

## **Rentabilidad de la Agricultura de Precisión**

Ing. Agr. Rodolfo Bongiovanni, Ph.D.  
INTA, Agricultura de Precisión, Argentina  
www.agriculturadeprecision.org  
rbongiovanni@correo.inta.gov.ar

### **I. Introducción**

Los cambios tecnológicos que se producen en la agricultura están –por lo general, directamente relacionados con la rentabilidad que trae aparejada dicho cambio. Ejemplo de esto son, entre otros, la adopción de la semilla híbrida de maíz, la siembra directa y la biotecnología. En la Argentina, la agricultura de precisión no mejora el precio de los granos, el sistema de transporte ni la disponibilidad de créditos, pero es una tecnología con la que los productores buscan producir a bajo costo.

El potencial de la agricultura de precisión es el de reducir los costos en la producción de granos, aumentar la productividad y hacer un uso más eficiente de los insumos. En un sentido más amplio, la agricultura de precisión permite administrar los insumos en el tiempo y en el espacio, optimizar la logística de las operaciones a campo, supervisar el trabajo de los empleados en el campo, manejar los riesgos de la producción, vender productos diferenciados, proveer trazabilidad de los productos para consumo humano, y documentar los insumos aplicados para cumplir con reglas de protección ambiental. Los monitores de rendimiento también se usan como herramienta para diagnosticar malezas, pestes, enfermedades, problemas de drenaje y fertilidad, diferencias en sistemas de labranza, y por lo tanto, como una herramienta para la toma de decisiones en la elección de híbridos, variedades o pesticidas.

La “agricultura de precisión” (AP) una tecnología que ha generado más preguntas que respuestas, y este artículo no lo va a convertir en un experto en AP de la noche a la mañana, pero le va a ayudar a que “formule las preguntas correctas”. Por supuesto, no estará solo en esta tarea; ya que el uso de estas herramientas involucra la participación de un equipo de trabajo. Es muy raro que una sola persona reúna todos los conocimientos agronómicos, económicos y electrónicos necesarios para aplicar con éxito la AP. En algunos casos ese equipo estará compuesto por miembros de la familia o por servicios contratados, pero en la mayoría de los casos se tendrá que recurrir a asesoramiento externo para contar con el conocimiento necesario. Este asesoramiento podrá ser del Ing. Agr. de la cooperativa, del grupo de productores al que pertenezca, o de un asesor privado, pero en todos los casos es importante “hacer las preguntas correctas”.

El enfoque será sobre la rentabilidad potencial de la AP en la Pampa Húmeda, en los cultivos de maíz, soja y trigo. Los mismos principios se pueden aplicar a otras zonas y a otros cultivos, pero las técnicas de producción son diferentes. Un resultado clave de la investigación en AP es que la rentabilidad es sitio-específica.

La AP también tiene importantes beneficios sobre la sustentabilidad de la agricultura. Por ejemplo, puede reducir el uso de pesticidas, nitrógeno y otros agroquímicos en el suelo y en el agua. Pero a no ser que sea exigido por una ley, nadie la va a usar voluntariamente en este sentido y sus beneficios no se podrán percibir. El primer paso para estudiar sus beneficios ambientales es demostrar que la AP es rentable.

### **II. ¿Qué es la agricultura de precisión?**

Es el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. La AP involucra el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo. La información obtenida puede usarse para implementar planes de manejo de la variabilidad. Junto a la biotecnología, la AP es uno de los cambios tecnológicos más importantes que ha vivido la agricultura en los últimos años.

Las técnicas de la AP más usadas en Argentina son el monitor de rendimiento y el sistema de guía por GPS (banderillero satelital), aunque la AP también incluye la densidad de siembra variable, la dosis variable de fertilizantes, el manejo localizado de plagas, los sensores remotos y muchas otras aplicaciones. Las tecnologías de la AP permiten satisfacer una de las exigencias de la agricultura moderna: el manejo óptimo de grandes extensiones.

El uso de las tecnologías de la AP puede ayudar a mejorar los márgenes, a través de un aumento del valor del rendimiento (cantidad o calidad), de una reducción en la cantidad de insumos, o de ambos simultáneamente.

### III. ¿Cuáles son las principales herramientas de la agricultura de precisión?

1. **Sistema de posicionamiento global (GPS).** Proporciona la respuesta a la pregunta ¿Dónde estoy? Es simplemente un “ubicador de posición” para gente, cosechadoras, sembradoras, pulverizadoras, etc. Ni más, ni menos. La precisión de la señal gratuita GPS puede ser suficiente para algunas operaciones, pero no para otras. Para lograr mayor precisión se puede pagar una corrección diferencial al GPS, lo que en conjunto se denomina DGPS.

#### Figura 1. Sistema de posicionamiento global (GPS)

2. **Monitoreo de rendimiento y mapeo.** Mide y graba el rendimiento de pequeñas áreas o “sitios” dentro del lote en forma continua, a medida que se cosecha el grano. Cada sitio tiene un ancho específico (el ancho de corte), un largo específico (la distancia recorrida por la cosechadora en el intervalo de grabación: 1 a 5 segundos), y una ubicación única (coordenadas x, y). El monitor de rendimiento también estima y graba el contenido de humedad y la cantidad de grano de cada sitio. El rendimiento, ya sea base “seca” o base “húmeda”, se calcula como la cantidad de grano de cada sitio dividida por el área de ese sitio de cosecha en particular. Con la ayuda de un programa se pueden hacer mapas que muestran la ubicación de estos sitios de cosecha, con sus respectivos rendimientos y humedades.

#### Figura 2. Monitor de rendimiento

3. **Muestreo intensivo de suelos.** El manejo óptimo de la fertilidad de suelos es un proceso de cuatro etapas. Primero se deben tomar muestras representativas de cada área de manejo dentro del lote (por tipo de suelo, zonas de diferente potencial de rendimiento, topografía, etc.). Estas muestras se analizan en el laboratorio, y los resultados del análisis se interpretan para determinar cuál es el factor limitante del rendimiento. Por último, se toma una decisión sobre la cantidad de nutriente a agregar, la densidad de siembra, etc.

#### Figura 3. Carta de suelos sobre la que se puede basar el muestreo por tipo de suelos

4. **Percepción remota.** Es la ciencia y el arte de obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de datos obtenidos con un aparato (sensor remoto) que no está en contacto físico con ese objeto, área o fenómeno bajo estudio. El sensor remoto puede estar a pocos centímetros o a varios kilómetros, dependiendo del sistema usado y de la información deseada. Ej.: sensor de nitrógeno, fotografías aéreas, imágenes satelitales, etc.

#### Figura 4. Satélite argentino de observación “SAC-C” equipado con sensores remotos.

5. **Sistema de información geográfica (GIS).** Es un programa de computación que puede recolectar, clasificar, mapear, graficar, almacenar, analizar y mostrar datos de producción con una referencia espacial (coordenadas: latitud y longitud). Es un sistema de “información” porque permite organizar los datos para que sea posible analizarlos, evaluarlos y tomar decisiones. Es el medio para transformar los datos en información útil para la planificación y la administración de los recursos.

#### Figura 5. Ventana de uno de los programas GIS más usados.

6. **Dosis variable de fertilizantes y densidad de siembra variable.** Permite ajustar la dosis de insumos de acuerdo al mapa de aplicación realizado en un GIS. Requiere del uso de un GPS para conocer la ubicación del equipo en el lote. Una computadora integra la información del mapa de aplicación y del GPS, enviando la información al controlador del equipo para variar la dosis recomendada sobre la marcha. Si no se dispone de un sistema de dosis variable automático, una alternativa es la dosis variable manual, o la paralelización de zonas de manejo.

#### Figura 6. Sembradora con dosis variable de fertilizante y densidad de siembra variable.

7. **Banderillero satelital.** Es un sistema de guía por GPS usado para que el equipamiento siga una trayectoria determinada en el mapa de aplicación. Es usado principalmente en pulverizadoras autopropulsadas y en aviones aplicadores.

#### Figura 7. Pulverizadora equipada con banderillero satelital.

#### **IV. Perspectivas de adopción**

En los próximos años se espera un fuerte crecimiento en la adopción de las herramientas de la AP, de modo tal que la información agronómica sea aprovechada en forma rentable, por una gestión más eficiente de las operaciones propias o tercerizadas de siembra, fertilización, pulverización, cosecha, post-cosecha, etc. Hay que recordar que todo cambio tecnológico tiene una curva de aprendizaje, y que los beneficios de las nuevas tecnologías siempre son capturados por los primeros en adoptar.

#### **El cambio tecnológico**

Una definición del cambio tecnológico o innovación es: "la capacidad de transformar un producto nuevo o mejorado que pueda ser introducido al mercado; o en un proceso nuevo o mejorado que pueda ser utilizado por la producción, la industria o el comercio; o en un nuevo enfoque para poder prestar un servicio social" (OCDE, 1994). Es decir, que para que el cambio tecnológico sea tal, debe existir un proceso que involucre no sólo a los que lo adoptan, sino también al resto de la sociedad y sus instituciones. Este proceso no surge sólo de la investigación, sino principalmente de la interacción entre ciencia, mercado y sociedad (Reca y Parellada, 2001).

De acuerdo a Reca y Parellada (2001), Argentina tiene un sistema nacional de innovación, que a su vez está constituido por dos sistemas: uno, centralizado, integrado por organismos oficiales y privados que participan formalmente en la definición de políticas públicas y en la asignación de recursos para la investigación y otro, no centralizado, integrado por un conjunto de agentes (empresas, organizaciones no gubernamentales e individuos) que realizan tareas de investigación fuera de las estructuras formales. Dentro del sistema centralizado se encuentran organismos oficiales como el INTA, el INTI, la CONEA, la CONAE, etc.; e instituciones privadas como AACREA, AAPRESID, etc.

Para el caso específico del cambio tecnológico relacionado a la AP, el INTA cuenta con un proyecto nacional que tiene como objetivo específico vincular las tareas de investigación y de extensión que se realizan sobre este tema. La coordinación general se encuentra en la Estación Experimental Agropecuaria Manfredi, Córdoba.

Según Lowenberg-DeBoer (1997), todo cambio tecnológico es confuso y desorganizado. A menudo exige cambiar la forma de pensar y la forma de trabajar. Hay veces que el cambio tecnológico tiene consecuencias inesperadas que causa reacciones en cadena a través del sistema de producción y mercado. La tecnología no aparece repentinamente del laboratorio o de un seminario totalmente formada y perfectamente operacional, sino que requiere un periodo de adaptación, con productores innovadores, fabricantes y científicos, cada uno haciendo lo que le corresponde para hacer que la tecnología sea tanto rentable como práctica.

En el medio de este cambio, los productores y la gente relacionada a los negocios agropecuarios deben tomar decisiones tecnológicas. No pueden esperar a que el polvo se asiente y a que la tecnología madure porque sería muy tarde. La mayor parte de los beneficios económicos de cualquier cambio tecnológico es aprovechada por los primeros en adoptar la nueva tecnología.

#### **La agricultura de precisión en Argentina**

En la Argentina, la agricultura de precisión no mejora el precio de los granos, el sistema de transporte ni la disponibilidad de créditos, pero es una tecnología con la que los productores buscan producir a bajo costo.

El potencial de la agricultura de precisión es el de reducir los costos en la producción de granos, aumentar la productividad y hacer un uso más eficiente de los insumos. En un sentido más amplio, la agricultura de precisión permite administrar los insumos en el tiempo y en el espacio, optimizar la logística de las operaciones a campo, supervisar el trabajo de los empleados en el campo, manejar los riesgos de la producción, vender productos diferenciados, proveer trazabilidad de los productos para consumo humano, y documentar los insumos aplicados para cumplir con reglas de protección ambiental. Los monitores de rendimiento también se usan como herramienta para diagnosticar malezas, pestes, enfermedades, problemas de drenaje y fertilidad, diferencias en sistemas de labranza, y por lo tanto, como una herramienta para la toma de decisiones en la elección de híbridos, variedades o pesticidas.

Por ej., si en grandes extensiones se usaran los monitores de rendimiento para seleccionar los híbridos o variedades que mejor se adaptan, el aumento de rendimiento del primer año podría pagar la inversión. Un productor con 1.000 has de maíz y soja, que aumenta sus rendimientos promedio en 50 kg/ha de soja y en 100 kg/ha de maíz, podría pagar un monitor de rendimiento con GPS de U\$S 8.000 en un año.

La difusión para la adopción de la agricultura de precisión en Argentina comenzó a principios de 1996 en el INTA Manfredi, Córdoba, con el lanzamiento de lo que hoy es el Proyecto Nacional de Agricultura de Precisión. Este proyecto alcanzó nivel nacional en 1999, y actualmente incluye cinco estaciones experimentales ubicadas en cuatro provincias (Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos), con la coordinación en Manfredi.

La Tabla 1 muestra la adopción de las diferentes tecnologías de la agricultura de precisión en Argentina.

**Tabla 1:** Adopción de las herramientas de la agricultura de precisión en Argentina

|                                      | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Monitores de rendimiento TOTAL       | 50   | 200  | 300  | 450  | 560  | 600  |
| Monitores de rendimiento con GPS     | 25   | 75   | 155  | 270  | 400  | 420  |
| Monitores de rendimiento sin GPS     | 25   | 125  | 145  | 180  | 160  | 180  |
| DV en sembradoras y fertilizadoras   | 3    | 4    | 5    | 6    | 10   | 12   |
| Banderillero satelital avión         | 35   | 60   | 100  | 160  | 200  | 230  |
| Banderillero satelital pulverizadora | 0    | 10   | 70   | 200  | 400  | 500  |
| Sensores de N en tiempo real         | 0    | 0    | 2    | 2    | 4    | 5    |

Fuente: Bragachini, 2003.

**Tabla 2:** Monitores de rendimiento por marcas

|                       | Total | con GPS |
|-----------------------|-------|---------|
| CASE AFS              | 154   | 90      |
| John Deere Green Star | 62    | 50      |
| Claas                 | 21    | 10      |
| Ag Leader             | 298   | 235     |
| RDS                   | 5     | 3       |
| AGCO/ Massey Ferguson | 60    | 32      |
| TOTAL                 | 600   | 420     |

Fuente: Bragachini, 2003.

Estas 420 cosechadoras equipadas con monitor de rendimiento más GPS tienen un potencial de cosecha de un +/- 4% del área total de los principales cultivos, por su gran capacidad, y porque pertenecen a grandes productores (40%) o contratistas (60%). Los principales fabricantes norteamericanos de cosechadoras venden máquinas en Argentina que ya vienen equipadas con monitor de rendimiento como equipo estándar, o que están con el cableado necesario para instalar el monitor como kit opcional. Los fabricantes argentinos de cosechadoras también venden las máquinas nuevas con el cableado listo para instalar monitores de rendimiento. De todas formas, la adopción del monitor de rendimiento en Argentina requiere ciertas regulaciones específicas a las condiciones locales de cosecha. Por ejemplo y a diferencia de los EE.UU., en Argentina no hay heladas fuertes al momento de la cosecha que maten completamente la planta. Por lo tanto, tanto las malezas como el tallo y la paja del cultivo suelen estar más húmedos, lo que a veces suele manchar el grano con verdín, o ensuciar la placa de impacto del sensor de rendimiento.

Un análisis de fortalezas, debilidades y oportunidades permite sacar conclusiones sobre el futuro de la adopción de esta tecnología en Argentina:

#### **Factores que favorecen la adopción (Fortalezas).**

El monitoreo de rendimiento es una de las herramientas de la agricultura de precisión que más rápidamente se va a adoptar en nuestro país, debido a:

- Productores que trabajan grandes extensiones de tierra, con una relación relativamente alta capital / empleado.
- Alto nivel de educación de grandes productores y de los asesores rurales.
- Tecnología disponible de Norteamérica y Europa, y desarrollos locales post-devaluación.
- Necesidad de los grandes productores de contar con mayor información.
- Facilidad de compartir datos para analizar problemas y buscar soluciones a través de agrupaciones de productores.

## **Factores que desfavorecen la adopción (Debilidades).**

Para la adopción de la agricultura de precisión en Argentina, hay por lo menos cuatro diferencias clave con países desarrollados:

- Mayor costo de la inversión en hardware y software por la devaluación y por la falta de crédito.
- Mayor riesgo de producción por retenciones, ausencia de subsidios, poca difusión del seguro de cosecha, falta de infraestructura de comercialización y transporte, inundaciones, etc.
- Menor variabilidad inducida de suelos por una historia de agricultura más reciente que el hemisferio norte y por el poco uso de fertilizantes o enmiendas.
- Uso generalizado de contratistas, lo que puede dificultar la cosecha de datos de calidad.

## **Oportunidades**

Para una mayor difusión y adopción de la agricultura de precisión en Argentina hay que vencer un número de desafíos:

- Entrenar a los agrónomos y a los productores a recolectar información útil para un análisis sitio-específico. Ejemplo de esto puede ser ensayos a campo en los que se pueda establecer una relación entre las características de los ambientes dentro del lote y los rendimientos obtenidos
- Capacitar a los operarios de cosechadoras y contratistas a recoger datos georeferenciados.
- Formar a los Ingenieros Agrónomos y a los Economistas Agrarios para que realicen análisis de rentabilidad en el espacio y en el tiempo.
- Interpretación de datos. Esto es un desafío siempre que se usa la agricultura de precisión y no se conocen las causas de la variabilidad.
- Usar datos de bajo costo, tales como mapas de rendimiento, mapas de elevación digital, imágenes satelitales, fotografías aéreas y en el futuro, sensores remotos y sensores de suelo.
- Desarrollar redes locales de investigación y experimentación adaptativa, ya que la agronomía y la economía de la agricultura de precisión son sitio-específicas.

## **Pronóstico**

- Rápida adopción del monitor de rendimiento por parte de productores y contratistas.
- Rápida adopción del banderillero satelital en aviones y pulverizadoras autopropulsadas, por parte de contratistas.
- Lenta pero sostenida adopción de la dosis variable, en la medida en que se identifiquen los factores limitantes de rendimiento y se prescriban recomendaciones adecuadas para cada zona de manejo.

## **V. Estimación de los beneficios de la agricultura de precisión**

En esta parte, Ud. aprenderá:

1. Cómo estimar los beneficios de la AP usando la metodología de los presupuestos parciales.
2. Cómo calcular los costos de la información sobre un periodo de varios años.
3. Cómo identificar los costos que tienden a ignorarse con el cálculo de los márgenes.
4. A ver cuáles son las dificultades en determinar las diferencias de rendimiento cuando se usan las técnicas de la AP.

La información es un insumo más de la producción, como lo puede ser la semilla, el fertilizante, los pesticidas y el combustible, por lo que permite usar la metodología de los presupuestos parciales. Un aspecto clave es que la información sólo tiene valor en la medida en que produzca un cambio en la toma de decisiones. La información que no se usa no tiene ninguna diferencia que la semilla que sobra o el fertilizante que no se aplica. Pero a diferencia de muchos insumos, la economía de la AP es sitio-específica. La rentabilidad de las tecnologías de AP difiere entre regiones y entre establecimientos debido a diferencias en suelos, manejo y microclima. Estas diferencias de rentabilidad sitio-específica hacen necesario que los productores estudien la rentabilidad de la AP en sus propios lotes.

El cambio en el margen que resulta de la adopción de una herramienta de la AP puede ser estimado por hectárea o a nivel de lote usando la metodología de presupuestos parciales. La información que se pueda amortizar en varios años se trata como un bien durable, como puede ser el mapa de elevación digital de un lote.

La metodología de presupuestos parciales por hectárea o a nivel de lote es una de las herramientas más utilizadas en los países desarrollados para estimar la rentabilidad de la AP. El presupuesto parcial se fija en los ingresos y en los costos que cambian cuando se aplican nuevas prácticas de producción. Deduce los cambios en los costos del cambio en los ingresos, de modo tal de estimar el cambio en el margen que resulta de adoptar una nueva práctica de producción:

$$\text{Cambio en el margen} = \text{cambio en los ingresos} - \text{cambio en los costos}$$

Un análisis de rentabilidad más completo debería incluir el impacto sobre el campo como un todo y los cambios en el riesgo de rendimientos y de costos de producción, pero por lo menos el método de presupuestos parciales es una buena forma de comenzar a estudiar la rentabilidad promedio.

### V.1. Estimación de los cambios en costos

En la mayoría de los casos, es más fácil estimar el cambio en los costos, que estimar el cambio en los ingresos. El cambio de costos es mucho más fácil de determinar en el caso de contratar los servicios de AP a un contratista, siempre y cuando exista en la zona. En este caso, el cambio en el costo es simplemente la tarifa que cobra el contratista.

Cuando la toma de información, el análisis y la implementación se hacen con mano de obra y equipamiento propios, el cálculo de costos se complica un poco, aunque no mucho.

Lo más difícil es estimar el cambio en los ingresos, debido principalmente a la variabilidad climática. En la mayoría de los casos estudiados en otros países, los costos de la AP no dependen del clima, mientras que la respuesta de rendimiento a alguna práctica de AP en un año dado puede variar ampliamente, debido a las precipitaciones u otros factores climáticos.

En el cálculo de costos aparecen algunos problemas típicos, por ejemplo, cuando se usa la información durante varios años, y cuando se omiten algunos costos. Algunos ejemplos de información que puede ser usada durante varios años puede ser el análisis dirigido de suelos, los mapas de elevación digital, las fotografías aéreas de suelo desnudo, etc. Los análisis de suelo se suelen hacer en ciclos de tres a cinco años, dependiendo de la rotación de cultivos. La topografía y el color del suelo en las fotografías aéreas pueden cambiar en el tiempo, pero muy lentamente. Este tipo de información se puede usar por diez años o más.

Cuando la información se usa por varios años se puede tratar como un bien durable. El costo anual de usar cualquier bien durable tiene dos componentes:

- 1) El costo de oportunidad del dinero invertido
- 2) La depreciación

El costo de oportunidad de los fondos invertidos en información de AP es la rentabilidad que tendrían esos fondos en la mejor alternativa de inversión. Por ejemplo, sin en lugar de invertir en AP, un productor hubiera pagado una deuda, el costo de oportunidad del dinero invertido sería la tasa de interés de esa deuda. El costo de oportunidad también podría determinarse en base a la rentabilidad potencial de otras tecnologías innovadoras, en la ampliación de la superficie trabajada, o en nuevas prácticas de producción. Dentro de los ejemplos de inversiones alternativas se podría mencionar la rentabilidad de un nuevo sistema de almacenaje de granos a campo, la rentabilidad de alquilar campo, o de producir un nuevo cultivo, o de invertir fuera de la actividad agricultura. Para facilitar los cálculos, esa rentabilidad potencial debe expresarse como una tasa anual, similar a una tasa de interés. En ese caso, el costo de oportunidad del dinero invertido es el total invertido multiplicado por la tasa de interés.

La depreciación es una estimación del uso anual de un bien, y no es lo mismo que la amortización contable. La forma más fácil de estimar la depreciación es asumir que todos los años se usa la misma proporción de un bien. Este es el método de depreciación lineal:

$$\text{Depreciación lineal} = \text{inversión} / \text{vida útil}$$

Por ejemplo, si un productor invirtiera \$8 / hectárea en muestreo y análisis de suelos, y si se hiciera cada cuatro años, la depreciación por el método lineal sería de \$2 / hectárea. Cabe aclarar que existen otros métodos alternativos para estimar tanto el costo de oportunidad del capital como la depreciación.

La Tabla 1 muestra un ejemplo de cómo se pueden estimar los costos anuales para el caso de muestreo dirigido de suelos en un campo que ya cuenta con un GPS y con un vehículo para ir a muestrear. El

presupuesto parcial sólo considera el costo extra de trabajo de muestreo y de análisis en laboratorio. Este ejemplo asume un muestreo dirigido intensivo cada 3 hectáreas, aproximadamente, 3 minutos para obtener y empaquetar la muestra, y un 10% de costo de oportunidad del capital.

**Tabla 1:** Anualización de los costos de información, para el caso de un muestreo dirigido de suelos en un lote de 40 ha, para un ciclo de muestreo de 4 años.

| Ítem   | Unidad   | Cantidad | Precio | Monto/ha       |
|--|----------|----------|--------|----------------|
| Mano de obra para el muestreo                  | Hora     | 3,25     | \$10,0 | \$32,50        |
| Costo de los análisis de suelo                 | análisis | 13,00    | \$7,50 | <u>\$97,50</u> |
| Total costo variable                           |          |          |        | \$130,00       |
| Costo de oportunidad del capital (10% interés) |          |          |        | \$13,00        |
| Depreciación lineal sobre 4 años               |          |          |        | <u>\$32,50</u> |
| Costo anual para un lote de 40 ha              |          |          |        | \$45,50        |
| Costo anualizado por ha                        |          |          |        | <u>\$1,38</u>  |

Adaptado de Precision Farming Profitability, Lowenberg-DeBoer & Erickson, 2000

Los \$130 para el lote de 40 ha representan un monto importante a los efectos del flujo de dinero, pero si se tomara para un solo año, castigaría el costo de tener información sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Si todos los costos se aplicaran a un solo año, no habría ningún sistema de manejo intensivo que fuera rentable. Los \$45,50 para el lote de 40 hectáreas, o los \$1,38 por hectárea, es una estimación del costo económico anual de esa información. La anualización de los costos se obtiene con la fórmula:  $I * d / (1 - (1 + d)^{-n})$ , donde:  $I$  es el costo de la información,  $d$  la tasa de descuento y  $n$  la vida útil de la información. Se debe hacer énfasis en la palabra “estimación”, porque no existe ningún método perfecto para estimar los costos anuales. La mejor prueba de que un método de estimación de costos funciona es que resulte en decisiones rentables.

**Costos que tienden a ser ignorados.** El análisis económico de la AP tiene una tendencia a estudiar los cambios en la cantidad de insumos aplicados y en el cambio de los costos, pero hay otros costos que también deben ser considerados:

- **Recolección de datos.** Por ejemplo, el muestreo dirigido de suelos, las imágenes satelitales, el seguimiento del cultivo, etc.
- **Análisis de datos.** Por lo general se requiere de un software especializado para analizar los datos y generar recomendaciones de manejo sitio-específico.
- **Capacidades analíticas.** Ni los productores ni los ingenieros nacen con la capacidad para analizar los datos de la AP. Esta es una habilidad que se debe adquirir. El tiempo de aprendizaje compite con el tiempo destinado a otras actividades productivas, y puede exigir tomar cursos de capacitación, participar en talleres, asistir a conferencias, etc.

El costo que más tiende a ser ignorado es el de desarrollar las capacidades necesarias para la AP. Este costo es muy fácil de estimar en el caso que esas capacidades se compren como el servicio de un asesor profesional. Pero si esas habilidades son desarrolladas por miembros de la familia, hay que tener en cuenta todos los gastos relacionados al aprendizaje formal. Estos gastos son relativamente fáciles de identificar, y comprenden el costo de asistencia a cursos de capacitación, incluyendo el costo del viaje, libros u otros materiales de apoyo que se compren. El costo de aprendizaje por experiencia en el trabajo es más difícil de cuantificar. Por ejemplo, ¿cuál es el costo de un día de cosecha dedicado a aprender cómo manejar y calibrar un monitor de rendimiento? Aunque el costo de aprendizaje por experiencia en el trabajo no sea fácil de cuantificar, hay que reconocer que su costo es elevado.

Dado el rápido cambio tecnológico actual, las capacidades desarrolladas en AP se deprecian a ritmo acelerado. Sin embargo, su costo se puede distribuir en varios años de uso.

Los cambios en los costos pueden ser tanto positivos como negativos. En algunos casos, los costos del uso de insumos caen lo suficiente como para compensar el costo extra de la información, el análisis y la implementación.

## V.2. Estimación de los cambios en los ingresos

Al pensar sobre los cambios en los ingresos por lo general se piensa en términos de aumento de rendimiento, aunque en realidad hay una serie de impactos positivos sobre los ingresos que hay que considerar, incluyendo:

- **Mejoras en la calidad.** Por ejemplo, los nuevos sensores en etapa de desarrollo que analizan el contenido de proteína de los granos puede contribuir a que los productores de trigo realicen una cosecha diferencial por zonas de diferente contenido proteico, y que vendan el producto diferenciado con mayor precio.
- **Producción bajo contratos y apertura de mercados nicho.** Dado que la AP brinda al productor un mayor control sobre la producción agrícola, le permite acercarse más a la “producción por especificación” que requieren ciertos contratos con la industria y algunos mercados de productos especiales. Los productores que usen AP llevan la ventaja al momento de negociar contratos.
- **Satisfacer las leyes ambientales.** En la Argentina del futuro será necesario cumplir con leyes y reglamentos de prevención de la contaminación ambiental, tal como lo es hoy en países desarrollados, ya sea por temor a una multa, ya sea porque es un requisito necesario para cumplir con normas de calidad. La AP permite llevar un registro detallado sobre qué insumo se aplicó, cuánto y dónde, lo que en cierta forma brinda al productor una “licencia para producir”.
- **Mejorar la logística de la producción y la comercialización.** La información que brinda el monitor de rendimiento a medida que se avanza en la cosecha permite, por ejemplo, separar el grano relativamente más húmedo del grano relativamente más seco. En algunos casos, esto permitiría sacar ventaja al llegar antes al mercado con un grano seco, obteniendo mejores precios que si hubiera que esperar un tiempo de secado, etc., sin dejar de cumplir con contratos o compromisos firmados con anterioridad. También permite regular la velocidad de trabajo en función del grano procesado, si se conoce la capacidad de procesamiento de la cosechadora en la trilla, separación y limpieza. Con esa información, el operario podría avanzar más rápido en los lugares de menor rendimiento del cultivo y más lento en los lugares de mayor rendimiento, manteniendo constante el flujo de alimentación de grano de acuerdo a la capacidad ideal de la cosechadora, lo que permite aumentar la eficiencia de trabajo.

## V.3. Dificultades para estimar los beneficios de la agricultura de precisión.

Algunos de los problemas que se pueden presentar al momento de estimar los beneficios de la AP pueden ser:

- **Falta de evidencia de mayor ingreso.** El incremento de rendimiento físico y la mejora en la calidad del producto son las dos principales fuentes primarias de ingreso que se pueden esperar de la AP, pero no son fáciles de cuantificar. La Tabla 2 muestra un ejemplo de presupuesto parcial de un campo de 526 hectáreas que usa AP. La principal fuente de rentabilidad proviene del mayor ingreso que generó el aumento de rendimiento del maíz, el que se incrementó significativamente al pasar de un manejo tradicional a un manejo sitio-específico.
- **Puede que la diferencia no sea visible a simple vista.** La AP se trata de hacer una “regulación fina” de los sistemas de producción. Los monitores de rendimiento y otros sensores pueden medir diferencias de rendimiento y de calidad que no son percibidos a simple vista. El análisis con un sistema de información geográfica (GIS) permite identificar tendencias y problemas en el cultivo que de otro modo no se hubieran detectado.
- **Los beneficios son específicos para cada campo y no generalizables.** La “regulación fina” que se hace a través de la AP incluye el manejo óptimo de suelos, microclimas, habilidades gerenciales, y oportunidades comerciales. La sinergia entre todos los componentes de un sistema de producción puede brindar una ventaja competitiva. Para lograr esta sinergia se requiere tener conocimiento del terreno, que sólo se puede adquirir a través de un seguimiento continuo del campo y de la realización de algunos ensayos a campo. Las ventajas o beneficios sólo pueden ser medidos en el lugar donde ocurren.
- **Hay algunos beneficios de la agricultura de precisión que sólo se pueden medir a nivel del campo.** Por ejemplo, si un productor usa los mapas de rendimiento y los análisis de suelo para diagnosticar un problema de plagas, malezas o enfermedades, las decisiones que se tomen van a ser sobre el planteo de rotaciones y sobre otros factores de manejo a nivel de la explotación como un

todo, no solamente sobre el lote donde se detectó el problema. En este sentido, los ensayos a campo no ayudan a medir estos beneficios.

- **Algunos de los beneficios de la agricultura de precisión se perciben fuera del campo.** A las herramientas de la AP se les puede sacar un provecho igual o mayor al que se obtiene con el manejo de la variabilidad dentro de un lote, como ser los beneficios que se pueden obtener de los sensores remotos para una mejor comercialización; del registro de insumos aplicados para proveer certificación de inocuidad y calidad de alimentos; o de los mapas de rendimiento para negociar el arrendamiento de la tierra.

#### V.4. Ejemplo de presupuesto parcial.

La Tabla 2 brinda un ejemplo de presupuesto parcial, en base a los ensayos a campo de AP en un campo de 526 hectáreas de EE.UU. que produce maíz y soja. Por supuesto que las condiciones de Norteamérica y de Argentina no son las mismas, pero el objetivo de este ejemplo es solamente el de ilustrar la metodología de análisis, que deberá ser adaptada a cada caso en particular. El testigo con el cual se comparan los resultados es el manejo convencional con aplicación uniforme de fertilizantes y con dosis de siembra constante. En este campo, el principal beneficio del manejo sitio-específico fue el mayor ingreso que generó el aumento de rendimiento del maíz en los suelos más pobres, con menor potencial de rendimiento. El aumento de rendimiento promedio de maíz producido con AP fue de 10 quintales por hectárea. Estos cambios de rendimiento se estimaron a partir de tres años de mapeo de rendimiento de ensayos a campo en franjas que ocuparon un total de 80 hectáreas cada año. Los rendimientos de cada franja se estimaron según tipos de suelo.

**Tabla 2** Ejemplo del presupuesto parcial de un campo de 526 hectáreas que produce maíz y soja con agricultura de precisión en Illinois, EE.UU. (U\$S/ha).

| Item   | Unidad    | Cantidad | Precio   | Monto/ha     |
|--|-----------|----------|----------|--------------|
|  |           |          | unitario |              |
|  |           |          | U\$S     | U\$S/ha      |
| <b>Cambio de rendimiento</b>                     | kg/ha     | 960,72   | 0,09     | <b>86,99</b> |
| <b>Cambio de costos de equipamiento</b>          |           |          |          |              |
| Monitor de rendimiento                           | Ítem      | 1        | 4000     | 3,51         |
| GPS  | Ítem      | 1        | 6000     | 5,27         |
| Controladores para la siembra y fertilización    | Ítem      | 1        | 5000     | 8,78         |
| Computadora portátil                             | Ítem      | 1        | 3000     | 5,27         |
| <b>Aumento total en el costo de equipamiento</b> |           |          |          | <b>22,83</b> |
| <b>Cambios en los costos de fertilizantes</b>    |           |          |          |              |
| Nitrógeno  | kg/ha     | -0,49    | 0,55     | -0,27        |
| Fósforo  | kg/ha     | -16,42   | 0,66     | -10,85       |
| Potasio  | kg/ha     | -3,73    | 0,29     | -1,07        |
| Azufre   | kg/ha     | 2,43     | 0,46     | 1,12         |
| Zinc   | kg/ha     | 0,12     | 5,20     | 0,64         |
| Boro   | kg/ha     | 0,06     | 15,79    | 0,88         |
| <b>Cambio total en el costo de fertilizantes</b> |           |          |          | <b>-9,54</b> |
| Cambio en el costo de semilla                    | Bolsas/ha | 0,01     | 90,00    | 1,18         |
| Cambio en el costo de muestreo de suelos         | ha        | 1        | 12,35    | 12,35        |
| Cambio en el costo de aplicación de fertilizante | ha        | 1        | 12,35    | 12,35        |
| Honorarios del especialista en AP                | Campo     | 1        | 650,00   | 1,23         |
| <b>Retornos netos al manejo sitio-específico</b> |           |          |          | <b>46,59</b> |

Adaptado de Precision Farming Profitability, Lowenberg-DeBoer & Erickson, 2000

El costo en equipamiento se estimó usando un costo de oportunidad del capital del 10%, y el método de depreciación lineal sobre una vida útil de 3 años. Además del costo anual del capital y de la depreciación, se incluyó un 0,9% de impuestos y seguros, como así también un coeficiente de reparación y mantenimiento del 2% sobre el valor a nuevo. La corta vida útil es un supuesto conservador, debido al rápido cambio tecnológico. Tanto la computadora portátil, como la sembradora de grano grueso y el controlador para dosis variable de nitrógeno se usaron solamente para maíz, por lo que su costo se distribuyó sobre un 50% de la superficie del campo.

La vida útil del equipamiento para manejo sitio-específico es similar a la de las computadoras y otros equipos electrónicos. En este caso, el costo anual del monitoreo de rendimiento con GPS es de unos U\$S 8,78 por hectárea (U\$S 3,51 /ha + U\$S 5,27 /ha).

Los costos totales en cantidad de fertilizantes utilizados cayeron levemente (U\$S 9,54 /ha), pero no lo suficiente como para compensar el aumento en el costo de muestreo con análisis de suelos (U\$S 12,35 /ha) y en costo extra de la aplicación con dosis variable (U\$S 12,35 /ha). La aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio fue menor, mientras que la aplicación de micronutrientes fue un poco mayor.

En este ejemplo, el costo total en semillas no cambió mucho, porque el aumento de la densidad de siembra en los suelos ricos, de alto potencial de rendimiento, compensó la disminución de la densidad de siembra en los suelos pobres, de bajo potencial de rendimiento. Con densidad de siembra uniforme (convencional), la población fue de 82.000 semillas por hectárea, mientras que con densidad de siembra variable, la población osciló entre 79.000 y 89.000 semillas por hectárea.

Los honorarios del especialista en AP se distribuyeron sobre toda la superficie del campo. Refleja el costo que significa el mayor y mejor conocimiento de las variables de producción debido a la AP. Este costo es real y debe ser tenido en cuenta, ya sea que el productor contrate a un asesor, ya sea que el productor desarrolle las habilidades y realice el análisis por sí mismo.

En conclusión, los retornos netos al manejo sitio-específico se estimaron en **U\$S 46,59 por hectárea**. Esto no incluye los beneficios extras que se pueden obtener en el mercado de arrendamiento de la tierra.

### **Algunos resultados de algunos análisis económicos realizados en Argentina.**

Bongiovanni (2002) usó datos de monitor de rendimiento provenientes de ensayos a campo de fertilización nitrogenada en **maíz** en la zona de Río Cuarto, para estimar las funciones de producción sitio-específicas por topografía, usando un modelo de auto-regresión espacial. Los ensayos se condujeron en tres sitios y durante tres campañas. El diseño experimental de este estudio, que es la tesis doctoral del autor, incluyó tratamientos de franjas con dosis uniformes de N a lo largo del lote, en bloques al azar, usando regresión para estimar las curvas de respuesta al N por topografía. Se utilizó un sistema de presupuestos parciales para calcular las dosis óptimas de N para aplicación uniforme y para dosis variable.

El margen neto por fertilización con N se calculó usando análisis marginal, el que indica que la rentabilidad máxima se obtiene cuando el valor de un aumento marginal en el rendimiento por aplicación de N, es igual al costo de aplicar una unidad extra de N; o en otras palabras, cuando el valor del producto marginal es igual al costo del factor marginal, el N en este caso.

Se utilizaron estas dosis óptimas económicas porque constituyen una mejor alternativa a las dosis "agronómicas" cuando se dispone de la información para construir las curvas de respuesta. La Tabla 3 muestra el costo de indiferencia de la dosis variable de N cuando se usaron los coeficientes estimados con el modelo de auto-regresión espacial.

Un costo de indiferencia de la DV mayor a U\$S 2 /ha, indica que la DV de N es rentable en Argentina. Se debe aclarar que se calculó un costo extra de U\$S 2 /ha para aplicar con dosis variable en base a lo que cobra un contratista en la zona de Río Cuarto. A medida que la tecnología se abarate y que aparezcan desarrollos nacionales, ese costo extra va a ser más bajo. También es posible adaptar algunas alternativas sitio-específicas para fertilizar con dosis variable, como fertilizar con N solamente en las lomas, donde más se necesita, lo que reduce el costo de la dosis variable y aumenta la rentabilidad. Por lo tanto, el costo extra de la dosis variable está asociado a cierta incertidumbre que depende del nivel de manejo.

Tabla 3: Costo de indiferencia de la dosis variable de N (U\$\$/ha) por establecimiento y por campaña.

| Establecimiento | Campaña              | Rentabilidad<br>U\$\$ ha <sup>-1</sup> |
|-----------------|----------------------|--|
| Las Rosas       | 1998-99 (año húmedo) | 7,65                                   |
|                 | 2000-01 (año seco)   | 4,31                                   |
|                 | Promedio             | 2,82                                   |
| La Morocha      | 1998-99 (año húmedo) | 36,81                                  |
|                 | 2000-01 (año seco)   | 17,31                                  |
|                 | Promedio             | 2,09                                   |
| El Piquete      | 1998-99 (año húmedo) | 9,89                                   |
|                 | 2000-01 (año seco)   | N/A                                    |
|                 | Promedio             | 15,77                                  |

Los resultados de otro análisis de rentabilidad de la agricultura de precisión en **trigo** realizado por Bongiovanni (2003a) en base a las curvas de respuesta al N obtenidas por Melgar y colaboradores (2001) indican que la ganancia extra por usar dosis variable de N sería de U\$\$ 3,38/ha para años normales y de U\$\$ 10,72/ha para años húmedos. Este trabajo debe ser complementado con la respuesta en años secos. Para ello van a ser de suma utilidad las dosis óptimas económicas en trigo que se obtengan de los ensayos cosechados en Noviembre de 2003 en el INTA Manfredi.

No obstante los resultados de los análisis económicos son alentadores, se debe tener siempre presente que la rentabilidad de la agricultura es específica de cada sitio, dependiendo de la variabilidad; es decir, no se puede generalizar a condiciones que sean distintas a las estudiadas.

Por último, se debe recordar que el monitor de rendimiento no sirve sólo para prescribir dosis variables, sino que también es una herramienta de manejo de la información. A modo de ejemplo, un productor con 300 ha de trigo, que use el monitor de rendimiento para seleccionar las mejores variedades de trigo para cada zona de variabilidad, y que con ello aumente sus rendimientos promedio en 2 quintales/ha, podría pagar un monitor de rendimiento con GPS de U\$\$ 7.000 en un año (sin tener en cuenta el costo extra del ensayo y análisis de datos) (Bongiovanni, 2003b). Si el ejemplo se hace para un productor con 900 ha de maíz y soja, que aumenta sus rendimientos promedio en 50 kg/ha de soja y en 100 kg/ha de maíz, podría pagar un monitor de rendimiento con GPS de U\$\$ 7.000 en un año.

## V.5. Conclusiones

Una de las decisiones claves que tienen que tomar los productores que quieran adoptar la AP es si van a contratar los servicios, o si van a desarrollar por sí mismos la capacidad necesaria para la recolección de datos, análisis y manejo diferencial. En ciertos casos, los contratistas pueden ofrecer el servicio en forma más económica, como ser en los casos en que se exija una gran inversión de capital que debe distribuirse sobre varios campos para que sea rentable, como lo sería una cosechadora con monitor de rendimiento y GPS.

En otros casos, la decisión es una cuestión de tiempo, y como todo productor ya sabe, el tiempo es dinero. Hay dos factores principales a considerar: ¿Hay contratistas disponibles en tiempo y forma? ¿Se cuenta con la mano de obra necesaria para hacer el trabajo extra que requiere la AP? Por lo general se limita a una elección entre dos opciones, una de bajo nivel tecnológico que requiere más tiempo, y otra de alto nivel tecnológico que es más rápida, pero más cara. También se debe tener en cuenta la calidad y la confiabilidad del trabajo realizado.

El tiempo también tiene un costo de oportunidad asociado, como lo es en el caso del capital. En el momento de la siembra y de la cosecha el costo de oportunidad del tiempo es muy elevado, mientras que en el resto del año es mucho menor.

En el caso de aquellas tareas que exigen el desarrollo de nuevas habilidades, como lo es el análisis de los datos del monitor de rendimiento, se tendrá que tomar una decisión estratégica entre contratar el servicio o realizarlo dentro de la empresa. Comparado con los otros costos de producción, el costo de una computadora y de un software para el análisis de datos no es elevado, pero el tiempo y esfuerzo requeridos para realizar el análisis puede ser muy elevado.

La AP puede ser analizada como cualquier otra tecnología innovadora. La información es un insumo en el proceso productivo, tal como lo son la semilla, el fertilizante, los agroquímicos o el combustible. La información tiene valor si conduce a tomar mejores decisiones. Si la información se usa por varios años, debe ser tratada como cualquier otro bien de capital. En la mayoría de los casos es más difícil estimar los beneficios que estimar los costos de la AP. La rentabilidad de la AP es específica de cada sitio, por lo que los márgenes varían entre sitios debido a la variabilidad de los suelos, historia de manejo, microclima y otros factores.

#### **Referencias:**

- Bongiovanni, R. 2002. A Spatial Econometric Approach to the Economics of Site-Specific Nitrogen Management in Corn Production. Ph.D. Thesis, Agricultural Economics, Purdue Univ. 306 pp. Disponible en: <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/analecon.htm>
- Bragachini, M. 2003. INTA Manfredi. <http://www.agriculturadeprecision.org>
- Lowenberg-DeBoer, J. 1997. A bumpy road to the adoption of precision agriculture. Purdue Agricultural Economics Report. Nov. 1997. [http://www.agecon.purdue.edu/extension/pubs/paer/pre\\_98/paer1197.pdf](http://www.agecon.purdue.edu/extension/pubs/paer/pre_98/paer1197.pdf)
- Lowenberg-DeBoer, J. y K. Erickson, 2000. Precision Farming Profitability. Purdue University – CNH. 132 p. <http://www2.agriculture.purdue.edu/ssmc/PPorderform.pdf>
- OCDE, 1994. National Systems of Innovation: General Conceptual Framework. DSTI/STP/TIP (94), 4, Francia.
- Reca, L. y G. Parellada. 2001. El sector agropecuario argentino. Editorial FAUBA, Buenos Aires. ISBN 950-29-0640-3, 150 p.