

## Avances en la Agricultura de Precisión en Argentina

*Bragachini, M; von Martini, A; Méndez, A; Bongiovanni, R  
Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi*

La Agricultura de Precisión (AP) y el Manejo Sitio específico de cultivos y suelos (MSE) en Argentina, al igual que en otros países, ha sido definida como la utilización de las nuevas tecnologías de información, para la toma de decisiones de manejo técnica, económica y ambientalmente adecuadas para la producción agrícola.

Argentina comenzó el desarrollo de esta técnica a mediados del año 1995, con trabajos de exploración del desarrollo de esta tecnología en las Universidades de EEUU como Iowa, Purdue y Nebraska, sumado al desarrollo de las empresas proveedoras de insumos tecnológicos.

La tecnología de AP se introdujo en Argentina, al igual que en EEUU, de la mano del monitoreo de rendimiento (mapas de rendimiento) y los banderilleros satelitales, dos tecnologías donde los beneficios son rápidamente demostrables.

La agricultura argentina extensiva crece en escala año a año, lo que otorga alta eficiencia del uso de la mano de obra, rápida adquisición de tecnología vía directa e indirecta por medio de equipos interdisciplinarios, logrando buen manejo y aprovechamiento promedio de los avances en genética, en control de plagas, enfermedades y malezas, fechas de siembra, fertilizaciones balanceadas de arranque y refertilizaciones, secuencias de cultivo, almacenaje y comercialización de los granos más conveniente, seguros multiriesgos, etc. Estos aspectos transformaron a la agricultura argentina en un sistema productivo caracterizado por la economía de escala y el manejo empresarial más que por la eficiencia productiva y la sustentabilidad de los recursos naturales donde los detalles de eficiencia de utilización de las diferentes tecnologías pasan a segundo plano. El resultado final de este proceso da una agricultura en promedio muy globalizada con alta escala y alta utilización de tecnología, donde la eficiencia de cada factor es relativamente baja, comprometiendo la sustentabilidad de los sistemas productivos, por una degradación de los suelos en sus aspectos químicos, físicos y biológicos, aún con el 46% del área sembrable bajo sistema de siembra directa, dado que aproximadamente el 50% del área sembrables es dedicado al cultivo de soja. La práctica del monocultivo de soja en Argentina, aún en siembra directa continua, provoca un desequilibrio de los suelos con balance negativo del carbono y consecuentemente una mayor oxidación de la materia orgánica (Thomas 2001).

Frente a este panorama el Proyecto Agricultura de Precisión de INTA trabaja de forma muy asociada con la actividad privada, proveedores de insumos, técnicos líderes en AP e instituciones como AAPRESID, CREA, INPOFOS, orientando su esfuerzo a superar problemas concretos de los sistemas productivos actuales bajo el concepto de lograr aumentos en la productividad, mediante una mayor y mejor captura de datos, mejoras en las metodologías de análisis y diagnóstico tendiendo en un mediano plazo al MSE de cultivos y suelos.

Luego de varios años de estudio de mapas de rendimiento, imágenes satelitales, fotografías aéreas, análisis de suelo por áreas homogéneas, ensayos de factores de rendimiento con respuesta sitio específica, se presenta un panorama alentador para la tecnología de AP, en los 3 niveles posibles de utilización:

1. Investigación en el gran cultivo (con utilización de estadística espacial y modelización)
2. Experimentación adaptativa, diseño de metodología de ensayos en el gran cultivo, mapas de rendimiento.
3. Extensión a todos los niveles (investigador, técnico de producción, productor / empresario con poder de decisión y operario de equipos de precisión y manejo de software)

En Argentina existen aproximadamente unos 600 monitores de rendimiento, 420 con GPS y 320 con aptitud de manejo con eficiencia para ofrecer datos confiables y precisos. Esto representa un área posible de mapear de 800.000 ha, un 3,3% de lo sembrable, lo que posibilita una cosecha de datos muy importante que bien orientada posibilitaría una mejora con respecto al manejo actual (basado en los promedios) de alto impacto económico, dado que los resultados al ser aplicados por productores de gran escala resultan posibles multiplicar.

Secuencia de utilización de las diferentes tecnologías que ofrece la AP en Argentina:

1. Utilización de todas las fuentes de información posibles que ayuden a conocer la variabilidad y ambientes que posee el campo a nivel de lote.
  - 1a. Carta de suelos y fotointerpretación.
  - 1b. Análisis de suelos anteriores por lote.
  - 1c. Conocimiento previo del productor y la historia de cada lote.
  - 1d. Imágenes satelitales de años anteriores, de la época del año que más grafique la variabilidad.
  - 1e. Mapas de rendimiento de cultivos como trigo y maíz, con antecedentes de manejo conocidos.
2. Mediante la utilización y análisis de la información previa disponible, se definen zonas de características homogéneas siguiendo con la caracterización de los ambientes, mediante muestreos de suelo dirigidos y georeferenciados.
3. Mapas de suelos por áreas homogéneas, (características físicas y químicas de los suelos).
4. Relevamiento altimétrico del lote.

Todas estas herramientas de cosecha de datos contribuyen para un primer diagnóstico de la potencialidad productiva de cada ambiente que cuenta el campo, el área que representa y su ubicación espacial. Con esos datos previos los técnicos pueden planificar la metodología de ensayos exploratorios de manera de **cosechar información sitio específica de los diferentes factores de manejo priorizados** como genética de diferentes cultivos, control de malezas, secuencia de cultivos, dosis y tipo de fertilizantes arrancadores, dosis y tipo de fertilizantes en post emergencia (refertilización), dosis y tipo de fertilizante aplicados al voleo como base de corrección, dosis y tipos de enmiendas correctivas de pH, efecto de la compactación de suelo por tránsito, como así también el efecto de trabajos de descompactación, densidades de siembra de diferentes cultivos, distancia entre hileras de diferentes cultivos, residualidad de fertilizantes como P y S en el complejo trigo / soja, etc.

Por otro lado la tecnología de AP también puede ser de utilidad para diferenciar factores importantes de manejo con resultados promedio, como ser fecha de siembra, retraso del cultivo por aplicación de herbicidas, dosis fitotóxicas de fertilizantes localizados en la línea, velocidad de siembra, tipo de trenes de siembra, influencia del barrido de rastrojo, fecha de aplicación de herbicidas, fungicidas e insecticidas.

Para este tipo de ensayos la metodología aconsejada por el proyecto consiste en definir un manejo como testigo, y mediante la metodología de testigo apareado a ambos lados del tratamiento, obtener respuestas relativas con el testigo aislando de esta manera el efecto de ubicación espacial en el lote, otra ventaja de esta metodología es no perder el dato de variabilidad natural del lote, al quedarnos un mapa con el 50% de los datos sin ruido de variabilidad inducida.

El diseño de metodologías de realización de ensayos a campo mediante la utilización de las herramientas de la AP es inagotable, por ejemplo en el tema fertilizantes, existe una necesidad de respuesta sitio específica a los elementos P y S, en el sistema productivo de doble cultivo trigo / soja (4,5 millones de ha), donde por medio de una gran cantidad de ensayos se determinó en promedio, (con alta variabilidad según ambientes), los beneficios en el trigo y la residualidad en soja, y donde las respuestas poseen una alta correlación con el tipo de suelo, el contenido de materia orgánica, su fertilidad física y química, reflejando una alta variabilidad según los ambientes donde se localizan los tratamientos de fertilización. En estos casos se plantea la necesidad de realizar ensayos exploratorios de

análisis sitio específico, siendo factible utilizar un avión aplicador de fertilizante sólido, por ejemplo, aplicando 2 franjas de diferentes dosis de P y S, en diferentes lotes cruzando la variabilidad. El avión aplicador con banderillero satelital deja las franjas de aplicación perfectamente georeferenciadas. Posteriormente se cosechan los lotes de trigo con monitor de rendimiento y GPS, y se evalúa no solo la respuesta promedio a la aplicación del P y S, a las diferentes dosis, sino que además se puede evaluar la respuesta variable en los diferentes sitios y de esta manera determinar la dosis económicamente óptima para cada sitio. Si se tiene la precaución de realizar las franjas con el ancho suficiente, se podrá evaluar también el efecto residual en el cultivo de soja, independientemente del ángulo de siembra con respecto al trigo. Esta información valiosa se complementaría con análisis de suelo por zonas homogéneas y un estudio de correlaciones.

En la página web [www.agriculturadeprecision.org](http://www.agriculturadeprecision.org) existen trabajos que indican el manejo de grupos de variedades de soja en forma sitio específica realizados por Tellería, Gabriel y Martini, Gustavo, en la zona de Río IV. En el mismo cultivo se demostró también la respuesta sitio específica al espaciamiento entre hileras, Bragachini, M; von Martini, A y Méndez, A.

Entre otros trabajos donde se aplica a las herramientas de la AP para la evaluación de ensayos a campo, podemos citar:

\* Evaluación de respuesta de diferentes densidad de siembra de trigo sobre maíz bajo riego en siembra directa continua. Bragachini, M; von Martini, A; Méndez, A. Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi.

\* Primeros Ensayos Exploratorios de Manejo Sitio Específico de Cultivos en Argentina, por Bragachini, M; von Martini, A; Méndez, A; Monchamp, J y pasantes de la UNC: Martín, S y Tula, M. Proyecto Agricultura de Precisión de INTA Manfredi.

\* Franjas con diferentes tratamientos de fertilización y densidad de siembra. Bragachini, M; von Martini, A; Méndez, A; Monchamp, J.

\* Cómo experimentar en forma eficiente en el gran cultivo utilizando el Monitor de Rendimiento. Bragachini, M; von Martini, A; Bongiovanni, R; Méndez, A. Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi.

\* La Agricultura de Precisión como Herramienta de Manejo Sitio Específico de Factores de Rendimiento en el Cultivo de Soja. Bragachini, M; von Martini, A; Méndez, A. Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi

\* Manejo Sitio Específico de Nitrógeno en Maíz: Evaluación del N-Sensor Melchiori, R.J.M; Barbagelata, P.A. - INTA EEA Paraná, Christiansen, C - D&E S.A., von Martini, A - INTA EEA Manfredi.

\* Siembra Directa con Agricultura de Precisión y riego complementario, Respuesta Sitio Específica a los híbridos de maíz. Bragachini, M; von Martini, A; Méndez, A. Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi.

\* Descripción de ejemplos prácticos de ensayos en el gran cultivo, Ubicación de maíces Bt respecto a no Bt, en Manejo Sitio Específico de Cultivos Extensivos. Bragachini, M; von Martini, A; Méndez, A. Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi

Estos trabajos entre otros, publicados en Argentina, grafican la variabilidad de respuesta de factores de manejo según el ambiente, la metodología de realizar ensayos exploratorios y la potencialidad de utilización de estas herramientas para mejorar la información disponible y su diagnóstico, elevando el criterio de manejo de manera significativa, pudiendo en una primera etapa amortizar esa inversión económica y de capacitación, aún continuando con manejos de aplicación de insumos uniforme o tradicional, mientras tanto y en forma paralela se adquiere experiencia y se cosechan datos e información para el manejo sitio específico con aplicación de insumos variables, que es la segunda etapa

del uso de estas herramientas, la cual nos lleva al MSE de los suelos y el cultivo. Se sabe que existe una complementariedad entre la información de calidad y la agricultura de precisión. La agricultura de precisión no vale el esfuerzo, si el que toma la información no cuenta con la información adecuada (Bullock y Bullock, 2000).

Por todo lo anteriormente citado la AP en Argentina merece un diseño de evolución, de investigación, experimentación, capacitación, transferencia y adopción con un diseño y planificación propia, donde paralelamente a la introducción de las diferentes herramientas, exista un periodo de capacitación y aprendizaje con cosecha de datos, que ayuden al manejo uniforme de insumos con mayor precisión, que posibilite elevar la eficiencia de cada factor para luego pasar en formas exitosa al MSE.

### Aplicación Sitio Específica de Insumos

Argentina posee una buena experiencia en todo aquello relacionado al equipamiento de sembradoras con aplicadores de densidad de siembra y dosis de fertilizante variable, siguiendo una prescripción georeferenciada con guía satelital. Sembradora Inteligente convenio INTA – Agrometal – D&E, con 4 años de experimentación. En este equipamiento ya se ha experimentado la utilización de computadoras palm top, con el programa Farm Site Mate VRT, como navegadores, reduciendo de esta manera el costo del equipamiento.



Dos alternativas de equipamiento electrónico para realizar dosis variable mediante una sembradora.

Izquierda: navegadores PF 3000, uno para semilla y otro para fertilizante, GPS, actuador Rawson de dos canales.

Derecha: navegador palmtop con programa Farm Site Mate, (dosis variable de un producto), GPS y actuador Rawson.

Para las aplicaciones de fertilizante en refertilización, también se posee experiencia en el chorreado de UAN variable mediante computadora de aplicación Land Manager y navegador palmtop con programa Farm Site Mate, mediante una prescripción georeferenciada. También se realizaron experiencias en la utilización de sensores en tiempo real, para la aplicación variable de fertilizante nitrogenado en trigo y maíz. Se ensayó el sensor de Índice Verde y Biomasa, Nsensor de Hydro, tanto en la incorporación de UAN en forma variable, como en el chorreado de UAN en maíz.

Frente al desfasaje de la relación de cambio del peso con el dólar, Argentina se vió necesitada de contar con desarrollos propios, en este sentido se han desarrollado banderilleros satelitales nacionales, Sylcomp, D&E, para equipos terrestres y aeroplificadores, con tecnología y prestaciones muy competitivas.

Recientemente se desarrollaron computadoras interactivas para equipos de aplicación VRT, que muy proximately responderá a prescripciones con órdenes georeferenciadas.

En el rubro aplicación de fertilizantes sólidos, tanto en siembra como en refertilización existen desarrollos ya avanzados para lograr equipos VRT semi automáticos mediante cajas de cambio bajo

carga con intermitencia variable, que mediante potenciómetros y computadoras el operario podrá regular la dosis en forma manual, en un principio, para luego realizarlo con prescripciones con navegador y GPS.

También en Argentina existen empresas formadas y en desarrollo, de servicios y asesoramiento en la aplicación de las herramientas y el análisis de datos de Agricultura de Precisión. Entre los servicios que prestan estas empresas se encuentra la georeferenciación de predios, mapas topográficos de lotes o campos, calibración de monitores de rendimiento, análisis de mapas de rendimiento, realización de ensayos de respuesta sitio específica, muestreos dirigidos de suelo, etc. Ejemplo A&A Servicios Agropecuarios Especializados y A&T.



Aplicación variable de UAN chorreado mediante Land Manager, palm top con programa específico, y GPS.



Aplicación variable de UAN incorporado, en trigo, mediante la utilización del sensor en tiempo real de Índice Verde y Biomasa, Nsensor de Hydro, computadora Land Manager, y GPS para grabar las lecturas y el mapa de aplicación.

En la interpretación y análisis de datos de sensores remotos como fotografía aérea e imágenes satelitales, también existen servicios disponibles, como por ejemplo la utilización de imágenes satelitales Landsat 7 en combinación de bandas 452, a partir de las cuales se separan áreas de monte, zonas cultivadas o desmontadas, calculando un índice de vegetación normalizado con 5 clases. Ejemplo Rubén Scolari, Marcelo Romero y Asociados, Estudio Agronómico. Luego se definen áreas homogéneas y se realizan análisis de suelos (físico, químico y biológico) caracterizando la productividad y representatividad del campo. Este trabajo finaliza con un informe detallado de las características del campo, tales como variabilidad del suelo, tendencia del relieve y vegetación nativa, identificación de patrones de la realidad simplificados muy útil a la hora de tomar decisiones de compra, alquiler, impacto ambiental y riesgo a la hora de desmontar, adecuación de secuencia de cultivos, etc. Este tipo de trabajo del uso de sensores remotos, acompañado de observaciones de caracterización de ambientes georeferenciados resulta de suma utilidad para el inicio de una agricultura con manejo variable con utilización de las herramientas definidas como tecnología de información agronómica georeferenciada.

En el rubro investigación existen por ahora dos líneas con cierto avance que se seguirán profundizando y otras recién en la etapa exploratoria.

1. Estudio de los datos del monitor de rendimiento y otras fuentes de información (topografía, elevación, fotos, imágenes, etc) para estimar la respuesta del cultivo al fertilizante, en este caso

la del maíz al N. Uso de la metodología de econometría espacial para estimar la dosis óptima de fertilizante a aplicar, con dosis variable por topografía o elevación. Bongiovanni, R; Bragachini, M; von Martini, A; Méndez, A.

2. Utilización de modelos de simulación para el manejo sitio específico de los cultivos maíz y soja. Ajuste de modelos Cropgro Soybeans y Ceres Maize, para apoyar al manejo sitio específico. Los modelos se aplican una vez definidas las áreas de cada sector dentro del lote y obtenidos los valores de algunos parámetros de suelo, y series climáticas que permitan expresar la respuesta del cultivo a dichos sectores. El trabajo de puesta a punto de los modelos determina, para un suelo típico de la región central de Córdoba, los parámetros diferenciales que permiten simular la dinámica del agua de un lote en sectores bajos, media loma y loma, y utilizar modelos de simulación calibrados para maíz para analizar la respuesta a la aplicación de diferentes dosis de fertilizante nitrogenado, en los sectores diferenciados de un lote, Dardanelli, J; von Martini, A; Méndez, A; Bragachini, M.
3. A través de las herramientas de Agricultura de Precisión se ha demostrado ampliamente la variabilidad existente en los rendimientos de los diferentes cultivos y en todas las zonas productivas del país. También existen antecedentes locales sobre los beneficios de manejar la variabilidad comparado con un sistema tradicional de manejo uniforme. En estudios recientes realizados en centros de investigación en el exterior, se ha determinado que así como existe una variabilidad de rendimiento también se presenta frecuentemente variabilidad de calidad comercial de los granos a nivel de lote. En aquellos cultivos en que se obtiene precios diferenciales por calidad, el manejo de la misma a nivel "sitio específico" puede tener un impacto económico importante en comparación al manejo actual de clasificar la calidad producto de la mezcla de la variabilidad presente en el lote. En este sentido se realizará un ensayo en la cosecha de trigo en el que se tomarán muestras de grano al momento de la cosecha, en una grilla de una muestra por hectárea. Las muestras se analizarán por contenido de proteína, confeccionando un mapa interpolado de la variabilidad del contenido de proteína. Este ensayo apunta a determinar el potencial del manejo sitio específico de trigo por proteína en lotes variables, contando con datos reales para analizar la conveniencia de realizar trabajos en profundidad e importar los sensores en tiempo real.

## Conclusión

La Agricultura de Precisión en Argentina, adquiere un alto potencial de adopción, en las siguientes alternativas:

1. Existencia de variabilidad natural comprobada, que justifica el trabajo orientado al manejo sitio específico del suelo y los cultivos.
2. Existen factores de manejo con alto potencial de desarrollo y adopción en el corto plazo, como: densidad de siembra variable en maíz y girasol, fertilización variable a la siembra, fertilización variable con nitrógeno en etapas vegetativas de maíz y trigo según prescripciones de análisis previo o a través de sensores en tiempo real, fertilización variable de base con altas dosis al voleo según ambientes, aplicación de enmiendas en forma variable para corregir pH, ubicación espacial de grupos de madurez de soja según ambientes de alta y baja productividad, ubicación espacial de maíces Bt y refugios según la presión de la plaga, etc.
3. Se ha demostrado ampliamente el potencial de las herramientas de Agricultura de Precisión, principalmente del mapeo de rendimiento, en la realización de ensayos a campo, ya sea con fines de investigación, o como experimentación a nivel de productor. El hecho de contar con herramientas que facilitan en gran medida la realización y evaluación de ensayos a campo, hace factible combinar los ensayos a campo, con el valor que la información contiene, con las operaciones normales de producción. La segunda gran ventaja de la utilización de estas herramientas en los ensayos a campo es la posibilidad

de evaluar no solo los resultados promedio de la diferencia entre tratamientos, sino también la variabilidad de respuesta existente en lotes con presencia de variabilidad natural, disimulada o a veces anulada en los resultados promedios.

En lo que respecta a equipamiento, ya existe un nivel de adopción interesante a nivel de productor y contratista del monitor de rendimiento, y muy incipiente de aplicación variable de insumos, todo ello compromete aún más a los técnicos referentes que conducen las diferentes áreas temáticas de mayor peso agronómico / económico, a realizar esfuerzos adicionales en el corto plazo, para definitivamente adoptar la utilización de estas nuevas herramientas que ofrece la AP y el MSE, sin por ello abandonar los métodos tradicionales de investigación que dan sustento al conocimiento científico de Argentina.

La Agricultura de Precisión evolucionará en Argentina, en forma directa a la cantidad y calidad de trabajos realizados de las diferentes áreas temáticas que involucran la agricultura sustentable de los sistemas productivos predominantes.

#### **REFERENCIAS:**

- Bullock, D. S. and D.G. Bullock, 2000, "From Agronomic Research to Farm management guidelines: A Primer on the economics of Information and Precision Technology Agriculture".
- Bongiovanni, R, 2002. A Spatial Econometric Approach to the Economics of Site Specific Nitrogen Management in Corn Production. PhD Thesis Agricultural Economics, Purdue University, 306 pp, <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/analecon.htm>
- Bragachini, M, 2002. Evolución, presente y futuro de la Agricultura de Precisión en Argentina 1996/2001, INTA Manfredi, Córdoba, Argentina, 5p.