

# ¿NUESTROS ACTUALES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SON AMBIENTALMENTE SUSTENTABLES?

Ing. Agr. Agr. M.Sc. Manuel Ferrari

EEA-INTA Pergamino, Avda. Frondizi, km 4.5, B2700WAA Pergamino, Bs. As., Argentina – UNNOBA  
mferrari@pergamino.inta.gov.ar

## 1. Definiendo la sustentabilidad

Han sido propuestas varias definiciones de sustentabilidad. Probablemente, una de las que mejor sintetiza el concepto es la que establece que la *agricultura sustentable* se basa en sistemas de producción cuya principal característica es la aptitud de mantener su productividad y ser útiles a la sociedad indefinidamente. En consecuencia, los sistemas de producción sustentables deben reunir los siguientes requisitos: 1) conservar los recursos productivos; 2) preservar el medio ambiente; 3) responder a los requerimientos sociales; y 4) ser económicamente competitivos y rentables (Martelotto *et al.*, 2001). La distinta índole de los requisitos mencionados ha dado lugar también a que se identifiquen tres ejes de la sustentabilidad: la viabilidad ecológica, la viabilidad social y la viabilidad económica (Satorre, 2003). Si se circunscribe el análisis sólo a la dimensión ambiental, y específicamente a la conservación del recurso suelo, es posible emplear un concepto más restringido de la sustentabilidad. Así, para los sistemas de producción agrícola continua, como los que predominan en la Pampa Ondulada, un esquema productivo podría ser considerado sustentable solamente considerando si permite mantener los rendimientos de grano a lo largo del tiempo. Para alcanzar dicho objetivo, es necesario que los sistemas estén diseñados sobre la base de tres pilares o columnas: la *siembra directa*, la *fertilización* y la *rotación de cultivos*. La adecuada combinación de estos tres pilares y la eficaz implementación de cada uno de ellos pueden redundar inclusive en un incremento de los niveles de productividad (Figura 1).

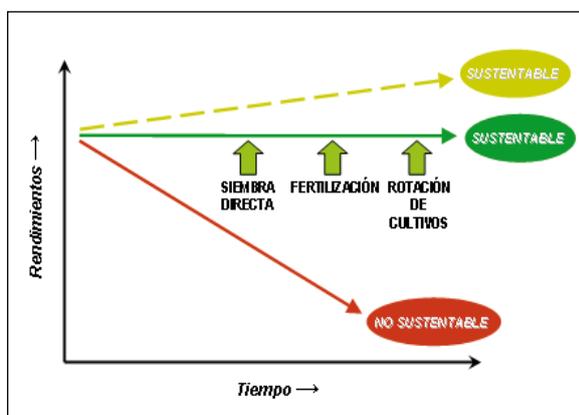


Figura 1. Pilares de los sistemas de producción agrícola sustentables: siembra directa, fertilización y rotación de cultivos.

## 2. Evolución de los pilares de la sustentabilidad

La siembra directa ha mostrado un crecimiento explosivo e incesante en nuestro país desde principios de la década del '90. Para la campaña 2005/06, se estimaba que el área manejada con este sistema constituía aproximadamente el 70% de la superficie cultivada en Argentina (AAPRESID, 2009). Es probable que esta proporción sea aún mayor en la Pampa Ondulada. La fertilización también ha registrado una adopción marcadamente creciente durante los últimos años. Las estadísticas de consumo de fertilizantes a nivel nacional revelan que se ha pasado de utilizar unas 300.000 toneladas en 1991 a aproximadamente 3.700.000 toneladas en 2007, lo cual implica decir que en un lapso de 16 años se ha aumentado en más de 12 veces el consumo de fertilizantes. No obstante este notable incremento, las relaciones Aplicación/Extracción de los principales nutrientes (N, P, K y S) en los cultivos extensivos indican balances negativos en todos los casos. Si bien estas relaciones han ido mejorando a lo largo del período 1993-2009, en ningún año la reposición de nutrientes superó el 55% del N, el 65% del P, el 45% del S, y el 3% del K extraídos con los granos en las cosechas (García y González Sanjuan, 2010). Estos valores ponen de manifiesto que, a pesar de los esfuerzos, las cantidades de fertilizantes usadas aún no son suficientes para detener la continua pérdida de fertilidad de los suelos. La rotación de cultivos es una práctica que ha estado cada vez más limitada durante los últimos años como resultado de un escenario a nivel nacional caracterizado por el constante incremento de la superficie

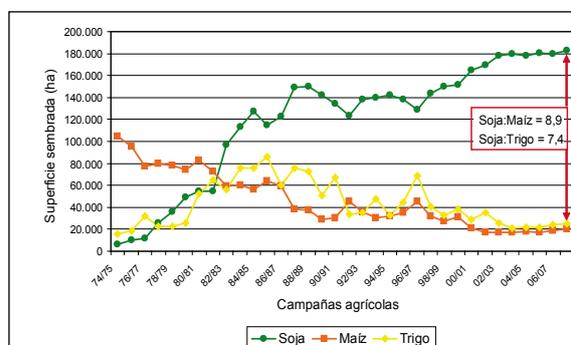


Figura 2. Evolución de la superficie de siembra de los principales cultivos agrícolas en el partido de Pergamino (Buenos Aires) durante el período 1974/75 - 2007/08 (Elaboración propia en base a datos de la SAGPyA).

destinada a soja en detrimento de otros cultivos como el maíz y el trigo. A título ilustrativo, en la Figura 2 se presenta la evolución de la superficie sembrada con los cultivos de soja, maíz y trigo durante el período 1974/75 – 2007/08 en el partido de Pergamino, corazón de la que tradicionalmente fuera denominada “Región Maicera Típica” o “Región Maicera Núcleo”. Para la campaña 2007/08, la superficie destinada a soja fue casi 9 veces mayor que la sembrada con maíz (aunque, como cultivos “de primera”, la relación soja:maíz es de aproximadamente 7,5:1) y más de 7 veces superior a la de trigo. Dichas relaciones se han mantenido bastante estables durante los últimos 6 años de la serie analizada.

En mayor o menor grado, el marcado desbalance entre cultivos descripto para el área de Pergamino es representativo de la situación general que actualmente presenta la Pampa Ondulada, región en la cual se encuentran muchos de los mejores suelos de la República Argentina.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, puede entonces concluirse que, globalmente, nuestros actuales sistemas de producción agrícola no son sustentables. Si bien algunos de los pilares en los cuales deberían basarse, como la siembra directa, muestran tendencias claramente positivas, la insuficiente reposición de nutrientes y la pobre adopción de las rotaciones de cultivos alejan a nuestros esquemas de producción de granos del camino conducente hacia la sustentabilidad ambiental.

Indudablemente, el aspecto en el cual los actuales sistemas de producción agrícola presentan el peor desempeño es el de las rotaciones. El acentuado déficit en el empleo de las mismas implica, a su vez, el no aprovechamiento de una serie de ventajas que producen las secuencias programadas de cultivos.

### 3. Ventajas de las rotaciones de los cultivos

La implementación sostenida de una adecuada rotación de cultivos ofrece las siguientes ventajas:

- Diversificación de riesgos productivos y económicos
- Control facilitado de malezas, insectos y enfermedades



Cultivo de soja sembrado sobre rastrojo de maíz en la región pampeana central

- Incremento de los rendimientos de grano
- Mejoramiento de las condiciones del suelo (propiedades físicas, químicas y biológicas)

Las dos primeras ventajas escapan al objetivo de este artículo, por lo cual las mismas no serán aquí desarrolladas. A continuación, se presenta información acerca de los efectos positivos de las rotaciones sobre la productividad de los cultivos y sobre algunas propiedades importantes del suelo.

#### 3.1. Incremento de los Rendimientos de Grano

Varias experiencias conducidas en la Pampa Ondulada indican que los rendimientos de soja son mayores cuando este cultivo se realiza después de una gramínea de verano que cuando es implantado sobre otro cultivo de soja. Así, en un ensayo de rotaciones de larga duración iniciado en la EEA-INTA Marcos Juárez en 1975/76, los rendimientos de soja de primera promedio de 5 años (campañas 1999/00-2003/04) en las rotaciones sorgo-soja y maíz-soja fueron superiores a los obtenidos en la situación de monocultivo (soja continua). El incremento de los rendimientos sobre antecesor sorgo osciló entre el 8% y el 18% y sobre antecesor maíz entre el 7% y el 8%, según se tratase de manejos sin fertilización o con fertilización (N, P y S), respectivamente. El mejor comportamiento de la soja de primera en rotación estuvo asociado a la mayor disponibilidad de agua en el suelo a la siembra de la soja que fue medida en los rastrojos de sorgo y maíz (Lattanzi *et al.*, 2005). Los efectos beneficiosos sobre la productividad de la soja, ocasionados por la inclusión de gramíneas en la secuencia pueden exceder el impacto inmediato sobre el cultivo siguiente y extenderse en el tiempo. En una experiencia de 4 años de duración conducida en un suelo degradado de la localidad de San Jerónimo Sud (Santa Fé), fueron comparados 5 tratamientos: T0 (Testigo): Soja de primera continua; T1: Sorgo-Soja-Sorgo-Soja; T2: Maíz-Soja-Maíz-Soja; T3: Sorgo-Soja-Soja-Soja; y T4: Maíz-Soja-Soja-Soja. En promedio, los rendimientos de la soja de primera después de una gramínea como antecesor inmediato (T1 y T2) superaron a los de la soja en monocultivo (T0) en 550 y 200 kg/ha, según el cultivo previo fuera sorgo o maíz, respectivamente. Asimismo, la producción de grano de la soja continuó manifestando el efecto positivo de la incorporación de una gramínea en la secuencia aún en los años sucesivos (T3 y T4). Así, en el tercer año del ensayo, la soja siguió rindiendo 500 kg/ha más sobre el sorgo y 250 kg/ha más sobre el maíz que habían sido implantados 2 años atrás, con respecto al monocultivo de soja. En el cuarto año, los rendimientos de soja aún mostraban incrementos de 300 y 200 kg/ha adicionales sobre sorgo y maíz, respectivamente, con relación al T0 (Felizia *et al.*, 1994).

### 3.2. Mejoramiento de las Condiciones del Suelo

Los beneficios para el suelo de la inclusión de gramíneas en las rotaciones agrícolas pueden ser sintetizados en los siguientes puntos:

- Aporte de un abundante rastrojo, de alta relación C:N (lo que favorece su perdurabilidad) y, en el caso del trigo u otra gramínea invernal, también uniformemente distribuido
- Mejoramiento del balance de carbono del suelo y de las propiedades químicas (fertilidad), físicas (estructura) y biológicas asociadas a la materia orgánica
- Aumento de la eficiencia de uso del agua del suelo, al favorecer la infiltración del agua de lluvia y disminuir los fenómenos de evaporación y escurrimiento
- Disminución de los procesos de erosión
- Incorporación de una importante cantidad de biomasa de raíces
- Mejoramiento de la estructura del suelo a través del crecimiento de su denso sistema radicular

Como puede deducirse, los efectos positivos mencionados están íntimamente asociados a las características de los rastrojos y de las raíces de los cultivos de gramíneas. Con relación a los rastrojos, merecen ser considerados tres aspectos: la cantidad de materia seca aportada, la calidad de la misma, y la distribución de los residuos sobre la superficie del suelo. El aporte de materia seca de rastrojos que pueden realizar distintos cultivos agrícolas de la región ha sido evaluado en varios estudios (por ejemplo, Cordone *et al.*, 1993; Cordone y Torioni, 1996). En general, el maíz y el trigo (en este último caso, especialmente los cultivares de ciclo largo) son los cultivos que producen las mayores cantidades de residuos de cosecha, frecuentemente alcanzando, y aún superando, las 10 t materia seca/ha. Para girasol, se han determinado aportes de 6-7 t/ha; para soja de primera, 4-6 t/ha; y para soja de segunda, 3-3,5 t/ha.

La calidad de los rastrojos puede ser caracterizada mediante la relación C:N, la cual permite predecir la rapidez con la cual los residuos serán descompuestos en el suelo. Valores de C:N elevados indican una lenta velocidad de descomposición y, por lo tanto, una más extensa perdurabilidad de los rastrojos, mientras que relaciones C:N bajas indican una rápida descomposición y, consecuentemente, también una pronta pérdida de cobertura sobre la superficie del suelo. Las relaciones C:N típicas determinadas en los residuos de cosecha de los cultivos de la región son de 80-122:1 para trigo, 91:1 para maíz, 45:1 para girasol y 43:1 para soja (Cordone *et al.*, 1993). La distribución uniforme de los residuos de cosecha sobre la superficie permite asegurar que gran parte de los beneficios de la inclusión de gramíneas en la rotación pueda ocurrir de manera homogénea en el

suelo. Si bien la uniformidad en la distribución de los rastrojos en parte está determinada por el tipo de cultivo (distancia entre surcos), la misma también puede ser modificada (en forma positiva o negativa) mediante el manejo y regulación de la cosechadora durante la operación de trilla.

Dentro de los cultivos agrícolas, los cereales presentan los sistemas radicales de mayor tamaño. En un trabajo de revisión, Gregory (1988) reportó pesos secos de raíz de hasta 170 g/m<sup>2</sup> para trigo de invierno, 160 g/m<sup>2</sup> para maíz, 100 g/m<sup>2</sup> para sorgo, y tan solo 58 g/m<sup>2</sup> para soja. Las extensiones máximas registradas siguieron una tendencia similar: 32,0; 15,1; 26,5; y 5,5 km raíz/m<sup>2</sup> para trigo de invierno, maíz, sorgo y soja, respectivamente.

Otro atributo de las raíces de los cultivos relacionado con la capacidad de generar una mejor estructura del suelo es la densidad de raíces (cm raíz/cm<sup>3</sup> suelo). En trigo se han medido valores máximos de 6-7 cm raíz/cm<sup>3</sup> suelo (capa 0-10 cm), mientras que en soja las mayores densidades nunca superaron los 0,9 cm raíz/cm<sup>3</sup> suelo (0-15 cm) (Gregory, 1988). Para maíz se han informado densidades máximas de 4,0-4,5 cm raíz/cm<sup>3</sup> suelo en el espesor 0-15 cm (Mengel y Barber, 1974). Claramente, las raíces de las gramíneas son potencialmente más aptas para mejorar la condición física de los suelos.

## 4. Problemas asociados a un exceso de soja en la secuencia de cultivos

Haciendo abstracción de otros posibles efectos negativos (por ejemplo, fitosanitarios), desde el punto de vista del suelo una elevada participación de la soja en las secuencias de cultivos puede ocasionar diversos problemas para la conservación del recurso. Debido a su nivel de importancia, merecen destacarse dos de dichos problemas, los cuales se describen a continuación.

### 4.1. El Balance de Carbono

La materia orgánica, o el carbono orgánico, es una propiedad edáfica clave, dado que su contenido afecta a varias otras propiedades químicas, físicas y biológicas relacionadas al funcionamiento del suelo y al crecimiento y productividad de los cultivos. Una manera de evaluar la dinámica del carbono y de estudiar su evolución bajo distintos manejos es mediante un balance. El mismo será positivo cuando el aporte de C de los rastrojos y su posterior transformación en humus sea mayor a las pérdidas de C del sistema a través de la mineralización, y negativo cuando la tasa de mineralización del C del suelo supere al aporte de C realizado.

Los modelos de simulación del balance de C prestan una valiosa ayuda para describir y predecir la evolución del stock de C del suelo cuando el mismo es

manejado con distintas estrategias de producción. Uno de dichos modelos es el AMG (Andriulo *et al.*, 1999 a y b). Mediante el empleo de este modelo, se realizó una simulación a 10 años para analizar cómo está evolucionando el C del suelo en el partido de Pergamino con el actual sistema de producción agrícola. Para tal fin, se consideraron las superficies promedio destinadas a soja, maíz y trigo durante el quinquenio 2003/04 – 2007/08 (Figura 2), de las cuales surge que la secuencia “representativa” de ese período habría consistido aproximadamente en 8 años de soja de primera, un año de trigo/soja, y un año de maíz. Los aportes de rastrojo fueron estimados a partir de los rendimientos promedio obtenidos en el quinquenio mencionado (soja de primera: 3850 kg/ha; trigo/soja: 3780/2450 kg/ha; y maíz: 8980 kg/ha; SAGPyA) y los índices de cosecha típicos de cada cultivo. Para cada uno de los cultivos integrantes de la secuencia también fueron estimados los aportes de C realizados por las raíces. Se consideró un stock inicial de C de 40,60 t C/ha (0-20 cm), equivalente a un contenido de 2,8% de materia orgánica, y se asumió que toda la secuencia fue manejada bajo un sistema de siembra directa. Los resultados de la simulación indicaron un balance negativo de 2,66 t C/ha en el período de 10 años, lo que implica una pérdida media anual de 266 kg C/ha. Sólo en el año en que la secuencia tuvo maíz se logró un balance positivo de C (+ 731 kg C/ha); los años restantes arrojaron balances negativos.

Estos resultados refuerzan el diagnóstico de no sustentabilidad de nuestros sistemas de producción agrícola y vuelven a poner en evidencia la necesidad de incorporar una mayor proporción de gramíneas como el maíz en los esquemas productivos a fines de poder mejorar los balances de carbono negativos que se registran en la actualidad.

#### 4.2. El Balance de Nitrógeno

La soja se encuentra intrínsecamente asociada a un resultado deficitario en el balance de N del suelo. Esto es consecuencia de la incapacidad que presenta el cultivo para fijar biológicamente desde la atmósfera la totalidad del N que exporta con los granos, lo cual lleva a que el resto del nutriente deba ser tomado del suelo. Por otro lado, la falta de respuesta a la fertilización nitrogenada que ha mostrado la soja en la mayor parte de las investigaciones realizadas descartaría, en la práctica, la posibilidad de mejorar el balance de N mediante aportes de fertilizantes al cultivo. Si bien existen estudios en marcha en los que se están evaluando algunas técnicas de manejo para intentar equilibrar el balance de este nutriente en sistemas de soja continua (por ejemplo, mediante cultivos de cobertura de gramíneas invernales fertilizados con N, los cuales atraparían al nutriente en el sistema bajo formas orgánicas que luego serían

liberadas gradualmente al suelo), actualmente este problema aún no tiene una solución concreta, de implementación inmediata y de probada efectividad. Como puede inferirse, el déficit de N así generado cada vez que se realiza un cultivo de soja alcanza cifras importantes cuando los valores son proyectados a nivel regional, dada la elevada proporción de la superficie agrícola que está cubierta por esta oleaginosa (Cordone y Martínez, 2004). Tomando sólo el partido de Pergamino, y considerando un rendimiento de grano de soja de primera de 3850 kg/ha (promedio del período 2003/04 – 2007/08) y un aporte de N por fijación biológica equivalente al 50% del total del nutriente absorbido por el cultivo, el balance es de -59 kg N/ha, valor que multiplicado por las aproximadamente 155.000 ha destinadas a soja como única cosecha en el año arroja una pérdida global de 9.145 t N/año. A un precio de US\$ 1.000/kg N, la valoración económica de este déficit a nivel del Partido asciende a US\$ 9.145.000/año. Este es uno de los costos “ocultos” de nuestros sistemas de producción agrícola.

#### 5. El camino hacia la sustentabilidad ambiental

Aunque tal vez no en su totalidad, podría afirmarse que una buena proporción de los conceptos hasta aquí presentados son conocidos en el sector productivo. La escasa difusión de sistemas de producción de granos más sustentables en la región no parecería tener su principal motivo en la falta de conocimientos sobre las prácticas más apropiadas para conducir planteos agrícolas que a la vez conserven o mejoren los recursos productivos, sino en la existencia de una serie de condicionantes que dificultan una mayor adopción de estos esquemas mejorados. Cuando se toman las decisiones respecto a la estrategia productiva a seguir, y para tal fin se evalúan, por un lado, las ventajas de los sistemas de producción sustentables (incluyendo rotaciones y reposición de nutrientes) y, por el otro, los factores condicionantes para su adopción, en la gran mayoría de los casos estos últimos pesan más y terminan definiendo la elección del modelo a implementar, el que usualmente se caracteriza por una inclinación marcada hacia el cultivo de soja. En la Figura 3 se presenta de manera esquemática el peso relativo que al momento de tomar decisiones se le suele asignar a las ventajas de las rotaciones que incluyen maíz y trigo y a los motivos que pueden condicionar la implementación de dicha práctica.

Sin lugar a dudas, el factor condicionante a la adopción que reviste mayor importancia es la tenencia de la tierra y la duración del alquiler. En este sentido, puede considerarse que actualmente coexisten en la región dos grandes grupos de productores, los que se encuentran en situaciones bastante contrastantes (Figura 4).

Si bien existen algunas variaciones zonales, actualmente se estima que entre el 50% y el 70% de la superficie agrícola de la región es manejada por productores en la Situación "B" (campos "arrendados"). Este proceso de tercerización de la producción agrícola ha seguido una tendencia creciente en las últimas décadas.

El camino hacia una mayor sustentabilidad ambiental requeriría que año a año una proporción de productores que se encuentra en la situación "B" pase a ocupar un lugar en la situación "A". Por supuesto, este es un proceso no exento de dificultades, y que involucra aspectos de distinta y variada naturaleza. Más aún, si bien el problema es en gran medida técnico, muchas de las soluciones posibles podrían trascender el plano estrictamente agronómico y tener también efectos de índole social y económica. No obstante, las evidencias parecen indicar que resulta imperioso pensar en un futuro distinto y mejor para la región y sus habitantes. La búsqueda consensuada de las modificaciones necesarias en el escenario productivo regional para que el alejamiento del camino hacia la sustentabilidad no se siga acrecentando es uno de los desafíos del presente y de los años venideros.

**Referencias**

**AAPRESID**, 2009. Evolución de la superficie bajo siembra directa en Argentina (campañas 77/78 – 05/06). Disponible en: <http://www.aapresid.org.ar/> (verificado 6 de agosto de 2009).

**Andriulo, A.; J. Guérif y B. Mary**, 1999a. Evolution of soil carbon with various cropping sequences on the Rolling Pampas. Determination of carbon origin using variations in natural <sup>13</sup>C abundance. *Agronomie*, 19:349-364.

**Andriulo, A.; B. Mary y J. Guérif**, 1999b. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences of the Rolling Pampas. *Agronomie*, 19:365-377.

**Cordone, G.E.; M.C. Ferrari; J.J. Ostojic y G. Planas**, 1993. Caracterización de los residuos de cosecha de los principales cultivos del norte de la Provincia de Buenos Aires. En: XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

– Trabajos y Comunicaciones Resumidos, pp. 191-192. Mendoza, 25 al 29 de octubre de 1993, AACs.

**Cordone, G. y F. Martínez**, 2004. El monocultivo de soja y el déficit de nitrógeno. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 24:1-4.

**Cordone, G. y E. Torioni**, 1996. Producción de rastrojo de distintos cultivares de trigo en Pergamino según la fecha de siembra y la tecnología utilizada. *Carpeta de Producción Vegetal*, Tomo XIV; Serie Trigo, Información N° 177. EEA-INTA Pergamino, 6 p.

**Felizia, J.C.; C.A. Rivas Fanconi; J.A. Pabón y W. Hofer**, 1994. Influencia del maíz y sorgo granífero sobre el rendimiento de la soja en suelos degradados del área de influencia de la AER Roldán. En: *Rotaciones para Producir Rastrojos*, pp. 23-25. Proyecto PAC II, Serie Agricultura Sostenible N° 2, INTA.

**García, F. y M.F. González Sanjuan**, 2010. Balances de nutrientes en Argentina: ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 48:1-5.

**Gregory, P.J.**, 1988. Growth and functioning of plant roots. In: *Russell's Soil Conditions & Plant Growth*, Eleventh Edition (A. Wild, ed.), pp. 113-167. Longman Scientific & Technical, Harlow, England.

**Lattanzi, A.; J. Arce; H.J. Marelli; C. Lorenzón y T. Baignoria**, 2005. Efecto de largo plazo de la siembra directa y de rotaciones de cultivos sobre los rendimientos, el carbono y nitrógeno orgánico en un suelo Argiudol típico en Marcos Juárez. En: *Seminario Internacional Indicadores de Calidad de Suelo* (H. Marelli, ed.). EEA-INTA Marcos Juárez, 20 al 22 de abril de 2005, 20 p. (CD-Rom).

**Martellotto, E.; H. Salas y E. Lovera**, 2001. Soja... al monocultivo?. *Revista Fertilizar*, 24:18-22.

**Mengel, D.B. y S.A. Barber**, 1974. Development and distribution of the corn root system under field conditions. *Agronomy Journal*, 66:341-344.

**Satorre, E.**, 2003. Los caminos de la sustentabilidad. *Revista de los CREA*, 273:52-56. ■



Figura 3. Peso relativo de las ventajas de las rotaciones de cultivos y de los factores que condicionan su adopción.

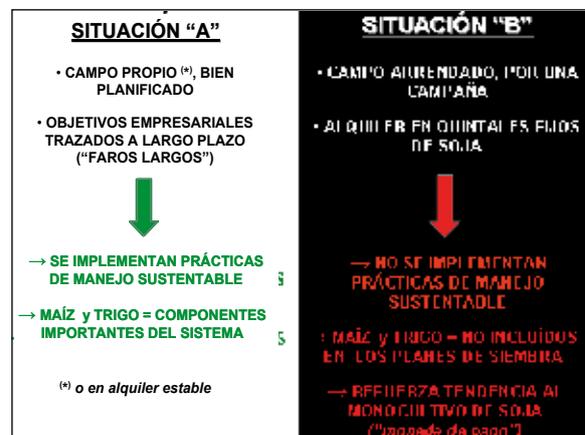


Figura 4. Formas de organización de la producción en la región y sus implicancias para la implementación de prácticas de manejo sustentable.