

# Agricultura por ambientes

## Dosificación variable de insumos

### Convenio CREA - AGD



José Micheloud ([jmicheloud@crea.org.ar](mailto:jmicheloud@crea.org.ar)) - Gabriel Tinghitella - Gustavo Martini -  
Nicolás Ciancio - Juan Manuel Dadé

## Áreas de Agricultura e Innovación. Unidad de I+D

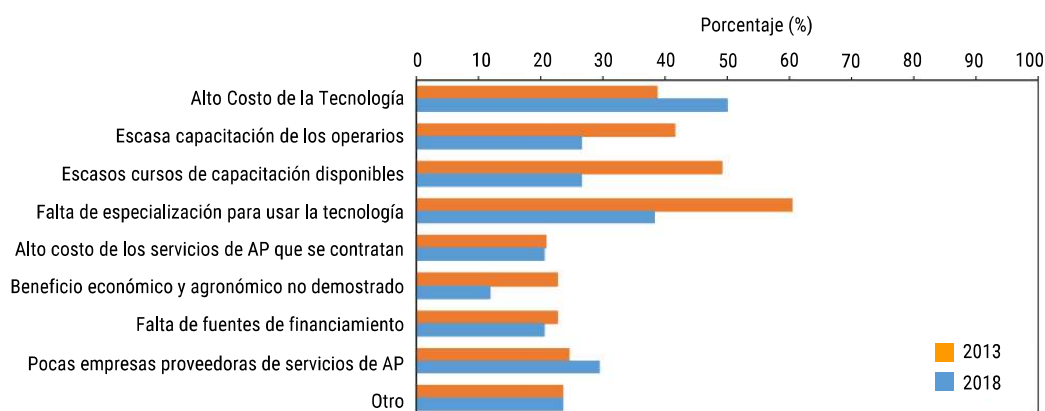
Año 1 - Informe Campaña 2021/2022



## (1) Introducción

En el movimiento CREA, los niveles de adopción de la denominada “agricultura por ambientes” es variable, y se realiza de distintas formas. En muchas empresas, a partir de la experiencia y el conocimiento que se posee de los lotes de producción, se segregan dos o más macro ambientes, que luego se manejan de distintas formas. En esos casos, por ejemplo, se aumenta o reduce la dosis de fertilizantes y/o la densidad de siembra por ambiente. No obstante, dentro de cada uno de esos ambientes la dosificación es fija. Otras empresas hacen ambientaciones más detalladas (micro ambientaciones) y realizan dosificación variable con distintos niveles de intensidad, según la magnitud y distribución espacial de la variabilidad ambiental y las posibilidades logísticas de manejo.

La adopción de los procesos y tecnologías contenidas en el concepto “agricultura de precisión” encuentra algunas limitantes. El costo de la tecnología y la falta de capacidades para su correcta gestión son las de mayor relevancia. No obstante, la necesidad de información que demuestre el beneficio económico y agronómico que genera su adopción, también es un punto mencionado como relevante, incluso por quienes ya han adoptado la tecnología (Gráfico 1).



**Gráfico 1.** Limitantes para la adopción de tecnologías de agricultura de precisión. Melchiori et al., 2018.

En el año 2021, se puso en marcha un convenio entre CREA y AGD, con el objetivo de generar información para cuantificar el beneficio generado por la adopción de tecnologías que permiten realizar la dosificación variable de insumos en cultivos extensivos.

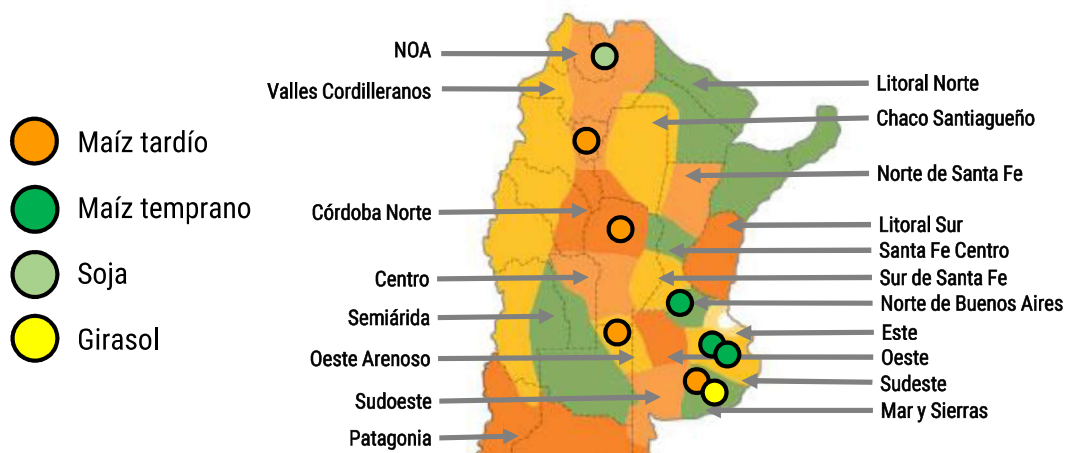
## (2) Objetivo

El objetivo general de este proyecto es generar información para analizar el impacto que la adopción de tecnologías que permiten diagnosticar variabilidad ambiental en lotes de producción y gestionar insumos de forma variable generan sobre el rendimiento de los cultivos y su resultado económico asociado, en sistemas agrícolas de distintas regiones del país. Si bien el proyecto se enfoca sobre el cultivo de maíz, también se exploran, para casos específicos, el aporte que estas tecnologías tienen sobre el rendimiento y el resultado económico de los cultivos de girasol (en la región de Mar y Sierras) y soja (en la región NOA).



### (3) Metodología

Durante la campaña 2021/2022, en 6 regiones CREA (Norte de Buenos Aires –NBA-, Sudeste –SDE-, Mar y Sierras –MYS-, Oeste Arenoso –OAR-, Córdoba Norte –COR- y Noroeste –NOA-) se pusieron en marcha 9 módulos experimentales. Los sitios elegidos para instalarlos fueron lotes de producción con elevada variabilidad ambiental. Cada módulo tuvo, en promedio, una superficie de 80 has., y en ellos se realizó manejo variable de densidad y/o nitrógeno, dejando sectores de manejo fijo de referencia.



**Esquema 1.** Detalle de tipos de módulos experimentales instalados en la campaña 2021/2022 y distribución espacial de los mismos sobre el mapa de regiones CREA.

#### Caracterización de la variabilidad ambiental

En cada módulo, el equipo de AGD realizó un relevamiento de la variabilidad ambiental del lote, midiendo conductividad eléctrica aparente con rastra Veris y altimetría, y realizando un muestreo de suelos en grilla. En cada una de las muestras de suelo obtenidas, se determinaron distintos parámetros químicos (pH, CE, P, N, MO, NT, S, K, Ca, Mg, NA, CIC, SB, PSI, Zn, Mn, B, Co, Mo).

#### Ambientación y prescripción

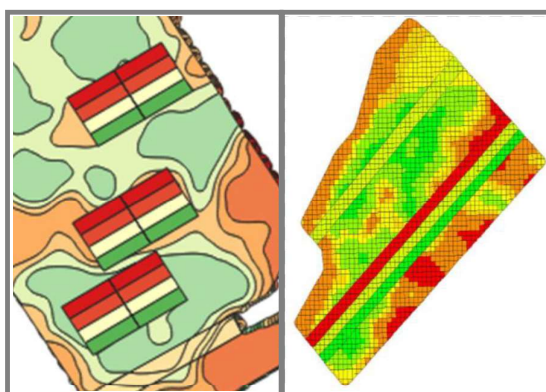
A partir de esta información, y revisando información histórica, el equipo de AGD realizó una ambientación del lote. Luego elaboró una primera versión de la prescripción para el manejo en el lote, incluyendo zonas de manejo fijo y manejo variable.

Posteriormente, las prescripciones elaboradas, se sometieron a un proceso de ajuste y validación que incluyó el trabajo coordinado de los responsables del módulo y los equipos técnico de CREA y AGD. Esa tarea incluyó la revisión de los límites entre ambientes, la definición de los rangos de manejo a utilizar en la zona de manejo variable, y los niveles a explorar con cada factor (densidad de siembra y Nitrógeno) en las zonas de manejo fijo. En esta etapa se revisaron rendimientos e índices de vegetación históricos, que potencialmente podrían contribuir a mejorar la definición de los límites entre ambientes y la prescripción final.

En todos los módulos se incluyeron sectores de manejo fijo con dos objetivos:

- (1) Contar con referencias a la hora de analizar la contribución del manejo variable en comparación con el manejo fijo.
- (2) Identificar óptimos de manejo en cada tipo de ambiente, para mejorar prescripciones futuras.

Dependiendo de la distribución espacial de la variabilidad de ambientes, y de la cantidad de niveles de los factores de manejo que se pretendieron estudiar, las zonas de manejo fijo fueron franjas que atravesaron los distintos ambientes del lote, o cuadrículas (“tableros de ajedrez”) dentro de cada tipo de ambiente (Esquema 2). En todos los casos, uno de los niveles de manejo fijo, representó el manejo que hubiera realizado el productor, en el caso de haber realizado manejo fijo en todo el lote. La contribución de la adopción de manejo variable se analizó tomando como referencia los resultados logrados en ese tratamiento de referencia.



**Esquema 2.** Distintos tipos de diseños de las zonas de manejo fijo en los módulos de experimentación: Izq: Diseño en cuadrícula dentro de cada tipo de ambiente (“tableros de ajedrez”); y Der: Diseño en franjas atravesando ambientes.

## Ejecución

Una vez validado el mapa de ambientes y la prescripción, el equipo responsable del módulo, realizó la siembra y la fertilización según lo acordado. La cosecha se realizó con monitor de rendimiento y tolva con balanza. El equipo responsable del módulo envió la información recolectada al equipo de AGD, que se encargó de realizar la depuración y eventual corrección de los mapas de rendimiento.

## Análisis

El equipo técnico de CREA, en interacción con el equipo de AGD, analizó y presentó los resultados en diferentes instancias y ámbitos dentro de CREA. Se elaboraron informes regionales, y el informe integrador con los resultados de todos los módulos.

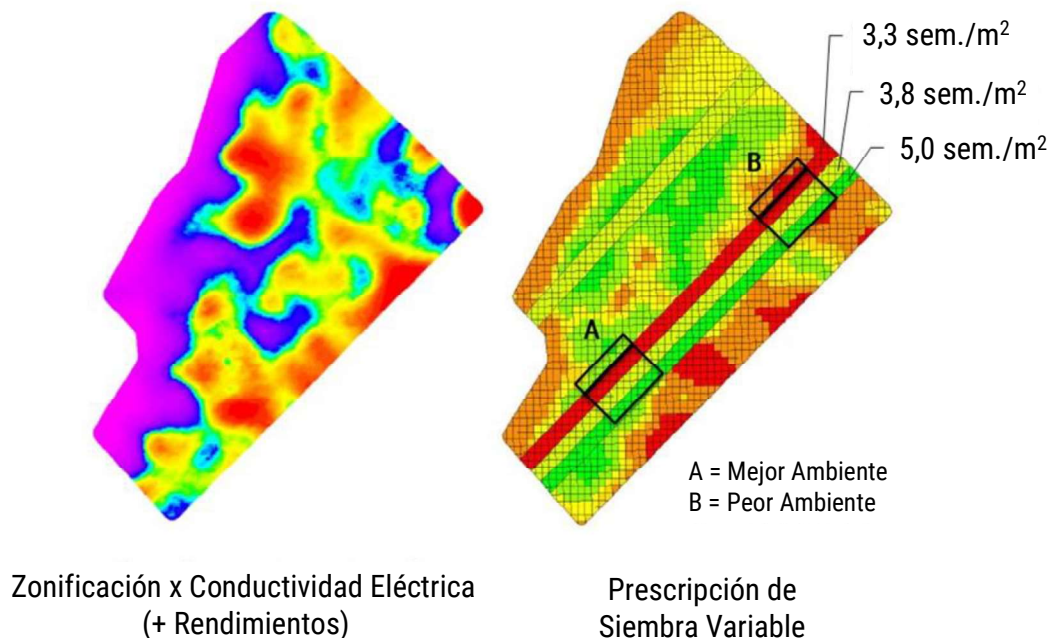


## (4) Resultados

A continuación, se presenta un resumen de los resultados principales de cada módulo. Se puede encontrar una descripción más detallada en los informes específicos de cada módulo.

### 4.1 Mar y Sierras - Girasol

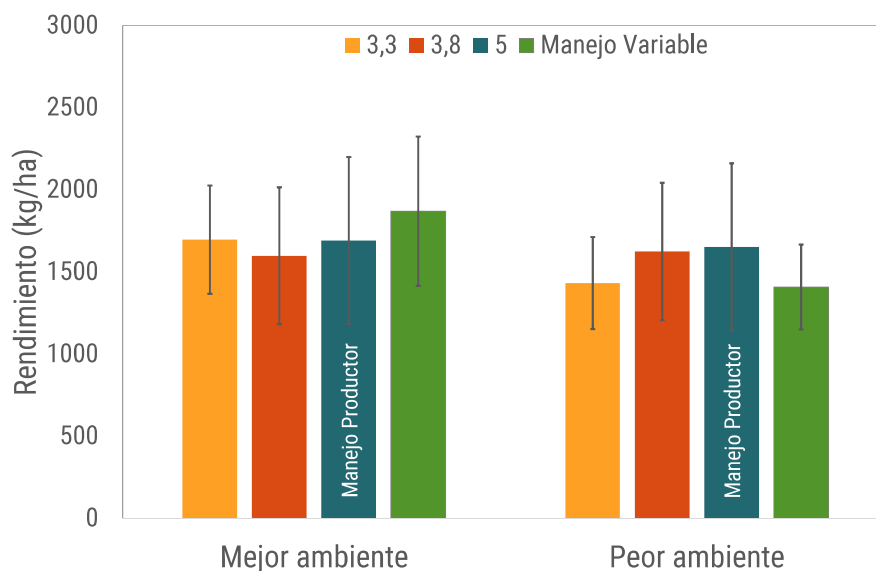
El módulo se instaló en un campo cercano a la localidad de San Cayetano (pcia. de Buenos Aires). Se realizó una ambientación integrando el mapa la conductividad eléctrica de 0 a 90 cm. de profundidad y mapas de rendimiento históricos. Se identificaron zonas de mayor y menor productividad potencial (Gráfico 2). En base a esa ambientación, se realizó una prescripción de densidad variable, utilizando un mínimo de 3,3 semillas/m<sup>2</sup> en los peores ambientes y un máximo de 5 semillas/m<sup>2</sup> en los mejores ambientes. Adicionalmente, se realizaron franjas de manejo fijo de 3,3, 3,8 (Manejo de referencia del productor) y 5 semillas/m<sup>2</sup>.



**Gráfico 2.** Ambientación (izq.) y prescripción de manejo fijo y variable (der.).

En cada ambiente, se comparó el rendimiento promedio de la zona de manejo variable, con el rendimiento logrado en la franja con el manejo fijo que representaba el manejo del productor. El rendimiento logrado con manejo variable superó al logrado con manejo fijo en los mejores ambientes (+272 kg/ha), y fue inferior en los ambientes de peor calidad (-216 kg/ha) (Gráfico 3, Tabla 1). En términos económicos, inclusive considerando la diferencia en el costo de las semillas,

el manejo variable tuvo mejor resultado en los mejores ambientes y peor resultado en los peores ambientes (Tabla 1).



**Gráfico 3.** Rendimiento (en kg./ha.) en función de la densidad de siembra (en semillas/m<sup>2</sup>) para cada tipo de ambiente.

**Tabla 1.** Resultado económico marginal del manejo variable para cada tipo de ambiente.

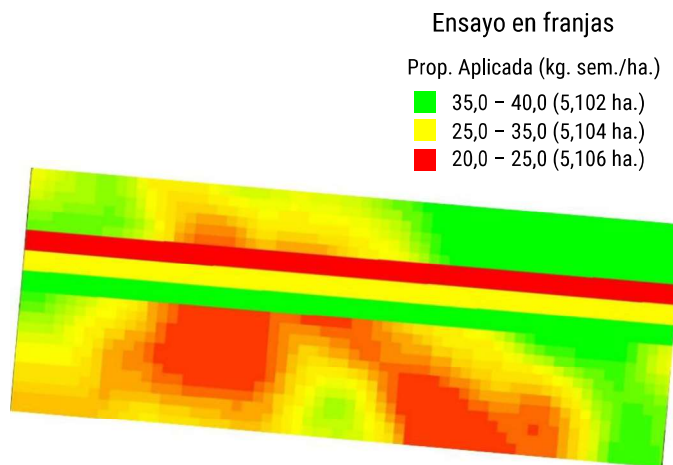
	Mejores ambientes	Peores ambientes
Densidad Manejo Variable -MV- (sem./m <sup>2</sup> )	4,1	3,5
Densidad Manejo Fijo del productor -MF- (sem./m <sup>2</sup> )	3,8	3,8
<b>Rendimiento Manejo Variable (kg./ha.)</b>	<b>1.870</b>	<b>1.408</b>
<b>Rendimiento Manejo Fijo (kg./ha.)</b>	<b>1.598</b>	<b>1.624</b>
Rendimiento MV – Rendimiento MF (kg./ha.)	272	-216
Precio de venta del girasol (USD/Tn.)	500	500
Ingreso marginal: Ingreso MV – Ingreso MF (USD/ha.)	136	-108
Precio bolsa x 80 mil sem. (USD/bolsa)	310	310
Densidad MV – Densidad MF (sem./m <sup>2</sup> )	0,27	-0,26
Costo marginal: Costo MV – Costo MF (USD/ha.)	10,5	-10,1
Ingreso marginal - costo marginal (USD/ha.)	125	-98

En las condiciones analizadas, el rendimiento logrado fue máximo con la densidad de 5 semillas/m<sup>2</sup> independientemente del tipo de ambiente (Gráfico 3).

#### 4.2 NOA – Soja



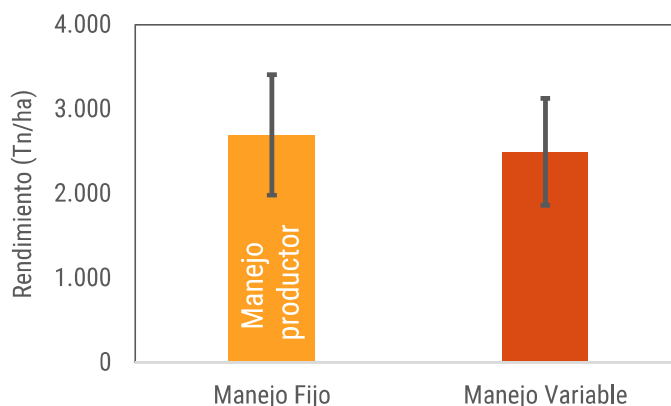
El módulo se instaló en un campo cercano a la localidad de Campo Durán (norte de la pcia. de Salta). La ambientación integro el mapa de conductividad eléctrica y mapas de rendimiento históricos. Se realizó una prescripción de densidad variable, utilizando un mínimo de 10 semillas/m<sup>2</sup> en los peores ambientes, hasta un máximo de 40 semillas/m<sup>2</sup> en los mejores ambientes. Adicionalmente, se realizaron franjas de manejo fijo de 20, 30 (**Manejo de referencia del productor**) y 40 semillas/m<sup>2</sup> (Gráfico 4).



Prescripción de Siembra Variable

**Gráfico 4.** Prescripción de manejo fijo en franjas y variable en el resto del lote. Se indica la densidad en miles de semillas por ha.

Se comparó el rendimiento promedio en la zona de manejo variable adyacente a las franjas de manejo fijo, con el rendimiento logrado en la franja con el manejo fijo representativo del manejo que hubiera realizado el productor (30 semillas/m<sup>2</sup>). El rendimiento logrado con manejo fijo superó al logrado con manejo variable (**+200 kg/ha**), y en promedio, la densidad de semillas sembradas en la zona de manejo variable es la misma que en la franja de manejo fijo.

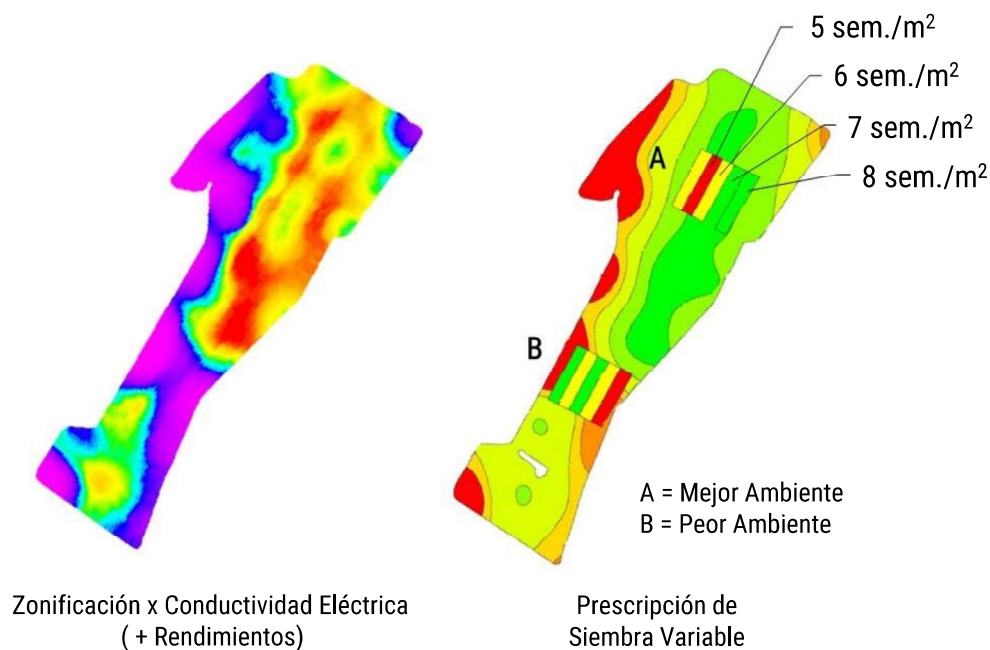


**Gráfico 5.** Rendimiento según manejo fijo y manejo variable.

Bajo las condiciones exploradas, el manejo variable no contribuyó a mejorar el resultado del cultivo, ni por impacto en el rendimiento ni por ahorro de semillas. Sin embargo, se observó una disminución en la variabilidad de los rendimientos

#### 4.3 Sudeste – Maíz temprano - Caso 1 (Lote Ana)

El módulo se instaló en un campo cercano a la localidad de Ayacucho (pcia. de Buenos Aires). La conductividad eléctrica de 0 a 30 cm. de profundidad fue la variable que marco mayores diferencias ambientales, permitiendo identificar zonas de mayor y menor productividad potencial (Gráfico 6). También se detectaron variaciones en el contenido de algunos nutrientes, el pH y la altimetría, pero en ningún caso las variaciones tuvieron la heterogeneidad suficiente como para incorporarlas como criterio para ambientar. Por lo tanto, la ambientación integro mapas de rendimiento de años anteriores y el mapa de conductividad eléctrica de 0 a 30 cm de profundidad. Se realizó una prescripción de densidad de siembra variable, utilizando un mínimo de 5 semillas/m<sup>2</sup> en los peores ambientes y un máximo de 8 semillas/m<sup>2</sup> en los mejores ambientes. Adicionalmente, se realizaron franjas de manejo fijo con 5, 6, 7 y 8 semillas/m<sup>2</sup> dentro de ambientes de alta y baja productividad potencial (Gráfico 6).

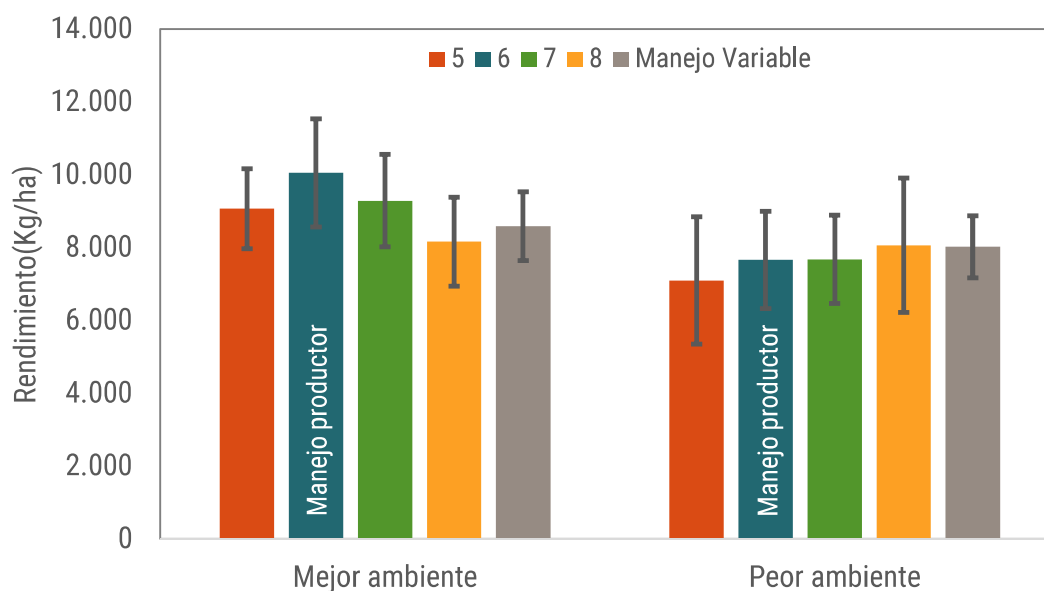


**Gráfico 6.** Conductividad eléctrica de 0 a 30 cm (izq.) y prescripción de manejo fijo y variable (der.).

Dentro de cada ambiente, se comparó el rendimiento promedio de la zona de manejo variable, con el rendimiento logrado en el sector de la franja con el manejo fijo que representa el manejo que hubiera hecho el productor. El rendimiento logrado con manejo variable superó al logrado con manejo fijo en los peores ambientes (**+357 kg/ha**), y fue inferior en los ambientes de mejor calidad



(-1.464 kg/ha) (Gráfico 7, Tabla 2). En términos económicos, inclusive considerando la diferencia en el costo de semillas, el manejo variable logró un mejor resultado en los peores ambientes y un peor resultado en los mejores ambientes.



**Gráfico 7.** Rendimiento (en kg./ha.) en función de la densidad de siembra (en semillas/m<sup>2</sup>) para cada tipo de ambiente.

**Tabla 2.** Resultado económico marginal del manejo variable para cada tipo de ambiente.

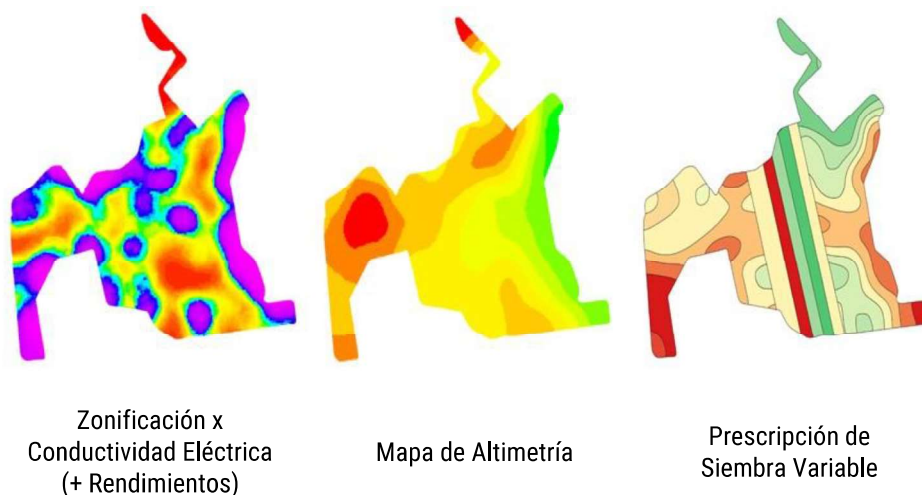
	Mejores ambientes	Peores ambientes
Densidad Manejo Variable -MV- (sem./m <sup>2</sup> )	6,8	6,1
Densidad Manejo Fijo del productor -MF- (sem./m <sup>2</sup> )	6,0	6,0
<b>Rendimiento Manejo Variable (kg./ha.)</b>	<b>8.589</b>	<b>8.019</b>
<b>Rendimiento Manejo Fijo (kg./ha.)</b>	<b>10.053</b>	<b>7.662</b>
Rendimiento MV – Rendimiento MF (kg./ha.)	<b>-1.464</b>	<b>357</b>
Precio de venta del maíz (USD/Tn.)	230	230
Ingreso marginal: Ingreso MV – Ingreso MF (USD/ha.)	<b>-337</b>	<b>82</b>
Precio bolsa x 80 mil sem (USD/bolsa)	250	250
Densidad MV – Densidad MF (sem./m <sup>2</sup> )	0,80	0,10
Costo marginal: Costo MV – Costo MF (USD/ha.)	<b>25,0</b>	<b>3,1</b>
Ingreso marginal - costo marginal (USD/ha.)	<b>-362</b>	<b>79</b>

En las condiciones analizadas, los mayores rendimientos se obtuvieron con una densidad de 6 semillas/m<sup>2</sup> en el mejor ambiente, y de 8 semillas/m<sup>2</sup> en el peor ambiente (Gráfico 5).



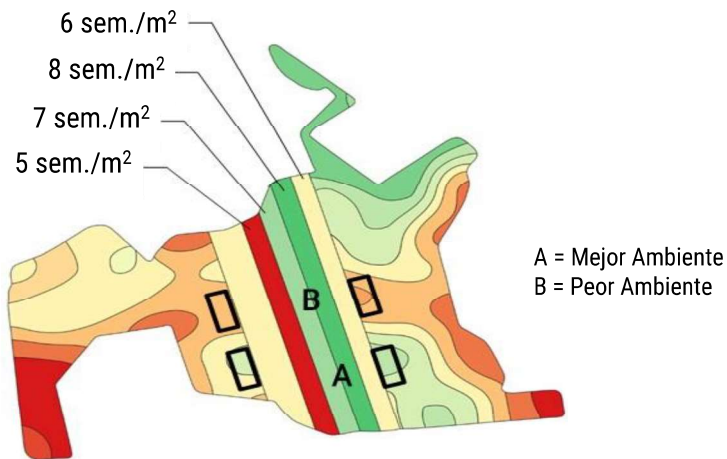
#### 4.4 Sudeste – Maíz temprano - Caso 2 (Lote Entrada)

El módulo se instaló en un campo cercano a la localidad de Ayacucho (pcia. de Buenos Aires). La conductividad eléctrica fue la variable que indicó mayores diferencias ambientales, permitiendo identificar zonas de mayor y menor productividad potencial (Gráfico 8). A su vez, la conductividad eléctrica tuvo correlación con la altimetría del lote; los mayores valores de conductividad eléctrica se detectaron en las zonas más bajas del lote. Por lo tanto, la ambientación integro mapas de rendimiento de años anteriores y el mapa de conductividad eléctrica de 0 a 90 cm de profundidad. Se realizó una prescripción de densidad variable, utilizando un mínimo de 5 semillas/m<sup>2</sup> en los peores ambientes y un máximo de 8 semillas/m<sup>2</sup> en los mejores ambientes. Adicionalmente, se realizaron franjas de manejo fijo de densidad atravesando ambientes, de 5, 6, 7 y 8 semillas/m<sup>2</sup> (Gráfico 8).

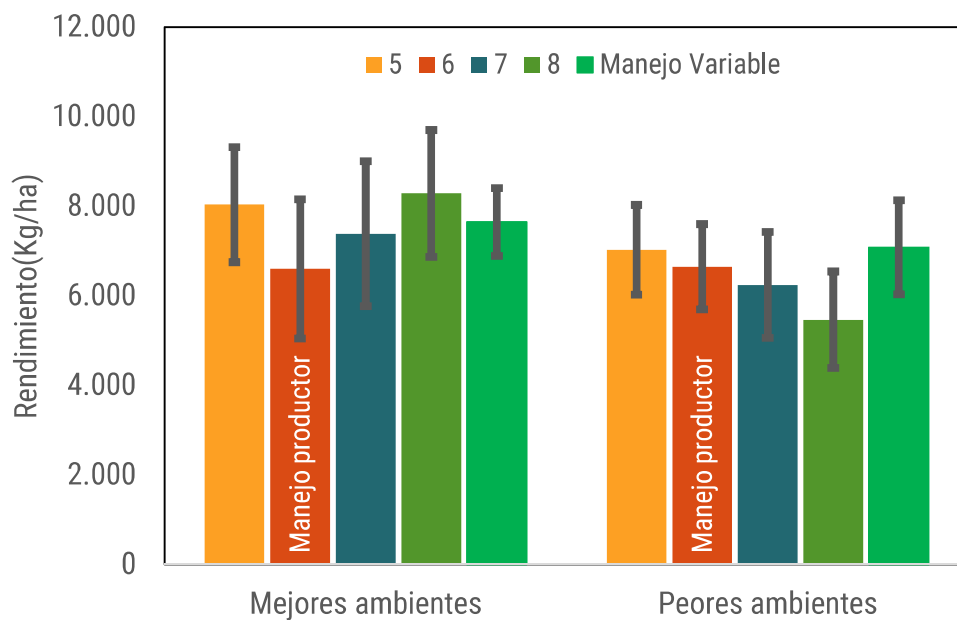


**Gráfico 8.** Conductividad eléctrica de 0 a 90 cm (izq.), altimetría (centro) y prescripción de manejo fijo y variable (der.).

Dentro de cada ambiente, se comparó el rendimiento promedio de la zona de manejo variable, con el rendimiento logrado en el sector de la franja con el manejo fijo representativo del manejo del productor (Gráfico 9). El rendimiento logrado con manejo variable superó al logrado con manejo fijo en los mejores (**+1.043 kg/ha**), y los peores ambientes (**+437 kg/ha**) (Gráfico 10, Tabla 3). En términos económicos, considerando la diferencia en el costo de semillas, el manejo variable logró un mejor resultado en todos los ambientes.



**Gráfico 9.** Zonas seleccionadas dentro de cada tipo de ambiente para realizar la comparación entre manejo fijo y variable.



**Gráfico 10.** Rendimiento (en kg./ha.) en función de la densidad de siembra (en semillas/m<sup>2</sup>) para cada tipo de ambiente.

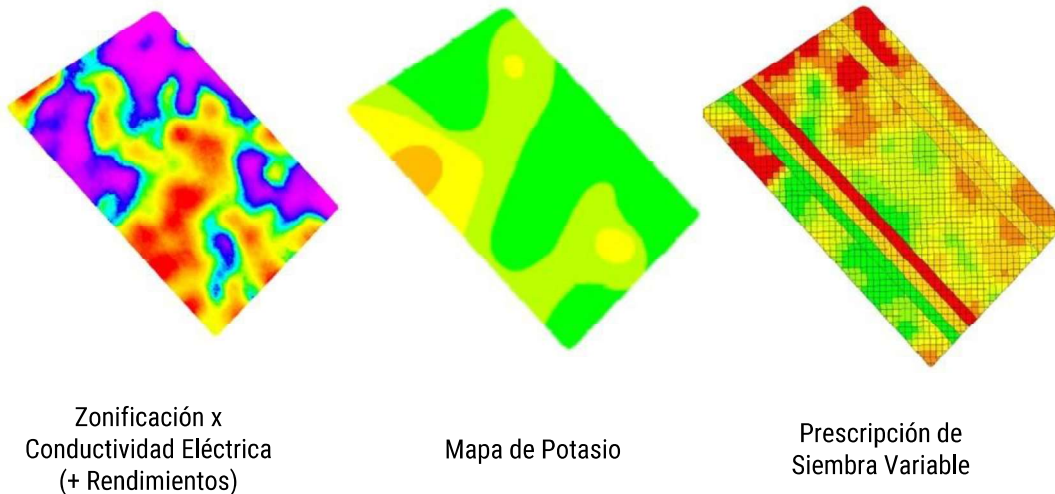
**Tabla 3.** Resultado económico marginal del manejo variable para cada tipo de ambiente.

	Mejores ambientes	Peores ambientes
Densidad Manejo Variable -MV- (sem./m <sup>2</sup> )	6,2	5,6
Densidad Manejo Fijo del productor -MF- (sem./m <sup>2</sup> )	6,0	6,0
<b>Rendimiento Manejo Variable (kg./ha.)</b>	<b>7.645</b>	<b>7.082</b>
<b>Rendimiento Manejo Fijo (kg./ha.)</b>	<b>6.602</b>	<b>6.645</b>
Rendimiento MV – Rendimiento MF (kg./ha.)	1.043	437
Precio de venta del maíz (USD/Tn.)	230	230
Ingreso marginal: Ingreso MV – Ingreso MF (USD/ha.)	240	101
Precio bolsa x 80 mil sem (USD/bolsa)	250	250
Densidad MV – Densidad MF (sem./m <sup>2</sup> )	0,20	-0,45
Costo marginal: Costo MV – Costo MF (USD/ha.)	6,1	-14
Ingreso marginal - costo marginal (USD/ha.)	234	115

#### 4.5 Mar y Sierras – Maíz tardío

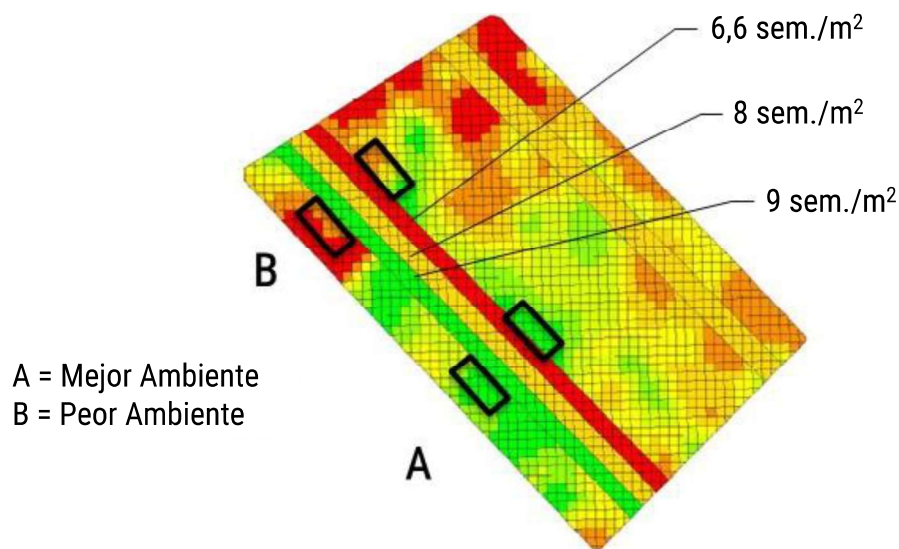
El módulo se instaló en un campo cercano a la localidad de San Cayetano. La conductividad eléctrica de 0 a 30 cm. de profundidad fue la variable que mejor permitió segregar las zonas de mayor y menor productividad potencial. Principalmente, la conductividad eléctrica se asoció con la altimetría. En general, los mayores niveles de conductividad se encontraron en las zonas más bajas del lote. No obstante, esta correlación no se mantuvo constante en todo el lote. En algunos sectores, incluso, se invirtió; los niveles más elevados de conductividad se hallaron en los sectores elevados del lote. También se encontró cierta asociación entre los niveles de conductividad eléctrica y el contenido de potasio de los suelos. No obstante, la relación fue menos robusta que la hallada con la altimetría. Por lo tanto, la ambientación se realizó en base a mapas de rendimiento de años anteriores y el mapa de conductividad eléctrica de 0 a 30 cm. de profundidad (Gráfico 11). Luego se realizó una prescripción de densidad de siembra variable, utilizando un mínimo de 6,5 semillas/m<sup>2</sup> en los peores ambientes y un máximo de 9 semillas/m<sup>2</sup> en los mejores ambientes. Adicionalmente, se realizaron franjas de manejo fijo de densidad atravesando ambientes, de 6,6, 8 y 9 semillas/m<sup>2</sup> (Gráfico 11).



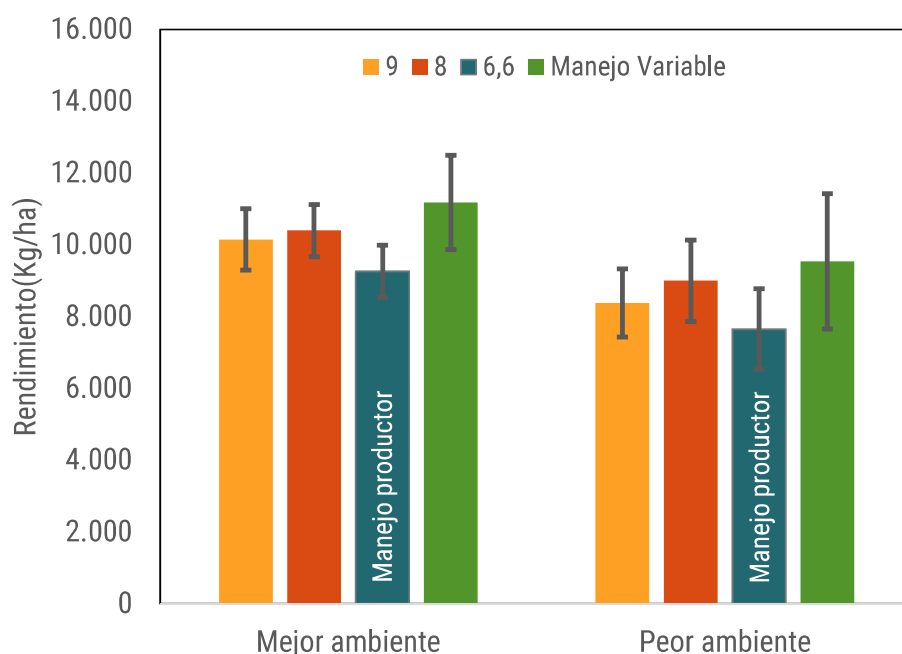


**Gráfico 11.** Conductividad eléctrica de 0 a 30 cm (izq.), potasio (centro) y prescripción de manejo fijo y variable (der.).

Dentro de cada ambiente, se comparó el rendimiento promedio en la zona de manejo variable, con el rendimiento logrado en el sector de la franja con el manejo fijo representativo del manejo del productor (Gráfico 12). El rendimiento logrado con manejo variable superó al logrado con manejo fijo en mejores (+1.920 kg/ha), y peores ambientes (+1.885 kg/ha) (Gráfico 13, Tabla 4). En términos económicos, considerando la diferencia de rendimiento y el costo de semillas, el manejo variable logró un mejor resultado en todos los ambientes (Tabla 4).



**Gráfico 12.** Zonas seleccionadas dentro de cada tipo de ambiente para realizar la comparación entre manejo fijo y variable.



**Gráfico 13.** Rendimiento (en kg./ha.) en función de la densidad de siembra (en semillas/m<sup>2</sup>) para cada tipo de ambiente.

**Tabla 4.** Resultado económico marginal del manejo variable para cada tipo de ambiente.

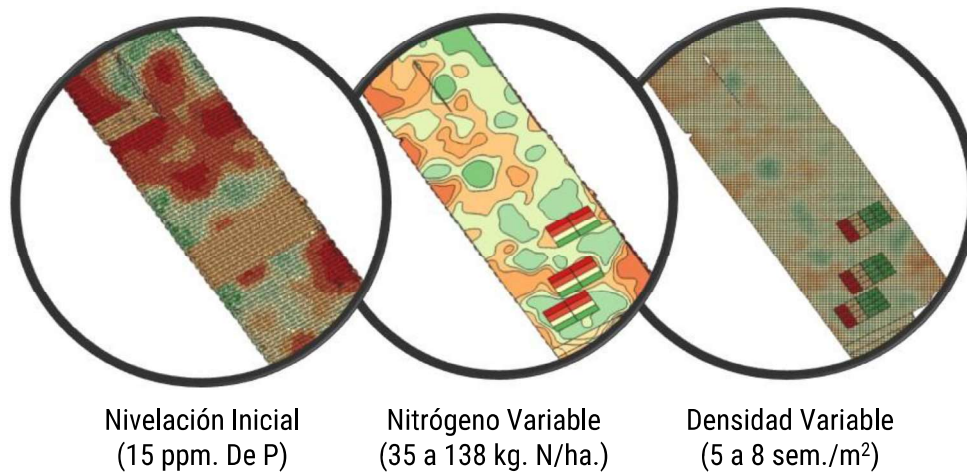
	Mejores ambientes	Peores ambientes
Densidad Manejo Variable -MV- (sem./m <sup>2</sup> )	8,9	8,0
Densidad Manejo Fijo del productor -MF- (sem./m <sup>2</sup> )	6,6	6,6
<b>Rendimiento Manejo Variable (kg./ha.)</b>	<b>11.185</b>	<b>9.542</b>
<b>Rendimiento Manejo Fijo (kg./ha.)</b>	<b>9.265</b>	<b>7.657</b>
Rendimiento MV – Rendimiento MF (kg./ha.)	<b>1.920</b>	<b>1.885</b>
Precio de venta del maíz (USD/Tn.)	230	230
Ingreso marginal: Ingreso MV – Ingreso MF (USD/ha.)	<b>442</b>	<b>433</b>
Precio bolsa x 80 mil sem (USD/bolsa)	250	250
Densidad MV – Densidad MF (sem./m <sup>2</sup> )	2,32	1,44
Costo marginal: Costo MV – Costo MF (USD/ha.)	<b>72,4</b>	<b>45,1</b>
Ingreso marginal - costo marginal (USD/ha.)	<b>369</b>	<b>388</b>

#### 4.6 Córdoba Norte – Maíz tardío

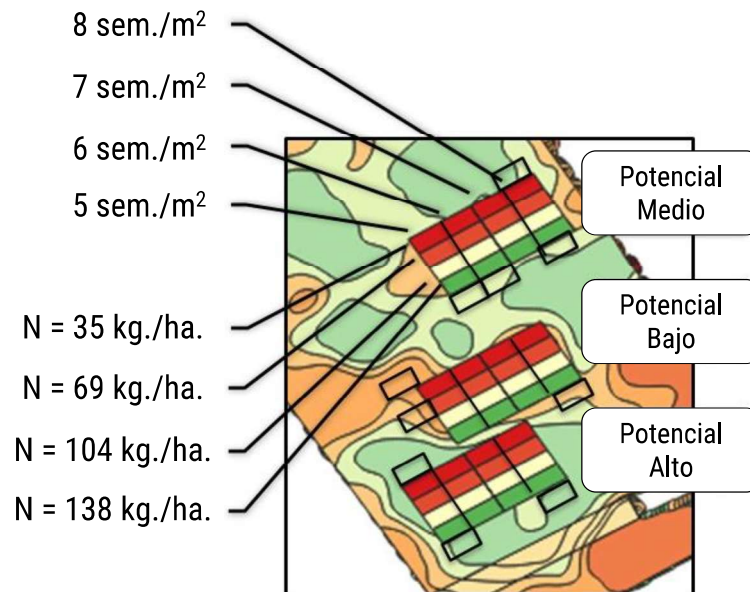
El módulo se instaló en un campo cercano a la localidad de Lozada, en el norte de la pcia. de Córdoba. La variable que mejor permitió identificar zonas de mayor y menor productividad potencial fue la conductividad eléctrica. Por tal motivo, la ambientación se realizó integrando mapas de rendimiento de años anteriores y el mapa de conductividad eléctrica del lote de 0 a 30 cm. de



profundidad. Se realizó una prescripción de densidad de siembra y aplicación de nitrógeno variable. Se utilizó un mínimo de 5 semillas/m<sup>2</sup> en los peores ambientes y un máximo de 8 semillas/m<sup>2</sup> en los mejores ambientes. La dosis de Nitrógeno varió desde los 35 kg./ha. en las zonas de menor productividad hasta los 138 kg./ha. en las zonas de mayor potencial productivo (Gráfico 14). Antes de ejecutar la prescripción, se realizó una fertilización para nivelar la disponibilidad de fósforo a 15 ppm. para homogeneizar esa variable (Gráfico 14). Adicionalmente, se realizaron ensayos con dosificaciones fijas en 3 ambientes contrastantes (bajo, medio y alto potencial). Se ensayaron 4 niveles de disponibilidad de Nitrógeno (35, 69, 104 y 138 kg. N/ha.) y 4 niveles de densidad de siembra (5, 6, 7 y 8 semillas/m<sup>2</sup>) (Gráfico 15).

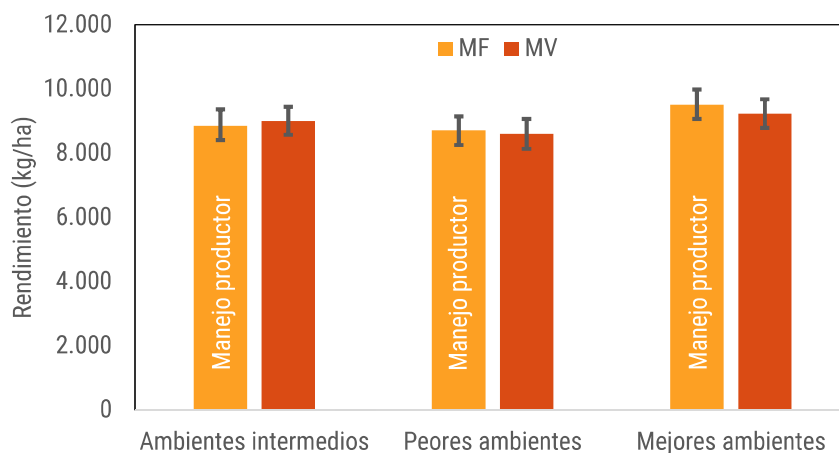


**Gráfico 14.** Prescripciones realizadas en el módulo.



**Gráfico 15.** Ubicación de los ensayos de manejo fijo. Los cuadros vacíos indican la ubicación de las zonas de manejo variable utilizadas para realizar la comparación contra el manejo fijo que realiza productor.

En cada ambiente, se comparó el rendimiento promedio de varios polígonos de la zona de manejo variable, con el rendimiento logrado en la parcela de manejo fijo que representó el manejo realizado por el productor (104 kg. N/ha. y 7 semillas/m<sup>2</sup>) (Gráfico 15). En ambientes intermedios el rendimiento logrado con manejo variable superó al logrado con manejo fijo (+163 kg/ha), pero fue inferior en los mejores (-278 kg/ha) y peores ambientes (-112 kg/ha) (Gráfico 16, Tabla 5). En términos económicos, considerando la diferencia de rendimiento y el costo de las semillas y el nitrógeno, el manejo variable logró un mejor resultado que el manejo fijo en los ambientes intermedios y en los peores ambientes (Tabla 5).



**Gráfico 16.** Rendimiento (en kg./ha.) dentro de cada tipo de ambiente en función del tipo de manejo realizado por el productor (fijo o variable).

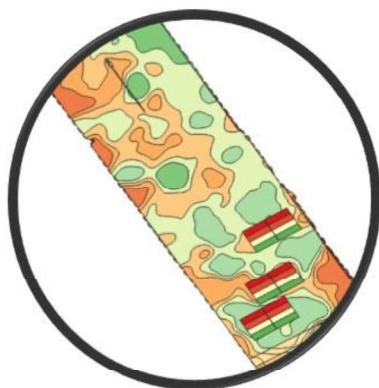
**Tabla 5.** Resultado económico marginal del manejo variable para cada tipo de ambiente.

	Mejores ambientes	Ambientes intermedios	Peores ambientes
Densidad Manejo Variable -MV- (sem./m <sup>2</sup> )	6,4	6,3	6,1
Densidad Manejo Fijo del productor -MF- (sem./m <sup>2</sup> )	7,0	7,0	7,0
Nitrógeno Manejo Variable (kg./ha.)	121	109	87
Nitrógeno Manejo Fijo del productor (kg./ha.)	104	104	104
Rendimiento Manejo Variable (kg./ha.)	9.229	9.003	8.599
Rendimiento Manejo Fijo (kg./ha.)	9.507	8.840	8.711
Rendimiento MV – Rendimiento MF (kg./ha.)	<b>-278</b>	<b>163</b>	<b>-112</b>
Precio de venta del maíz (USD/Tn.)	230	230	230
Ingreso marginal: Ingreso MV – Ingreso MF (USD/ha.)	<b>-64</b>	<b>37</b>	<b>-26</b>
Precio bolsa x 80 mil sem (USD/bolsa)	250	250	250
Densidad MV – Densidad MF (sem./m <sup>2</sup> )	<b>-0,6</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,9</b>
Precio Nitrógeno (USD/kg. N)	1,3	1,3	1,3
Nitrógeno MV – Nitrógeno MF (kg/ha.)	<b>17</b>	<b>5</b>	<b>-17</b>
Costo marginal: Costo MV – Costo MF (USD/ha.)	<b>3</b>	<b>-15</b>	<b>-50</b>
Ingreso - costo marginal (USD/ha.)	<b>-67</b>	<b>53</b>	<b>24</b>





Posteriormente se escalaron los resultados obtenidos a escala de lote. Para hacerlo se pondero la proporción del lote ocupada por cada tipo de ambiente. De esta manera, se pudo contrastar el rendimiento del lote obtenido con manejo variable, contra el rendimiento del lote logrado con manejo fijo contemplando la proporción del lote ocupada con cada tipo de ambiente. Esta simplificación, permitió estimar que el nivel de rendimiento que el productor habría obtenido por gestionar la agricultura con manejo fijo hubiese sido de 9.038 kg./ha., unos 100 kg./ha. por encima del rendimiento que habría logrado si hubiera realizado un manejo variable (Esquema 3). Sin embargo, más allá de esta diferencia de rendimiento, el ahorro de semilla y fertilizante obtenido por realizar un manejo variable, hubiera generado un beneficio económico marginal de 21 USD/ha. (Esquema 3).



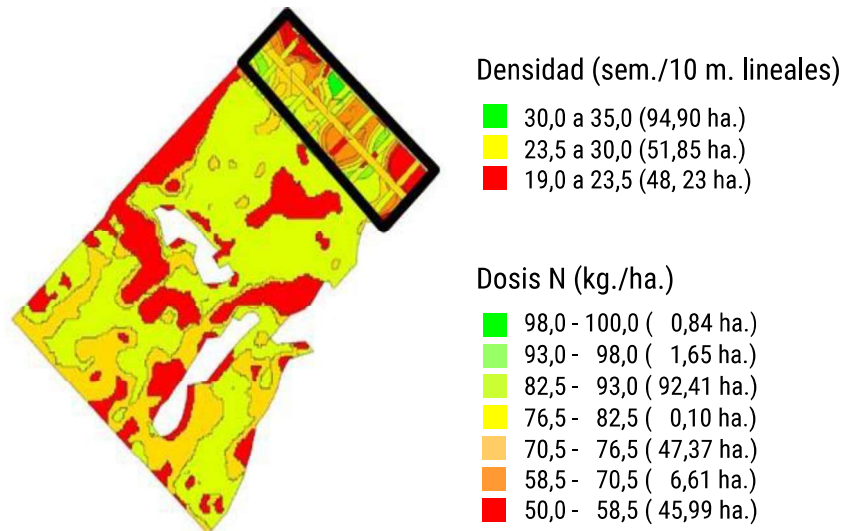
	Manejo Fijo		
	Mejores Ambientes	Ambientes Intermedios	Peores Ambientes
Proporción del lote	46%	39%	16%

- Rendimiento Manejo Variable: 8,930 kg./ha.
- Rendimiento Manejo Fijo (Productor): 9,038 kg./ha.
- Ingreso Marginal – Costo Marginal: 21 USD/ha.

**Esquema 3.** Resultado económico marginal del manejo variable para cada tipo de ambiente.

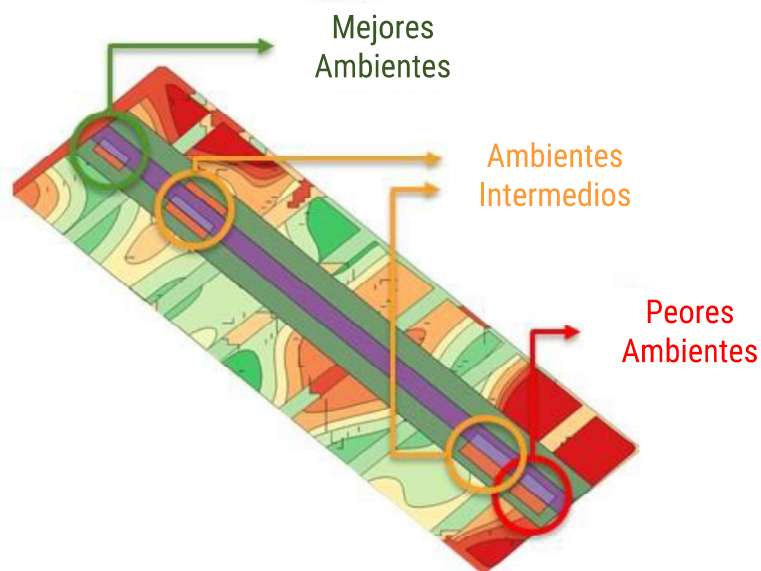
#### 4.7 Oeste Arenoso – Maíz temprano

El módulo se instaló en un campo cercano a la localidad de Catriló, en el límite Oeste de la pcia. de Buenos Aires y Este de La Pampa. Nuevamente, la variable que permitió observar las mayores diferencias ambientales, permitiendo identificar las zonas de mayor y menor productividad potencial fue la conductividad eléctrica, que a su vez se asoció con la altimetría del lote. Por tal motivo, la ambientación se realizó integrando mapas de rendimiento de años anteriores y el mapa de conductividad eléctrica de 0 a 30 cm. de profundidad, En la prescripción de densidad de siembra variable se utilizó una densidad mínima de 3,7 semillas/m<sup>2</sup> para los peores ambientes y una densidad máxima de 6,7 semillas/m<sup>2</sup> para los mejores ambientes. La prescripción de dosificación de Nitrógeno variable utilizó dosis que fueron desde 50 kg./ha. en los peores ambientes hasta 100 kg./ha. en los mejores. Adicionalmente, se instaló una franja de manejo fijo con una densidad de siembra de 5,2 semillas/m<sup>2</sup> y una dosis de Nitrógeno de 75 kg./ha., atravesando ambientes (ver Gráfico 17).

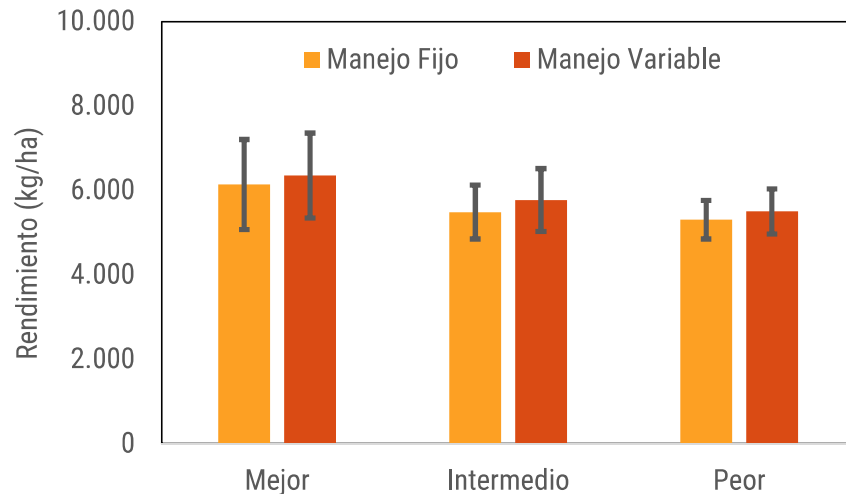


**Gráfico 17.** Prescripción de manejo fijo y variable en el módulo de Catriló.

En cada ambiente, se comparó el rendimiento promedio obtenido con manejo variable, contra el rendimiento logrado en la franja donde se realizó el manejo fijo que habría hecho el productor (Gráfico 18). Los resultados indicaron que el rendimiento obtenido con el manejo variable superó al obtenido con el manejo fijo en los tres tipos de ambientes considerados (Gráfico 19).

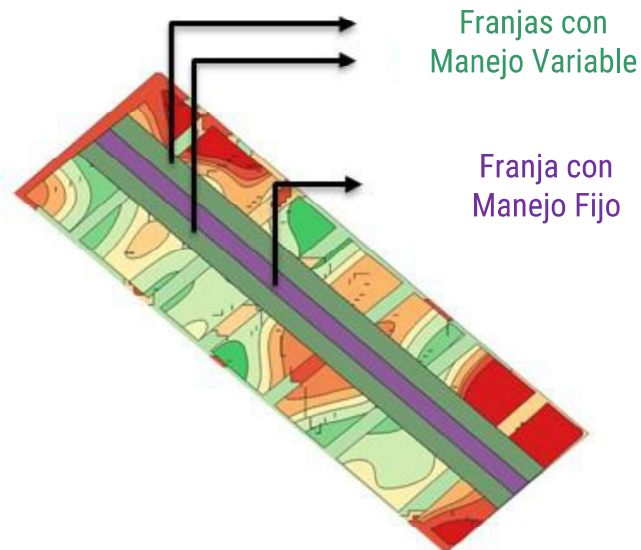


**Gráfico 18.** Zonas seleccionadas dentro de cada tipo de ambiente para realizar la comparación entre manejo fijo y variable.

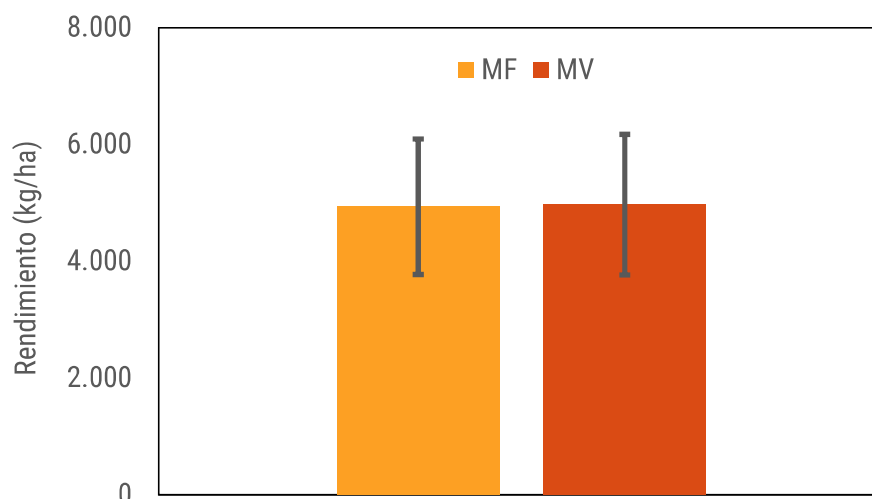


**Gráfico 19.** Rendimiento (en kg./ha.) dentro de cada tipo de ambiente en función del tipo de manejo realizado por el productor (fijo o variable).

Con el objetivo de realizar la comparación de rendimientos a mayor escala, se analizó el rendimiento de las franjas adyacentes a la franja de manejo fijo. En esta comparación, si bien se mantiene la tendencia de mayor rendimiento con manejo variable, la magnitud de las diferencias es menor que la observada en cada tipo de ambiente por separado (Gráfico 21 y Tabla 6).



**Gráfico 20.** Rendimiento (en kg./ha.) dentro de cada tipo de ambiente en función del tipo de manejo realizado por el productor (fijo o variable).



**Gráfico 21.** Rendimiento (en kg./ha.) en función del tipo de manejo realizado por el productor (fijo o variable).

El manejo variable generó ahorro de semillas, fertilizantes y una diferencia mínima de rendimiento (**+34 kg/ha**). Esto reportó un beneficio económico marginal de 14 USD por hectárea (Tabla 6). Las menores diferencias entre manejos respecto a lo observado para cada tipo de ambiente podrían atribuirse a que, a lo largo de la franja, o a nivel de lote, podría haber ambientes no explorados en los ensayos de manejo fijo.

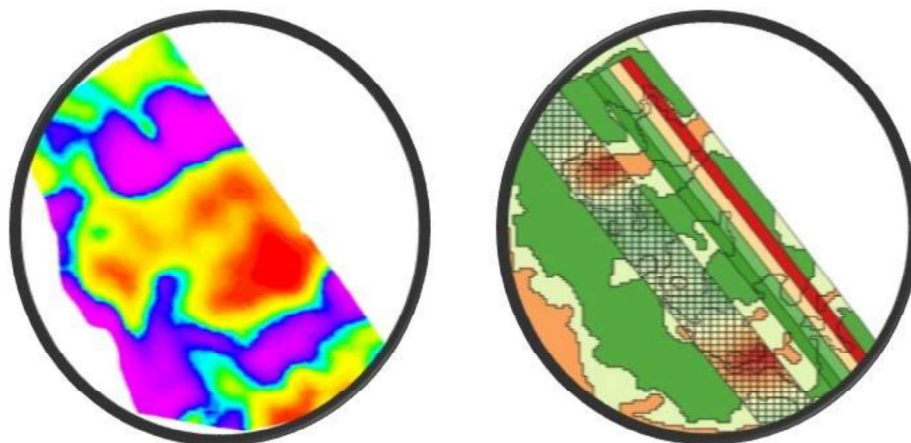
**Tabla 6.** Resultado económico marginal del manejo variable para cada tipo de ambiente.

	Valor
Densidad Manejo Variable -MV- (sem./m <sup>2</sup> )	5,1
Densidad Manejo Fijo del productor -MF- (sem./m <sup>2</sup> )	5,2
Nitrógeno Manejo Variable (kg./ha.)	73
Nitrógeno Manejo Fijo del productor (kg./ha.)	75
Rendimiento Manejo Variable (kg./ha.)	4.969
Rendimiento Manejo Fijo (kg./ha.)	4.935
Rendimiento MV – Rendimiento MF (kg./ha.)	<b>34</b>
Precio de venta del maíz (USD/Tn.)	230
Ingreso marginal: Ingreso MV – Ingreso MF (USD/ha.)	<b>8</b>
Precio bolsa x 80 mil sem (USD/bolsa)	250
Densidad MV – Densidad MF (sem./m <sup>2</sup> )	<b>-0,1</b>
Precio Nitrógeno (USD/kg. N)	1,3
Nitrógeno MV – Nitrógeno MF (kg./ha.)	<b>-2</b>
Costo marginal: Costo MV – Costo MF (USD/ha.)	<b>-6</b>
Ingreso - costo marginal (USD/ha.)	<b>14</b>



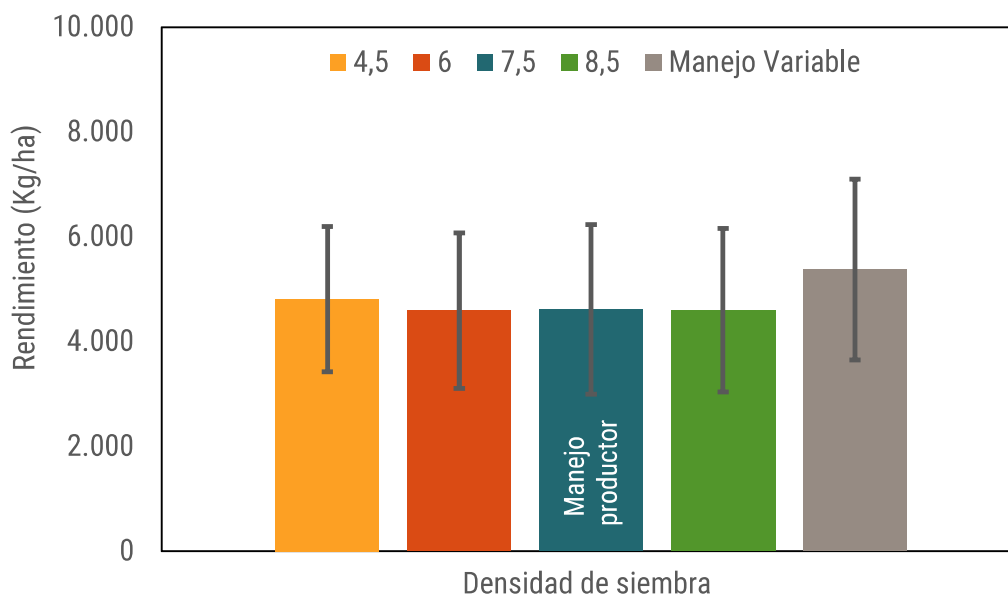
#### 4.8 Norte de Buenos Aires – Maíz temprano

El módulo se instaló en un campo cercano a la localidad de San Antonio de Areco (pcia. de Buenos Aires). Se realizó una ambientación integrando el mapa de conductividad eléctrica de 0 a 30 cm. de profundidad, y mapas de rendimiento histórico, que permitió identificar zonas de mayor y menor productividad potencial (Gráfico 22). En base a esa ambientación, se generó una prescripción de densidad variable, utilizando desde un mínimo de 4,5 semillas/m<sup>2</sup> en los peores ambientes hasta un máximo de 8,5 semillas/m<sup>2</sup> en los mejores ambientes. Adicionalmente, se realizaron franjas de manejo fijo de 4,5, 6, 7,5 (**Manejo de referencia del productor**) y 8,5 semillas/m<sup>2</sup>.



**Gráfico 22.** Conductividad eléctrica de 0 a 30 cm (izq.) y prescripción de manejo fijo y variable (der.).

Se comparó el rendimiento promedio en la zona de manejo variable adyacente a las franjas de manejo fijo, con el rendimiento logrado en la franja con el manejo fijo representativo del manejo del productor (7,5 semillas/m<sup>2</sup>). El rendimiento logrado con manejo variable superó al logrado con manejo fijo (**+762 kg/ha**) (Gráfico 23, Tabla 7). No se observaron diferencias marcadas de rendimiento entre los distintos niveles de densidad utilizados en las franjas de manejo fijo. En términos económicos, considerando la diferencia de rendimiento y el ahorro en semillas, el manejo variable logró un beneficio económico marginal de 210 USD/ha. (Tabla 7).



**Gráfico 23.** Rendimiento (en kg./ha.) en función de la densidad de siembra para distintos tipos de manejo (fijo o variable).

**Tabla 7.** Resultado económico marginal del manejo variable para cada tipo de ambiente.

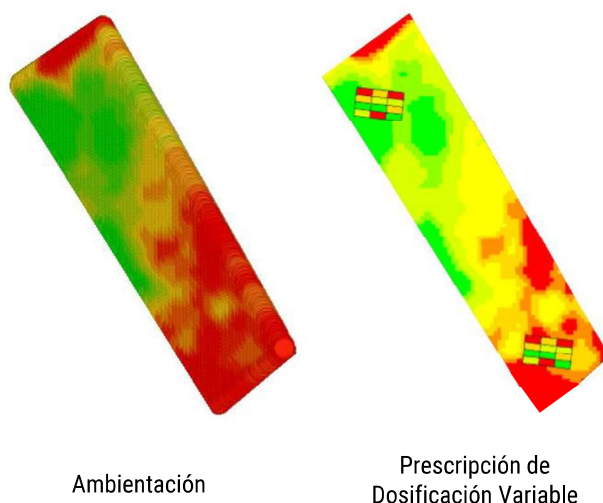
	Mejores ambientes
Densidad Manejo Variable -MV- (sem./m2)	6,4
Densidad Manejo Fijo del productor -MF- (sem./m2)	7,5
Rendimiento Manejo Variable (kg./ha.)	5.376
Rendimiento Manejo Fijo (kg./ha.)	4.614
Rendimiento MV – Rendimiento MF (kg./ha.)	<b>+762</b>
Precio de venta del maíz (USD/Tn.)	230
Ingreso marginal: Ingreso MV – Ingreso MF (USD/ha.)	<b>+175</b>
Precio bolsa x 80 mil sem (USD/bolsa)	250
Densidad MV – Densidad MF (sem./m <sup>2</sup> )	<b>-1,1</b>
Costo marginal: Costo MV – Costo MF (USD/ha.)	<b>-35</b>
Ingreso - costo marginal (USD/ha.)	<b>210</b>

#### 4.9 NOA – Maíz

El módulo se instaló en un campo cercano a la localidad de Las Cejas, provincia de Tucumán. Se realizó una ambientación que integro la conductividad eléctrica superficial y subsuperficial, la concentración de fósforo, zinc y boro, el porcentaje de materia orgánica y mapas de rendimiento histórico, que permitió identificar zonas del lote con mayor y menor productividad potencial (Gráfico 24). En base a esa ambientación, se realizó una prescripción de densidad de siembra

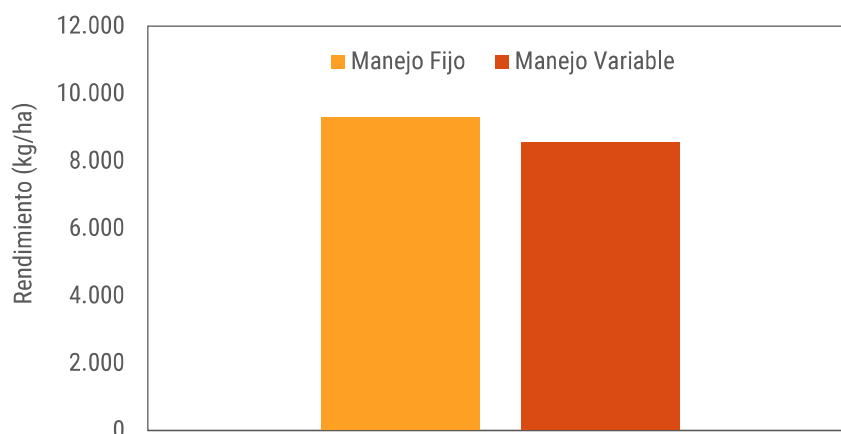


variable, utilizando desde un mínimo de 5 semillas/m<sup>2</sup> en los peores ambientes hasta un máximo de 6 semillas/m<sup>2</sup> en los mejores ambientes. Adicionalmente, se realizaron parcelas de manejo fijo de 4, 5, 6 (**Manejo de referencia del productor**) y 7 semillas/m<sup>2</sup>, que se cruzaron por 3 niveles de Nitrógeno agregado: 0, 100 (**Manejo de referencia del productor**) y 200 kg./ha.



**Gráfico 24.** Ambientación (izq.) y prescripción de manejo fijo y variable (der.).

En cada ambiente se comparó el rendimiento promedio de la zona de manejo variable con el rendimiento logrado en las parcelas con el manejo fijo que representaban el manejo realizado por el productor. A su vez, para cada tipo de manejo (variable y fijo) los rendimientos obtenidos en cada ambiente se ponderaron por la superficie ocupada por cada uno de esos ambientes y así estimar rendimientos a escala de lote (Gráfico 25, Tabla 8). El rendimiento logrado con manejo fijo fue superior al logrado con manejo variable (**+744 kg/ha**). Considerando la diferencia de rendimiento y el ahorro en semillas, el manejo variable no reportó un beneficio económico (Tabla 8).



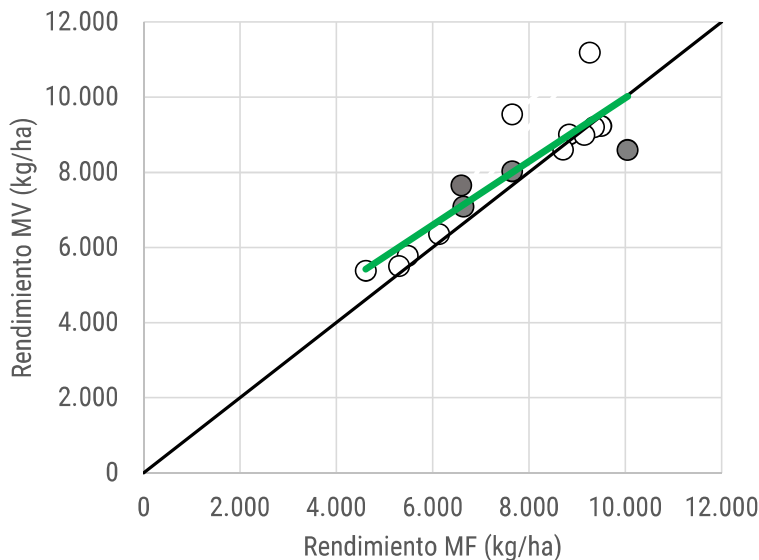
**Gráfico 25.** Rendimiento (en kg./ha.) en función de la densidad de siembra para distintos tipos de manejo (fijo o variable).

**Tabla 8.** Resultado económico marginal del manejo variable para cada tipo de ambiente.

	Mejores ambientes
Densidad Manejo Variable -MV- (sem./m <sup>2</sup> )	5,6
Densidad Manejo Fijo del productor -MF- (sem./m <sup>2</sup> )	6,0
<b>Rendimiento Manejo Variable (kg./ha.)</b>	<b>8.537</b>
<b>Rendimiento Manejo Fijo (kg./ha.)</b>	<b>9.281</b>
Rendimiento MV – Rendimiento MF (kg./ha.)	<b>-744</b>
Precio de venta del maíz (USD/Tn.)	230
Ingreso marginal: Ingreso MV – Ingreso MF (USD/ha.)	<b>-171</b>
Precio bolsa x 80 mil sem (USD/bolsa)	250
Densidad MV – Densidad MF (sem./m <sup>2</sup> )	<b>-0,4</b>
Costo marginal: Costo MV – Costo MF (USD/ha.)	<b>-13</b>
Ingreso - costo marginal (USD/ha.)	<b>-158</b>

#### 4.10 Integración resultados maíz

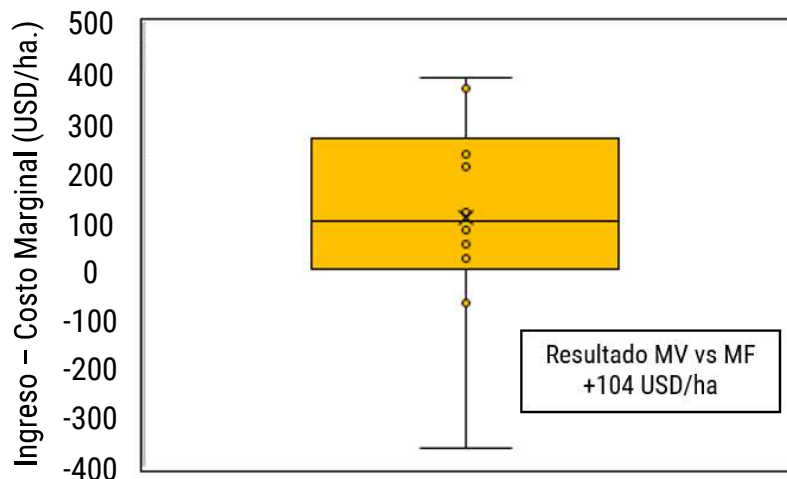
Al analizar los resultados de los 7 módulos experimentales que tuvieron cultivos de maíz de manera conjunta, vemos que la utilización de la dosificación variable de insumos mejoró el rendimiento del cultivo en un **4,4 % (+339 kg/ha)** (Gráfico 26). Según la tendencia observada, el beneficio fue mayor en los ambientes de menor productividad (menores valores de rendimiento).



**Gráfico 26.** Rendimiento logrado con manejo variable y manejo fijo en los 7 módulos experimentales sembrados con maíz conducidos en la campaña 2021/22. En círculos llenos se indican los rendimientos de maíz temprano.



En términos económicos, considerando un costo de semillas de 250 dólares por bolsa, un costo de nitrógeno de 1,3 dólares por kg. de nutriente y un precio de venta de maíz de 230 dólares por tonelada, el beneficio económico marginal fue de 110 dólares/ha. en promedio (Gráfico 27). En el 75 % de las comparaciones (Manejo Fijo vs. Manejo Variable en el mismo ambiente dentro de cada módulo), la utilización del manejo variable reporto beneficio económico, en general por mayor rendimiento, y en algunos casos donde no se observaron diferencias importantes de rendimiento, por ahorro de insumos.



**Gráfico 27.** Distribución de Ingresos menos costos marginales a partir de la utilización de la dosificación variable de insumos.

Es importante considerar que los resultados presentados, si bien exploran una variabilidad ambiental elevada debido a la distribución geográfica de los módulos, son resultados de una campaña, por lo cual, deben ser interpretados según las condiciones exploradas en un único año de experimentación. A partir de la incorporación de más campañas al análisis, se podrá considerar el efecto de la variabilidad climática interanual, y de esta manera ampliar el rango de condiciones analizadas, lo cual le dará mayor robustez a los resultados.

Otro aspecto a considerar, es que los módulos se ubicaron en campos de productores de CREA, que normalmente realizan mayor inversión tecnológica, e incorporan tecnologías de procesos y conocimiento más intensivas que el promedio de los productores. En consecuencia, podría ser que el impacto de la adopción de la dosificación variable de insumos para el promedio de los productores sea mayor al presentado en este trabajo, asumiendo que el margen de optimización del manejo es mayor.

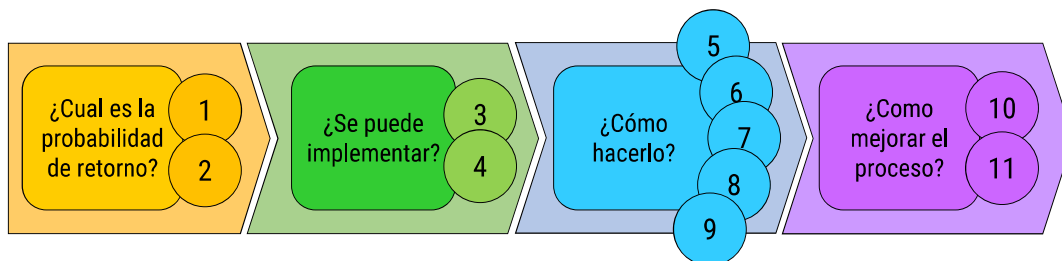
## (5) Etapas para la adopción del manejo por ambientes

A partir de las experiencias e intercambios realizados durante el transcurso del proyecto, el grado de interés en la implementación de tecnologías para la dosificación variable de insumos de los productores y técnicos CREA se ha incrementado. No obstante, también han surgido diversos interrogantes sobre las formas en las que este tipo de tecnologías debieran implementarse en las empresas.

En este punto vale la pena aclarar que las tecnologías que se adoptan y generan resultados exitosos son aquellas que efectivamente resuelven problemas o permiten abordar desafíos de forma correcta. Sin embargo, una tecnología adecuada para resolver un problema o abordar un desafío particular no siempre genera un caso de adopción exitoso. El resultado de la adopción de cualquier tecnología siempre está condicionado por el contexto que se configura en la empresa que pretende adoptarla. El objetivo, la cultura y la situación particular que atraviesa esa empresa en un momento dado, son algunos de los elementos clave que terminan configurando ese contexto.

Una empresa agrícola que pretende reducir su costo de producción, pero no quiere utilizar productos agroquímicos, quizá nunca adopte sensores que permiten realizar aplicaciones variables de herbicidas. El equipo de colaboradores de una empresa ganadera en la que la gestión de la producción ganadera se realiza de forma artesanal seguramente se mostrara menos predispuesto a adoptar soluciones basadas en nuevas tecnologías digitales. Y en empresas que atraviesan coyunturas económicas complicadas la posibilidad de impulsar procesos de adopción de nuevas tecnologías encuentra muchos más obstáculos que los que normalmente encuentra en otros momentos.

No obstante, más allá de los comentarios realizados en los dos párrafos previos, hemos elaborado un esquema muy simple que resume las etapas que deberían transitar las empresas interesadas en implementar este tipo de tecnologías (Esquema 4).



**Esquema 4.** Etapas para la implementación de tecnologías de manejo variable.

El esquema contiene una serie de preguntas que los empresarios deberían responderse antes de avanzar en la adopción de este tipo de tecnologías en sus empresas.

**Pregunta 1: ¿Cuál es la probabilidad de obtener retorno por implementar tecnologías que permiten realizar el manejo variable de insumos?**

En esta primera pregunta se encuadran las dos primeras etapas del proceso, que se enfocan en la caracterización de la variabilidad ambiental dentro del lote de producción. La Etapa 1 se enfoca en la cuantificación de la variabilidad del rendimiento dentro del lote de producción, y la Etapa 2 en la determinación de la distribución espacial de esa variabilidad. En ambas etapas se proponen indicadores objetivos para llevar a cabo las cuantificaciones y, en función de los resultados hallados, definir el tipo de manejo a realizar (manejo fijo, dosificación homogénea por macro ambientes o dosificación variable continua). Este punto del proceso resulta clave ya que permite cuantificar y analizar la probabilidad del retorno que reportaría la implementación de este tipo de tecnologías en la empresa (Tabla 9).

**Tabla 9.** Descripción de las etapas 1 y 2 del proceso de implementación de tecnologías de manejo variable.

Etapa	1	2
Objetivo	Cuantificar la heterogeneidad de la potencialidad productiva del lote	Determinar el grado de variabilidad espacial de la potencialidad productiva del lote
Criterios Diagnósticos y Herramientas	Diferencias entre rendimientos máximos y mínimos dentro del lote.	Tamaño promedio del parche con comportamiento homogéneo.
	Coefficiente de variación de rendimiento (%)	Coefficiente de variación del tamaño del parche con comportamiento homogéneo.
Acción	Definir si conviene continuar realizando manejo fijo o es recomendable comenzar a realizar manejo a escala de macroambientes (2 o 3 unidades de manejo con dosificación homogénea) o microambientes (dosificación variable continua)	

**Pregunta 2 ¿Es factible implementar estas tecnologías en mi empresa?**

Esta pregunta contiene las etapas 3 y 4 del proceso. En la Etapa 3 se evalúa la disponibilidad de maquinaria, propia o contratada, debidamente equipada para realizar la gestión variable de insumos. Si no hubiera disponibilidad de maquinarias debidamente equipadas para realizar la gestión variable de insumos, podría realizarse un análisis de inversión para evaluar su compra (para desarrollar un parque de maquinarias propio o bien para equipar contratistas y acceder a los servicios que se necesitan). En la Etapa 4 se analizan las capacidades con las que cuenta la empresa para gestionar correctamente estas tecnologías. En caso de no contar con personal debidamente capacitado para gestionar estas tecnologías de forma adecuada resulta clave y primordial tomar acciones que permitan desarrollar esas capacidades (Tabla 10).



**Tabla 10.** Descripción de las etapas 3 y 4 del proceso de implementación de tecnologías de manejo variable.

Etapa	3	4
Objetivo	Evaluar disponibilidad de maquinaria equipada con las tecnologías requeridas para realizar dosificación variable de insumos	Evaluar las capacidades de los colaboradores de la empresa para gestionar correctamente las tecnologías requeridas para realizar dosificación variable de insumos.
Criterios Diagnósticos y Herramientas	Dotación de maquinarias y tecnologías propias para realizar la gestión variable de los insumos que se pretende manejar de forma variable	Capacidades de los colaboradores de la empresa para gestionar tecnologías para realizar gestión variable de insumos.
	Disponibilidad local de maquinaria equipada con tecnologías para realizar la gestión variable de los insumos que se pretende manejar de forma variable	Capacidades de los contratistas de maquinaria agrícola para gestionar tecnologías para realizar gestión variable de insumos.
Acción	Si se diagnostica conveniencia de implementar dosificación variable de insumos, pero no se cuenta con las maquinarias y/o las tecnologías para poder hacerlo, primero se deberá trabajar para adquirirlas/contratarlas.	Si se diagnostica conveniencia de implementar dosificación variable de insumos, pero no se cuenta con las capacidades para gestionar las tecnologías requeridas, se deberá trabajar para poder desarrollarlas.

### Pregunta 3: ¿Cómo implementar estas tecnologías en mi empresa?

Esta pregunta contiene las etapas 5 a 9. En esas etapas se abordan todos los aspectos vinculados con el proceso de implementación de estas tecnologías. Aquí se analizan los aspectos que deben considerarse para generar información de base (relevamientos a campo y análisis de información histórica), ambientar los lotes, definir la forma en la que se manejaran esos ambientes, armar las prescripciones para llevar a cabo el manejo previamente definido y seguir la evolución del cultivo hasta el momento en el que se cosecha (Tabla 11).

En la etapa que se enfoca en la generación de información de base se proponen distintos tipos de herramientas para relevar parámetros fisicoquímicos que resulten claves para identificar y segregar ambientes (análisis de suelos, rastra Veris, Soiloptix, Georradars, Altimetría, etc.). Para la etapa de ambientación, existen varias herramientas (plataformas) que facilitan la elaboración del mapa de ambientes y las prescripciones de manejo. Sin embargo, independientemente de la plataforma utilizada, en esta etapa resulta clave la interpretación de la información y las recomendaciones de profesionales expertos para poder integrar su experiencia y conocimiento. Incluso, también adquiere relevancia la información generada en experimentos locales. Luego, entran en juego las capacidades requeridas para lograr la correcta implementación de las recomendaciones elaboradas y las herramientas (imágenes satelitales) y procedimientos



(chequeos a campo) que se utilizan para realizar el seguimiento de las prescripciones implementadas (Tabla 11).

**Tabla 11.** Descripción de las etapas 5 a 9 del proceso de implementación de tecnologías de manejo variable.

Etapa	5	6	7	8	9
<b>Objetivo</b>	Generar información de base	Ambientar	Definir factores a variar. Recomendar el manejo para cada unidad definida.	Implementar recomendaciones	Monitorear la evolución y el resultado del cultivo
<b>Criterios Diagnósticos y Herramientas</b>	Realización de análisis físicos y químicos de suelos	Integración de la información generada a partir de análisis de suelos y distintos tipos de sensores utilizados para relevar información base	Análisis e Integración de información de ensayos. conocimiento histórico local, efectos de las condiciones iniciales y pronósticos	Verificación de la correcta implementación de prescripciones (chequeos in-situ y registros digitales)	Seguimiento de Índices de Vegetación (Imágenes satelitales, drones) para identificar anomalías de crecimiento de la vegetación
	Relevamiento de lotes mediante distintos tipos de sensores (Cond. Eléctrica –Veris-, Radiación Gamma –Soiloptix-, Ondas electro magnéticas - Georradars-, Altimetría –GPS-	Análisis de la Heterogeneidad y la Variabilidad de la información relevada, una vez integrada	Identificación de niveles óptimos de cada factor		Determinación de parámetros clave y realización de chequeos a campo durante el ciclo del cultivo
					Cosecha con monitor de rendimiento y balanza calibrada
<b>Acción</b>	Análisis e interpretación de resultados	Definir N° de Ambientes gestionables por la empresa. (Importante: Considerar la capacidad de interpretar resultados e iterar el proceso)	Elaborar prescripciones integrando el conocimiento agronómico y las condiciones de la campaña (los ambientes varían según el clima de la campaña). Es recomendable agregar ensayos de manejo fijo para identificar óptimos de manejo.	Aplicar las prescripciones. haciendo buen uso de las herramientas disponibles (clave la capacitación).	Recolectar y sistematizar la información recopilada durante el seguimiento de los cultivos para mejorar el análisis de los resultados logrados.



#### Pregunta 4: ¿Cómo realizar la mejora continua de este proceso?

La utilización de tecnologías que permiten realizar el manejo por ambientes es un proceso dinámico de aprendizaje con posibilidades de mejora continua. Entre otros aspectos, es importante entender que los ambientes no son estáticos, sino que sus límites son dinámicos, y además, dependientes de las condiciones climáticas que exploran cada campaña. Por ejemplo, un ambiente puede ser la zona más productiva o la menos productiva del lote dependiendo del régimen de precipitaciones (un bajo o una loma).

Una vez finalizada la campaña resulta clave analizar los resultados para entenderlos en el contexto de las características de esa campaña particular. Es a partir de este análisis, que podría validarse la prescripción realizada, mejorar las futuras prescripciones o diseñar ensayos para generar información útil para identificar óptimos de manejo en cada ambiente (Tabla 12).

**Tabla 12.** Descripción de las etapas 10 y 11 del proceso de implementación de tecnologías de manejo variable.

Etapa	10	11
Objetivo	Analizar los resultados obtenidos	Ajustar Recomendaciones
Criterios Diagnósticos y Herramientas	Análisis de los datos de cosecha integrando la información obtenida durante el seguimiento de los cultivos para mejorar el análisis	Análisis e Integración de resultados de la implementación de la gestión variable de insumos en el lote mas información de ensayos. conocimiento histórico local, efectos de las condiciones iniciales y pronósticos para el sitio
Acción	Validación y ajuste del proceso	Generación de nuevas prescripciones. Definición de nuevos ensayos.

#### (6) Comentarios finales

Los módulos experimentales implementados en el marco del proyecto entre CREA y AGD durante la campaña 2021/2022 han facilitado la generación de información valiosa para comenzar a cuantificar el impacto de la adopción de tecnologías que permiten realizar la dosificación variable de insumos en los cultivos de maíz, girasol y soja.

Si bien los resultados obtenidos fueron variables según el sitio y el cultivo analizado, en el cultivo de maíz se pudo estimar un incremento promedio de rendimiento de aproximadamente el 4,4%. El beneficio capturado por el uso de estas tecnologías fue de mayor magnitud en ambientes de menor potencial. Adicionalmente, considerando relaciones de precios promedio, el beneficio económico marginal fue superior a los 100 dólares por hectárea en promedio.

Por otro lado, a partir de la información recopilada en las zonas de manejo fijo, en algunos casos se lograron identificar niveles óptimos de densidad y/o nitrógeno disponible para las condiciones analizadas. Esto podría contribuir a mejorar futuras prescripciones.



Por último, se pudo esquematizar un proceso que podría facilitar el análisis y la toma de decisiones de cara a la implementación del proceso de dosificación variable de insumos. Este proceso considera aspectos clave que deberían tenerse en cuenta para que la implementación de estas tecnologías resulte exitosa. Contempla: i) el análisis de su potencial implementación en función de la cuantificación de la heterogeneidad ambiental y su distribución espacial, ii) la factibilidad real de implementación considerando la disponibilidad de la tecnología y las capacidades para gestionarlas de forma adecuada, iii) la integración del conocimiento experto para realizar un proceso de implementación exitoso y iv) la validación y, una vez implementada, el ajuste continuo para mejorar los resultados logrados.

## **(7) Estado de avance del proyecto**

Habiendo cerrado los resultados del primer año, actualmente estamos analizando los resultados del segundo año del convenio CREA-AGD (Campaña 2022/2023). A pesar de las condiciones climáticas adversas exploradas durante esta campaña en la mayoría de los sitios experimentales, esperamos seguir obteniendo conocimientos valiosos sobre esta forma de gestionar la agricultura dentro de los lotes de producción.

