivas son insospechadas. Dependerá de nuestra capacidad la factibilidad de generar nuevos usos.

7. Sistemas autónomos desarrollados: una revisión.

Se detallarán a continuación una serie de trabajos llevados a cabo por investigadores de todo el mundo sobre el tema que nos ocupa. Este proceso ya conforma una pequeña historia, muy corta en años, 10 ó 12, pero que se va enriqueciendo y haciendo más amplia en la medida en que los conocimientos y las técnicas adquiridas van incorporándose como metodologías disponibles. Evidentemente, la recorrida no será (ni puede serlo) exhaustiva. Pero se pretende, pese a ello, dar una idea clara de las posibilidades existentes, actuales y futuras, de los sistemas autónomos en el campo de la agricultura.

1999.

Cho y Ki desarrollan un pulverizador autónomo para montes frutales. El mismo utilizaba un controlador “Fuzzy logic” (1) que interpretaba la información de un sistema de visión artificial, para su guiado, y de sensores ultrasónicos para medir la distancia entre el pulverizador y los “obstáculos”. El controlador podía modificar la velocidad de la pulverizadora en función de la detección de obstáculos. Se desarrollaron los algoritmos correspondientes. El sistema no permitía retomar la siguiente hilera en forma autónoma.

Lee y col desarrollan un robot para aplicación selectiva de precisión de herbicidas en el surco en cultivos de tomate a campo abierto. Para eso se utilizó un mecanismo de visión artificial que fotografiaba e interpretaba imágenes de 11,43 x 10,16 cm diferenciando el tomate de las malezas, El robot operaba a una velocidad constante de 1,2 km/hora

2000.

Toru Torii hace una descripción detallada de los diferentes sistemas autónomos que, en ese año se estaban desarrollando en Japón. Entre estos menciona a sistemas de guiado mediante visión artificial, sensores de diferentes tipos, controladores tipo fuzzy logic y mecanismos de coordinación entre robots múltiples. Menciona, además que la empresa Kubota estaba desarrollando un vehículo autónomo para usos generales en el cultivo del arroz y Mitsubishi una plantadora, también autónoma, para el mismo cultivo. Informa no haber encontrado antecedentes de investigaciones de este tipo en otros países de Asia..

2002:

Ante el avance de varios desarrollos en vehículos autónomos, Torrie y col. proponen el sistema JAUGS (Joint Architecture for Unmanned Ground System) como un standard que unifique y compatibilice las pautas de trabajo en la materia. A estos criterios se habían plegado, oportunamente, el Departamento de Defensa, el Departamento de Justicia y el Departamento de Energía (USA), así como también algunas empresas independientes (Lockheed Martin SAIC, Sandia National Labs, Remotec, Foster Miller, Autonomous Solutions y otras).

Shin, Kim y Park, desarrollan una pulverizadora autónoma para un monte de perales en Corea. Como conducción utilizaron un sistema tipo trolley, con una guía en altura un cable en tensión y un “inclinómetro” generado por los autores. El trolley disponía de dos cilindros

(1) En forma extremadamente sintética “Fuzzy Logic, o Lógica Difusa, es una teoría sistematizada que permite procesar información tomando decisiones sobre la base de datos difusos, ambiguos, imprecisos o “ruidosos”(contaminados), pero que, analizados como un conjunto, permiten definir opciones correctas. El criterio es similar a las reacciones del cerebro humano

de fuerza y dos microprocesadores para el control del curso. Pudieron medir desvíos medios de menos de 5 cm sobre el recorrido planificado, con un desvío máximo de 12 cm, concluyendo que el mecanismo era apto para montes frutales.

Noguchi y col., robotizan un tractor Kubota MD 77 mediante el guiado por RTK-GPS y un giróscopo de fibra óptica (FOG), desarrollando los algoritmos de conducción correspondientes. Operando a una velocidad máxima de 2 m/seg, los desvíos en la trayectoria resultaron menores a 5 cm, inclusive siguiendo hileras de cultivo ligeramente curvadas.

En el Congreso Mundial de Computadoras en Agricultura y Recursos Naturales, realizado en Foz de Iguazú, Hirakawa y col. propusieron un nuevo esquema de robot en el cual se reemplazan todos los cables por conexiones inalámbricas, dado que, según los autores, el sistema se adapta mucho mejor a las hostiles condiciones de trabajo a campo. Sin embargo, el mecanismo era manejado a control remoto, por lo cual no sería correcto hablar de un robot al no ser un sistema autónomo.

2003.

Van Henten y col. presentan al robot CropScout en la Edición 2003 de “Robótica a Campo” en Wageningen, Holanda. Se trata de un robot diseñado para investigación y toma de datos en agricultura de Precisión. El mismo poseía un sistema de cámaras fotográficas para la toma de imágenes, pero además fue testeado mientras recorría los entresurcos de un cultivo de maíz, llegando a las cabeceras y retomando por el surco siguiente en condiciones normales de cultivo, con hileras siguiendo curvas y con el suelo enlodado. El robot pesaba 9 kg., se movilizaba sobre dos orugas y disponía como base de estructura a una batería de 12 V que, a su vez, le daba buena estabilidad por su baja posición. La cámara, a su vez, estaba sobreelevada para poder “observar” sobre el cultivo.



Fig. 7: Robot “Crop Scout”. Van Henten y col 2003

2004.

Bak y Jacobsen crean una plataforma robotizada para hacer mapeo de malezas. La misma estaba adaptada para operar sobre cultivos en líneas distanciadas a 25 y a 50 cm. Poseía dirección independiente y transmisión en las 4 ruedas. Las cámaras permitían no solamente detectar las malezas (posteriormente se registraba su posición) sino además, seguir adecuadamente el curso de la hilera. El robot tenía mecanismos de transmisión inalámbrica

para comunicación remota (TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Protocol). El sistema de guía era dual por GPS y guiado por cámara, poseyendo un giróscopo para maniobrar y diversos encodificadores. El peso era de 150 kg.



Figura 8 : Plataforma robotizada desarrollada por Bak y Jacobsen.

Blackmore y col., analizando el avance de las investigaciones y desarrollos sobre los vehículos agrícolas autónomos, realizan una serie de propuestas que, a su entender, debieran tener estos equipos. Mencionan, entre otros factores, que debieran ser de pequeño tamaño, livianos, capaces de funcionar en forma confiable aún cuando alguno/s de sus sistemas parciales pudiera fallar, que puedan intercambiar información y coordinarse con otros vehículos y ser versátiles en el sentido de poder realizar tareas diversas. Todos estos factores son analizados puntualmente. De alguna manera, la propuesta se asemeja a la ya mencionada por Torrie y col (2002), pero, en este caso no se refiere a las normas de ingeniería de diseño y construcción sino a las que hacen a su utilidad y confiabilidad a campo. Mencionan, además, que los usos más probables, para este tipo de equipos, en un futuro cercano serán el relevamiento y control mecánico y químico de malezas.

Singh y col. desarrollan un robot para efectuar aplicaciones de agroquímicos en el interior de invernáculos. El mismo fue armado bajo dos formatos: el vehículo en forma individual y, en segunda instancia con un “trailer” correspondiente al tanque de caldo de pulverización. Contaba con seis ruedas tractoras y directrices. La potencia se generaba en motores eléctricos alimentados por 2 baterías de 12 V y 60 amp/hora y transmisiones mediante cadenas y ruedas dentadas. El controlador era de tipo “Fuzzy logic”. Los desvíos sobre la trayectoria deseada fueron medidos sobre piso de concreto y sobre arena con los siguientes resultados.

| | Desvío medio (pulgadas) | Desvío máximo (pulgadas) |
|---|--------------------------------|---------------------------------|
| <i>Vehículo solo en concreto</i> | 0,19 | 0,49 |
| <i>Vehículo solo en arena</i> | 0,71 | 1,77 |
| <i>Vehículo con trailer en concreto</i> | 0,30 | 0,85 |
| <i>Vehículo con trailer en arena</i> | 0,82 | 1,93 |

Cuadro 2: Desvíos en la trayectoria. Singh y col. 2004

Noguchi y col., con el objetivo de lograr el trabajo de varios vehículos autónomos en forma simultánea, desarrollaron dos tipos de robot, uno “master” y otro “esclavo”, generando los algoritmos de conducción correspondientes. El algoritmo denominado GOTO era utilizado cuando el master deseaba que el esclavo fuera a un sitio específico ubicado a una cierta

distancia de la posición operacional, en tanto que el algoritmo FOLLOW hacía que el esclavo siguiera al master en sus tareas a una distancia predeterminada y con un ángulo también predeterminado, independientemente de la velocidad y de la dirección. Por cuestiones de seguridad, el algoritmo GOTO fue diseñado para que el esclavo cediera el paso al master en caso de una posible colisión.

2005.

Price y Nistala armaron una plataforma móvil sobre un cuatriciclo tipo todo terreno (All Terrain Vehicle – ATV), a fin de poder proveer operaciones en forma autónoma, fundamentalmente en cuanto a la toma de imágenes y muestras de suelos mediante un penetrómetro. Para ello le instalaron un PDA, slot card DGPS, microcontroladores y varios actuadores. Para los ensayos utilizaron el programa FarmWorks para definir y seguir los recorridos. Las desviaciones sobre las trayectorias previstas variaron entre medio y dos pies. Younse y Burks crearon un robot pulverizador para invernáculos que, mediante un sistema óptico, podía determinar si se encontraba en su recorrido (entresurco) o bien había llegado a una cabecera o intersección y retomar por el surco siguiente.

Sammons y col. generan otro sistema autónomo para pulverizaciones en invernáculos, pero, en este caso sobre una base bastante más simple: el mismo se desplaza sobre rieles ubicados en el piso del mismo generando un circuito repetitivo y sin ningún otro tipo de guía. Como rieles pueden ser utilizados los caños de circulación de agua caliente para calefacción del invernáculo.

Chen y col. desarrollaron un robot para aplicaciones directas de herbicida sobre malezas. El mismo contaba con una video cámara digital, 4 ruedas, dos brazos robotizados, computadora y radio control. El criterio era aplicar en forma directa muy pequeñas cantidades de herbicidas sin ningún tipo de deriva. Los ensayos fueron llevados a cabo a campo y en invernáculos sobre 4 malezas diferentes: Digitaria sp (crabgrass), Setaria sp (foxtail), Amaranthus rudis (Water Hemp) y Abutilon theophrastii (velvet leaf). Se concluyó que, utilizando la séptima parte de la dosis recomendada por hectárea, eran eliminadas todas las malezas. Es importante destacar que en este caso el sistema manejaba operado por radio control, con lo cual no puede ser considerado autónomo.

2006:

Norremark y col. sobre la base de un tractor HAKO de 26 HP desarrolla un sistema autónomo para el control mecánico de malezas en el entresurco. Este sistema mecánico está conectado al sistema de tres puntos del tractor, teniendo este último un doble sistema de guiado por RTK-GPS y de visión laser tipo Eco-Dan.

2007

Blackmore y col. describen las características, especificaciones y requerimientos de lo que ellos consideran debiera ser una nueva generación en mecanización agrícola. Parten de la base de que, en la actualidad, la mayor eficiencia y capacidad de trabajo, se está logrando a partir de un aumento del tamaño de las maquinarias agrícolas. Pero vislumbran que esto tiene un límite, a pesar de los nuevos sistemas de guiado. Por lo tanto, proponen un nuevo sistema de mecanización en el que los equipos deben volverse autónomos, pero respondiendo a las siguientes características: pequeños y livianos, con autonomía computacional y energética, con una cierta cuota de inteligencia artificial que les permita un desempeño predeterminado y/o reactivo, comunicadas con la sede de control y entre los mismos equipos

a fin de poder actuar coordinadamente si hace falta, fuertes ante un medio climático hostil, amigables con el medio ambiente y seguras a fin de no producir accidentes.

Entre las tareas que estiman sumamente factibles de llevar a cabo mencionan: monitoreo de plagas por transmisión de imágenes, control de plagas, mapeo de malezas, control mecánico de malezas y microaspersiones.

Griepentrog y col. presentan un sistema autónomo para control de malezas en el entresurco, utilizando un tractor guiado mediante GPS-RTK y utilizando escardillos. Miden desviaciones sobre la ruta predefinida oscilantes entre 9 mm y 2,8 cm, con una cobertura del 83% de la superficie total a tratar, a 2 km/hora, y del 79 % a 4 km/hora.

También Griepentrog, presentó un tractor autónomo (RTK-GPS) trasladando una sembradora de alta precisión que optimiza la colocación de las semillas, no solo en el sentido lineal (siguiendo el surco), sino también transversal. Los objetivos son mejores rendimientos y mayor calidad, pero también un más fácil control de las malezas

8) Conclusiones – comentarios finales.

La agricultura, a lo largo de la historia, ha tenido siempre un importantísimo rol en el desarrollo social y humano. Así ha sido y, sin lugar a dudas lo será en el futuro.

Pero esto se ve condicionado, cada vez con mayor intensidad, por las mayores demandas en calidad y cantidad de los alimentos producidos. A ello se suman los requerimientos de preservación medioambiental. Es, lo que muchos autores denominan “una agricultura sustentable”.

Ahora bien, el criterio de sustentabilidad es sumamente discutible. Algunos autores estiman que la única agricultura sustentable es la orgánica ya que es la que menos afecta al medio ambiente. Otros sostienen que este tipo de agricultura no puede producir en la cantidad y con la calidad necesaria.

Desde nuestro punto de vista, la sustentabilidad debe descansar en tres pilares diferentes:

- *Económico: la producción de alimentos debe ser una actividad necesariamente rentable, no solo para el sector primario sino también para todo el complejo agroindustrial.*
- *Medioambiental: necesariamente debe tenderse a la menor contaminación de suelos, aguas y aire, teniendo como objetivo final un nivel de contaminación cero, que, al día de hoy y con la tecnología disponible, no es posible acceder.*
- *Social: la producción de alimentos debe llegar a valores accesibles a toda la población, asegurando, al menos, el mínimo nivel compatible con la salud humana.*

A una agricultura realmente sustentable solamente se podrá acceder mediante la constante incorporación de tecnologías cada vez más eficientes.

En ese contexto, se ha pretendido presentar una serie de alternativas, algunas ya disponibles en este momento y otras que, sin lugar a dudas lo estarán dentro de pocos años. De su adecuada utilización se podrá llegar a maquinarias agrícolas autónomas que, lejos de constituir el objetivo final, la agricultura sustentable, se transformarán en las herramientas de trabajo de un futuro no muy lejano.

Existe entre los analistas del tema un cierto consenso en que estas maquinarias autónomas serán sensiblemente más pequeñas que las actuales, ya que, al poder prescindir del operario y, por lo tanto, poder trabajar en forma continua tanto de día como de noche, y ello sumado a la posibilidad de constituir “cuadrillas”, se reducirían notablemente los requerimientos de

grandes capacidades individuales, que serían reemplazadas por el número y el trabajo ininterrumpido.

Por otra parte, cuanto menores sean en tamaño, menores serán los riesgos de accidentes serios en los trabajos. Este es un aspecto a tener en cuenta muy especialmente en algunas tareas, como por ejemplo la cosecha, que muy difícilmente podrán llegar a realizarse en forma autónoma, debido a los grandes requerimientos de potencia que implica, como así también el constante movimiento de vehículos auxiliares de carga de granos. Mejores perspectivas se presentan para otras tareas como monitoreo de plagas, control y mapeo de malezas.

Finalmente, debe pensarse en los sistemas autónomos como un universo de múltiples alternativas, donde las distintas herramientas disponibles serán manejadas y combinadas de acuerdo con la creatividad e imaginación de los diferentes diseñadores y usuarios.

A modo de ejemplo, para combatir malezas en un lote determinado en forma autónoma, se podría hacer una aplicación de herbicida en cobertura total. O también, utilizar un mapa de malezas obtenido en forma previa por otro sistema autónomo de observación y monitoreo, haciendo aplicaciones sitio específicas con diversos herbicidas. O bien utilizar detectores de malezas con aplicación en tiempo real de microaspersiones de herbicida no selectivo. Es decir que las opciones podrían ser múltiples y variadas.

9) Bibliografía:

- Abidine A.Z.; Heidman B.C.; Upadhyaya S.K.; Hills D.J. 2002 . Application of RTK-GPS based autoguidance system in agricultural production. ASAE Paper N° 021152 – ASAE. St Joseph MI
- Auernhammer H.: 2001. Precision Farming - the environmental challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*. 30 (2001) pp 31-43
- Bak T., Jakobsen H.; 2004. Agricultural Robotic Platform with Four Wheel Steering for Weed Detection. *Biosystems Engineering* (2004) 87 (2) 125-136.
- Barnett D.T., Stohlgren T.J., Jamevich C., Chong G.W., Ericson J.A., Davern T., Simonson S.A.: 2006. The Art and Science of Weed Mapping. *Environ Monit Assess* DOI 10.1007/s10661-006-9530-0.
- Beckett T.H., Stoller E.H., Wax L.M. 1988. Interference of four annual weeds in corn (*Zea mays*). *Weed Science* 36 pp 764-769.
- Billingsley J., Schoenfisch M.; The successful development of a vision guidance system for agriculture. 1997. *Computers and Electronics in Agriculture*. N° 16 (1997) pp 147-163
- Blackmore B.S.; Fountas S., Have H. 2004 “System Requirements For a Small Autonomous Tractor”. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Manuscript PM 04 001.
- Blackmore B.S., Griepentrog H.W., Fountas S., Gemtos T.A. 2007. A Specification for an Autonomous Crop Production Mechanization System. *Agricultural Engineering International. The CIGR Journal*. Manuscript PM 06 032 Vol IX September 2007
- Bragachini M., Méndez A., Scaramuzza F., Peiretti J., Vélez J.P., Villarroel D.,; 2009.. *Ensayo de Siembra y Arrancado de Maní con Piloto Automático. Proyecto Nacional de Agricultura de Precisión. EEA INTA Manfredi. Pcia Córdoba.*

- Bragachini M, Méndez A., Scaramuzza F. 2005. Agricultura de precisión: una realidad en el campo argentino. En libro *Aplicar Eficientemente los agroquímicos*. Pp 43-55. Ediciones INTA
- Bossu J., Gee C., Guillemain J.P., Truchelet F.; 2005 . *Feasibility of real time weed detection systems using spectral reflectance*. 5th European Conference on Precision Agriculture- Uppsala – Suecia.
- Bulacio L.G., Panelo M.S., Giuliani S.L., Sain O.L., Krupic A.L. de: 2005. Encuesta a médicos de la zona de salud VIII- Provincia de Santa Fe con relación a problemas detectados por el uso de productos fitosanitarios. En libro *Aplicar Eficientemente los Agroquímicos*. Pp 251-257. Ediciones INTA.
- Carrara M., Comparetti A., Febo P., Orlando S.: *Spatially Variable Rate Herbicide Application on Durum Wheat in Sicily*. *Biosystems Engineering* – 2004 – 87 (4) pp 387-392.
- Carson Rachel 1962 – Edición N° 40 . Editorial Houghton Mifflin Harcourt – 2002.
- CASAFE: Cámara Argentina de Sanidad y Fertilizantes. www.casafe.org
- Cid Jiménez, Gabino: 2007. *Sistemas Globales de Navegación por Satélites (GNSS)*. En *Resumen de Trabajos Presentados a 7° Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 2ª Expo de Máquinas Precisas*. INTA. EEA Manfredi. Córdoba. R. Argentina. 17 al 19 de julio 2007.
- Cid R. 2007: *Agricultura de Precisión y Aplicación de Agroquímicos*. En *7° Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 2ª Expo de Máquinas Precisas*. 17-19 de julio 2007. INTA EERA Manfredi. Córdoba. Argentina
- Cid R., Masiá G., Méndez A., Moltoni A.; 2008. *Propuestas para la evaluación de los diferentes sistemas de aplicación de dosis variables con fertilizantes líquidos y herbicidas*. En *8° Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 3ª Expo de Máquinas Precisas*. 14 al 16 de octubre de 2008 en INTA EEA Manfredi. Córdoba. Argentina
- Claas-Telematics:http://www.claas.fr/countries/generator/cl-pw/zzz_downloadcenter/document_pool/agrarmanagement/pr_telematics_es_int_08,1_ang=fr_FR.pdf
- Conn J.S., Thomas D.L.: 1987. *Common lambsquarters (Chenopodium album) interference in spring barley*. *Weed Technology* 1- pp 312-313.
- Chen Y., Tian L., Zheng J. Q., Xiang H.; 2005. *Direct Herbicide Application with an Autonomous Robot for Weed Control*. ASAE paper N° 051009 in 2005 Annual International Meeting. Tampa Florida. USA.
- Cho S.I., Ki N.H.; 1999 . *Autonomous Speed Sprayer Guidance Using Machine Vision and Fuzzy Logic*. *Transactions of the ASAE* Vol 42 (4) 1137-1143
- Dammer K.H., Wartenberg G.: 2007. *Sensor-based weed detection and application of variable herbicide rates in real time*. *Crop Protection* 26 (2007) 270–277.
- Downey D., Giles D.K., Slaughter D.: 2004. *Weeds accurately mapped using DGPS and ground-based vision identification*. *California Agriculture* Volume 58. N° 4. October –december 2004 <http://CaliforniaAgriculture.ucop.edu>
- 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 1 N° 1. Universidad Nacional de Rosario. Santa Fe. Argentina.
- Feyaerts F., van Gool L.; 2001. *Multispectral vision system for weed detection*. *Pattern Recognition Letters* 22(2001) 667-674.

- Gan-Mor Samuel, Clark Rex L., Upchurch Bruce L.: 2007 . *Implement Lateral position accuracy under RTK-GPS tractor Guidance. Computers and Electronics in Agriculture* 59 (2007) 31-38.
- Griepentrog H.W.: 2007. *Robotic crop establishment monitoring and control system. In Proceedings 23rd NJF Congress – Trends and Perspective in Agriculture. 26 a 29 de junio 2007- Copenhagen University.*
- Griepentrog H.W., Noerremark M., Nielsen J., Ibarra J.S.: 2007. *Autonomous inter row hoeing using GPS based side-shift control. Agricultural Engineering International: The CIGRE Journal. Manuscript ATOE 07 005 Vol IX. July 2007*
- Gries M. 2003. *Conclusiones taller ASAGIR sobre malezas en el cultivo de girasol. En 2º Congreso Argentino de Girasol. Buenos Aires 2003*
<http://www.asagir.org.ar/pdf/1-malezas.pdf>
- Hemming J., Rath T.; 2001 . *Computer-Vision Based Weed Identification Under Field Conditions Using Controlled Lighting. J. Agric. Engng Res. (2001) 78 (3), 233}243*
- Hirakawa A.R., Saraiva A.M., Cugnasca C.E.; 2002. *Wireless Robot for Agricultural Applications. Pp 414-420 in Proceedings of the World Congress of Computers and Natural Resources. 13-13 de marzo. Iguacu Falls. Brasil. ASAE Publication N° 701P0301.*
- Holmqvist R.; 1993. *A laser optic Navigation System for driverless vehicle. Arnex Navigation ABR. Holmqvist, ARNBL 344 pag 15.*
- John Deere. *Página web para sus sistema de guiado GPS-RTK.*
http://www.deere.com/es_AR/ag/ams/starfire.html
- John Deere: *página web correspondiente a “The Furrow Magazine”, verano 07:*
http://www.deere.com/en_US/ag/pdf/furrow/2007/summer_07_F0702816.pdf
- Johnson G.A., Mortensen D. A., Martin A.R.: 2006. *A simulation of herbicide use based on weed spatial distribution. In Weed Research Volume 35 Issue 3 Pages 197-205. Published Online 28 Jul 2006.*
- Katupitiya Jay, Eaton Ray: 2008 . *Precision Autonomous Guidance of Agricultural Vehicles for Future Autonomous Farming. 2008. ASABE Paper N° 084687. In 2008 ASABE Annual International Meeting. Providence, Rhode Island, USA*
- Koller M., Lanini W.T. 2005. *Site specific herbicide application based on weed maps provide effective control. California Agriculture Volume 59 N° 3. July- Sept 2005.*
<http://CaliforniaAgriculture.ucop.ed>
- Keicher R., Seufert H.; 2000. *Automatic Guidance for Agricultural Vehicles in Europe. Computers and Electronics in Agriculture N° 25 (2000) pp 169-194.*
- Lamb D.W., Brown R.B.: *Remote-sensing and mapping of weeds in crops. (2001) J. Agric. Engng Res. (2001) 78 (2) pp 117-125 .*
- Lee W.S., Slaughter D.C., Giles D.K.; 1999. *Robotic Weed Control System for Tomatoes. Precision Agriculture 1, 95-113. 1999. Kluwer Academics Publishers.*
- Leguizamón E. 2007. *El manejo de malezas: desafíos y oportunidades. Revista AgroMensajes de la Facultad. N° 23 – Dic/2007. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad nacional de Rosario.*
- Leguizamón E. 2005. *El monitoreo de malezas en el campo. Revista AgroMensajes de la Facultad. N° 17 – Dic/2005. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad nacional de Rosario.*
- Leguizamón E. 2008 . *La Ecología de Malezas y la Agricultura de Precisión. En 8º Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 3ª Expo de Máquinas Precisión –*

Resúmenes de trabajos presentados. INTA EEA Manfredi Córdoba. 14 al 16 de octubre de 2008.

- *Menendez Fernando. 2007: Reconocimiento y manejo de la heterogeneidad ambiental. En 7º Curso de Agricultura de Precisión y 2ª Expo de Máquinas Precisas – Resúmenes de trabajos Presentados. INTA EEA Manfredi Córdoba. 17 al 19 de julio de 2007.*
- *Moltoni A., Masiá G., Cid R., Duro S., Fuica A., Moltoni L.: 2009. Emerging technologies for real-time agricultural decision: field test of a wireless transmitter. XXXIII CIOSTA-CIGR Conference . Technology and management to ensure sustainable agriculture, agrosystems, forestry and safety. 17 al 19 de Junio – Reggio-Calabria. Italia*
- *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.*
- *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.*
- *Noboru N, Reid J., Zhang Q., Will J, Ishii K., 2001 Development of Robot Tractor Based on RTK-GPS and Gyroscope ASAE Paper N° 01-1195 In ASAE Meeting Presentation. Sacramento Convention Center. Sacramento, California USA 30/7/2001*
- *Noguchi N., Will J., Reid J., Zhang Q.: Development of a master-slave robot system for farm operations. Computers and Electronics in Agriculture 44 (2004) 1-19*
- *Noguchi N., Kise M., Ishii K., Terao H., 2002. Field Automation Using Robot Tractor. Pp 239-245 in Automation Technology for Off-Road Equipment. Proceedings of the July 26-27, 2002 Conference (Chicago, Illinois, USA). ASAE Publication N° 701P0502.*
- *Norremark M., Sogaard H.T., Griepentrog H.W. 2006. An Automatic Weeding Robot. En Plantekongres 2006. 10-11, enero 2006. Arhus. Dinamarca.*
- *Olea I., Gor S., Morandini M., Sandoval J.: 2003. Teledetección de tupulo (*Sicyus poliacanthus*) mediante videografía infrarroja en caña de azúcar (*Saccharum spp*). Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes. Tucumán. Argentina.*
- *Pessl Instruments: www.metos.at/fieldclimate.*
- *Price R. R., Nistala G.; 2005. Development of an Inexpensive Autonomous Guidance System. ASAE Paper N° 051139 in 2005 ASAE Annual International Meeting – Tampa – Florida – EEUU.*
- *Sammons P.J., Furukawa T., Bulgin A.: 2005 . Autonomous Pesticide Spraying Robot for Use in a Greenhouse. ARC Centre of Excellence for Autonomous Systems. School of Mechanical and Manufacturing Engineering. The University of New South Wales. Australia.*
- *Schuster I., Nordmeyer H., Rath T.: 2007. Comparison of vision based and manual mapping in sugar beet. Biosystems Engineer 98 (2007) 17-25.*
- *Schweitzer E.E. 1983. Common lambsquarters (*Chenopodium album*) interference in sugar beets (*Beta vulgaris*). Weed Science 31 pp 5 a 7.*

- Shin B.S., Kim S.H., Park J.U.: 2002. *Autonomous Agricultural Vehicle Using Overhead Guide*. Pp. 261-269 in *Automation Technology for Off-Road Equipment, Proceedings of the July 26-27, 2002 Conference (Chicago, Illinois, USA) Publication Date July 26, 2002. ASAE Publication Number 701P0502.*
- Singh S., Burks T., Lee W.S.: *Autonomous Robotic Vehicle for Greenhouse Spraying*. ASAE/CSAE Meeting Presentation Paper N° 043091. In 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting. Ottawa. Ontario. Canadá
- Slaughter D.C., Giles D.K., Downey D.: 2008 . *Autonomous Robotic Weed Control Systems: A review*. In *Computers and Electronics in Agriculture* 61 (2008) 63-78.
- Stentz A., Dima C., Wellington C., Herman H., Stager D.; 2002 . *A system for semiautonomous robots tractor operations*. In *Autonomous Robots Vol 13 N° 1*. pp 87-103.
- Ta-Te Lin, Yuan-Kai Hsiung, Guo-Long Hong, Hung-Kuo Chang, Fu-Ming Lu; *Development of a Virtual reality GIS Using Stereo Vision* . 2008 . *Computers and Electronics in Agriculture* (2008) 38-48.
- Tellaeché A., Burgos Artizu X.P., Pajares G., Ribeiro A.; 2008. *A vision-based method for weeds identification through the Bayesian decision theory*. *Pattern Recognition* 41 (2008) 521-530.
- Torii T.: 2000. *Research in Autonomous Agriculture Vehicles in Japan*. *Computers and Electronics in Agriculture* 25 (2000) 133-153.
- Torrie M.W., Cripps D.L., Swensen J.P.: 2002. *Joint Architecture for Unmanned Ground Systems (JAUGS) Applied to Autonomous Agricultural Vehicles*. . Pp. 01-12 in *Automation Technology for Off-Road Equipment, Proceedings of the July 26-27, 2002 Conference (Chicago, Illinois, USA) Publication Date July 26, 2002. ASAE Publication Number 701P0502.*
- Vaca C. 2005: *Preservación de la salud de los aplicadores*. En libro *Aplicar Eficientemente los Agroquímicos*. Pp 232-235. Ediciones INTA
- Van Henten E.J., Van Tuijl B.A.J., Hemming J., Achten V.T.J., Balendonk J., Wattimena M.R.; 2003. *Cropscout – a mini field robot for research on precision agriculture*. *Agrotechnology & Food Innovations Ltd. Wageningen . The Netherlands.*
- Valmont Irrigation: <http://www.valley-mx.com/news/pressArchive.aspx?id=1465&nid=5>
- Wang N., Zhang N., Wang M.: *Wireless sensors in agriculture and food industry – Recent development and future perspective*. 2006 . *Computers and Electronics in Agriculture* 50 (2006) 1-14.
- Watermeier N., 2004. *Wireless Technologies in Agriculture and Natural resources*. *Ohio State University Extension*.
<http://geospatial.osu.edu/resources/wirelesstechnologies.html> (28/5/2009)
- Younse P., Burks T.: 2005. *Intersection Detection and Navigation for an Autonomous Greenhouse Sprayer Using machine Vision*. ASAE Paper 053086. 2005 Annual International Meeting. Tampa. Florida. USA.
- Zaccagnini M. E. 2005. *Por qué Monitoreo Ecotoxicológico de diversidad en aves en sistemas productivos*:
http://www.inta.gov.ar/balcarce/noticias/inta_expone/AuditorioGuillermoCovas/MonitoreoEcotox.pdf
- Zaccagnini M.E., Cáceres C., Saluso A., Calamari N.: 2004. *Calculadora de Riesgo ecotoxicológico para aves*. Versión 1.0. INTA-USFWS-NBMCA-CWS