Ficha de Tecnología #6: Sistemas para realizar Siembra Variable

Área de Innovación + Economía.
Unidad de I+D

Ing. Agr. Nicolás Ciancio
Lic. Federico C. Guyot
Ing. Agr. Gabriel Tinghitella

Aliado Estratégico

Índice

Componentes ... 3
Funcionamiento ... 4
Sistemas disponibles y características ... 5
¿Qué permite hacer la tecnología? ... 6
Aspectos para considerar ... 6
Experiencias de usuarios ... 7
Relación Costo/Beneficio ... 8
Costo ... 8
Beneficio ... 8
Análisis de la Inversión - Contratista ... 20
Período de Repago ... 20
Valor Actual Neto (V.A.N.) ... 22
Tasa Interna de Retorno (T.I.R.) ... 24
Cálculo de la cuota de amortización ... 25
Análisis de la Inversión - Productor ... 27
Período de repago ... 27
Valor Actual Neto (V.A.N.) ... 29
Tasa Interna de Retorno (T.I.R.) ... 31
Mantenimiento y Servicio Postventa ... 32
Algunas referencias de empresas proveedoras ... 33
Agradecimientos ... 33

Componentes

¿Qué equipamiento necesito tener antes de instalar un sistema para hacer siembra variable?

Sistema de Geoposicionamiento: el Sistema de Navegación Global por Satélite (GNSS es su sigla en inglés) permite obtener la posición precisa del tractor y la sembradora. Hay diferentes sistemas como GPS, BeiDou, GLONASS o Galileo. Estos sistemas son necesarios para la ejecución de funciones clave como el accionamiento del piloto automático, el corte por surco o sección, el cálculo de la velocidad de avance y la variación de la dosis de siembra en función de la indicación registrada en la prescripción. Se requiere una señal de alta precisión, con un margen de error menor a 6-8 cm. En caso de ser necesario pueden utilizarse sistemas de corrección diferencial, como el RTK (Real Time Kinematic), que utilizan estaciones base fijas para ajustar en tiempo real la señal GNSS. O RTX (Real Time eXtended) que utilizan satélites geoestacionarios para hacer las correcciones de alta precisión.

Piloto automático: es el sistema que asiste la conducción del tractor, manteniendo la dirección deseada sin la intervención constante de un conductor y ayudando en los giros en cabeceras. Requiere conexión con el sistema de geoposicionamiento.

¿Qué equipamiento necesito incorporar para poder hacer siembra variable?

Prescripciones de siembra: Mapas georreferenciados de los lotes que indican la cantidad de semillas a sembrar en cada sitio específico. Su elaboración integra mapas de ambientes[1], datos históricos de rendimiento, condiciones iniciales del suelo, pronósticos climáticos, características del híbrido a sembrar, etc.

Monitor de siembra: es el cerebro del sistema. Sus principales funciones son:

- Leer la posición del lote en la que se encuentra la sembradora y cada uno de sus cuerpos de siembra usando la información provista por el GNSS.
- Integrar el dato de prescripción de siembra (Kg/Ha. o semillas/m^2) en la posición particular del lote en la que se encuentran cada cuerpo de siembra con la velocidad de avance del tractor y enviar al motor, mediante el controlador electrónico, comandos para regular su velocidad de giro. La velocidad de giro del motor, a su vez, controla la velocidad angular del eje del dosificador de semillas para dosificar la cantidad de semillas deseada.
- Visualizar y monitorear toda la información que se registra durante la siembra, en cada uno de los cuerpos de siembra[2].

Motor eléctrico: Reemplaza las cadenas de mando y las cajas variadoras de velocidad. Cada motor acciona un dosificador con una relación de transmisión directa (1 a 1), por lo que los cambios en la velocidad del motor se trasladan instantáneamente a la placa del dosificador. Esto permite variar la dosis de semillas con un retardo de

[1] Un mapa de ambientes es una representación espacial de un lote (o un establecimiento) que identifica y delimita zonas con distinto potencial productivo, a partir del análisis integrado de las características edáficas (físicas, químicas y biológicas del suelo), la topografía y otros factores del paisaje que condicionan el movimiento del agua, los nutrientes y la productividad de los cultivos o pasturas.

[2] Actualmente cualquier monitor de siembra indica la cantidad de semillas dosificadas por metro lineal. Algunos monitores, incluso, calculan el coeficiente de variación, la singulación y la población de semillas sembrada. En esos casos la precisión de las métricas obtenidas depende de la confiabilidad del sensor de semillas que se utilice.

una sola planta[3]. Como cada motor funciona de manera independiente, es posible variar la densidad de siembra en cada cuerpo de siembra.

Dosificadores: Son los componentes que realizan la dosificación de la semilla y definen la densidad de siembra. En general, los sistemas para realizar siembra variable utilizan dosificadores neumáticos[4], aunque también hay mecánicos.

Corte por sección o por surco: es un sistema que permite desactivar secciones/surcos de la sembradora cuando se detecta una superposición con pasadas anteriores o en cabeceras. Algunas empresas lo ofrecen de forma opcional.

Cableado: Incluye los cables necesarios para conectar los componentes que se incorporan con la adopción del sistema para realizar siembra variable (monitor, motores eléctricos, sensores). Son provistos por el proveedor de la tecnología.

Funcionamiento

El primer paso para realizar una siembra variable consiste en obtener la prescripción de semillas del lote y cargarla en el monitor de la sembradora. Una vez incorporada esta información, el monitor detecta la posición del lote en la que se encuentra cada cuerpo de la sembradora y define para cada uno de ellos la densidad de semillas según lo que indica la prescripción. De esta forma, la sembradora "sabe" cuantas semillas tiene que dosificar cada cuerpo de siembra al iniciar la labor. Estás acciones requieren que el geoposicionamiento del equipo de siembra sea rápido y muy preciso (error menor a 6-8 cm). Al mismo tiempo, el monitor se encarga de calcular la velocidad a la que deben girar los motores para entregar la dosis correcta y luego, enviar dicha información al motor para que gire a la velocidad calculada.

El cálculo de las velocidades de giro de los motores se realiza integrando la velocidad de avance del tractor, el ancho de sembradora[5] (obtenida a partir de la cantidad de cuerpos y la distancia entre cuerpos de la sembradora), la cantidad de alveolos que tiene la placa utilizada en el dosificador y la densidad de siembra. La precisión de la velocidad de avance es un aspecto crítico para realizar el cálculo, por ello suelen definirse con dos dígitos decimales (ej.: 6,74 Km/h). Para lograr ese nivel de precisión deben combinarse diferentes sistemas[6] en tiempo real.

Una vez que toda esta información ha sido procesada y verificada, la sembradora está lista para comenzar la tarea. A medida que avanza por el lote, el monitor de siembra repite continuamente el ciclo de detectar la posición exacta de cada cuerpo de siembra, asignarle la densidad de siembra correspondiente según la prescripción, recalcular la

[3] Cuando la prescripción de siembra determina un cambio de densidad de siembra, por ejemplo, de 6 pl/m^2 a 7 pl/m^2, la variación en la cantidad de semilla dosificada se observa a partir de la primera semilla dosificada con la nueva densidad de siembra.

[4] Un dosificador neumático es un sistema que utiliza aire (presión o vacío) para manipular y transportar las semillas individualmente desde el depósito (tolva) hasta el tubo de bajada, garantizando que cada orificio de la placa libere una sola semilla.

[5] Este dato resulta clave para las siembras en curva porque a la misma velocidad de avance del tractor, la velocidad de avance del cuerpo de siembra del radio externo de la sembradora es muy diferente a la velocidad de avance del cuerpo de siembra del radio interno. Esto define que para lograr la misma densidad de siembra la velocidad de giro de los motores de dichos cuerpos de siembra deba ser distinta.

[6] La medición de velocidad por GPS suele tener errores cuando hay cambios de velocidad muy bruscos como sucede en las cabeceras de los lotes. El cálculo realizado a partir de la integración de GPS, radar y acelerómetro, permite medir la velocidad con mucha mayor precisión.

velocidad de giro de los motores y enviar las instrucciones necesarias para que cada motor ajuste su velocidad de giro en tiempo real. Este proceso ocurre de manera dinámica y constante, realizando ajustes de forma continua.

Una característica central de los sistemas para realizar siembra variable es que cada cuerpo de la sembradora funciona de manera independiente. Esto significa que, en un determinado momento, los diferentes cuerpos de la sembradora pueden estar sembrando a diferentes densidades según lo que indique la prescripción. Ante cualquier cambio de densidad – ya sea un aumento o una disminución - inmediatamente el monitor indica al motor que ajuste su velocidad de giro. La velocidad de reacción ante los cambios de densidad es instantánea, optimizando los beneficios que genera la tecnología.

Sistemas disponibles y características

En la actualidad, en Argentina son varias las empresas que ofrecen sistemas para realizar siembra variable. Los mismos pueden adquirirse en tres niveles de prestaciones diferentes: un primer nivel resuelve corte por secciones y variación de dosis con accionamiento mecánico o hidráulico; un segundo nivel incorpora accionamiento eléctrico individual, que habilita corte cuerpo por cuerpo y compensación de densidad en curva; un tercer nivel suma sistemas de entrega asistida de semilla que reemplazan la caída libre en el tubo de bajada. Algunas de las empresas que comercializan los sistemas son:

Marca	Comercializa
JOHN DEERE	John Deere
AG Leader	Runco
Agrotax	Abelardo Cuffia
Control Agro/ SIID	Control Agro/ SIID
Indecar	Indecar
J.Assy	Agrix
Leaf Agrotronics	Leaf Agrotronics
Matermacc+Bosch	Siembra Neumática
Plantium	Plantium
PTX	PTX

Si bien todos los sistemas tienen como objetivo principal realizar siembra variable, existen algunas diferencias técnicas entre las opciones que ofrecen los distintos proveedores. Entre las principales características a considerar se destacan:

- Hay diferentes esquemas de ventas, que van desde empresas que comercializan una solución integrada de máquina, dosificación, monitoreo, conectividad, documentación y análisis de datos hasta empresas que comercializan sistemas completos para instalar sobre sembradoras existentes.
- Sistema de conducción, en caso de ser neumático: pueden operar con presión positiva o presión negativa (succión).
- Diseño de caños de bajada: pueden ser rectos o curvos. Los diseños curvos tienden a lograr un menor coeficiente de variación en la siembra.
- Sensores de medición: la ubicación y tipo de sensor varía. Esto tiene impacto en la precisión de las mediciones de densidad sembrada y los coeficientes de variación.

- Variables monitoreadas: los sistemas difieren en las variables factibles de ser monitoreadas (semillas por metro en tiempo real, coeficiente de variación, singulación y población).
- Modularidad: algunas marcas permiten la incorporación de tecnologías adicionales de forma modular en los cuerpos de siembra.

¿Qué permite hacer la tecnología?

- ✔ Realizar siembra variable de semillas.
- ✔ Mejorar la calidad de siembra, optimizando la singulación y reduciendo el coeficiente de variación.
- ✔ Realizar corte automático por sección o por cuerpo de siembra (*opcional en algunos proveedores*).
- ✔ Aumentar la capacidad operativa por mayor velocidad de siembra, sin afectar la calidad de implantación.
- ✔ Realizar compensación de densidad en la siembra en curvas (*opcional en algunos proveedores*).
- ✔ Visualizar variables relevantes en tiempo real y cuerpo por cuerpo, ya sea en la cabina del tractor o a distancia (conectividad disponible mediante).
- ✔ Mapear diferentes variables a partir de sensores presentes en el cuerpo de siembra.[7]

Aspectos para considerar

- Ambientación de lotes: para aprovechar plenamente la tecnología es necesario contar con un buen diagnóstico del lote, lo que puede requerir la contratación de servicios de ambientación especializados.
- Compatibilidad: es fundamental verificar que la sembradora sea compatible con el sistema a instalar.
- Consumo eléctrico: en general, la electricidad que entrega el tractor es suficiente para operar el sistema. No obstante, si se incorporan otros módulos como fertilización, puede ser necesario agregar un generador.
- Geoposicionamiento: se requiere una señal GNSS de alta precisión para lograr una siembra variable efectiva y cortes por cuerpo de siembra precisos.
- Conectividad: disponer de conexión a internet en el lote facilita el monitoreo remoto de la labor y permite tomar decisiones en tiempo real.
- Capacitación. Es importante realizarla principalmente para al menos cuatro momentos:
    - Antes de usar el equipo: orientada al conocimiento de los comandos, componentes y funcionamiento general del sistema, a fin de posibilitar su correcta configuración y puesta en marcha.
    - Durante el uso del equipo: destinada a la formación de los operarios para detectar parámetros fuera de lo normal, interpretar alertas del sistema y resolver los inconvenientes que pudieran llegar a surgir durante la siembra. Muy útil especialmente en contextos de baja conectividad.
    - Una vez finalizada la siembra: enfocada en la realización de un mantenimiento correcto del equipo, teniendo en cuenta la incorporación de componentes electrónicos, cables y sensores.
    - En el escritorio para el manejo de datos: actualmente no existe un software específico para gestionar todos los datos que son capaces de generar estos sistemas. Puede ser necesario capacitarse para gestionar e interpretar los datos que se generan de forma correcta.
- Demanda de mantenimiento: los motores eléctricos tienen bajo o nulo requerimiento de mantenimiento.

[7] Se pueden obtener mapas de resistencia a la penetración midiendo la presión ejercida por el cuerpo de siembra sobre el suelo.

Experiencias de usuarios

¿Qué problemas solucionó? ¿Qué oportunidades permitió capturar?

“Con el corte por surcos y con siembra variable, en la primera campaña empezamos a ver que sobraba semilla, ahorramos el 10% de la semilla de maíz.”

“En las cabeceras es donde más se observa la mejora de la calidad de siembra. Evita el 100% de la superposición entre pasadas.”

“En lotes de soja me permitió bajar la densidad en las zonas de menor potencial (los bajos) o en las zonas más pisoteadas como las cabeceras. En años secos eso permite que las plantas logren algo de cobertura y aporten al rendimiento.”

“Antes se sembraba maíz a 5,5 o 6 Km/h y ahora, tanto en soja como en maíz, llegamos a 9 o 9,5 km/h en los lotes que lo permiten”.

“El sistema les da confianza a los operarios porque mirando el monitor saben lo que está pasando en la sembradora. A su vez, les resultó mucho más fácil poner a punto la sembradora.”

“Generalmente entrabas a un lote que se estaba sembrando, escarbabas 2, 3 o 10 surcos y decías esto está bien. Y no sabias que estaba haciendo la sembradora en el resto del lote. Con esta tecnología es como si irías escarbando surco por surco en todo el lote.”

“Siempre digo, abrimos una caja negra porque no sabíamos que pasaba atrás del tractor. Hoy se abrió esa caja negra y nos encontramos con un montón de información que nos permite sentarnos, analizarla y ver que hicimos mal.”

“Si no tenía la sembradora equipada para hacer siembra variable perdía el cliente, porque él quería sumar la tecnología para poder ahorrar semilla y para hacer siembra variable por ambientes”. (*Testimonio de contratista*).

¿Qué obstáculos se presentaron al momento de implementar la tecnología?

“Algo negativo es el precio de los repuestos, aunque es muy difícil que se rompa algo. Cuando rompimos fue por algo puntual y por mala suerte; un palo enterrado.”

“No podés adaptar nada que sea de una marca diferente a la que estás usando.”

“Hay muchos cables que no se pueden cortar y unir poniendo cinta aisladora. Cuando se rompe un cable ya no es algo sencillo de solucionar.”

“El uso fue complicado al principio porque el monitor es complejo y cada vez se requiere gente más capacitada para estar arriba del tractor. Costó bastante implementar la tecnología.”

“Al principio cuesta, el software estaba en inglés y para quien no sabe inglés es complicado, pero con el tiempo es muy bueno, se hace de taquito.”

"Los cuadros de dialogo para la configuración inicial de la tecnología pueden simplificarse un poco más. Sembramos soja a 35 cm, levantamos 1 cuerpo y sembramos maíz a 70 cm. Una vez erramos con la configuración y el inicio de un lote lo sembramos con la mitad de la densidad."

"La empresa que provee la tecnología no hace más actualizaciones en el software del monitor que tenemos. Eso genera incompatibilidades con algunas herramientas y eso te fuerza a cambiarlo."

Relación Costo/Beneficio[8]

Costo

El costo de la tecnología incluye, al menos, el monitor de siembra, los motores eléctricos, los dosificadores y los cables para conectar todas las piezas. A eso hay que sumarle el costo del montaje (que en algunos casos puede estar incluido en el costo de los componentes). Generalmente, el precio se expresa por cuerpo de siembra.

Las empresas proveedoras ofrecen diferentes niveles de equipamiento. Van desde el paquete básico, que solo incluye los componentes indispensables para poder sembrar de forma variable. Hasta paquetes más completos donde se incluyen componentes que generan mejoras adicionales en la calidad de la siembra, sensores y sistemas para realizar fertilización líquida. **Para este informe se consideró el costo del paquete básico.**

En la Tabla 1, se encuentra el monto aproximado que debe erogarse para adquirir la tecnología. El costo final va a depender, entre otras cosas, de cómo se diluye el costo del monitor de siembra (que varía según la cantidad de cuerpos equipados) y de las modificaciones que se necesiten hacer en la sembradora para poder instalar el sistema de siembra variable.

Tabla 1. Costo y Vida Útil de los sistemas para realizar siembra variable.

	Rango de valores
Costo de la tecnología* (USD/cuerpo)	1.700 – 4.500
Vida útil (años)	6 años

El precio y la vida útil de la tecnología dependen de la empresa proveedora.
*El calculó del costo se realizó para una sembradora de grano grueso con 18 cuerpos de siembra.

Es importante tener en cuenta que la adopción de estos sistemas requiere contar una serie de tecnologías básicas complementarias, como piloto automático y antena GPS de precisión. En caso de no disponer de estos elementos, será necesario adquirirlos, sumando costos adicionales a la inversión inicial.

Beneficio

Los sistemas para realizar siembra variable generan diferentes beneficios. En ente informe nos enfocaremos en cuantificar tres de ellos:

[8] Si bien el análisis financiero se realizó en dólares y con precios promedio de tres años para reducir el efecto de variaciones coyunturales, en el contexto argentino la volatilidad cambiaria puede afectar el costo efectivo de la inversión inicial y, en consecuencia, modificar el plazo de recuperación o la conveniencia económica de la tecnología evaluada.

1) ahorros en insumos,
2) mejoras en la producción y
3) mejoras en la capacidad operativa del equipo de siembra.

Adicionalmente, existen otros tipos de beneficios que no desarrollamos en el presente trabajo. Actualmente es posible corregir parámetros de la sembradora en tiempo real utilizando la información que proporcionan los monitores[9]. Otro beneficio adicional es que, si la sembradora cuenta con conexión a internet, se puede monitorear la velocidad de siembra en tiempo real de forma remota[10].

A fines de cuantificar beneficios se planteó un caso hipotético para cada uno de los tres beneficios previamente mencionados, utilizando datos reales obtenidos en ensayos o cedidos por usuarios de la tecnología.

Ahorro en insumos

Los sistemas para realizar siembra variable permiten optimizar el uso de semillas de tres formas:

- **Siembra variable**: la posibilidad de ajustar la densidad de siembra a las condiciones específicas de cada ambiente del lote puede generar ahorro de semillas. El ahorro de semillas solo es posible si la prescripción de siembra variable determina que la cantidad total de semilla a sembrar es inferior a la que se utilizaría en una siembra convencional.
- **Corte cuerpo por cuerpo**: permite evitar la superposición entre pasadas de la sembradora, especialmente en las cabeceras de los lotes y zonas alrededor de obstáculos (ej.: montes, molinos), reduciendo el uso innecesario de semillas en áreas que ya fueron sembradas.
- **Uso de semillas más económicas**: gracias a la mayor precisión de la dosificación neumática, tanto en maíz como en girasol, se pueden utilizar semillas de calibres menos uniformes (bandas más baratas) sin comprometer la calidad de siembra.

Ahorro de semillas al utilizar siembra variable

El ahorro de semillas por utilizar sistemas para realizar siembra variable ocurre si la densidad promedio dosificada a partir de la prescripción de siembra es menor que la utilizada en un manejo convencional a dosis fija. Esto dependerá de:

- El manejo del lote.
  - *Si el manejo convencional a dosis fija favorecía:*
    - *A los mejores ambientes: es probable que en los peores ambientes se dosificará una densidad de siembra superior a la óptima. En estos casos, la siembra variable permitiría ahorrar semillas.*
    - *A los peores ambientes: es probable que en los mejores ambientes del lote la densidad fuera inferior a la óptima. En este escenario, la siembra variable podría generar un mayor uso de semillas.*
    - *A los ambientes intermedios: es probable que los mejores y peores ambientes tuvieran densidades de siembra sub y supra óptimas, respectivamente. En esos casos, el eventual ahorro de semillas dependería de la proporción de cada tipo de ambiente en el lote.*

[9] Si un cuerpo de siembra no dosifica la densidad de siembra que indica la prescripción, puede detectarse y corregirse de forma inmediata.
[10] Si la velocidad de siembra es excesiva, se puede intervenir en tiempo real, para solicitar el ajuste de la velocidad a la que se está realizando la labor o detenerla.

- La proporción del lote con diferentes ambientes.
  - *Si 25% del lote tenía ambientes buenos, 45% ambientes intermedios y 30% ambientes malos y el manejo estaba orientado a potenciar los ambientes buenos, la siembra variable permitiría reducir la densidad de siembra en el 75% del lote.*
- La variabilidad entre ambientes dentro del lote.
  - *Cuanto mayor sea la variabilidad entre ambientes dentro del lote, mayor será el potencial de ahorro de semillas al implementar sistemas para realizar siembra variable.*

Caso de estudio

A continuación, se calcula el beneficio obtenido por ahorro de semillas en un lote de maíz al reemplazar un manejo realizado con densidad de siembra fija por otro manejo con densidad de siembra variable.

Cultivo = maíz
Superficie del lote = 70 Has.
Superficie del lote con ambientes de potencial alto = 24 Has.
Superficie del lote con ambientes de potencial intermedio = 23 Has.
Superficie del lote con ambientes de potencial bajo = 23 Has.
Precio de semillas de maíz (Banda 2) = 187[11] USD/bolsa
Semillas por bolsa = 80.000 semillas
Densidad c/ dosis fija = 60.000 semillas/Ha.
Densidad c/ dosis variable en ambientes de potencial alto = 62.000 semillas/Ha.
Densidad c/ dosis variable en ambiente de potencial intermedio = 60.000 semillas/Ha.
Densidad c/ dosis variable en ambiente de potencial bajo = 56.000 semillas/Ha.

$$Ahorro\ (USD/Ha) = \frac{(densidad\ dosis\ variable - densidad\ dosis\ fija)}{semillas\ por\ bolsa} \times precio\ bolsa$$

Para el ambiente con bajo potencial el cálculo sería:

$$Ahorro\ (USD/Ha) = \frac{(60.000\ \frac{semillas}{Ha} - 56.000\ \frac{semillas}{Ha})}{80.000\ \frac{semillas}{bolsa}} \times 187\ \frac{USD}{bolsa} = 9{,}4\ \frac{USD}{Ha}$$

Es decir, al disminuir la densidad de siembra en ese ambiente, el costo en semillas por hectárea fue 9,4 USD más bajo respecto del costo de un manejo convencional densidad de siembra fija.

En la Tabla 2, se resumen los resultados obtenidos a partir de los cálculos realizados para cada ambiente del lote y se calculan los ahorros generados por el sistema para realizar siembra variable.

[11] Agroseries: Semilla - Semilla Maíz Alta tecnología. Promedio de 3 años (12/2022 – 12/2025). Para obtener el valor de la semilla al valor promedio se le restó el 4% por tratarse de semilla banda 2.

Tabla 2. Beneficios obtenidos por ahorrar semillas en un lote de maíz, discriminados por ambientes de diferente potencial de rendimiento.							
Potencial del ambiente	Superficie (Has.)	Dosis (Semillas/Ha)		Ahorros			
		Variable	Fija	Semillas/Ha.	Semillas/ lote	Ahorro (USD/Ha)	Ahorro a nivel lote (USD/lote)
Alto	24	62.000	60.000	2.000	24.000	4,7	113
Medio	23	60.000	60.000	0	0	0	0
Bajo	23	56.000	60.000	-4.000	-48.000	-9,4	-216
				-2.000	-24.000	-4,7	-103
Semillas/bolsa: 80.000 semillas/bolsa. Precio/bolsa: 187 USD/bolsa							

En conclusión, en un lote de 70 Has. de maíz que posee la misma proporción de 3 ambientes de diferente potencial productivo (alto, medio y bajo) la utilización de un sistema de siembra variable generó un ahorro global de 103 USD en el costo de semillas.

Ahorro de semillas al utilizar corte cuerpo por cuerpo

El ahorro generado por el sistema de **corte cuerpo por cuerpo** depende de varios factores, que se detallan a continuación:

- La proporción de cabeceras en el lote
  C*uanto mayor sea la proporción de cabeceras, mayor será el ahorro potencial de semilla.* La proporción de cabeceras depende de:
  - Tamaño del lote: *En lotes más grandes, la proporción de cabeceras es menor lo que reduce el porcentaje de superposición.*
  - Forma del lote.
    Los lotes más rectangulares tienen menor proporción de cabeceras, mientras que en los lotes más irregulares la proporción de cabeceras aumenta generando un mayor porcentaje de superposición entre pasadas.
  - Ancho de la sembradora. *Influye directamente en la superficie afectada por superposición.*
- Presencia de obstáculos (molinos, montes, etc).
  Cuantos más obstáculos y mayor sea su perímetro, mayor es el área del lote donde puede generarse superposición.

Caso de estudio

- Tamaño del lote = 70 Has.
- Forma del lote = cuadrado.
- Cabeceras = 2 pasadas de sembradora por cabecera.
- Perímetro de montes = 700 m.
- Ancho de sembradora = 9,36 m (18 surcos a 52 cm).
- Superposición en cabecera = 2 m.
- Superposición total en cabeceras = 3.348 m^2 (837 m × 2 m × 2 cabeceras).
- Superposición total en monte = 1.400 m^2 (700 m × 2 m).
- Densidad de siembra = 60.000 semillas/ Ha.
- Semillas por bolsa = 80.000 semillas/bolsa.
- Precio de semillas de maíz (banda 2) = 187 USD/ bolsa.

$$Ahorro\ (USD) = Superposición\ (cabeceras + monte) \times bolsas\ por\ ha \times precio\ bolsa$$

$$Ahorro\ (USD) = \left(\frac{3.348\ m^2 + 1.400\ m^2}{10.000\frac{m^2}{Ha}}\right) \times \left(\frac{60.000\frac{semillas}{Ha}}{80.000\frac{semillas}{bolsa}}\right) \times 187\frac{USD}{bolsa} = 66{,}6\ USD$$

Evitar la superposición en cabeceras y alrededor del monte permite ahorrar una cantidad de semilla equivalente a la que se sembraría en 0,47 Has. En este caso, partiendo de una densidad de siembra de 60.000 semillas/ Ha., el uso de corte por cuerpo permitiría ahorrar 0,36 bolsa de semillas en el lote de 70 Has., lo que representa un ahorro de 66,6 USD.

Disminución en el costo de siembra por utilizar semillas más económicas, sin resignar calidad de siembra

La tecnología permite sembrar semillas de bandas de calidad inferior sin afectar la calidad de la siembra, generando otra oportunidad para reducir el costo en semillas.
El ahorro logrado depende de la diferencia de precio entre la semilla normalmente utilizada y la semilla de banda inferior cuyo uso habilitan los sistemas para realizar siembra variable. Cuanto mayor sea esta diferencia, mayor será el beneficio económico.

Caso de estudio

- Superficie del lote = 70 Has.
- Densidad de siembra = 60.000 semillas/Ha
- Semillas por bolsa = 80.000 semillas/bolsa.
- Precio bolsa de maíz banda 1 = 195[12] USD/bolsa (mejor calidad de semilla)
- Precio bolsa de maíz banda 2 = 187[13] USD/bolsa (peor calidad de semilla)

$$Ahorro = Superficie\ a\ sembrar\ \times densidad \times (precio\ bolsa\ banda\ 1 - precio\ bolsa\ banda\ 2)$$

$$Ahorro\ (USD) = 70\ Has \times \left(\frac{60.000\frac{semillas}{Ha}}{80.000\frac{semillas}{bolsa}}\right) \times \left(195\frac{USD}{bolsa} - 187\frac{USD}{bolsa}\right) = 420\ USD$$

En este ejemplo, se reemplazó semillas banda 1 por semillas banda 2. Por tal motivo, la reducción del precio de la bolsa de semillas fue de 8 USD/bolsa. Considerando la superficie del lote del ejemplo, el ahorro logrado fue de 420 USD.

Mejoras en la producción de maíz por ajustes de densidad.

En un ambiente determinado el rendimiento del cultivo maíz responde a los aumentos en la densidad de siembra de forma parabólica. Es decir, su rendimiento aumenta a medida que aumenta la densidad de siembra, hasta alcanzar

[12] Agroseries: Semilla - Semilla Maíz Alta tecnología. Promedio de 3 años (12/2022 – 12/2025).
[13] Para obtener el valor de la semilla de semilla banda 2 se restó 4% al valor promedio de la semilla de banda 1.

un valor máximo de rendimiento en una densidad denominada *densidad óptima*. Superado ese punto, un aumento adicional en la densidad de siembra provoca la disminución del rendimiento.
La *densidad óptima* varía según el potencial de cada ambiente (Figura 1). En ambientes de alto potencial (mejor disponibilidad de nutrientes, agua, tipo de suelo, capacidad de almacenamiento de agua, napa freática, etc.), la densidad óptima es mayor. A medida que el potencial del ambiente disminuye, también lo hace la densidad óptima. A su vez, la respuesta a la densidad observada en la Figura 1 puede tener grandes variaciones según la zona productiva que se esté analizando.

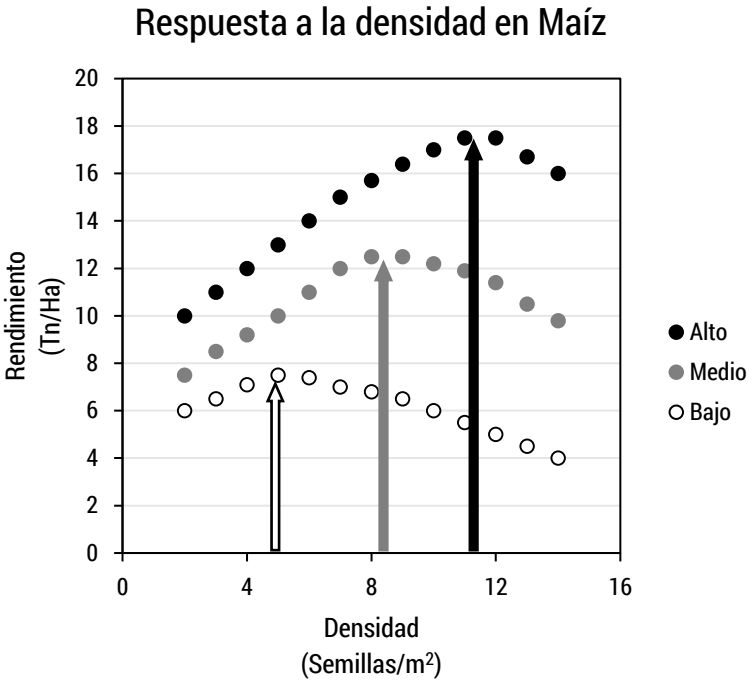

Figura 1. Rendimiento del cultivo de maíz en función de la densidad de siembra para ambientes con diferente potencial productivo (Alto, Medio y Bajo) en una misma zona de producción. Las flechas indican los rendimientos alcanzados para la densidad óptima en cada ambiente. Adaptado de Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz, Andrade *et al.,* 2023.

La incorporación de los sistemas para realizar siembra variable y corte cuerpo por cuerpo contribuyen a mejorar la productividad del cultivo de maíz operando de tres formas:

a) Dosificación variable de semillas.
Permite ajustar la densidad de siembra en función de la potencialidad de cada ambiente. Esto permite definir *densidades óptimas* por ambiente para maximizar el rendimiento del lote.

b) Mejoras en la singularidad.
La incorporación de motores eléctricos y dosificadores neumáticos, incrementan los valores de singulación[14] de semillas.

c) Disminución en la superposición de pasadas.
En las cabeceras del lote es común que se registre la superposición de pasadas de sembradora. En esas áreas se duplica la densidad planificada y se generan caídas de rendimiento en maíz por competencia

[14] La singulación es un indicador que indica la cantidad de alveolos de una placa de un dosificador en los que se ubicó una única semilla. Una singulación hipotética del 100% indica que en todos los alveolos de la placa de un dosificador hubo una única semilla.

intraespecífica. La tecnología de corte cuerpo por cuerpo evita esta situación: cuando un cuerpo de siembra pasa sobre un área ya sembrada, el motor correspondiente se detiene automáticamente y deja de dosificar semillas.

Siembra variable de semillas

Como mencionamos previamente, los sistemas para realizar siembra variable permiten ajustar la densidad óptima para los diferentes ambientes. Respecto de un lote sembrado con densidad uniforme, la implementación de esta estrategia, puede generar el aumento de rendimiento del lote. En el caso que se presenta en la Figura 2, en un lote sembrado con densidad fija (Figura 2. Izquierda), los rendimientos alcanzan 6,7 Tn/Ha en el ambiente de bajo potencial; 12,5 Tn/Ha en el ambiente de potencial medio y 16 Tn/Ha en el ambiente de alto potencial. Dosificando las densidades óptimas para cada ambiente (Figura 2. Derecha), en los ambientes de bajo, medio y alto potencial, es factible alcanzar rendimientos de 7,5 Tn/Ha (reduciendo densidad); 12,5 Tn/Ha (manteniendo densidad) y 17,5 Tn/Ha, (aumentado densidad) respectivamente.

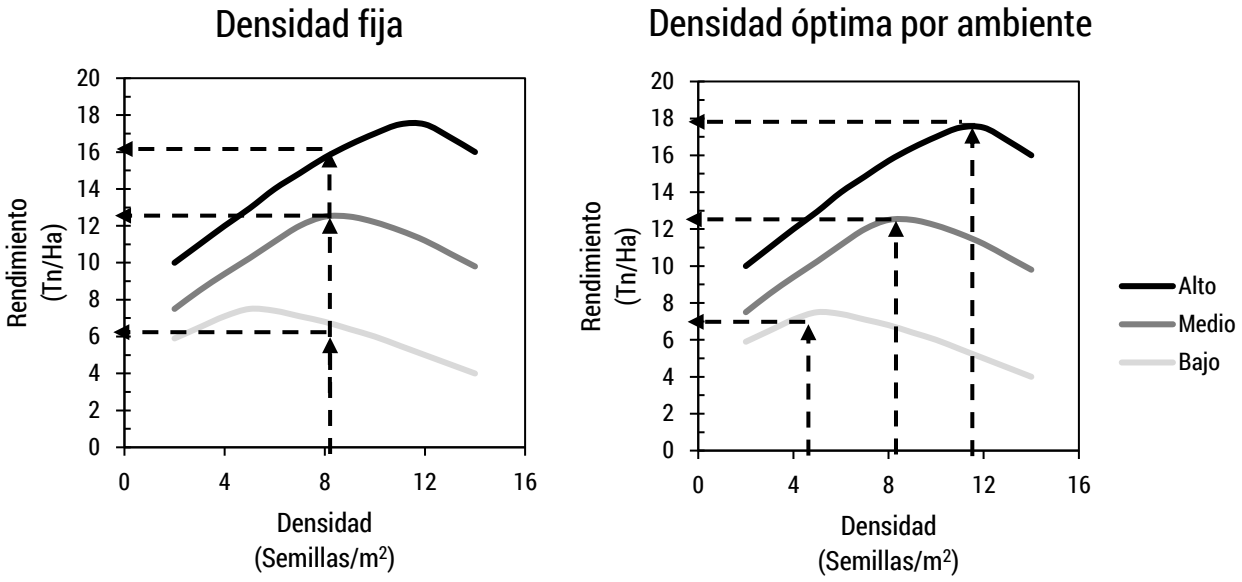

Figura 2. Rendimiento del cultivo de Maíz en función de la densidad de siembra en tres ambientes de diferente potencial productivo (Alto, Medio y Bajo) dentro de un mismo lote de producción. A la izquierda se presenta un caso donde se utilizó una densidad uniforme en todo el lote (flecha vertical) y el rendimiento obtenido en cada ambiente (indicado sobre el eje y con las flechas horizontales). A la derecha se presenta el mismo caso, pero se indican las densidades sembradas en cada ambiente (las óptimas). Las flechas verticales indican las densidades y las flechas horizontales el rendimiento obtenido en cada ambiente. Adaptado de Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz, Andrade *et al.,* 2023.

Caso de estudio

- Superficie total del lote = 70 Has.
- Cultivo = maíz
- Superficie del lote con ambientes de potencial alto = 24 Has.
- Superficie del lote con ambientes de potencial medio = 23 Has.
- Superficie del lote con ambientes de potencial bajo = 23 Has.
- Precio maíz disponible = 201 USD[15]

[15] Agroseries: maíz disponible. Promedio de 3 años (12/2022 – 12/2025).

Para los cálculos se utilizaron datos de densidades y rendimientos obtenidos en ensayos a nivel del lote realizados en el marco del convenio CREA-AGD[16], para generar información sobre agricultura por ambientes. Puntualmente se tomaron los datos del ensayo realizado en la Región Sud Este de CREA[17] en un cultivo de maíz temprano para una campaña específica. Estos datos se tomaron a modo de ejemplo, aunque es esperable que difieran según la zona productiva que se analice. En la tabla 3 se resumen los datos relevantes para realizar el cálculo del beneficio.

Tabla 3. Densidad de siembra y rendimiento de maíz en tres ambientes de diferente potencial, comparando siembra a densidad fija y variable.

Potencial del Ambiente	Densidad		Rendimiento		Dif Rendimiento
	Dosis variable (Sem/Ha)	Dosis fija (Sem/Ha)	Dosis variable (Kg/Ha)	Dosis fija (Kg/Ha)	(Dosis variable–Dosis fija) (Kg/Ha)
Alto	62.000	60.000	7.645	6.602	1.043
Medio	60.000	60.000	7.162	7.201	-39
Bajo	56.000	60.000	7.082	6.645	437

$$Beneficio\ (USD) = (Rto\ dosis\ variable - Rto\ dosis\ fija) \times cantidad\ de\ Has \times precio\ de\ venta$$

$$Beneficio_{ambiente\ Alto\ pot.}(USD) = \left(7.645\frac{Kg}{Ha} - 6.602\frac{Kg}{Ha}\right) \times 24\ Has \times 0{,}201\frac{USD}{Kg} = 5.031\ USD$$

$$Beneficio_{ambiente\ Medio\ pot.}(USD) = \left(7.162\frac{Kg}{Ha} - 7.201\frac{Kg}{Ha}\right) \times\ 23\ Has \times 0{,}201\frac{USD}{Kg} = -180\ USD$$

$$Beneficio_{ambiente\ Bajo\ pot.}(USD) = \left(7.082\frac{Kg}{Ha} - 6.645\frac{Kg}{Ha}\right) \times\ 23\ Has \times 0{,}201\frac{USD}{Kg} = 2.020\ USD$$

En ambientes de alto, medio y bajo potencial, la siembra variable genero diferencias de rendimiento de 1.043 kg/ha, -39 kg/ha y 437 kg/ha, respectivamente. Considerando las proporciones de los distintos ambientes, el un lote de 70Has. el beneficio generado por el sistema de siembra variable fue de 6.871 USD.

Mejoras en la singulación de la siembra

La singulación es un indicador que evalúa la proporción de alveolos de una placa de dosificación que se completan con una única semilla. Para calcularla se utiliza la siguiente formula:

$$Singulación\ (\%) = \left(\frac{(alvéolos\ totales - alvéolos\ con\ fallas - alvéolos\ con\ dobles)}{alvéolos\ totales}\right) \times 100$$

[16] Convenio CREA- AGD. Agricultura por ambientes, Dosificación variable de insumos. Año 1 Informe Campaña 2021/2022.

[17] Se usaron dichos datos ya que, a pasar de ser una campaña bajo el efecto de la niña (ENSO), los resultados obtenidos coincidieron con los esperados.

Cuando en un alveolo no se deposita ninguna semilla (falla), o se deposita más de una (doble), cae el valor del indicador singulación. Estas fallas y dobles afectan directamente al rendimiento en cultivos como el maíz que, en términos relativos, tiene poca plasticidad[18] para compensar el impacto sobre la producción de biomasa vegetativa y reproductiva (grano).

Cuando ocurre una falla en la dosificación y, por lo tanto, falta una planta, las dos plantas vecinas disponen de más recursos (radiación, agua y nutrientes) y pueden crecer más que el promedio. Sin embargo, debido a la baja plasticidad del maíz, el rendimiento extra de las plantas vecinas a la falla no logra compensar la pérdida de producción de la planta ausente, lo que se traduce en una reducción del rendimiento por unidad de superficie. Así, en un lote con fallas en la siembra podemos encontrar tres situaciones: plantas en plena competencia con rendimiento promedio, plantas ausentes (espacios del lote que no producen), y plantas adyacentes a las fallas que, al reducirse la competencia, incrementan un poco su rendimiento respecto a las plantas promedio.

Por otro lado, cuando la disminución de singulación se debe a un doble, es decir, cuando se siembran dos plantas en la misma posición, ambas compiten intensamente. En este caso, cada planta rinde menos de la mitad de lo que produciría una planta compitiendo a densidades óptimas. Además, las plantas vecinas a la posición donde se produce el doble también ven reducido su rendimiento (es menor al de una planta promedio), debido al aumento de la competencia por recursos que se registra en esa zona del lote.

El impacto de las fallas y los dobles varía según la densidad de siembra en relación con la densidad óptima del ambiente. Cuando se trabaja a densidad óptima, la respuesta observada es la descripta en los párrafos previos. Si la densidad utilizada es inferior a la óptima, la pérdida de rendimiento provocada por una falla es mayor, mientras que la generada por los dobles es menor en comparación con condiciones óptimas. Esto ocurre porque, en situaciones de densidad subóptima, existen recursos disponibles que no son plenamente aprovechados. En cambio, cuando la densidad supera la óptima, la pérdida de rendimiento por fallas disminuye, pero las pérdidas asociadas a los dobles aumentan, porque los recursos ya están limitando el rendimiento, generando un efecto opuesto al observado en condiciones de densidad subóptima.

A continuación, se plantea una situación donde la disminución en la singulación se ejemplificó utilizando únicamente fallas con el fin de simplificar el caso. A su vez, el análisis podría realizarse utilizando pérdidas en rendimiento generadas por dobles pero, a los fines de no extender el informe, ese enfoque no se desarrollara.

Caso de estudio

- Cultivo= maíz
- Superficie del lote= 70 Has.
- Densidad de siembra= 62.000 plantas/Ha (óptima).
- Singulación sin sistemas para realizar siembra variable = 94,4%
- Singulación con sistemas para realizar siembra variable= 99%
- Rendimiento de plantas promedio= 129 g/pl
- Rendimiento de fallas= 0 g/pl
- Rendimiento de plantas adyacentes a fallas= 164 g/pl
- Precio maíz disponible= 201[19] USD/Tn

[18] Plasticidad es la capacidad de una planta para modificar su morfología, fisiología o asignación de recursos en respuesta a cambios en las condiciones ambientales, con el objetivo de mantener su funcionamiento y optimizar su rendimiento.
[19] Agroseries: maíz disponible. Promedio de 3 años (12/2022 – 12/2025).

$$Rendimiento_{singulación\ (n)} = (Rto\ planta\ promedio \times N°\ plantas\ promedio) + (Rto\ planta\ adyacentes\ a\ fallas \times N°\ plantas\ adyacentes\ a\ fallas)$$

En la Tabla 4 se presentan, para distintos niveles de singulación, las cantidades de fallas, plantas adyacentes a fallas, plantas promedio, rendimientos logrados, porcentajes de pérdida de rendimiento con relación al rendimiento logrado con el máximo nivel de singulación de 99% alcanzado y la pérdida económica que implica esa diferencia. A medida que el porcentaje de singulación aumenta, la cantidad de fallas disminuye y, en consecuencia, las pérdidas de rendimiento y económicas se reducen.

Tabla 4. Impacto que los cambios en singulación generan sobre el stand de plantas, el rendimiento y el resultado económico del cultivo de maíz.

Densidad objetivo (semillas/Ha)	Singulación	N° fallas	N° plantas adyacentes a fallas	N° plantas promedio	Rendimiento (kg/Ha)	Pérdida (%)	Precio de maíz (USD/Tn)	Pérdida (USD/Ha)
62.000	92,6%	4.588	9.176	48.236	7.727	2,94%	201	47,1
62.000	94,4%	3.472	6.944	51.584	7.793	2,11%	201	33,8
62.000	96,3%	2.294	4.588	55.118	7.863	1,24%	201	19,9
62.000	98,1%	1.178	2.356	58.466	7.929	0,41%	201	6,6
62.000	99,0%	620	1.240	60.140	7.961	-	-	-

Para calcular pérdidas se consideró como rendimiento de referencia al obtenido cuando la singulación lograda alcanzo el 99%.

Mejorar la singulación de 94,4% a 99% mediante el uso de un sistema de siembra variable, evita una pérdida de 33,8 USD/Ha. Para el lote analizado de 70 hectáreas, esto representa un beneficio global de 2.368 USD.

Disminución de áreas con superposición de pasadas de sembradora

- En los lotes agrícolas cuando la sembradora realiza dos pasadas por un mismo lugar con los cuerpos de siembra clavados y sembrando se duplica la densidad de siembra planificada. Generalmente, esta situación se presenta en las cabeceras de los lotes o alrededor de obstáculos como montes, molinos, lagunas, entre otros. La proporción del área del lote ocupada por cabeceras depende del tamaño y la forma del lote, la cantidad y el tamaño de los obstáculos presentes y el ancho de la sembradora. Cuanto mayor es la proporción del área del lote ocupada con cabeceras, mayor es el porcentaje de superposición de pasadas de siembra en la que se duplica la densidad.

Duplicar la densidad impacta tanto en los costos de implantación como en el rendimiento del cultivo. Por un lado, como ya se mencionó y cuantificó anteriormente, aumenta el uso de semillas (ver sección *Ahorro de semillas al utilizar corte surco por surco*). Por otro, especialmente en cultivos donde las densidades excesivamente altas generan caídas importantes en el rendimiento, como el maíz, afecta negativamente la producción[20] (Figura 3).

Tomando como referencian los datos presentados en la Figura 3, observamos que cuando se duplica la densidad de maíz se produce una caída de rendimiento del 23%. Es importante destacar que los ensayos en los que se generaron esos datos se realizaron bajo condiciones no limitantes de agua (con riego) y nutrientes. Por lo tanto, en condiciones donde la disponibilidad de agua o los nutrientes fueran limitantes podrían esperarse mermas incluso superiores. Otras características de los híbridos de maíz que pueden modificar la caída en el rendimiento presentada

[20] En especies con mayor plasticidad, como la soja, duplicar la densidad prácticamente no tiene impacto sobre el rendimiento.

en la Figura 3, son el largo de ciclo y la tolerancia a las altas densidades, ambas dependen del genotípico. En general, híbridos de maíz con ciclos más cortos tienen un menor porte, por eso cuando se duplica la densidad es esperable que tenga una menor caída en el rendimiento que híbridos de ciclos más largos. El mismo efecto se observa en híbridos que mayor tolerancia al aumento de la densidad, ya que dicha característica se debe a la capacidad de mantener altas las tasas de crecimiento frente a aumentos en la densidad. En ese caso se espera que la merma en el rendimiento sea menor que en híbridos que no toleran altas densidades.

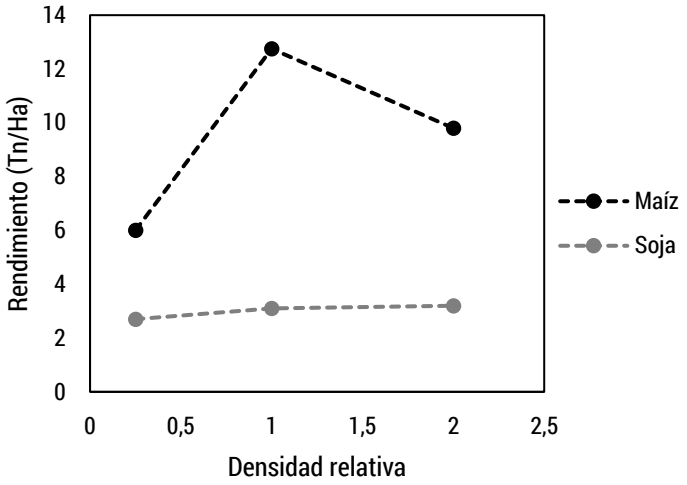

Figura 3. Relación entre el rendimiento y la densidad relativa para los cultivos de maíz y de soja. El valor de densidad relativa igual a 1 representa el valor de densidad óptima para cada cultivo (8,5 pl/m^2 para maíz y 29,8 pl/m^2 para soja). Los datos fueron obtenidos en condiciones donde no hubo limitaciones de agua y nutrientes. Adaptado de Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz, Andrade *et al.,* 2023.

Caso de estudio

- Cultivo= Maíz
- Superficie total del lote= 70 Has.
- Rendimiento= 7.310 Kg/Ha.
- Porcentaje del área del lote sin superposición= 95,74%
- Porcentaje del área del lote con superposición= 4,16%
- Porcentaje de perdida de rendimiento por duplicar la densidad= 23%
- Precio maíz disponible[21]= 201 USD/Tn

$$Rto\ promedio\ del\ lote = \frac{(Sup.total \times \%\ área.sin\ superposición \times Rto) + \left(Sup.total \times \%\ área.con\ superposición \times \left(Rto \times (100 - Perd.duplicar\ densidad)\right)\right)}{Sup.total}$$

$$Perdida\ de\ Rto = Rto\ s/superposición\ - Rto\ promedio\ del\ lote$$

[21] Agroseries: maíz disponible. Promedio de 3 años (12/2022 – 12/2025).

$$Rto\ promedio\ del\ lote = \frac{\left(70\ Ha \times 95{,}74\% \times 7.310\ \frac{Kg}{Ha}\right) + \left(70\ Ha \times 4{,}16\% \times \left(7.310\ \frac{Kg}{Ha} \times (100\% - 23\%)\right)\right)}{70\ Ha} = 7.230 \frac{Kg}{Ha}$$

$$Perdida\ de\ Rto = 7.310\ \frac{Kg}{Ha} - 7.230 \frac{Kg}{Ha} = \ 80\ \frac{Kg}{Ha}$$

En el caso del ejemplo, un 4,16% de superposición en pasadas de siembra en un lote de 70 Ha, generó una pérdida de rendimiento de 80 Kg/Ha. Es decir que en todo el lote se dejó de producir 5,6 Tn de maíz. Si se multiplica por el precio de venta del grano, la perdida generada por superposición entre pasadas de sembradora fue de 1.126 USD para el caso analizado.

Aumento en la capacidad operativa, sin afectar la calidad de siembra lograda.

La adopción de los sistemas de siembra variable genera cambios mecánicos en la sembradora, e incorporan sensores en diferentes puntos de la maquina (dosificadores, tubos de bajada, afirmadores de semillas). Estás mejoras agilizan tanto la puesta a punto la máquina como el proceso de siembra.

Cuando no existen grandes irregularidades en la superficie del lote, la incorporación de motores eléctricos y dosificadores neumáticos permiten incrementar la velocidad sin afectar la calidad de siembra. Esto se traduce en un incremento de la capacidad operativa de la sembradora sin aumentar su ancho de trabajo. Otra característica diferencial de estos sistemas que contribuye a mejorar la capacidad operativa es que no se debe recambiar la placa de siembra en función del calibre de la semilla; se utiliza una única placa de siembra por cultivo.

Por otro lado, los sensores instalados en los cuerpos de siembra permiten monitorear en tiempo real parámetros clave relacionados con la calidad de la labor (ej.: densidad de siembra, coeficiente de variación, singulación, población sembrada). La posibilidad de chequear esta información en tiempo real, mientras se ejecuta la labor, le permite al tractorista realizar el monitoreo constante de la calidad con la que está ejecutando la tarea.

Caso de estudio

- Ancho de labor= 9,36m (18 surcos a 52cm)
- Velocidad de siembra sin el sistema de siembra variable = 5,5 Km/h
- Velocidad de siembra con el sistema de siembra variable = 7,7 Km/h (+40%)
- Coeficiente de trabajo efectivo= 0,9 (10% pérdidas de tiempo)

$$Capacidad\ operativa\ \left(\frac{ha}{hora}\right) = \frac{(ancho\ de\ labor(m) \times velocidad\ de\ trabajo\ \left(\frac{km}{h}\right) \times coeficiente\ de\ tiempo\ efectivo)}{factor\ de\ conversión\ de\ unidades}$$

$$Capacidad\ operativa_{(\text{sin } sistema\ de\ sbra.variable)} = (9{,}36\ m \times 5{,}5\ \frac{Km}{h} \times 0{,}9)/10 = 4{,}63\ \frac{Ha}{h}$$

$$Capacidad\ operativa_{(con\ sistema\ de\ sbra.variable)} = (9{,}36\ m \times 7{,}7\ \frac{Km}{h} \times 0{,}9)/10 = 6{,}49\ \frac{Ha}{h}$$

Para el caso del ejemplo la tecnología permite aumentar la velocidad de trabajo en un 40%, que se traduce de forma lineal en un incremento del 40% en la capacidad operativa de la sembradora, sin generar efectos negativos en la calidad de siembra. Como se menciono previamente, aumentar 40% la velocidad de siembra solo es posible en determinadas situaciones (lotes planos en condiciones óptimas de humedad). Por lo tanto, para calcular el aumento en la capacidad operativa final, hay que conocer la proporción de superficie donde efectivamente es posible un aumento en la velocidad de siembra.

Desde la perspectiva del productor, este aumento de la capacidad operativa permite aprovechar mejor las ventanas óptimas de siembra. De este modo se pueden implantar más hectáreas en el momento adecuado, y obtener mejores rendimientos. Desde el punto de vista del contratista, el uso de la tecnología significa sembrar más hectáreas por hora de trabajo, lo que equivale a un aumento en sus ingresos.

Análisis de la Inversión - Contratista

Caso de estudio:

Se realizó un análisis para estimar en cuánto tiempo podría repagar la tecnología un prestador de servicios de siembra (contratista). Para realizar los cálculos se consideraron los siguientes valores:

- N° de cuerpos a equipar: 18
- Costo del sistema de siembra variable: 3.982 USD/cuerpo
- Costo de instalación: 7.000 USD
- Superficie anual a sembrar: 2.800 Has.
- Porcentaje de superficie extra a sembrar por incremento de la capacidad operativa: 10%[22]
- Precio diferencial por servicio de siembra variable: 8 USD/Ha.
- Costo extra de mantenimiento: 0,5 USD/ Ha.
- Costo extra en seguro: 1.500 USD/año

Período de Repago

El período de repago es el tiempo requerido para recuperar una inversión. Transcurrido ese periodo de tiempo, la empresa empieza a obtener ganancias netas por incorporar la tecnología. Para calcularlo, se divide el costo de la tecnología por el ingreso anual que genera su implementación. Para calcularlo es necesario conocer y cuantificar tanto el costo como los beneficios que genera el uso de la tecnología.

- **Costo**: Es el monto total invertido en la tecnología.
  A mayor costo de la tecnología, mayor período de repago (asumiendo que los beneficios son constantes).

  El costo de la tecnología depende de los siguientes factores:
  - **Cantidad de cuerpos de siembra a equipar.** Cuanto mayor sea la cantidad de cuerpos de siembra en la sembradora, mayor será la inversión inicial.

[22] Generada por la posibilidad de sembrar a mayor velocidad sin impactar sobre la calidad de siembra.

- **Costo por cuerpo de siembra (USD)**. Cuanto más cara sea la tecnología, mayor será la inversión inicial.
- **Costo de instalación**. Puede estar incluido en el costo de cada cuerpo de siembra. En caso de no ser así será necesario incluirlo en los cálculos.

$$Costo\ de\ la\ inversión = N°\ de\ cuerpos\ de\ siembra\ \times\ costo\ por\ cuerpo\ de\ siembra + costo\ de\ instalación$$

- **Beneficio**: Se refiere al ingreso adicional generado por el uso de la tecnología.
  ***A mayor beneficio, menor período de repago de la inversión (manteniendo constante la inversión inicial*).**

  El beneficio que genera el uso de la tecnología depende de los siguientes factores:
  - **Superficie a sembrar por año**: A medida que aumenta la superficie sembrada anualmente, el beneficio por el uso de la tecnología también se incrementa.
  - **Hectáreas adicionales sembradas por incorporar la tecnología**: Los equipos de siembra variable permiten aumentar la velocidad de siembra sin afectar la calidad de la misma, permitiendo incrementar la capacidad de trabajo y sembrar más hectáreas con la misma sembradora.
  - **Ingreso adicional por hectárea trabajada**: Es el ingreso diferencial que se obtiene respecto de una siembra convencional por brindar el servicio de siembra variable.
  - **Costo adicional de mantenimiento**: es el mantenimiento adicional que implica incorporar la nueva tecnología.
  - **Costo adicional de seguro**: adoptar un sistema de siembra variable aumenta el valor de la sembradora, y el monto a asegurar, por ende, incrementa el costo anual del seguro.

$$Beneficio\ = \big((superficie\ a\ sembrar + \ Hectáreas\ adicionales\ por\ incorporar\ la\ tecnología) \times\ Ingreso\ diferencial\ por\ incorporar\ la\ tecnología\big) - (costo\ adicional\ seguro + (costo\ extra\ de\ \ mantenimiento \times\ superficie\ total\ a\ sembrar))$$

En este caso, el período de repago de la tecnología se calcula según la siguiente fórmula:

$$Período\ de\ repago = \frac{Inversión\ inicial\ (Costo)}{Ingreso\ anual\ extra\ (Beneficio)}$$

$$Período\ de\ repago = \frac{(18\ surcos \times 3.982\ \frac{USD}{surco}) + 7.000\ USD}{\left(\left(2.800\ \frac{Has.}{año} + (2.800\ \frac{Has.}{año} \times 10\%)\right) \times\ 8\ \frac{USD}{Ha}\right) - (1.500\ \frac{USD}{año} + \left(0{,}5\ \frac{USD}{Ha} \times (2.800\ \frac{Has.}{año} + \left(2.800\ \frac{Has.}{año} \times 10\%\right))\right))}$$

$$Período\ de\ repago = \frac{78.676\ USD}{21.600\ \frac{USD}{año}} = 3{,}6\ años$$

Para el caso de análisis, el beneficio adicional que genera el uso de la tecnología permite repagar la inversión en un período de 3,6 años.

En la Tabla 5 se presentan diferentes escenarios de repago de la tecnología, considerando variaciones en el precio diferencial que puede percibir un contratista por brindar el servicio de siembra variables, y en la cantidad de superficie sembrada.

Tabla 5. Sensibilidad del periodo de repago de la tecnología (años) ante variaciones en el diferencial de precio cobrado por el contratista al brindar el servicio de siembra variable y la superficie sembrada con maíz usando el sistema de siembra variable.

		Diferencial de precio cobrado por brindar el servicio de siembra variable (USD/Ha).					
		5	6	7	8	9	10
Superficie sembrada con maíz (Has./año)	2.000	10,6	8,3	6,9	5,9	5,1	4,5
	2.200	9,4	7,5	6,2	5,3	4,6	4,1
	2.400	8,5	6,8	5,6	4,8	4,2	3,7
	2.600	7,8	6,2	5,1	4,4	3,8	3,4
	2.800	7,1	5,7	4,7	4,0	3,5	3,1
	3.000	6,6	5,3	4,4	3,8	3,3	2,9
	3.200	6,1	4,9	4,1	3,5	3,1	2,7
	3.400	5,7	4,6	3,8	3,3	2,9	2,6
	3.600	5,4	4,3	3,6	3,1	2,7	2,4
	3.800	5,1	4,1	3,4	2,9	2,6	2,3
	4.000	4,8	3,9	3,2	2,8	2,4	2,2

Para realizar este análisis se consideró la inversión requerida para equipar una sembradora de grano grueso de 18 cuerpos de siembra a 0,52 m de distancia entre cuerpos (78.676 USD). Adicionalmente se consideraron los costos extras de mantenimiento (0,5 USD/Ha) y seguro anual (2% del su valor).

¿Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por diferencial de precio**: Si el contratista cobra un diferencial de 5 USD/Ha por prestar el servicio de siembra variable, para repagar la tecnología en menos de 5,4 años es necesario que de servicios de siembra en al menos 3.600 Has./año

- **Ingreso por superficie sembrada**: Si se siembran 3.000 Has./año con un sistema de siembra variable, para repagar la tecnología en 4,4 años es necesario que el diferencial de precio del servicio sea de al menos 7 USD/Ha.

- **Ingreso período de repago**: Si se pretende repagar la tecnología en 3,4 años, cobrando un diferencial de precio de 10 USD/Ha por el servicio de siembra variable, es necesario prestar el servicio en al menos 2.600 Has./año.

Valor Actual Neto (V.A.N.)

El V.A.N. es el valor presente de los flujos de caja netos (ingresos menos egresos) generados por una inversión a lo largo de un período determinado. Un V.A.N. positivo indica que la inversión genera ingresos superiores a la rentabilidad exigida, mientras que un V.A.N. negativo señala que los ingresos generados por la inversión son inferiores a la rentabilidad mínima esperada.

En este caso, el V.A.N. de la inversión depende de tres factores principales:

(i). Las variables que condicionan los ingresos que se capturan a partir de la adopción de este tipo de tecnologías. Son las siguientes:

- Hectáreas sembradas por el contratista:
  Cuanto mayor es la superficie anual que siembra el contratista utilizando la tecnología, mayores son los ingresos del contratista.
  A mayor superficie anual sembrada, mayor V.A.N de la inversión.

- Diferencial de precio:
  Cuanto mayor es el diferencial de precio cobrado por el servicio de siembra variable respecto del valor que se cobra por una siembra convencional, mayores son los ingresos del contratista.
  A mayor diferencial de precio, mayor V.A.N de la inversión.

(ii). Las variables que determinan el costo de la inversión en la tecnología:

- Cantidad de cuerpos de siembra de la sembradora.
  A mayor cantidad de cuerpos de siembra, mayor es el monto de la inversión inicial.
  A mayor cantidad de cuerpos de siembra a equipar, menor V.A.N. de la inversión.
- Costo de la tecnología (USD por cuerpo de siembra):
  Cuanto más caro es el sistema de siembra variable, mayor es el valor de la inversión inicial.
  A mayor costo del sistema de siembra variable, menor V.A.N. de la inversión.

(iii). La tasa de descuento o rendimiento esperado de la inversión.
A mayor tasa de descuento, menor V.A.N. de la inversión.

Tabla 6. Sensibilidad del Valor Actual Neto (V.A.N.), expresado en dólares estadounidenses (USD), ante variaciones en el diferencial de precio cobrado por el contratista al brindar el servicio de siembra variable y la superficie sembrada con maíz usando el sistema de siembra variable.

		Diferencial de precio cobrado por brindar el servicio de siembra variable (USD/Ha).					
		5	6	7	8	9	10
Superficie sembrada con maíz (Has./año)	2.000	-26.979	-18.185	-9.391	-596	8.198	16.992
	2.200	-23.021	-13.348	-3.674	5.999	15.672	25.346
	2.400	-19.064	-8.511	2.042	12.595	23.147	33.700
	2.600	-15.107	-3.674	7.758	19.190	30.622	42.055
	2.800	-11.149	1.162	13.474	25.786	38.097	50.409
	3.000	-7.192	5.999	19.190	32.381	45.572	58.763
	3.200	-3.235	10.836	24.906	38.977	53.047	67.117
	3.400	723	15.672	30.622	45.572	60.522	75.472
	3.600	4.680	20.509	36.338	52.168	67.997	83.826
	3.800	8.637	25.346	42.055	58.763	75.472	92.180
	4.000	12.595	30.183	47.771	65.359	82.947	100.535

Para realizar este análisis se consideró la inversión necesaria para equipar una sembradora de grano grueso de 18 cuerpos de siembra a 0,52 m de distancia entre cuerpos (78.676 USD). Se utilizó una tasa de descuento de 10%, una vida útil de la tecnología de 6 años y un valor residual equivalente al 25% del valor a nuevo de la tecnología. Adicionalmente se consideraron los costos extras de mantenimiento (0,5 USD/Ha) y seguro anual (2% del su valor).

¿Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por diferencial de precio**: Si el contratista cobra un diferencial de 5 USD/Ha por prestar el servicio de siembra variable, para alcanzar un V.A.N. superior a 4.680 USD es necesario que preste el servicio de siembra variable en al menos 3.600 Has. /año.

- **Ingreso por superficie sembrada**: Si se siembran 3.000 Has. /año con un sistema de siembra variable, para lograr un V.A.N. mayor a 19.190 USD es necesario que el diferencial de precio del servicio sea de al menos 7 USD/Ha.

- **Ingreso por V.A.N.**: Si se pretende obtener un V.A.N. mayor a 42.055 USD, cobrando un diferencial de precio de 10 USD/Ha por el servicio de siembra variable, es necesario prestar el servicio en al menos 2.600 Has. /año

Tasa Interna de Retorno (T.I.R.)

La T.I.R. es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Valores de T.I.R. superiores a la tasa de descuento (la tasa mínima de rentabilidad exigida para la inversión) indican que la rentabilidad obtenida supera la rentabilidad mínima exigida. Por el contrario, valores de T.I.R. inferiores a la tasa de descuento indican que la inversión no alcanza la rentabilidad mínima requerida.

En este caso, la T.I.R. de la inversión depende de tres factores principales:

(i). Las variables que condicionan los ingresos que se capturan a partir de la adopción de este tipo de tecnologías. Son las siguientes:

- Hectáreas sembradas por el contratista:
  Cuanto mayor es la superficie anual que siembra el contratista con la tecnología, mayor es el beneficio.
  A mayor superficie anual sembrada, mayor T.I.R de la inversión.
- Diferencial de precio:
  Cuanto mayor es el diferencial de precio cobrado por el servicio de siembra variable respecto del valor que se cobra por una siembra convencional, mayor es el beneficio.
  A mayor diferencial de precio, mayor T.I.R de la inversión.

(ii). Las variables que determinan el costo de la inversión en la tecnología:

- Cantidad de cuerpos de siembra de la sembradora.
  A mayor cantidad de cuerpos de siembra, mayor es el monto de la inversión inicial.
  A mayor cantidad de cuerpos de siembra a equipar, menor T.I.R. de la inversión.
- Costo de la tecnología (USD por cuerpo de siembra):
  Cuanto más caro es el sistema de siembra variable, mayor es el valor de la inversión inicial.
  A mayor costo del equipo, menor T.I.R. de la inversión.

(iii). La tasa de descuento o rendimiento esperado de la inversión.
A mayor tasa de descuento, menor T.I.R. de la inversión.

Tabla 7. Sensibilidad de la Tasa Interna de Retorno (T.I.R.), ante variaciones en el diferencial de precio cobrado por el contratista al brindar el servicio de siembra variable y la superficie sembrada con maíz usando el sistema de siembra variable.

		Diferencial de precio cobrado por brindar el servicio de siembra variable (USD/Ha).					
		5	6	7	8	9	10
Superficie sembrada con maíz (Has/año)	2.000	-2%	2%	6%	10%	13%	17%
	2.200	0%	4%	8%	12%	16%	20%
	2.400	2%	6%	11%	15%	19%	23%
	2.600	4%	8%	13%	18%	22%	26%
	2.800	5%	10%	15%	20%	25%	29%
	3.000	7%	12%	18%	23%	27%	32%
	3.200	9%	14%	20%	25%	30%	35%
	3.400	10%	16%	22%	27%	33%	38%
	3.600	12%	18%	24%	30%	35%	41%
	3.800	13%	20%	26%	32%	38%	43%
	4.000	15%	22%	28%	34%	40%	46%

Para realizar este análisis se consideró la inversión necesaria para equipar una sembradora de grano grueso de 18 cuerpos de siembra a 0,52 m de distancia entre cuerpos (78.676 USD). Se utilizó una tasa de descuento de 10%, una vida útil de la tecnología de 6 años y un valor residual equivalente al 25% del valor a nuevo de la tecnología. Adicionalmente se consideraron los costos extras de mantenimiento (0,5 USD/Ha) y seguro anual (2% del su valor).

¿Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por diferencial de precio**: Si el contratista cobra un diferencial de 5 USD/Ha por prestar el servicio de siembra variable, y se pretende alcanzar una T.I.R superior al 12% es necesario que preste el servicio de siembra variable en al menos 3.600 Has. /año.

- **Ingreso por superficie sembrada**: Si se siembran 3.000 Has. /año con un sistema de siembra variable, para obtener una T.I.R del 18%, es necesario cobrar un precio diferencial por el servicio de al menos 7 USD/Ha.

- **Ingreso por T.I.R.**: Si se pretende obtener una T.I.R. del 26%, cobrando un diferencial de precio de 10 USD/Ha por el servicio de siembra variable, es necesario prestar el servicio en al menos 2.600 Has. /año.

Cálculo de la cuota de amortización

En términos contables, la cuota de amortización refleja la depreciación anual estimada de un bien. El término depreciación refiere a la pérdida de valor que sufren los bienes de uso durante un período de tiempo determinado. Esta depreciación se distribuye a lo largo de la vida útil del bien, lo que permite que el costo de la inversión se asigne proporcionalmente en cada periodo contable.

Para realizar el cálculo de la cuota de amortización se consideró la inversión total en la tecnología (Tabla 1) y un valor residual equivalente al 25% del valor a nuevo de la tecnología. Según las empresas proveedoras de sistemas para realizar siembra variable, la vida útil de la tecnología varía entre 6 y 10 años. En este análisis, se asumió una vida útil de 6 años, considerando que después de ese tiempo, la tecnología podría quedar obsoleta debido a la aparición de soluciones alternativas más avanzadas.

La cuota de amortización se expresó en toneladas de Maíz por año. Para ello, se dividió el valor de la cuota de amortización por el precio de la tonelada de Maíz[23]. Tomando como valor de referencia la cotización promedio de los últimos 3 años en la categoría disponible (201 USD/Tn.). Para sensibilizar el análisis se simuló una variación del precio de la tonelada de maíz al alza y a la baja.

$$Cuota\ de\ amortización = \left(\frac{Valor\ a\ nuevo - Valor\ residual}{Vida\ útil}\right) / Precio\ de\ maíz$$

En este caso, la cuota de amortización depende de tres factores principales:

(i). La cantidad de cuerpos de siembra a equipar.
Mayor cantidad de cuerpos de siembra a equipar, mayor cuota de amortización.

(ii). El precio del sistema por cuerpo de siembra.
Mayor costo del sistema por cuerpo de siembra, mayor cuota de amortización

(iii). El precio de la tonelada de maíz.
Mayor precio de la tonelada de maíz, menor cuota de amortización.

Tabla 8. Cuota de amortización (expresada en Tn de maíz/año).

Precio de maíz disponible (USD/Ha)	Inversión en sistema de siembra variable (USD) 70.688	78.542	86.396
160	55	61	67
170	52	58	64
180	49	55	60
190	47	52	57
200	44	49	54
210	42	47	51
220	40	45	49
230	38	43	47
240	37	41	45
250	35	39	43

Para realizar los cálculos se consideró una vida útil de 6 años que contempla el reemplazo por obsolescencia de la tecnología. En cuanto a los costos, se consideró 3 situaciones. El valor de referencia utilizado en el trabajo y sistemas 10% más baratos y más caros que el mismo.

¿Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por monto de la inversión**: Si se realiza una inversión de 86.396 USD para equipar una sembradora con siembra variable, y se pretende pagar una cuota de amortización equivalente a 45 Tn de maíz, el precio del grano debe ser de 240 USD/Tn.

- **Ingreso por precio del maíz**: Si el precio del maíz es de 200 USD/Tn, y queres que la cuota de amortización de la tecnología sea de 49 Tn de maíz, el monto de la inversión debe ser de 78.542 USD.

[23] Agroseries: maíz disponible. Promedio de 3 años (12/2022 – 12/2025).

- **Ingreso por cuota de amortización**: Para pagar una cuota de amortización equivalente a 52 Tn de maíz, si realizaste una inversión de 70.688 USD en la tecnología de siembra variable, es necesario que el precio del maíz sea de 170 USD/Tn.

El análisis realizado para la cuota de inversión es válido tanto para un contratista como para una empresa agrícola que realiza la compra de la tecnología. Por lo mencionado, solo se realizará dicho análisis en esta sección.

Análisis de la Inversión - Productor

Caso de estudio:

Se realizó un análisis para estimar en cuanto tiempo se podría repagar la adopción de la tecnología. Para realizar los cálculos se consideraron los siguientes valores:

- N° de cuerpos a equipar: 18
- Costo del sistema de siembra variable: 3.982 USD/cuerpo
- Costo de instalación: 7.000 USD
- Superficie a sembrar: 300 Has.
- Ahorro de semillas: 9,7[24] USD/Ha
- Mejora en rendimiento por realizar siembra variable: 0,35 Tn/Ha.
- Precio de maíz disponible: 201[25] USD/Tn
- Costo extra de mantenimiento: 0,5 USD/ Ha.
- Costo extra seguro: 1.573 USD/año

Período de repago

El período de repago es el tiempo requerido para recuperar una inversión. Transcurrido ese periodo de tiempo, la empresa empieza a obtener ganancias netas por incorporar la tecnología. Para calcularlo, se divide el costo de la tecnología por el ingreso anual que genera su implementación. Por lo tanto, es necesario conocer y cuantificar tanto el costo como los beneficios que genera el uso de esa tecnología específica.

- **Costo**: Es el monto total invertido en la tecnología.
  A mayor costo de la tecnología, mayor periodo de repago de la inversión (asumiendo que los beneficios son constantes).

  El costo de la tecnología depende de los siguientes factores:
  - **Cantidad de cuerpos de siembra a equipar.** Cuanto mayor sea la cantidad de cuerpos de siembra en la sembradora, mayor será la inversión inicial.
  - **Costo por cuerpo de siembra (USD).** Cuanto más cara sea la tecnología, mayor será la inversión inicial.
  - **Costo de instalación**. Puede estar incluido en el costo de cada cuerpo de siembra. En caso de no ser así será necesario incluirlo en los cálculos.

[24] Del total del ahorro, 6 USD/Ha. se ahorra por utilizar semillas de bandas más altas (para de banda 1 a banda 2). Los restantes 3,7 USD/Ha. se ahorran por disminuir la superposición de semillas principalmente en las cabeceras, se planteó una situación donde la superposición era de 6% y paso a ser el 2%.
[25] Agroseries: maíz disponible. Promedio de 3 años (12/2022 – 12/2025).

$$Costo\ de\ la\ inversión = N°\ de\ cuerpos\ de\ siembra\ \times\ costo\ por\ cuerpo\ de\ siembra + costo\ de\ instalación$$

- **Beneficio**: Se refiere al ingreso adicional generado por el uso de la tecnología.
  A mayor beneficio, menor período de repago de la inversión (manteniendo constante la inversión inicial).

  El beneficio que genera el uso de la tecnología depende de los siguientes factores:
  - **Ahorro en insumos**.
    El uso de los sistemas para realizar siembra variable permite utilizar menos semillas al disminuir la superposición de pasadas de siembra en cabeceras. Además, permite usar semillas de bandas más altas (y baratas) manteniendo la calidad de siembra.
  - **Incrementos de producción**.
    Los sistemas para realizar siembra variable permiten ajustar la densidad de siembra a las densidades óptimas para cada ambiente del lote, reducir la superposición de pasadas de siembra en cabeceras, y mejorar la singulación (reducción de dobles y fallas). Todos estos factores permiten capturar mejoras en el rendimiento de los cultivos.
  - **Costo adicional de mantenimiento**.
    Es el mantenimiento adicional que implica incorporar la nueva tecnología.
  - **Costo adicional de seguro**.
    Adoptar un sistema de siembra variable aumenta el valor de la sembradora, y el monto a asegurar, por ende, incrementa el costo anual del seguro.

$$Beneficio\ = ((Ahorro\ de\ semillas \times precio\ de\ semillas + Aumento\ de\ rinde \times precio\ del\ grano\ ) \times Superficie\ a\ sembrar) - ((costo\ adicional\ del\ mantenimiento \times superficie\ a\ sembrar) + costo\ adicional\ de\ seguro)$$

En este caso, el período de repago de la tecnología se calcula según la siguiente fórmula:

$$Período\ de\ repago = \frac{Inversión\ inicial\ (Costo)}{Ingreso\ anual\ extra\ (Beneficio)}$$

$$Periodo\ de\ Repago = \frac{Inversión\ inicial}{(Ahorro\ de\ semillas + Ingreso\ por\ diferencial\ de\ rinde - Mantenimiento - Seguro)}$$

$$Período\ de\ repago = \frac{18\ surcos \times 3.982\frac{USD}{surco}) + 7.000\ USD}{(\left(9{,}7\frac{USD}{Ha} + 0{,}350\frac{Tn}{Ha} \times 201\frac{USD}{Tn}\right) \times 300\frac{Has.}{año}) - (\left(0{,}5\frac{USD}{Ha} \times 300\frac{Has.}{año}\right) + 1.573\frac{USD}{año})}$$

$$Período\ de\ repago = \frac{78.676\ USD}{24.015\frac{USD}{año} - 1.723\frac{USD}{año}} = 3{,}5\ años$$

En la Tabla 9 se presentan diferentes escenarios de repago de la tecnología, considerando variaciones en superficie sembrada e incrementos de rendimiento logrados por la utilización de la tecnología.

Tabla 9. Sensibilidad del periodo de repago de la tecnología (años), ante variaciones en el rendimiento extra de maíz logrado por usar la tecnología y la superficie de maíz sembrada por año usando el sistema de siembra variable.

		Diferencia de rendimiento de maíz (kg/ha)									
		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Superficie sembrada con maíz (Has. /año)	100	48,6	30,0	21,7	17,0	14,0	11,8	10,3	9,1	8,1	7,4
	200	17,3	12,0	9,2	7,4	6,3	5,4	4,7	4,2	3,8	3,5
	300	10,5	7,5	5,8	4,8	4,0	3,5	3,1	2,8	2,5	2,3
	400	7,6	5,5	4,3	3,5	3,0	2,6	2,3	2,0	1,8	1,7
	500	5,9	4,3	3,4	2,8	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3
	600	4,8	3,5	2,8	2,3	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1
	700	4,1	3,0	2,4	2,0	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0
	800	3,6	2,6	2,1	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8
	900	3,1	2,3	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
	1.000	2,8	2,1	1,6	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7

Para realizar este análisis se consideró la inversión requerida para equipar una sembradora de grano grueso de 18 cuerpos de siembra a 0,52 m de distancia entre cuerpos (78.676 USD). En todos los casos se consideró que la tecnología genero un ahorro en semillas de 9,7 USD/Ha. (uso de semillas de bandas más grandes -más baratas– y reducciones de la superposición en cabeceras de 6% a 2%). Adicionalmente se consideró que la tecnología aumentó los costos de mantenimiento en 0,5 USD/Ha. y del seguro en 1.573 USD/año.

¿Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por diferencial de rendimiento**: Si el diferencial de rendimiento de maíz logrado es de 150 kg/Ha, para repagar la tecnología en menos de 2,3 años es necesario sembrar al menos 900 hectáreas por año.

- **Ingreso por superficie sembrada:** Si se siembran 600 Has. /año de maíz con un sistema de siembra variable, para repagar la tecnología en 1,7 años es necesario obtener un diferencial de rendimiento de 350 kg/Ha.

- **Ingreso por periodo de repago**: Si se pretende repagar la tecnología en 2,5 años, sembrando 300 Has. /año de maíz, es necesario que la tecnología genere un rendimiento extra de al menos 500 kg/Ha.

Valor Actual Neto (V.A.N.)

El V.A.N. es el valor presente de los flujos de caja netos (ingresos menos egresos) generados por una inversión a lo largo de un período determinado. Un V.A.N. positivo indica que la inversión genera ingresos superiores a la rentabilidad exigida. En cambio, un V.A.N. negativo sugiere que los ingresos generados por la inversión son inferiores a la rentabilidad mínima esperada.

(i). Las variables que condicionan los ingresos que se capturan a partir de la adopción de este tipo de tecnologías. Son las siguientes:

- Ahorro en insumos:
  Cuanto mayor es el ahorro en insumos que se logra por utilizar la tecnología, mayores son los ingresos para el productor.
  A mayor ahorro en insumos, mayor V.A.N de la inversión.
- Incrementos de producción:
  Cuanto mayor es el incremento de producción que se logra por utilizar la tecnología, mayores son los ingresos para el productor.
  A mayor incremento de rendimiento, mayor V.A.N de la inversión.

(ii). Las variables que determinan el costo de la inversión en la tecnología:

- Cantidad de cuerpos de siembra de la sembradora.
  A mayor cantidad de cuerpos de siembra, mayor es el monto de la inversión inicial.
  A mayor cantidad de cuerpos de siembra a equipar, menor V.A.N. de la inversión.
- Costo de la tecnología (USD por cuerpo de siembra):
  Cuanto más caro es el sistema de siembra variable, mayor es el valor de la inversión inicial.
  A más costo del equipo, menor V.A.N. de la inversión.

(iii). La tasa de descuento o rendimiento esperado de la inversión.
A mayor tasa de descuento, menor V.A.N. de la inversión.

Tabla 10. Sensibilidad del Valor Actual Neto (V.A.N.), expresado en dólares estadounidenses (USD), ante variaciones en el rendimiento extra de maíz logrado por usar la tecnología y la superficie de maíz sembrada por año usando el sistema de siembra variable.

		Diferencia de rendimiento de maíz (kg/ha)									
		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Superficie sembrada con maíz (Has./año)	100	-54.909	-50.930	-46.951	-42.972	-38.993	-35.014	-31.034	-27.055	-23.076	-19.097
	200	-43.312	-35.354	-27.396	-19.438	-11.479	-3.521	4.437	12.395	20.354	28.312
	300	-31.715	-19.778	-7.841	4.097	16.034	27.971	39.909	51.846	63.784	75.721
	400	-20.119	-4.202	11.714	27.631	43.547	59.464	75.380	91.297	107.213	123.130
	500	-8.522	11.374	31.270	51.165	71.061	90.956	110.852	130.748	150.643	170.539
	600	3.075	26.950	50.825	74.699	98.574	122.449	146.324	170.198	194.073	217.948
	700	14.672	42.526	70.380	98.234	126.088	153.941	181.795	209.649	237.503	265.357
	800	26.269	58.102	89.935	121.768	153.601	185.434	217.267	249.100	280.933	312.766
	900	37.866	73.678	109.490	145.302	181.114	216.926	252.739	288.551	324.363	360.175
	1.000	49.463	89.254	129.045	168.836	208.628	248.419	288.210	328.001	367.793	407.584

Para realizar este análisis se consideró la inversión requerida para equipar una sembradora de grano grueso de 18 cuerpos de siembra a 0,52 m de distancia entre cuerpos (78.676 USD). Se utilizó una tasa de descuento de 10%, una vida útil de la tecnología de 6 años y un valor residual de la tecnología equivalente al 25% de su valor a nuevo. En todos los casos se consideró que la tecnología genero un ahorro en semillas de 9,7 USD/Ha. (uso de semillas de bandas más grandes -más baratas- y reducciones de la superposición en cabeceras de 6% a 2%. Adicionalmente se consideró que la tecnología aumentó los costos de mantenimiento en 0,5 USD/Ha. y del seguro en 1.573 USD/año.

¿Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por diferencial de rendimiento**: Si el diferencial de rendimiento de maíz logrado es de 150 kg/Ha para alcanzar un V.A.N. superior a 73.678 USD es necesario sembrar al menos 900 Has. /año de maíz.

- **Ingreso por superficie sembrada:** Si se siembran 600 Has. /año de maíz con un sistema de siembra variable, para lograr un V.A.N. mayor a 122.449 USD es necesario obtener un diferencial de rendimiento de maíz de 350 kg/Ha.

- **Ingreso por V.A.N.**: Si se pretende lograr un V.A.N. de al menos 63.784 USD, sembrando 300 Has. /año de maíz, es necesario que el sistema de siembra variable permita capturar un rendimiento extra de al menos 500 kg/Ha.

Tasa Interna de Retorno (T.I.R.)

La T.I.R. es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Valores de T.I.R. superiores a la tasa de descuento (que es la tasa mínima de rentabilidad exigida para la inversión) indican que la rentabilidad obtenida supera la rentabilidad mínima exigida. En cambio, valores de T.I.R. inferiores a la tasa de descuento sugieren que la inversión no alcanza la rentabilidad mínima requerida.

En este caso, la T.I.R. de la inversión depende de tres factores principales:

(i). Las variables que condicionan los ingresos que se capturan a partir de la adopción de este tipo de tecnologías. Son las siguientes:

- Ahorro en insumos:
  Cuanto mayor es el ahorro en insumos que se logra por utilizar la tecnología, mayores son los ingresos para el productor.
  A mayor ahorro de USD en insumos, mayor T.I.R. de la inversión.
- Incrementos de producción:
  Cuanto mayor es el incremento de producción que se logra por utilizar la tecnología, mayores son los ingresos para el productor
  A mayor incremento de rendimiento, mayor T.I.R. de la inversión.

(ii). Las variables que determinan el costo de la inversión en la tecnología:

- Cantidad de cuerpos de siembra de la sembradora.
  A mayor cantidad de cuerpos de siembra, mayor es el monto de la inversión inicial.
  A mayor cantidad de cuerpos a equipar, menor T.I.R. de la inversión.
- Costo de la tecnología (USD por cuerpo de siembra):
  Cuanto más caro es el sistema de siembra variable, mayor es el valor de la inversión inicial.
  A mayor costo del equipo, menor T.I.R. de la inversión.

(iii). La tasa de descuento o rendimiento esperado de la inversión.
A mayor tasa de descuento, menor T.I.R. de la inversión.

Tabla 11. Sensibilidad de la Tasa Interna de Retorno (T.I.R.), ante variaciones en el rendimiento extra de maíz logrado por usar la tecnología y la superficie de maíz sembrada por año usando el sistema de siembra variable.

		Diferencia de rendimiento de maíz (kg/ha)									
		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Superficie sembrada con maíz (Has./año)	100	-16%	-14%	-12%	-10%	-8%	-6%	-4%	-2%	0%	2%
	200	-10%	-6%	-2%	1%	5%	9%	12%	15%	18%	21%
	300	-4%	1%	7%	12%	17%	21%	26%	30%	35%	39%
	400	1%	8%	15%	21%	27%	33%	39%	45%	50%	56%
	500	6%	15%	23%	30%	38%	45%	52%	59%	65%	72%
	600	11%	21%	30%	39%	47%	56%	64%	72%	80%	88%
	700	16%	27%	37%	47%	57%	67%	76%	85%	94%	104%
	800	21%	33%	44%	55%	66%	77%	88%	98%	109%	119%
	900	25%	39%	51%	64%	76%	88%	99%	111%	123%	134%
	1.000	30%	44%	58%	72%	85%	98%	111%	124%	137%	150%

Para realizar este análisis se consideró la inversión requerida para equipar una sembradora de grano grueso de 18 cuerpos de siembra a 0,52 m de distancia entre cuerpos (78.676 USD). Se utilizó una tasa de descuento de 10%, una vida útil de la tecnología de 6 años y un valor residual de la tecnología equivalente al 25% de su valor a nuevo. En todos los casos se consideró que la tecnología genero un ahorro en semillas de 9,7 USD/Ha. (uso de semillas de bandas más grandes -más baratas- y reducciones de la superposición en cabeceras de 6% a 2% la superposición en las cabeceras. Adicionalmente se consideró que la tecnología aumentó los costos de mantenimiento en 0,5 USD/Ha. y del seguro en 1.573 USD/año.

¿Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por diferencial de rendimiento**: Si el diferencial de rendimiento de maíz logrado es de 150 kg/Ha y se pretende lograr una T.I.R. de 39%, es necesario sembrar al menos 900 Has./año de maíz.

- **Ingreso por superficie sembrada**: Si se siembran 600 Has./año de maíz con un sistema de siembra variable, para lograr una T.I.R. será de 56% es necesario obtener un diferencial de rendimiento de maíz de 350 kg/Ha.

- **Ingreso por Tasa Interna de Retorno (T.I.R.)**: Si se pretende obtener una T.I.R. del 35% sembrando 300 Has./año de maíz, es necesario que el sistema de siembra variable permita capturar un rendimiento extra de al menos 500 kg/Ha.

Mantenimiento y Servicio Postventa

Al mantenimiento habitual de las sembradoras, los sistemas de siembra variable incorporan componentes eléctricos que requieren inspección y validar. Los sensores se deben limpiar según el manual del fabricante. A su vez, es necesario chequear el estado de los cables y conectores verificando que no haya daños. Por último, es importante saber que los motores eléctricos que se utilizan requieren bajo mantenimiento, incluso dos empresas declararon que sus motores no necesitan mantenimiento.

Una de las empresas proveedoras ofrece un paquete de 20 horas con un técnico especializado quien realiza un mantenimiento pre-campaña exhaustivo para asegurar que todos los componentes —como tubos de bajada, sensores y monitores— estén en condiciones óptimas antes de comenzar la campaña de siembra. Adicionalmente ofrece soporte técnico telefónico y garantiza la cobertura territorial del soporte postventa —con técnicos

disponibles cada 100 km— para asegurar una respuesta rápida ante cualquier inconveniente. Este servicio busca garantizar que el equipo funcione de manera eficiente desde el momento inicial y brinda asistencia técnica en tiempo real durante la campaña. Otra empresa ofrece, además, un pre-chequeo del equipo de forma on-line a través de una plataforma específica.

Por otro lado, a través de los monitores de siembra, que actúa como "cerebros" de las sembradoras, se envían señales a todos los componentes electrónicos de la sembradora para verificar su correcto funcionamiento. La información puede chequearse en un tablero de diagnóstico visual: los indicadores se ponen en verde si todo funciona correctamente, en amarillo si ocurren fallas menores y en rojo si un componente no opera. Esta funcionalidad permite detectar y resolver problemas con precisión, reduciendo al mínimo los tiempos muertos. En situaciones donde no hay conectividad a internet, una App de soporte guía al usuario mediante un árbol de soluciones para el problema que se presente con el componente afectado.

Algunas referencias de empresas proveedoras

Empresa	
JOHN DEERE	https://www.deere.com.ar
Otros proveedores	Runco Abelardo Cuffia Control Agro/ SIID Indecar Agrix Leaf Agrotronics Siembra Neumática Plantium PTX

Agradecimientos

Agradecemos especialmente al Ing. Agr. M.Sc. Mecanización Agrícola Guillermo Marrón, quien se desempeñó durante más de 10 años como director del Instituto de Ingeniería Rural de INTA y actualmente se desempeña como Consultor; al Ing. Agr. M.Sc. en Producción Vegetal de cultivos Extensivos Fernando Scaramuzza, quien fue Investigador en Agricultura de Precisión y Mecanización Agrícola en INTA Manfredi durante más de 20 años y actualmente trabaja como asesor en Agricultura de Precisión; y al Ing. Agr. Hernán Ferrari quien se desempeña como coordinador del Grupo Mecanización Agrícola de INTA. Todos ellos realizaron la revisión del documento y aportaron sus comentarios y sugerencias para su edición final.