



FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y ESTADISTICAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

LICENCIATURA EN ECONOMIA
SEMINARIO DE INTEGRACION Y APLICACIÓN
TRABAJO FINAL

“EFECTOS DE LA AGRICULTURA DE PRECISION Y
DETERMINANTES DE SU ADOPCION EN ARGENTINA”

PETROCELLI, TADEO
LEGAJO: P-5716/9

Docente Tutor: JARA MUSURUANA, LUCIANO
Docente Cotutor: VAUDAGNA, LUCIANO

2do Cuatrimestre 2024

Resumen

El presente trabajo tiene como primer objetivo precisar cuáles son los efectos económicos, en términos de costos y de rendimientos del cultivo de la aplicación de tecnologías de agricultura de precisión. Donde por medio de estudios realizados en EEUU y en Argentina se concluyó que el impacto de aplicar estas tecnologías se traduce en una reducción en el uso de insumos y un incremento de los rendimientos en comparación a establecimientos agrícolas que utilizan la agricultura tradicional. Como segundo objetivo del trabajo se propuso identificar determinantes vinculados directamente con el productor y su entorno, así como también determinantes de índole macroeconómicos de Argentina que puedan afectar las posibilidades de adopción de tecnologías de precisión en Argentina. Por el lado de los factores asociados al productor agrícola, se encontraron que los niveles de educación del empresario, la superficie total del establecimiento agrícola, la propiedad de la tierra, la contratación de asesoramiento tecnológico y/o ambiental y la adopción de vecinos de equipos de precisión son factores determinantes que influyen en la adopción de estas tecnologías. Mientras que por el lado de los factores macroeconómicas se identificó al acceso al crédito como un factor determinante en la adopción de agricultura de precisión.

Palabras clave: Agricultura de precisión, Argentina, Costos, Rendimientos.

JEL CODE: O33, O13, Q16

Índice de contenido

1. Introducción	3
2. Marco Conceptual.....	3
3 Marco Teórico	4
3.1 Teoría Neoclásica Aplicada a la Agricultura de Precisión.....	4
3.2 Efecto en Red Aplicado a la Agricultura de Precisión.....	5
4. Fundamentos de la Agricultura de Precisión	5
4.1 Impactos de la Agricultura de Precisión	5
4.1.1 Efectos sobre los Costos	5
4.1.2 Efecto sobre los Rendimientos	8
4.2 Factores Determinantes de la Adopción	11
4.3 Modelo Econométrico Aplicado a la Argentina	12
5. Limitantes Macroeconómicos en la Adopción de Agricultura de Precisión.....	14
5.1 Precio Cobrado por el Productor	15
5.2 Actividad Económica del Sector Agrícola	16
5.3 Créditos al Sector Agrícola	17
6 Comentarios Finales	18
Bibliografía.....	20

1. Introducción

La agricultura es un pilar fundamental en la economía argentina, representando en 2023 el 23,1% del PBI considerando todas las cadenas vinculadas al sector, según la Fundación Agropecuaria para el Desarrollo de Argentina (FADA). Este sector no solo constituye una gran parte de la actividad económica del país, sino que también ha sido, históricamente, el principal proveedor de divisas de la economía, aportando 6 de cada 10 dólares de las exportaciones nacionales de bienes del país para el mismo año. (FADA, 2024)

En las últimas décadas se han desarrollado nuevas tecnologías aplicadas al sector de las cuales ha emergido la agricultura de precisión como una nueva propuesta, ofreciendo soluciones innovadoras que permiten optimizar los recursos y aumentar la productividad de manera sostenible. Esta se caracteriza por ser un conjunto de herramientas que le brindan al productor agropecuario más información en tiempo real y le permiten potenciar la toma de decisión, maximizando así los retornos y minimizando los gastos en insumos, lo que podría llevar al campo argentino a alcanzar nuevos niveles de producción.

Es con este marco que se ha realizado este trabajo, con el propósito de determinar de manera concreta cuál es el impacto que tiene la introducción de tecnologías de agricultura de precisión en el sector agrícola. Para ello se ha utilizado como marco teórico las contribuciones de la escuela neoclásica con eje en la eficiencia en la asignación de recursos y en cómo las innovaciones tecnológicas afectan la productividad y los costos. También se ha hecho uso del concepto de efecto en red, planteado por los economistas Michael L. Katz y Carl Shapiro, para analizar el impacto que un mayor uso de tecnologías de agricultura de precisión tiene sobre los demás usuarios de dichas tecnologías.

En un primer objetivo del trabajo se planteará que la implementación de estas tecnologías significaría no solo una reducción en costos, ya que se optimizaría el uso de pesticidas y fertilizantes, sino también un incremento en los rendimientos de la tierra, dado que se podría utilizar sensores y otro tipo de tecnologías para detectar los niveles de fertilidad de la tierra y así aplicar los fertilizantes necesarios para asegurar un nivel de rendimiento de la tierra homogéneo a lo largo del establecimiento agrícola.

En una segunda instancia del trabajo se enfocará en determinar cuáles son los determinantes que influyen o limitan la introducción e implementación de este tipo de tecnologías en el campo argentino, así como también cuál es su importancia. Se resaltan los aportes de un estudio econométrico realizado en la Argentina sobre variables vinculadas directamente con el productor y su entorno, luego se realizará un análisis de tipo descriptivo vinculando los volúmenes de ventas de equipos de agricultura de precisión (AP) con variables de índole macroeconómicas de la Argentina. Como segundo objetivo del trabajo se planteará que este tipo de variables ligadas a características del productor y del entorno donde se desempeña tendrán un impacto significativo sobre el nivel de adopción de equipos de agricultura de precisión.

En el análisis descriptivo se tendrá como tercer objetivo estimar si las variables ligadas al precio de los *commodities* recibidos por el productor agrícola, el dinamismo del sector agrícola y el nivel de financiamiento que tiene acceso el productor agrario influyen sobre la adopción de equipos de agricultura de precisión.

2. Marco Conceptual

El concepto sobre el que se basa la agricultura de precisión es aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto. Es el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. La agricultura de precisión involucra el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo. (García y Flego, 2008)

La agricultura de precisión consiste entonces en una técnica de producción agrícola que se nutre de tecnologías avanzadas, como las redes de conexión artificial y la robótica, para el monitoreo y la optimización de la producción agrícola. Esta se utiliza para la maximización de la eficiencia en el uso de los recursos, reduciendo los costes en insumos como fertilizantes, pesticidas y mano de obra, y aumentando el rendimiento de las explotaciones agrícolas.

Las principales herramientas que conforman los sistemas de agricultura de precisión son:

- **Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).** El GPS es fundamental en la agricultura de precisión para la geolocalización precisa de áreas específicas del campo. Esto permite a los agricultores mapear el terreno y realizar operaciones con una precisión sin precedentes.
- **Drones.** Son herramientas cada vez más comunes en el sector. Equipados con cámaras y sensores pueden recopilar datos de gran valor para los profesionales sobre el terreno, los cultivos y las condiciones climáticas de manera rápida y precisa.
- **Sensores remotos.** Este tipo de sistemas se utilizan, principalmente, para monitorear diversos aspectos de los cultivos y el suelo desde la distancia. Estos sensores pueden medir, entre otros, la humedad del suelo, la salud de los cultivos, la temperatura.
- **Sistemas de Información Geográfica (SIG).** Los SIG permiten integrar y analizar datos espaciales para tomar el diseño y ejecución de actuaciones sobre el terreno. Esto incluye la creación de mapas de rendimiento de cultivos, de suelos o de aplicación de suministros, que ayudan a los agricultores a identificar tanto las áreas de alto rendimiento como aquellas que requieren atención extra.
- **Maquinaria Agrícola Adaptada.** En combinación con las herramientas anteriores se han desarrollado tractores, sembradoras, pulverizadoras y sistemas de riego equipados con la tecnología VRT, capaces de variar la tasa de aplicación de insumos según las instrucciones recibidas de los controladores y mapas de prescripción.

Estas herramientas son luego utilizadas para la recolección de datos, el planeamiento de una estrategia que permita optimizar la gestión agrícola y posteriormente la aplicación localizada de insumos en las áreas agrícolas de forma controlada y automática, de modo tal de racionalizar el uso de insumos a la vez que se incrementan los rendimientos del cultivo.

3 Marco Teórico

3.1 Teoría Neoclásica Aplicada a la Agricultura de Precisión

La revolución marginalista fue un cambio trascendental en la economía durante el siglo XIX que introdujo el concepto de margen como clave para entender el valor de los bienes y servicios. Propuesto por los economistas William Stanley Jevons, Karl Menger y León Walras, este enfoque sostiene que las decisiones económicas se basan en la utilidad adicional (marginal) que aporta cada unidad extra consumida o producida. Esto implicó una transformación en las ciencias económicas, estableciendo las bases de la teoría neoclásica, que enfatiza el análisis de la oferta y la demanda en términos marginales, así como la racionalidad de los agentes económicos. (Walras, 1874)

La teoría marginalista estableció que las empresas deben tomar decisiones de producción comparando el costo marginal (el costo adicional de producir una unidad más) con el ingreso marginal (el ingreso adicional generado por esa unidad). Para maximizar sus beneficios, las empresas deben producir hasta el punto en que el costo marginal iguale al ingreso marginal, lo que optimiza la asignación de recursos y evita una producción excesiva o deficiente. (Walras, 1874)

En cuanto a la producción, el concepto de producto marginal indica que, en el corto plazo al añadir más unidades de un factor productivo, manteniendo el resto fijo, genera un aumento de la producción que a partir de cierto punto comienza a ser decreciente, lo que se conoce como la ley de los rendimientos marginales decrecientes. Esto implica que las empresas enfrentan límites en la eficiencia con cada unidad extra de factor, lo que afecta la planificación y el uso óptimo de los recursos productivos. (Walras, 1874)

Llevando esta teoría a la agricultura de precisión se podría suponer que los equipos de agricultura de precisión permiten una aplicación más exacta de insumos en las cantidades necesarias y en los momentos y lugares precisos, lo que reduce los costos marginales asociados a la producción de cada unidad, ya que se minimizan los desperdicios y se optimiza el uso de recursos. A su vez con una mejor gestión de los insumos y recursos, la agricultura de precisión mejora la productividad marginal de cada factor productivo (tierra, capital, trabajo). Esto significa que la implementación de estas tecnologías aumenta la producción adicional obtenida por cada unidad de recurso invertido. Por lo que, aunque la ley de los rendimientos marginales decrecientes sigue aplicándose para este caso, la tecnología de precisión permite retrasar o reducir su efecto al mejorar la eficiencia de la producción.

3.2 Efecto en Red Aplicado a la Agricultura de Precisión

El efecto en red fue planteado por Michel L. Katz y Carl Shapiro en el año 1985, quienes postulan que, en ciertos mercados, especialmente aquellos relacionados con la tecnología y las plataformas, el valor de un producto o servicio aumenta conforme más personas lo utilizan, creando externalidades de red. A medida que crece la base de usuarios, aumenta la utilidad para cada miembro de la red, lo que refuerza la adopción y consolidación de esa tecnología o plataforma. (Katz y Shapiro, 1985)

Aplicado a la agricultura de precisión, este efecto puede manifestarse a través de la adopción de distintas herramientas de agricultura de precisión. Donde a medida que más agricultores adoptan estas herramientas, aumenta el conocimiento sobre su uso entre los usuarios, quienes luego comparten ese conocimiento con los productores vecinos. Esto genera una red de conocimientos colectivos que facilita la implementación y aumenta la utilidad de las tecnologías de agricultura de precisión.

4. Fundamentos de la Agricultura de Precisión

4.1 Impactos de la Agricultura de Precisión

El uso de las tecnologías de agricultura de precisión puede ayudar a mejorar los márgenes, a través de un aumento del valor de los rendimientos (cantidad o calidad), una reducción en la cantidad de insumos, o ambos simultáneamente. (García y Flego, 2008)

Por lo tanto el objetivo del presente trabajo para este punto será medir cual es el potencial impacto que tienen la aplicación de estas tecnologías en cuanto a la reducción de costos en insumos y el incremento en los rendimientos de los cultivos. Para ello se tomarán datos de estudios realizados en Estados Unidos y en la Argentina.

4.1.1 Efectos sobre los Costos

Como se definió anteriormente, los sistemas de agricultura de precisión se componen de un paquete de varios tipos de tecnologías, los cuales pueden ser aplicados en diferentes combinaciones, generando diferentes resultados.

El trabajo de la Asociación de Economía Agrícola Occidental de EEUU (2015) buscó cuantificar cuales son los impactos en términos de reducción de costos en insumos de la

aplicación de las distintas combinaciones tecnológicas, así como también definir cuál es la que más relación costo-beneficio reporta sobre productores de maíz.

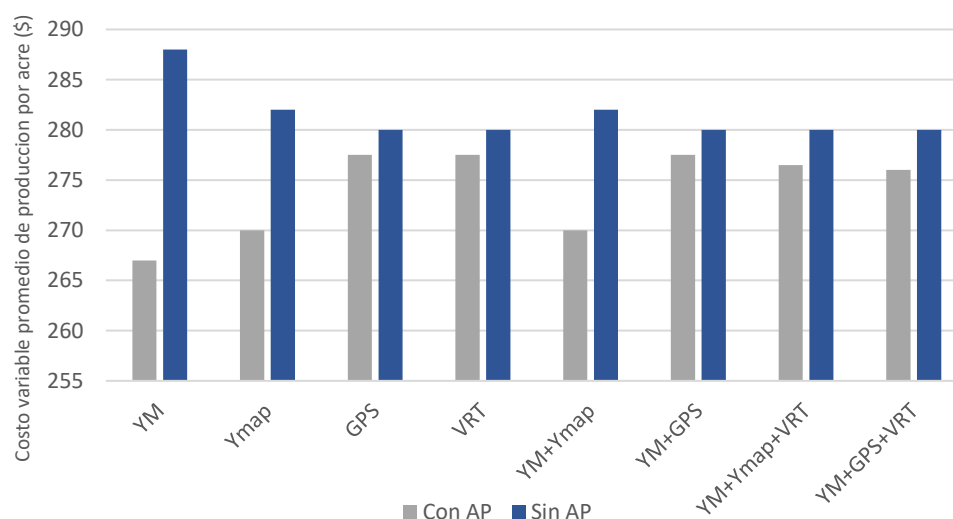
Las tecnologías de agricultura de precisión (PA) pueden reducir los costos de insumos al proporcionar a los agricultores información más detallada y control sobre la aplicación, pero su adopción ha sido lenta, especialmente en el caso de las tecnologías de tasa variable (VRT). (Schimmelpfennig y Ebel; 2016)

Las combinaciones de tecnologías de PA se consideran complementarias, probando varios patrones de adopción de tecnologías de PA que pueden mostrar diferentes niveles de costos. La Encuesta de Gestión de Recursos Agrícolas del USDA de productores de maíz se utiliza para estimar un modelo de efectos de tratamiento que permite el sesgo de selección. La VRT contribuye a ahorros adicionales en los costos de producción cuando se añade al mapeo de suelos, pero no cuando se realiza solo con el mapeo de rendimientos. (Schimmelpfennig y Ebel; 2016)

En este sentido los autores destacan como se ha observado una adopción secuencial, y no en su totalidad de las distintas tecnologías de Agricultura de Precisión. La razón de ello, según estudios realizados por los autores, es la existencia de incertidumbres respecto al uso e impacto del paquete tecnológico de Agricultura de Precisión (AP), razón por la cual los agricultores optan por aplicar en un principio tecnologías más sencillas y cuyos beneficios son más seguros, como los monitores de rendimiento (YM), que tienen un grado de adopción mayor en los campos norteamericanos.

La mayoría de las combinaciones de tecnologías de agricultura de precisión (PA) investigadas muestran ahorros de costos, pero solo una de las tres combinaciones que incluyeron la tecnología de tasa variable (VRT) mostró ahorros adicionales. VRT añadió ahorros a la cartografía de suelos con GPS y a la monitorización del rendimiento (YM). La mayor reducción de costos para cualquier combinación individual de tecnologías de PA fue para YM y la cartografía de rendimiento (Ymap). (Schimmelpfennig y Ebel; 2016)

Gráfico 1: Costos de producción con y sin tecnologías AP



Fuente: Elaboración propia en base a *Adopción secuencial y ahorro de costos* (Schimmelpfennig y Ebel, 2016)

Tal y como se puede observar en el gráfico 2 los costos de producción variables medios (costos en insumos) por acre para los productores de maíz son menores para aquellos

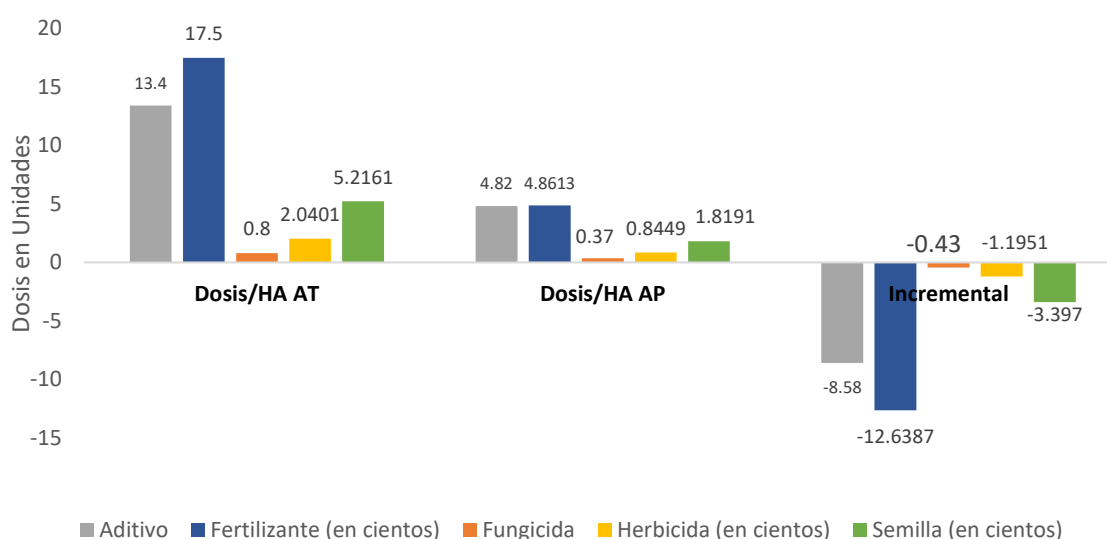
productores que optan por utilizar alguna combinación de tecnologías de PA que para aquellos productores que optan por no utilizarlas.

Se puede observar además como la mayor diferencia de costos entre adoptantes y no adoptantes se da en el uso de monitores de rendimiento (YM), lo cual ayudaría, en parte, a explicar también porque su uso es el más generalizado entre los productores de maíz, a pesar de que esta tecnología solo está presente en la etapa inicial del ciclo de agricultura de precisión (etapa de recopilación de información).

Para Argentina, la Universidad Nacional de Córdoba analizó los impactos de la aplicación de tecnologías de agricultura de precisión sobre una empresa agrícola productora de maíz y soja ubicada en La Pampa para el año 2021. Esta empresa se encuentra utilizando varias herramientas que se encuentran dentro de lo que son el paquete tecnológico de la agricultura de precisión como lo son sensores, pilotos automáticos por satélite, monitores de siembra y drones para mapeo y siembra inteligente.

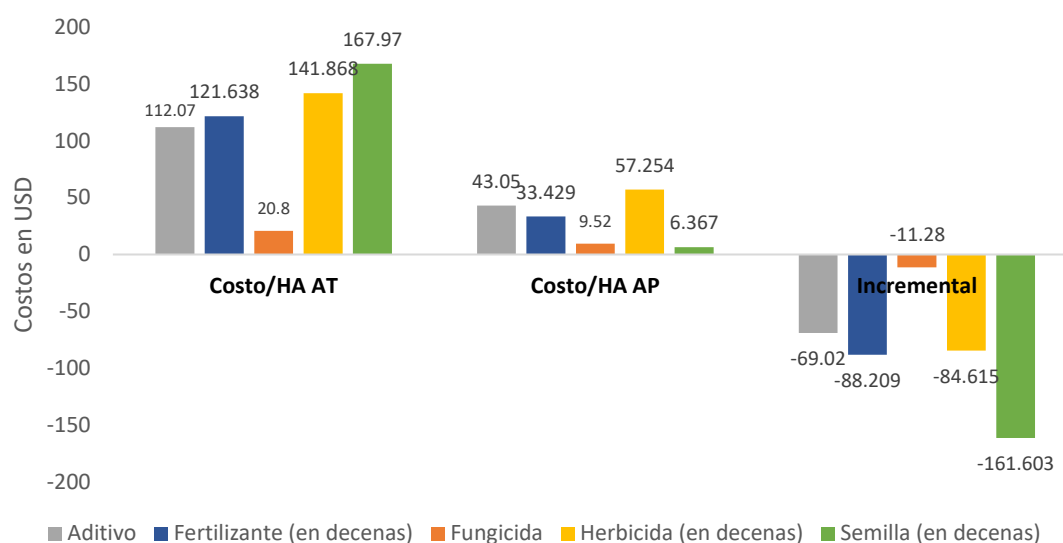
En el gráfico comparativo (grafico 2) se puede visualizar en primer lugar la cantidad de dosis utilizada de insumos en sistemas de agricultura tradicional (AT) en comparativa con la cantidad de insumo utilizada en sistemas de agricultura de precisión (AP) y su respectiva variación incremental por cada tipo de insumo, y luego un segundo grafico (grafico 3) donde se detalla el costo por hectárea insumido en cada agricultura con su respectiva variación incremental ya que si bien el costo unitario de compra de los insumos se los considero constantes al existir variaciones en las dosis aplicadas los costos de insumos también presentan variaciones.

Gráfico 2: Comparativa uso dosis de insumos entre la aplicación de dosis en AT y en AP incremental.



Fuente: Elaboración propia en base a *Tablero con indicadores para evaluar el impacto en la aplicación de Agricultura de precisión*. (Abud, et. al.; 2023)

Gráfico 3: Comparativa costos en insumos en AT y en AP.



Fuente: Elaboración propia en base a *Tablero con indicadores para evaluar el impacto en la aplicación de Agricultura de precisión*. (Abud, et. al.; 2023)

En ambos gráficos entonces se observa como el mayor impacto se encuentra en la cantidad de dosis y en los costos ligados al uso de fertilizantes, seguido en un segundo lugar por el uso y los costos de los aditivos. Para el resto de los insumos, si bien existe una reducción de costos y cantidad de dosis aplicadas, el diferencial entre ambos sistemas son sustancialmente menores.

Se puede observar que al aplicar agricultura de precisión las dosis de los insumos disminuyen en 1732.11 lo que equivale a una disminución de costos directos en USD 3424.57 por hectárea. (Abud, et.al.; 2023)

Los costos monetarios de los insumos se reducen en promedio entre 85% y 96%, lo que proviene de la disminución en la cantidad de aditivo, fertilizante, semilla, herbicida y fungicida utilizado en conjunto ya que el costo unitario de compra se mantuvo constante [...] (Abud, et. al.;2023)

4.1.2 Efecto sobre los Rendimientos

Por el lado de impacto de la agricultura de precisión sobre los rendimientos el trabajo se basará en un principio en un estudio realizado por el Departamento de Agricultura de EEUU para el año 2003 sobre los productores de trigo, maíz, soja y otros cultivos, de la economía norteamericana. El estudio busca cuantificar cual es el efecto en términos de incremento de los rendimientos de los cultivos de la aplicación de distintas tecnologías de precisión.

Usando datos a nivel de campo para la producción de maíz en 10 estados del Medio Oeste, McFadden et al. (2022c) llegan a la conclusión que: (1) los agricultores que utilizan mapas de rendimiento y/o de suelo son más eficientes que los que no los adoptan, y (2) estas tecnologías aumentan toda la gama de posibilidades de producción. Aunque se estimó que los efectos eran pequeños, dado que los ingresos de los agricultores de cultivos son proporcionales a los rendimientos, esperaríamos que estos efectos en la productividad influyan en la rentabilidad de los agricultores. Usando datos y métodos similares, Schimmelpfennig (2016) encontró pequeños efectos positivos en los retornos netos de los agricultores: 1.8 por ciento para la cartografía de suelo y rendimiento, 1.5 por ciento para los sistemas de guía, y 1.1 por ciento para VRT. (McFadden, et. al.; 2023)

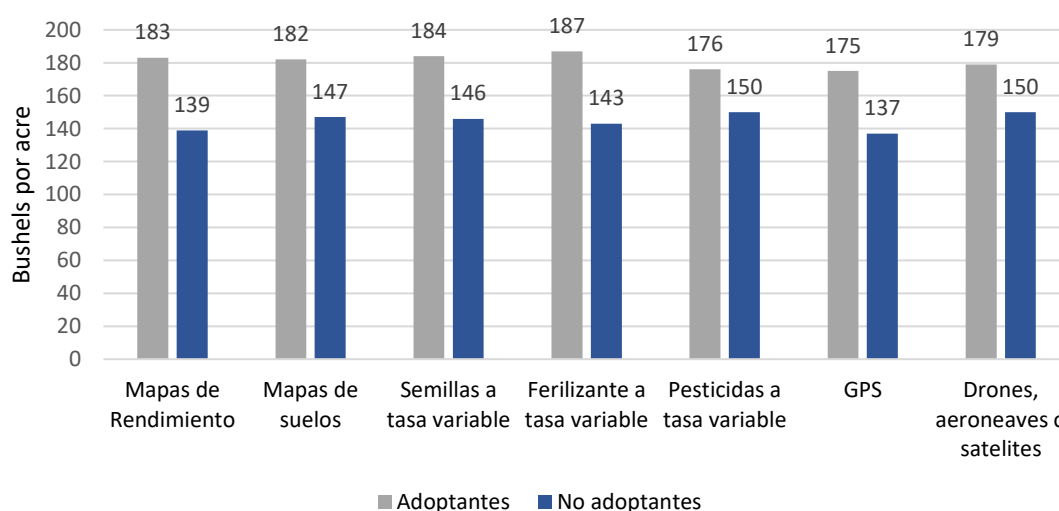
Tabla 1: Rendimientos promedio de cultivos para adoptantes y no adoptantes de tecnologías de precisión, 2016-2019

	Mapas de Rendimiento	Mapas de suelos	Semillas a tasa variable	Fertilizante a tasa variable	Pesticidas a tasa variable	GPS	Drones, aeroneaves o satelites
Maiz							
Adoptantes	183	182	184	187	176	175	179
No adoptantes	139	147	146	143	150	137	150
Trigo de invierno							
Adoptantes	62	70	53	58	57	55	51
No adoptantes	46	47	58	47	48	43	48
Soja							
Adoptantes	59	59	58	60	57	56	61
No adoptantes	52	54	54	53	54	53	54

Fuente: Elaboración propia en base a datos de *Precisión Agriculture in Digital Era: Adoption on U.S Farms.* (McFadden, et. al.; 2023)

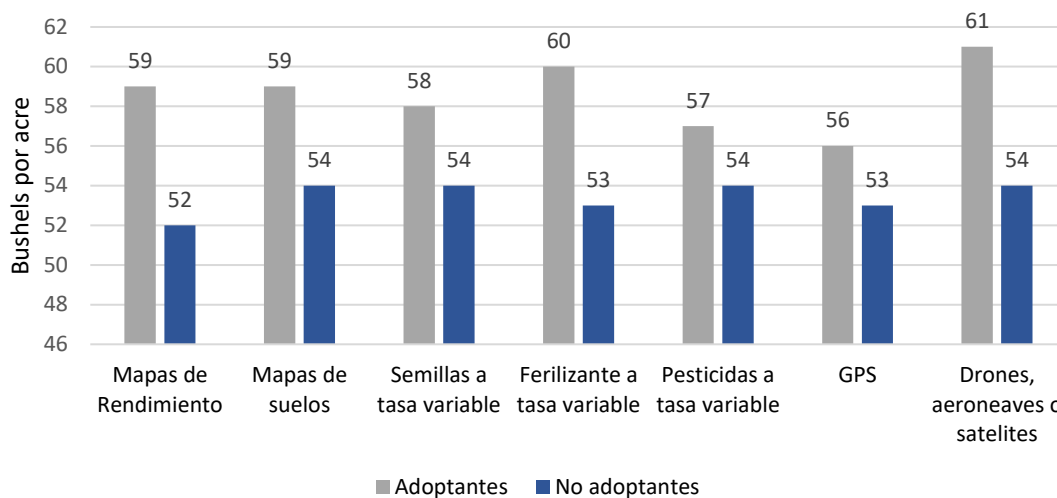
Un análisis simple de los resultados de producción de los agricultores revela que, en muchos casos, los rendimientos son significativamente más altos para los adoptantes que para los no adoptantes (tabla 1). Esta tendencia se mantiene en todas las tecnologías, excepto en los aplicadores de pesticidas de tasa variable, que siguen siendo menos utilizados en los Estados Unidos. Las diferencias en los rendimientos entre adoptantes y no adoptantes son generalmente significativas para todos los cultivos, excepto para el algodón y el sorgo, quizás como consecuencia de los tamaños de muestra relativamente más pequeños para ambos cultivos. (McFadden, et. al.; 2023)

Gráfico 4: Rendimientos maíz para adoptantes y no adoptantes de tecnologías de precisión, 2016-2019



Fuente: Elaboración propia en base a datos de *Precisión Agriculture in Digital Era: Adoption on U.S Farms.* (McFadden, et. al.; 2023)

Gráfico 5: Rendimientos soja para adoptantes y no adoptantes de tecnologías de precisión, 2016-2019

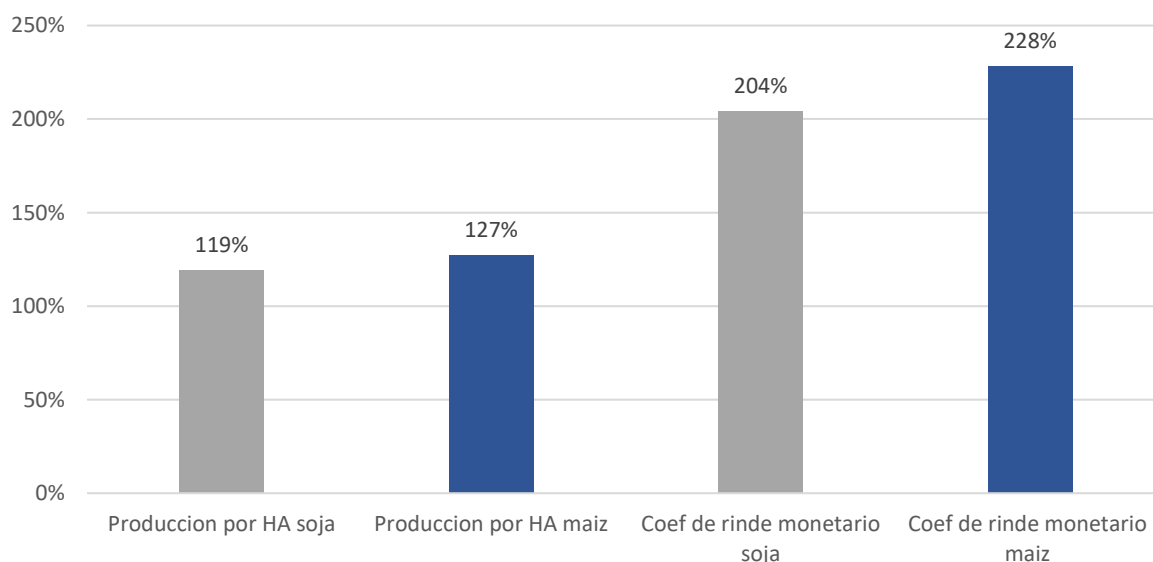


Fuente: Elaboración propia en base a datos de *Precisión Agriculture in Digital Era: Adoption on U.S Farms.* (McFadden, et. al.; 2023)

Reflejándose así en los gráficos 4 y 5 como la aplicación de tecnologías de agricultura de precisión tiene un impacto positivo en cuanto a la productividad marginal del factor tierra, dado que se evidencia un incremento en la producción total por unidad de tierra.

Más evidencia es encontrada sobre el impacto positivo de la aplicación de este tipo de tecnologías sobre la productividad si se remonta al estudio realizado por la Universidad de Córdoba mencionado en la sección anterior, donde se realizó un estudio sobre la variación de la producción de soja y maíz por unidad de insumo utilizado al aplicar tecnologías de AP.

Gráfico 6: Variación productividad por hectárea y rinde monetario para adoptantes de AP



Fuente: Elaboración propia en base a *Tablero con indicadores para evaluar el impacto en la aplicación de Agricultura de precisión.* (Abud, et. al.; 2023)

Como se puede observar en el gráfico 6 el incremento de la producción por hectárea en los campos que utilizan equipos de AP es de un 119% para la soja y un 127% para el maíz en comparación a la producción por hectárea de los campos que aún mantienen sistemas de AT.

El coeficiente de rinde monetario determina el rendimiento obtenido por aplicar agricultura de precisión en términos monetarios. Este indicador dio resultados positivos, observándose un incremento de un 204% para la soja y un incremento del 228% para el caso del maíz. Esto se da así ya que en la AP en cada lote si bien la superficie cultivada se mantiene constante no así la producción obtenida, la cual es mayor al haber sido considerados los distintos rendimientos que tiene cada lote a través del plan de dosificación variable. (Abud, et. al.; 2023)

En cuanto a la productividad por unidad de insumo los resultados obtenidos varían según el tipo de cultivo que trate, ya sea soja o maíz. En cuanto al primero por cada unidad de insumo utilizado se producirán 1.55 toneladas más en AP que en AT. Mientras que en lo que respecta a la producción del maíz por cada unidad de insumo utilizado se producirán 6.31 toneladas más en AP que en AT. (Abud, et. al.; 2023)

4.2 Factores Determinantes de la Adopción

Para identificar los factores determinantes se sigue al estudio realizado por el Departamento de Economía Rural de Marruecos, donde se realizó un análisis para determinar los factores determinantes en la adopción de tecnologías de agricultura de precisión. El mismo hace una revisión de la literatura reciente, para el periodo 2010-2019, sobre artículos enfocados en la adopción de tecnología de agricultura de precisión con el fin de determinar sus determinantes a escala global. Para ello analizó 41 artículos de todas partes del mundo y se identificaron 21 determinantes en los cuales hay consenso generalizado.

El análisis de la literatura reveló 21 variables que podrían influir en la adopción de tecnologías de agricultura de precisión (AP). Luego agrupamos estas variables en cuatro categorías de variables explicativas: factores individuales, factores organizacionales, factores ambientales y factores tecnológicos. Así, se identificaron 10 factores individuales, aproximadamente el 48% de todos los factores, con la mayor frecuencia de identificación por parte de los investigadores. Los factores organizacionales e institucionales son 4 cada uno, representando el 19% para cada uno de todos los factores identificados. Finalmente, los factores relacionados con la tecnología en sí fueron identificados como determinantes de la adopción, con 3 factores identificados. (Yatribi; 2020)

- Factores individuales: edad, ingresos, percepción de utilidad futura percibida por la aplicación de equipos de AP, aversión al riesgo, niveles de educación, genero, experiencia del agricultor, tamaño de la familia, actividad secundaria y uso de computadoras en la gestión agrícola.
- Factores organizacionales: tamaño de la granja, tipo de actividad, tenencia de la tierra, enfoque de la producción (si esta es de subsistencia o por razones comerciales).
- Factores institucionales: acceso al financiamiento, asesoramiento sobre el uso de tecnologías de AP, apoyo financiero a través de subsidios y costo de la tecnología.
- Factores tecnológicos: facilidad en el uso, compatibilidad de la tecnología de AP con otras tecnologías y calidad de la información proporcionada por la tecnología de AP.

El trabajo entonces concluye que son los factores individuales los más determinantes en la adopción de tecnologías de agricultura de precisión. Siendo que a la hora de decidir si adoptar o no equipos de AP el agricultor está en el centro de la decisión por lo que la incorporación de tecnologías de AP dependerá principalmente de su percepción de la utilidad futura por adoptar estas tecnologías, así como otros factores individuales como el nivel educativo y la edad. Mientras que en menor medida se identifican factores ligados a la estructura, el ambiente en el que se desenvuelve el mismo, y las características de la tecnología de AP como factores determinantes en la implementación de tecnologías de AP.

4.3 Modelo Econométrico Aplicado a la Argentina

El estudio econométrico realizado en la Argentina por el Instituto Interdisciplinario de Economía Política en el año 2022 analizó la relación entre ciertas características individuales, estructurales y ambientales de los productores agrícolas y su propensión a la adopción de tecnologías de AP, la intensidad con la cual las utilizan estas tecnologías en caso de adoptarlas y si estos factores son o no estadísticamente significativos.

Para su construcción se utilizaron datos provenientes del Censo del grupo CREA 2019, que consiste en una organización privada sin fines de lucro de productores del agro cuyo objetivo es compartir experiencias y colaborar mutuamente en la toma de decisiones para el beneficio mutuo del grupo. De dicho censo se obtuvieron un total de 1356 observaciones, donde cada observación representa a un empresario agropecuario independiente y donde para la realización del estudio se excluyeron aquellos empresarios que no tuvieran a la agricultura como su actividad principal (ej. empresarios dedicados principalmente a la ganadería) dado que el objetivo del trabajo es determinar los niveles de adopción de tecnologías de AP en cultivos extensivos.

En este trabajo se estudia la relación entre ciertas características, conductas y relaciones de los productores y su propensión a la adopción de tecnologías de AP y la intensidad con la cual las utilizan en caso de adoptarlas. Es decir, una variable dicotómica y una variable continua condicional restringido al intervalo $[0;1]$ (e. g., si se utiliza AP en todo el terreno, sería igual a 1; si se utiliza en un 25% del terreno, sería igual a 0,25; si no se utiliza en absoluto, sería igual a 0). Para analizar estos procesos, en este trabajo se estimó un modelo de regresión lineal tradicional (...) (Lachman, et. al.: 2022)

Donde se plantea la existencia de una serie de determinantes en la adopción de este tipo de tecnologías, las cuales se pueden agrupar en 3 grupos de variables:

- Variables asociadas a características estructurales del establecimiento agrícola:
 - Tamaño de la superficie agrícola
 - Ubicación geográfica
 - Tenencia de maquinaria agrícola
 - Régimen de tenencia de tierra (si son propietarios o alquilan)
 - Conectividad a internet del establecimiento
- Variables asociadas a rasgos individuales de los tomadores de decisiones y el capital humano de la empresa
 - Edad de los empresarios tomadores de decisiones
 - Nivel de formación educativa del empresario tomador de decisiones
 - Nivel de formación educativa de los operarios de la empresa
- Variables asociadas al ambiente en el cual se desenvuelve la empresa:
 - Acceso a fuentes externas de información (mediante asesoramiento)
 - Adopción de vecinos a tecnología de AP

En el siguiente cuadro entonces se presentaran los resultados de las estimaciones que fueron realizadas, para posteriormente analizar los resultados obtenidos y determinar si estas variables mencionadas son o no determinantes (en base a si son estadísticamente significativas) y si lo son cuál es su nivel de impacto:

Tabla 2: Resultados de los modelos econométricos

	Probabilidad de adopcion	Intensidad de adopcion
Variables	Modelo Lineal	Modelo lineal
Estructurales		
Superficie Cultivos Anuales	0,088***	0,049***
Cosechadora	0,052	0,022
Alquila	-0,058*	-0,040**
Conectividad Celular	-0,034	-0,021
Capital Humano		
Edad	-0,003	0,003
Edad2	0	0
Formacion Empresario	0,014**	0,008**
Edad 30 a 45	0,053	0,053**
Operarios Universitarios	0,032	-0,008
Vinculaciones y ambiente		
Asesoramiento	0,058*	0,022
Asesoramiento ambiental	0,126***	0,109***
Adopcion Vecinos	0,003***	0,002***

Errores estándar entre paréntesis: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

Fuente: Elaboración propia en base a datos de: "Adopción de tecnologías de agricultura de precisión en los grupos CREA." (Lachman, et. al.: 2022)

Donde se tomaran como variables explicativas de la adopción de equipos de AP a aquellas que cuenten con un $p < 0,1$. Se tiene por lo tanto, siguiendo este parámetro que aquellas variables que resultan relevantes en la adopción de equipos de AP son: la superficie agrícola explotada, si el empresario alquila o no el campo, la formación universitaria del empresario agrícola, el asesoramiento ya sea técnico o ambiental y por último la adopción por partes de los vecinos del empresario agrícola de equipos de AP. Mientras que el resto de las variables (como la edad del empresario, si posee o no cosechadora u otros bienes de capital, si el establecimiento agrícola cuenta con conectividad, entre otros) su resultado no fue estadísticamente significativo.

Se tendrá entonces que la extensión de la explotación es una variable que afecta positivamente la adopción de tecnologías de AP, incrementando la probabilidad de su adopción en aproximadamente un 9% por cada aumento en un 1% de la superficie cultivada. Una relación similar se da para la intensidad de adopción, incrementándose esta en un 5% por cada aumento porcentual de la superficie cultivada.

En cuanto al alquiler, se encuentra que hay una relación negativa, disminuyendo en un 6% la probabilidad de adopción de tecnologías AP si el productor agropecuario alquila y 4% la intensidad de adopción correspondientemente.

Con respecto al nivel de formación formal del empresario CREA esta emergió como una variable explicativa relevante. Los mayores niveles de formación de quien toma las decisiones productivas en la empresa se correlacionan positivamente con los niveles de adopción de tecnologías de AP, en todas las especificaciones utilizadas. Teniendo entonces que el contar con un año adicional de educación universitaria incrementa la probabilidad de adopción de tecnologías de AP en un 1,4% e incrementa la intensidad de su adopción en un 0,8%.

Pasando ya a la variable de asesoramiento agronómico y/o tecnológico externo esta adopta el signo positivo esperado, resultando además estadísticamente significativa. Siendo que el contar con asesoramiento externo incrementa la probabilidad de adopción en un 5,8%.

Esto indicaría que disponer de fuentes externas de información y/o de asistencia técnica se correlaciona positivamente con la adopción de tecnologías de AP. Un resultado análogo emerge al considerar el asesoramiento ambiental. (Lachman, et. al.: 2022)

Por el lado del asesoramiento ambiental externo esta variable adopta el valor más alto del todo el modelo, dándose que si el empresario cuenta con algún tipo de asesoramiento ambiental su probabilidad de adopción se incrementa en un 12,6%. Mientras que en cuanto a la intensidad de adopción el contar con asesoramiento ambiental incrementa la intensidad en un 10,9%.

Finalmente, el nivel de adopción por parte de los vecinos/compañeros de grupo se correlaciona positivamente tanto con la probabilidad como con la intensidad de la adopción de AP entre los empresarios de CREA. Dándose que si el porcentaje de vecinos adoptantes de tecnologías AP se incrementa en un 1%, la probabilidad de adopción se incrementa en un 0,3% y la intensidad se incrementa en un 0,2%.

Este resultado es uno de los más novedosos del estudio dado que sugiere que factores tales como la experiencia de terceros o el acceso a información sobre las prestaciones que reporta la implementación de este tipo de tecnologías inciden positivamente en sus niveles de difusión; en otras palabras, se confirma la existencia de efectos de red, donde la adopción de las tecnologías se acelera a medida que hay más actores cercanos que las utilizan. (Lachman, et. al.: 2022)

5. Limitantes Macroeconómicos en la Adopción de Agricultura de Precisión

Utilizando datos obtenidos del Censo Nacional Agropecuario (CNA) realizado en el 2018, donde se censaron alrededor de 250.000 explotaciones agropecuarias (EAP) en todo el país, se puede obtener datos sobre qué tan avanzado es el grado de adopción de este tipo de tecnologías.

Los datos que arroja el CNA es que de las 249.663 explotaciones encuestadas en todo el país tan solo 9.420 de ellas utilizan algún tipo de tecnología de agricultura de precisión, lo que revela que alrededor de únicamente un 4% a nivel nacional del total de las EAP es adoptante de estas tecnologías, concentrándose en las provincias de Santa Fe, Buenos Aires y Córdoba y encontrándose la mayor intensidad del uso de estas tecnologías principalmente en cultivos extensivos (trigo, soja y maíz).

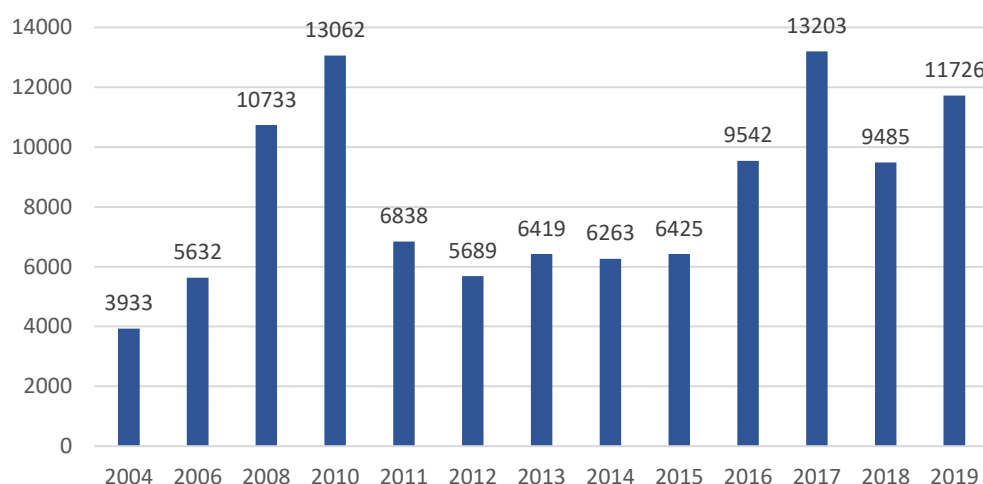
Es con este marco que en el presente apartado el trabajo se enfocara entonces en estudiar cuales son los factores de índole macroeconómicos, que se pueden asociar a algunos de los determinantes que la literatura reconoce como influyentes en la adopción de AP, según el estudio del Departamento de Economía Rural de Marruecos, y que inciden en la adopción de tecnologías de agricultura de precisión, donde como se pudo observar en la sección anterior, su adopción aún se encuentra muy lejos de ser una práctica generalizada para todos los actores del sector.

Para ello se realizará un análisis descriptivo, donde lo que buscara es determinar si existe una relación entre la adopción de equipos de tecnologías de AP y variables de índole “económicas/macroeconómicas” como lo son el precio efectivo cobrado por el productor de soja, el nivel de actividad económica del sector agrícola y por último el porcentaje de financiamiento dirigido hacia el sector agrícola.

Para realizar este análisis se recurrirá a datos recopilados por el INTA sobre el volumen de ventas de equipos de precisión, para el periodo 2004 – 2019, y se lo contrastará con datos sobre los cambios en las variables mencionadas para el mismo periodo.

Se tendrá entonces que para el periodo 2004 – 2019 la evolución de ventas de equipos de AP por año en la Argentina fue la siguiente:

Gráfico 7: Ventas por año de equipos de AP



Fuente: Elaboración propia en base a datos de "Estimación de la evolución en la adopción de componentes de Agricultura de Precisión de cara al inicio de una década de Agricultura digitalizada." (Villarroel, et. al.; 2020)

Por lo tanto, en las siguientes subsecciones se compararan los datos de la evolución de las variables macroeconómicas que se considera pueden influir en los volúmenes de venta de cada año con el objetivo de poder estimar si dichas variables son influyentes o no en la adopción de equipos de AP.

5.1 Precio Cobrado por el Productor

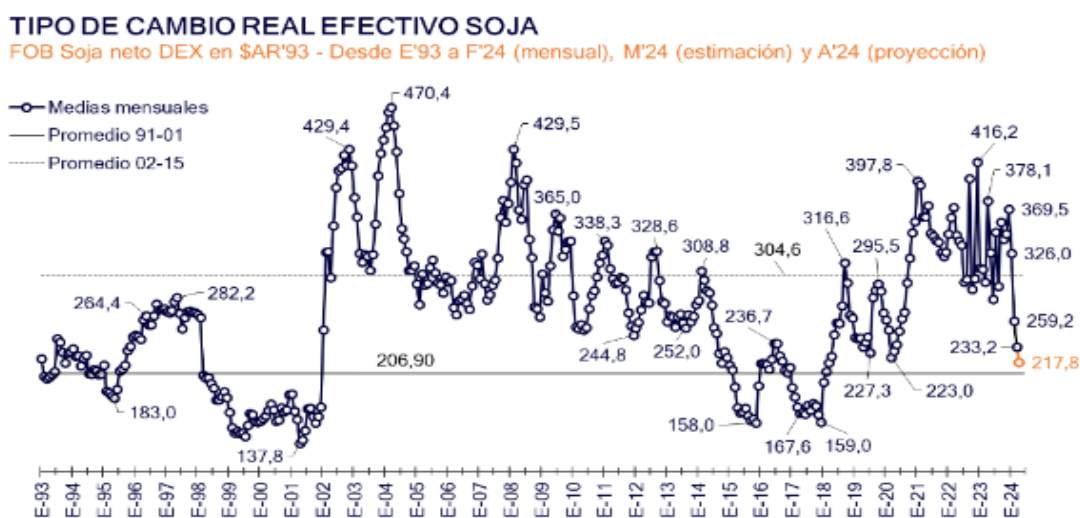
Dentro de los determinantes que identifica la literatura sobre la AP el ingreso aparece como uno de los más importantes. Respecto a ello el trabajo realizado Marruecos afirma:

El costo de adquisición ha estado estrechamente relacionado en la literatura con los ingresos agrícolas y no agrícolas (identificado en 6 ocasiones). Las investigaciones muestran que, cuanto mayores sean los ingresos agrícolas, más probable es que el agricultor adopte nuevas tecnologías. La adopción tiene costos iniciales altos y que los agricultores con mayores

ingresos tienen más probabilidades de adoptarla. Lambert et al. (2015) mostró que un aumento del 10% en los ingresos provenientes de la agricultura estaba asociado con un aumento del 9.2% en las probabilidades de que un productor adoptará estas tecnologías. (Yatribi; 2020)

Es por ello que como indicador macroeconómico asociado a los ingresos agrícolas del productor se ha elegido evaluar las variaciones en el precio efectivamente cobrado por el producto agrícola por la venta de su producto, para ello se utilizarán datos del tipo de cambio real efectivo de la soja. Esto es el precio de la soja internacional, ajustado por el tipo de cambio mayorista, inflación y teniendo en cuenta los derechos de exportación, lo cual arroja los siguientes resultados:

Gráfico 8: Tipo de cambio real efectivo de la soja



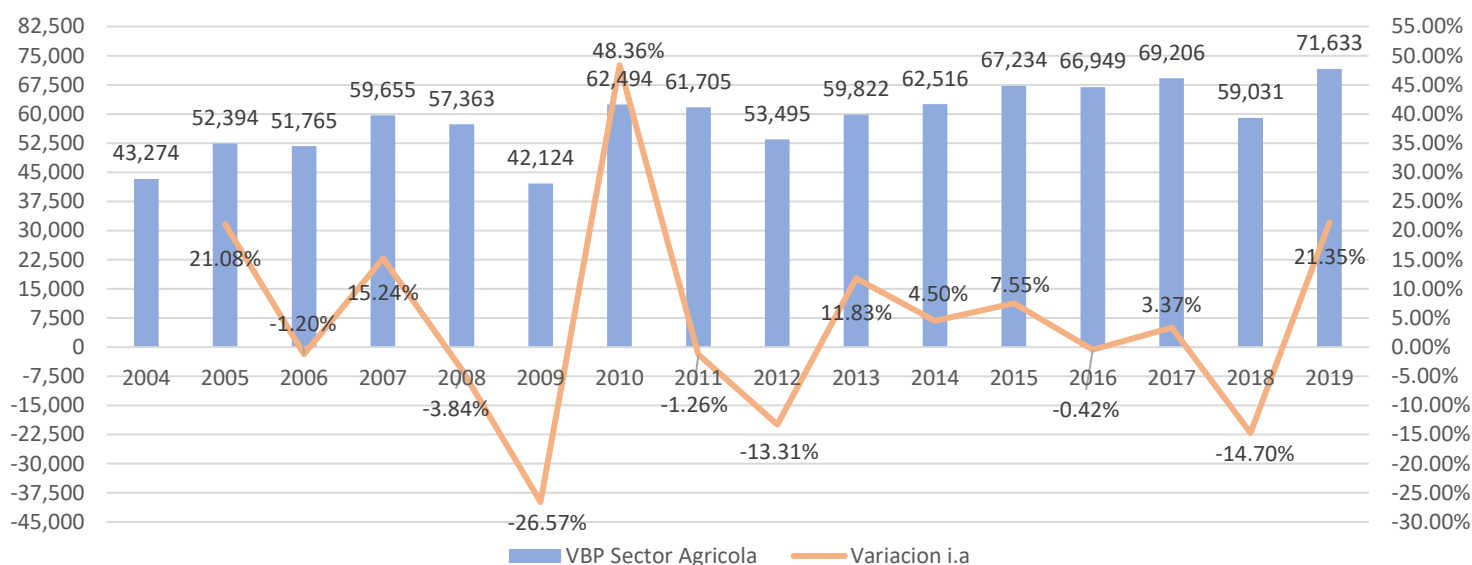
Fuente: Bichos de campo.; 2024

Teniendo en cuenta entonces que los picos de ventas de equipos de AP son en los años 2008-2010 y en los años 2016-2019, y comparando con los picos en los precios del tipo de cambio real efectivo de la soja recibido por el productor se podría descartar esta variable como un factor determinante o al menos la evidencia no muestra datos concluyentes de que dicha variable pueda influir sobre la compra-venta de equipos de precisión. Donde se observa, que si bien para los años 2008-2010 el valor de la soja recibido por el productor se encontró en niveles altos (superiores al promedio 2002-2015), para el periodo 2016-2019 el tipo de cambio real efectivo de la soja se ubicó por niveles muy por debajo del promedio, desestimando así la probabilidad de que este sea un factor decisivo en las ventas de equipos de AP.

5.2 Actividad Económica del Sector Agrícola

Pasando ya a los niveles de actividad económica del sector agrícola se detecta que para este caso tampoco parecería haber una relación directa entre el dinamismo del sector agrícola y los niveles de venta de equipos de AP. Donde tanto para los periodos 2008-2010 como 2017-2019 se observa una fuerte caída (con lo que si una posterior recuperación) de los niveles de producción del sector agrícola. Donde incluso al analizar un periodo de 10 años, de 2008 a 2018, el valor bruto de producción (VBP) del sector agrícola se mantuvo prácticamente estancado, mientras que las ventas de equipos de agricultura de precisión (AP) se mantuvieron estables, con picos de ventas en 2017.

Gráfico 9: Evolución actividad Sector Agrícola



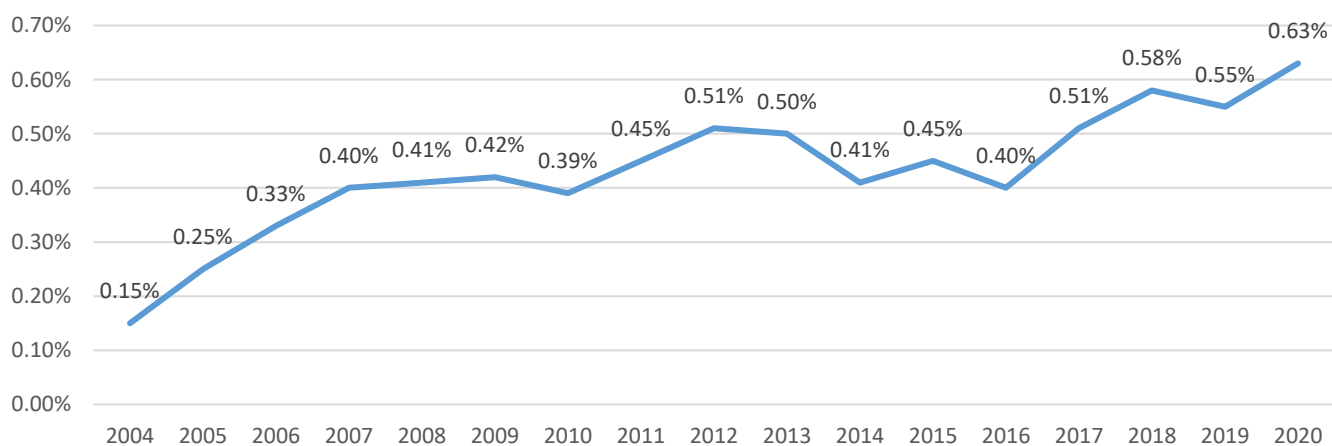
Fuente: Elaboración propia en base a datos del INDEC

Si bien en algunos casos puntuales se da una coincidencia de los máximos de tasa de crecimiento del valor bruto de producción del sector agrícola con años de altos volúmenes de ventas anuales de equipos de AP, como en el año 2010, esto parecería ser un caso aislado, dado que para el resto de los periodos esta relación es inexistente.

5.3 Créditos al Sector Agrícola

Por último, se analizarán los datos de los niveles de préstamos al sector “Cultivos Agrícolas” con relación al PBI. Para este caso se observa una leve correlación entre los periodos de mayor porcentaje de financiación al sector “Cultivos Agrícolas” y el mayor volumen de ventas de equipos de AP. Donde sí se aprecia el gráfico 10 se puede ver como para los periodos 2015-2019, a medida que se fue incrementando el financiamiento hacia el sector agrícola, los volúmenes de venta por año de equipos de AP fueron en aumento.

Gráfico 10: Participación relativa sector “Cultivos Agrícolas” sobre total de préstamos



Fuente: Elaboración propia en base a datos del BCRA.

Los resultados a los que se llega en esta sección cobran mayor sentido si se remite nuevamente al estudio realizado por el Departamento de Economía Rural de Marruecos, donde una de las conclusiones a las que se llega en cuanto a uno de los principales factores de tipo institucionales determinantes en la adopción de tecnologías de AP es la siguiente:

El acceso de los agricultores a los servicios de crédito se identifica como un determinante de la intensidad de la adopción, porque el crédito bancario permite a los agricultores disponer de otros recursos financieros y, por lo tanto, invertir en nuevas tecnologías. Varios estudios (Danso-Abbeam y otros, 2019; Gyata, 2019; Kaarthikeyan y Suresh, 2019) concluyen que el acceso de los agricultores a los servicios de crédito aumenta la adopción de tecnologías. (Yatribi; 2020)

Inclusive un informe realizado por el BID sobre el financiamiento al sector agropecuario en América Latina y el Caribe destaca:

Diversa evidencia empírica señala cómo el acceso a financiamiento (o la restricción del mismo) afecta la disponibilidad de capital de trabajo para la compra de insumos, la adquisición de modelos de gestión y producción, y la adopción de tecnologías y capacidades técnico-productivas, entre otros, que se traducen en una mayor productividad y rentabilidad de las unidades productivas. (Ollaqui, et. al.: 2017)

Por lo tanto, la literatura general sobre agricultura de precisión parece respaldar las conclusiones de esta sección del trabajo, indicando que existe evidencia suficiente para suponer que el nivel de acceso al crédito y la adopción de tecnologías de AP están positivamente relacionados.

6 Comentarios Finales

La finalidad del presente trabajo ha sido la de definir no solo que beneficios trae el nuevo paquete tecnológico de equipos de agricultura de precisión al productor agrícola, sino también precisar cuáles son sus posibilidades de inserción en la Argentina y que factores lo limitan, con la idea de poder tener una mirada a futuro de los posibles caminos que podría transitar el sector si lo que se busca es una verdadera agenda productiva.

A partir de estudios tanto nacionales como extranjeros se tomó dimensión de cual es el impacto que tiene la implementación de tecnologías de AP en cuanto a la reducción de costos y al incremento de los rendimientos de los cultivos. Donde se obtuvieron resultados positivos que permitieron seguir sostener la hipótesis de que la implementación de herramientas de precisión le genera al productor agrícola una reducción de costos, debido a la menor utilización de insumos como lo son los fertilizantes, pesticidas, etc., a la vez que le permite incrementar los rendimientos de los cultivos ya que permite detectar datos sobre la salud de los cultivos y tomar acciones en función a ello.

Se identificaron cuáles son las variables individuales, ambientales y estructurales del propio productor que son relevantes en la probabilidad e intensidad de adopción de equipos de AP. Ciertas variables vinculadas con el productor demostraron no ser influyentes, como la conectividad del establecimiento agrícola, la edad del productor, si posee o no cosechadora u otros bienes de capital y si los operarios cuentan con formación universitaria. Variables como el nivel de educación del empresario tomador de decisiones, el acceso a asesoramiento externo, el tamaño del establecimiento agrícola, el régimen de tenencia de la tierra y la implementación o no de tecnología de AP por parte de los vecinos, demostraron ser influyentes en las decisiones de adopción de equipos de AP.

El análisis descriptivo, observó datos de los volúmenes de ventas por año de equipos de AP para el periodo 2004 – 2019 en relación con datos de variables macroeconómicas ligadas a la Argentina que, se consideraron que podrían ser relevantes en la adopción de equipos de

AP en la economía local como lo son el tipo de cambio real efectivo de la soja, el nivel de producto del sector agrícola y el financiamiento dirigido hacia el sector agrícola.

El tipo de cambio real efectivo de la soja con el volumen anual de ventas de equipos de AP no proporcionaron suficiente evidencia de relación, ya que se observaron comportamientos irregulares y poca coincidencia entre los picos del precio de la soja. En cuanto a la relación entre los volúmenes de ventas y el nivel de actividad del sector agrícola, el análisis arrojó resultados poco concluyentes. Sin embargo, al comparar los niveles de acceso al financiamiento en el sector agrícola con la variación en los volúmenes de ventas, se encontró cierto sustento empírico que sugiere una correlación positiva entre ambas variables, donde se observó que en el periodo 2016 – 2019 en los cuales hubo un sustancial incremento del financiamiento dirigido al sector “cultivos agrícolas” medido en relación al PBI, los volúmenes de ventas de equipos de precisión repuntaron fuertemente, permitiendo así apoyar el planteamiento inicial.

Los resultados obtenidos sugieren que, de cara al futuro, el foco debería estar en generar nuevos canales de acceso al crédito y asesoramiento técnico, que permitan al productor contar tanto con el financiamiento necesario para realizar la inversión, como con la información adecuada sobre las ventajas del uso de estas tecnologías. Tal como se analizó a lo largo del trabajo, la adopción de equipos de agricultura de precisión (AP) por parte de los vecinos del agricultor es un factor clave que influye significativamente en las posibilidades de implementación de estas tecnologías, dando indicios de la existencia de efectos en red en la adopción de equipos de AP. Por lo tanto, el Estado tiene la capacidad de actuar ofreciendo incentivos o financiamiento que faciliten la incorporación de estos equipos y que, al mismo tiempo, fortalezcan dichos efectos en red.

Schimmelpfenning, D.; Ebel, R. (2016) "Adopción secuencial y ahorro de costos de Agricultura de Precisión". Asociación de economía occidental, EEUU.

TecnoSem (2018) "Evolución de la adopción de la agricultura de precisión en Argentina". Recuperado de <https://www.tecnosem.com.ar/2018/12/09/agricultura-de-precision-en-argentina/>

Yatribi, T. (2020) "Factores que afectan la adopción de agricultura de precisión: una revisión sistemática de la literatura". Escuela Nacional de Agricultura, Meknes, Marruecos.