



El ambiente condiciona la rotación de cultivos pero no la determina: algunas opciones para el sudeste bonaerense

Planificar el manejo de las rotaciones y ambientar lotes es una herramienta que contribuye a la intensificación sustentable de la agricultura. En este artículo ofrecemos un análisis que funda claramente lo dicho.

Nicolás Martínez Cuesta

Consultor de Desarrollo
de Productos – R&D – BASF
nicolas.martinez-cuesta@basf.com

El Manejo de Suelos es una ciencia mediante la cual los tomadores de decisiones deben velar por la sustentabilidad de los agro-ecosistemas, compensando entre los pilares ambiente, economía, producción y sociedad. A nivel de empresa agropecuaria, las **decisiones de Manejo de Suelos** se pueden clasificar en: i) operacionales (impactan en un solo ciclo productivo; por ej. el momento de aplicación de un insumo), ii) tácticas (se pueden realizar una sola vez por cultivo; por ej. la fecha de siembra), iii) estructurales (inversión en infraestructura, mejoras y maquinaria); y iv) **estratégicas**, las cuales orientan el modo de producir e impactan en varios ciclos productivos; como es la **rotación de cultivos** (secuencia planificada de cultivos en una misma área de suelo). El posicionamiento estratégico de una empresa intenta

lograr una ventaja competitiva sostenible al preservar lo que la distingue. Significa realizar actividades diferentes o bien realizar actividades similares de maneras diferentes: **diseñar, planificar e innovar**. En este sentido, el suelo es un continuo de variabilidad, por ende si se diseña una rotación para cada ambiente edáfico, es poco probable que dos empresas tengan la misma combinación de cultivos y asignación de superficies.

Este escrito tiene como **objetivo pensar, para distintos ambientes edáficos del Sudeste Bonaerense (SEB), una rotación agrícola factible desde un punto de vista productivo-ambiental**. Obviamente una rotación definida de manera estratégica, a su vez, debe estar basada en criterios económicos. Sin embargo, los mismos se dejarán al margen del

análisis ya que dependen más de la coyuntura del mercado y las políticas de comercialización que del ambiente edáfo-climático en sí mismo. Este documento no pretende ser un manual, receta o fórmula a seguir, sino que, por el contrario, intenta ser un disparador de ideas y un ejercicio de pensamiento agronómico.

Para alcanzar el objetivo planteado se basará en la caracterización simplificada de los principales ambientes edáficos del Sudeste Bonaerense y sus principales limitantes, los requerimientos de los cultivos y su interacción con el ambiente. Se tendrán en cuenta los cultivos de grano más frecuentes en la zona (cebada, girasol, maíz, soja y trigo). Además, se incluirán la arveja y la colza a modo de “*specialties*” ya que se ha demostrado su factibilidad de cultivo en la región. No se tendrá en

Tabla 1 |

Meses de siembra y de cosecha para el Sudeste Bonaerense, susceptibilidad a heladas y período crítico para la determinación del rendimiento para cada cultivo.

Fuente: elaboración propia.

Cultivo	Siembra	Cosecha	Susceptibilidad a heladas	Período crítico
Arveja	Agosto	Diciembre	En período crítico	Comienzo de floración a comienzo de llenado de granos
Cebada	Mayo - Junio - Julio	Noviembre - Diciembre	En período crítico	Encañazon - Hoja bandera (40 antes a 10 días después de aparición de aristas)
Colza	Abril - Mayo - Junio	Diciembre	En período crítico	30 días post floración
Girasol	Octubre - Noviembre	Marzo - Abril	A partir de V6	30 días antes a 20 días después del 50% de antesis
Maíz	Octubre - Noviembre - Diciembre	Junio - Julio	A partir de V6	15 días pre-antesis - 15 días post-antesis
Soja	Octubre - Noviembre - Diciembre	Abril - Mayo	Todo el ciclo	Comienzo de formación de vainas (R3) - llenado de granos (R5)
Trigo	Mayo - Junio - Julio	Diciembre	En período crítico	20 días pre-antesis - 10 días post-antesis

cuenta la inclusión de la ganadería ni la producción de cultivos intensivos como la papa, ya que complejizarían demasiado el análisis.

Para definir las rotaciones se tomarán las siguientes premisas o criterios:

- Buscar la intensificación sustentable del uso del suelo y otros recursos.
- Tener en cuenta la duración del ciclo y los requerimientos ambientales de los cultivos.
- Evitar repetir Familia en dos cultivos consecutivos.
- Todos los cultivos antes mencionados deben estar incluidos en, al menos, una rotación.
- Incluir, cuando se pueda, un cultivo de servicio adecuado entre cultivos de grano.

Topo-secuencia modelo

Una *topo-secuencia* o *catena* es una secuencia de suelos relacionados que difieren uno del otro, principalmente debido a la topografía como factor formador del suelo. En el Sudeste Bonaerense, una topo-secuencia modelo de suelos de aptitud agrícola podría empezar en la posición de loma, con los Hapludoles típicos, los Argiudoles líticos, los Argiudoles típicos someros y los Argiudoles petrocálicos (tradicionalmente denominados Paleudoles petrocálicos). Los Hapludoles típicos son suelos poco desarrollados, con horizontes A, B y C y no más de 110 cm de profundidad. Los Argiudoles líticos, además de tener el epipedón mólico (Horizonte A), cuentan con un horizonte de diagnóstico textural (Bt) y su profundidad no excede los 50 cm al estar apoyados sobre el manto rocoso. Los Argiudoles típicos someros son similares a los

Argiudoles líticos, pero con una profundidad efectiva de hasta 80 cm. Por otro lado, los Argiudoles petrocálicos, además de tener horizontes A y Bt, tienen un horizonte petrocálico (tosca) antes de los primeros 100 cm de profundidad. La principal limitante de estos suelos para la producción de cultivos es la profundidad efectiva, que define tanto el volumen de suelo a explorar por las raíces como la capacidad de acumulación de agua útil. En la posición de media loma y en zonas de piedemontes se encuentran los Argiudoles típicos y Argiudoles vérticos. Estos son suelos bien desarrollados (horizontes A, Bt y C), profundos, bien drenados y sin limitaciones, salvo en algunos casos donde presentan susceptibilidad a la erosión dependiendo de la pendiente. En las zonas planas y cóncavas de posiciones elevadas se ubican generalmente asociados, los Argiudoles ácuicos y los Argialboles típicos. Los Argiudoles ácuicos en algún momento del año se encuentran saturados. Esto se evidencia por los rasgos red-oximórficos y en la jerga se los conoce como “suelos pescadores de napa”. Por otro lado, los Argialboles típicos se ubican en lagunas o cubetas temporarias y se identifican por el horizonte eluvial (E).

Ambientes edafo-climáticos según posición en el relieve

El ambiente está dado por el conjunto de factores externos que afectan el crecimiento y desarrollo de un organismo y su comunidad (de aquí en adelante “cultivos” de grano o de servicio). A partir de la topo-secuencia desarrollada anteriormente se pueden definir, de manera resumida y simplificada, macro-ambientes edafo-climáticos según la posición en el relieve, la profundidad efectiva y la

probabilidad de ocurrencia de heladas:

- **Lomas someras** (Hapludoles líticos, Argiudoles líticos, Argiudoles típicos someros y Argiudoles petrocálicos): Las principales limitantes son la susceptibilidad a la erosión y la profundidad efectiva (disponibilidad de agua).
- **Media-lomas profundas** (Argiudoles típicos y Argiudoles vérticos): suelos profundos, donde la limitante puede ser la susceptibilidad a la erosión dependiendo de la pendiente y la longitud de la misma.
- **Bajos “dulces” y zonas planas** (Argiudoles ácuicos y Argialboles típicos). Los mismos son suelos profundos, que suelen recibir agua por escorrentía desde zonas altas. Para la zona se ha determinado, en general, que las temperaturas mínimas en la posición de bajo son, en promedio, 2 °C menores que las temperaturas mínimas en la posición de loma (Monzón *et al.*, 2018). Para este macro-ambiente las mayores limitantes a la producción de cultivos extensivos son los anegamientos temporarios y su menor período libre de heladas. A su vez, este macro-ambiente se puede segmentar en bajos con y sin influencia de napa.

Aclaración: en el Sudeste Bonaerense existen muchos ambientes edafo-climáticos más que los antes mencionados. Esto es solo una simplificación a los fines del artículo.

Requerimientos de los cultivos y servicios eco-sistémicos que proveen

En la Tabla 1 se presenta información resumida de la duración del ciclo,

Tabla 2 | Cultivo, familia a la que pertenece y servicios eco-sistémicos destacables que provee (valoración subjetiva).

Cultivo (Familia)	Servicios eco-sistémicos destacables
Arveja (Leguminosas)	Fijación biológica de nitrógeno en invierno-primavera. Raíz pivotante somera.
Cebada (Gramíneas)	Aporte de carbono, buena cobertura de residuos, alta densidad de raíces en forma de cabellera. Se cosecha antes que el trigo.
Colza (Crucíferas)	Los residuos generan glucosinolatos de efecto biocida para patógenos de suelo. Sinergia con la actividad apícola. Raíz pivotante somera.
Girasol (Asteráceas)	Enraizamiento pivotante profundo. Sinergia con la actividad apícola. Antecesor "neutro" en cuanto a la inmovilización de nitrógeno. Libera el lote temprano.
Maíz (Gramíneas)	Gran aporte de carbono. Raíces en cabellera más somera respecto a cereales de invierno como trigo. Permite la siembra de cultivos de cobertura con avión o altina en Febrero.
Soja (Leguminosas)	Fijación biológica de nitrógeno en verano. Raíz pivotante profunda. Debido a la arquitectura del cultivo suele dejar una cama para siembra uniforme para el cultivo siguiente.
Trigo (Gramíneas)	Aporte de carbono, buena cobertura de residuos, alta densidad de raíces en forma de cabellera. Gran competidor frente a las malezas.

la susceptibilidad a heladas y el período crítico para la determinación del rendimiento de grano para cada cultivo. En la Tabla 2 se mencionan los servicios eco-sistémicos más destacables de cada cultivo (valoración subjetiva del autor). La información contenida en ambas tablas se utiliza como insumo para proponer las rotaciones en el siguiente apartado.

Rotaciones propuestas

Lomas someras

Las posiciones de loma presentan susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica. Por lo tanto, se sugiere el uso de siembra directa. En estos ambientes restrictivos en cuanto a disponibilidad hídrica, se propone como una opción una rotación de cultivos de cereales invernales (trigo o cebada) en doble cultivo con soja "de segunda". Se opta por esta secuencia de cultivos ya que son los cultivos menos susceptibles en cuanto a la disminución del rendimiento frente a la reducción de la profundidad efectiva. Esto se debe a: i) la temporada de crecimiento del cultivo (otoño-primavera para el trigo y cebada, frente a primavera-otoño para cultivos de verano), ii) momento de ocurrencia del período crítico para determinación del rendimiento (más tarde en soja que en girasol y maíz), y iii) características de las plantas relacionadas con la plasticidad vegetativa y reproductiva. Frente al trigo, el cultivo de cebada presenta la ventaja de que "se entrega" antes (llega a madurez de cosecha de manera anticipada). Al cosechar la cebada a fines de noviembre/primeros días de diciembre, esta secuencia permite sembrar la soja "de

segunda" aproximadamente 15 días antes en comparación al antecesor trigo. Esto trae grandes beneficios productivos, ya que existe una fuerte relación entre días de atraso en la fecha de siembra de soja "de segunda" y la caída de rendimiento: se han reportado reducciones del 2% en el rendimiento por cada día de atraso en la fecha de siembra respecto a mediados de diciembre debido a: i) menor duración del ciclo de crecimiento; ii) menor tasa de crecimiento asociada a días más cortos, menor temperatura y menor radiación; y iii) un acortamiento de los estadios fenológicos, principalmente la etapa de llenado de granos. Es importante destacar que el beneficio económico-productivo de un mayor rendimiento por adelantar la fecha de siembra también se traduce en beneficios ambientales: no solo se intensifica y se aumenta la eficiencia de uso de recursos e insumos, sino que también se incrementan los servicios ecosistémicos asociados: mayor aporte de residuos, mayor rizo-deposición, mayor fijación biológica de nitrógeno, etc.

Otra opción es incluir la colza como cultivo invernal que, de manera análoga a la cebada, también entrega el lote más temprano en relación al trigo. La inclusión de la colza contribuye a cortar el ciclo de ciertas plagas y enfermedades y se complementa con la actividad apícola (Tabla 2). Por otro lado, en estos ambientes de loma, de baja probabilidad de heladas tardías severas, los cultivos invernales se pueden sembrar más temprano de modo de adelantar la floración de los mismos y lograr un mayor coeficiente foto-termal durante el período crítico para definición de rendimiento.

Tradicionalmente en estos ambientes someros, de baja capacidad de acumulación de agua en el suelo y que dependen en mayor medida de la variabilidad de las precipitaciones, se restringía el cultivo de maíz debido a su alta susceptibilidad al estrés hídrico durante el período crítico y la alta probabilidad de ocurrencia de sequías durante esta etapa. Recientemente, el desarrollo de nuevas estrategias de manejo comúnmente llamadas "manejo defensivo" permiten estabilizar los rendimientos del cultivo de maíz en estos ambientes. Para ello, se ha propuesto utilizar híbridos de genotipos prolíficos (habilidad de la plantas de fijar granos en más de una espiga en el vástago principal, característica que contribuye a la plasticidad reproductiva) sembrados a baja densidad (entre 2 a 4 plantas/m² dependiendo del genotipo y del ambiente).

Media-lomas profundas

Este macro-ambiente es el que proporciona mayores grados de libertad al momento de plantear una rotación. En este caso se propone una rotación girasol – cultivo invernal (trigo, cebada, o arveja) – soja "de segunda" (si sucede al trigo o a la cebada) o maíz "de segunda" (si sucede a la arveja) – vicia – maíz. Nótese que, si antes del maíz "de segunda" se incluye la arveja, ésta es una leguminosa y, por lo tanto, probablemente sus residuos de baja relación C/N aporten nitrógeno al cultivo siguiente reduciendo la dosis de nitrógeno requerida. Por el contrario, si se utiliza trigo o cebada como antecesor, no sólo se deberá fertilizar con nitrógeno

para cubrir los requerimientos del cultivo de maíz “de segunda” sino que también hay que tener en cuenta la inmovilización de nitrógeno provocada por el rastrojo de trigo o cebada.

En estos ambientes, sin restricciones de profundidad, pero con pendientes moderadas a pronunciadas, se debe hacer especial foco en mantener el suelo cubierto, a modo de controlar la erosión hídrica. Además de evitar las labranzas que espongan el suelo a la acción del agua en zonas con pendientes pronunciadas, es importante realizar prácticas de sistematización (canales de guarda, terrazas, vías de desagüe empastadas, rastrillos de retención, etc.). En tal sentido, se sugiere el sistema de siembra directa “cortando” la pendiente o de siembra en contorno. Desde el punto de vista de la rotación de cultivos, se aconseja incluir cereales de invierno (trigo o cebada) debido a que estos cultivos, por su arquitectura, dejan una gran cobertura de residuos en superficie, de pie, con un gran anclaje al suelo y una mayor relación C/N en comparación al resto de los cultivos mencionados, lo que contribuye a reducir la erosión hídrica en gran medida.

Bajos “dulces” y zonas planas

En estos ambientes la escasez de agua generalmente no es una limitante, sino que, por el contrario, por momentos sí lo es su exceso. Por ello, se requieren cultivos con alta demanda de agua como lo son los cultivos de verano. En este caso se propone una rotación de girasol - vicia - maíz. El cultivo de maíz debe ser fertilizado con nitrógeno considerando un alto potencial de rendimiento (dada la alta

disponibilidad de agua proveniente de escorrentía superficial o por napa freática) teniendo en cuenta el aporte de nitrógeno proveniente de los residuos del cultivo de cobertura vicia.

En los bajos “heladores” se propone evitar los cultivos invernales, utilizar cultivos invernales con baja sensibilidad a heladas, atrasar la fecha de siembra de los cultivos de verano de manera de evitar las heladas tardías y/o utilizar materiales genéticos de ciclo corto. En estos ambientes, de alto potencial de rendimiento, bajo riesgo de erosión y mayor probabilidad de heladas, una alternativa de manejo es el uso de las labranzas superficiales (por ej. rastras multipropósito, “de corazón”, “diamante”, etc.). La labranza permite un mayor calentamiento diurno del suelo debido a que carece de la capa aislante de rastrojos y, a su vez, el color oscuro del suelo provoca una mayor absorción de radiación respecto a la siembra directa. De este modo, la

energía acumulada en el suelo durante el día se libera a la atmósfera (y al canopeo) durante la noche y la madrugada, disminuyendo la severidad de las heladas. En tal sentido se ha demostrado que los suelos de la zona no degradados, que están en posiciones planas del relieve o de baja susceptibilidad a la erosión, son resilientes en el mediano plazo al uso de labranzas. Hay que tener en cuenta que la labranza del suelo provoca una mayor mineralización de nitrógeno (a causa de la exposición física de agregados y la mayor temperatura del suelo), por ende, se requieren menores dosis de fertilización nitrogenada respecto a la siembra directa. Si se opta por este tipo de labranza se sugiere realizar laboreos racionales y cuidadosos, asegurando condiciones adecuadas para lograr altos rendimientos que luego se traduzcan en altos ingresos de carbono al sistema (por medio de los residuos de cosecha y rizo-deposiciones) y monitorear la salud del suelo regularmente.

CONSIDERACIONES FINALES

La rotación de cultivos es una decisión estratégica de la empresa agropecuaria y comprende un balance de objetivos de corto y largo plazo entre factores ambientales, productivos, sociales y económicos. Implementar rotaciones ajustadas a cada ambiente **es una tecnología de procesos con gran potencial para contribuir a la intensificación sustentable de la agricultura**: mejora el uso de recursos (radiación, agua, nutrientes, espacio), contribuye al control de malezas, plagas y enfermedades, disminuye la aplicación de fertilizantes nitrogenados (si se incluyen leguminosas), contribuye a la diversificación del riesgo y mejora las medias de rendimiento, entre otros beneficios. **Para tomar dicha decisión se necesita: i) reconocer el ambiente y sus limitantes; ii) entender los principios eco-fisiológicos de los cultivos y su interacción con el ambiente; y iii) analizar los resultados potenciales y los riesgos asociados.**

