

DOSSIER

Determinantes de la difusión tecnológica en el sector agrícola argentino. El caso de la agricultura de precisión

Determinants of technological diffusion in the agricultural sector in Argentina. The case of precision agriculture

Sebastián Gómez-Roca

Instituto Interdisciplinario de Economía Política, UBA, CONICET

sj.gomezroca@gmail.com

Fecha de recepción: 22/9/2022. Fecha de aceptación: 01/11/2022



URL de la revista: revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/cuyonomics
ISSN 2591-555X

Esta obra es distribuida bajo una Licencia Creative Commons
Atribución No Comercial – Compartir Igual 4.0 Internacional

Resumen

La agricultura de precisión refiere a un paquete tecnológico que permite adaptar la dosificación de insumos a las características cambiantes de los terrenos. Estas innovaciones se comenzaron a utilizar en la Argentina en la década de 1990, y si bien su difusión ha sido creciente aún no se encuentra consolidada. El presente trabajo estudia las variables asociadas a la agricultura de precisión a nivel departamental utilizando modelos fraccionales Probit y Logit. Este adhiere a una extensa literatura pero que se encuentra especializada en otros países. La evidencia más robusta aquí encontrada destaca la relevancia del tamaño de las superficies y el nivel de diversificación en las actividades.

Palabras clave: agricultura de precisión, difusión tecnológica

Abstract

Precision agriculture refers to a technological package that allows the variable rate of inputs according to the changing characteristics of the land. These innovations started being used in Argentina in the 1990s, and although their diffusion has been growing, they are not yet consolidated. This paper studies the variables associated with precision agriculture at a departmental level using Probit and Logit fractional models. It contributes to extensive literature that has been specialized in other countries. The most robust evidence found here highlights the relevance of the size of the land and the level of diversification in the activities.

Keywords: precision agriculture, technological diffusion

Journal of Economic Literature (JEL): C10, O33, O13, Q10

Introducción

Este trabajo estudia los factores asociados a una mayor adopción de tecnologías de agricultura de precisión (AP) a nivel departamental en Argentina. Este suscribe a una extensa literatura sobre los determinantes de la difusión de tecnologías en el sector agrícola que ha utilizado distintas estrategias de identificación.

En este sentido, dos aspectos son motivantes para este trabajo. En primer lugar, la literatura se encuentra desarrollada en otras partes del mundo, de modo que no existe evidencia para confirmar si las conclusiones aplican al caso argentino. En segundo lugar, se discutirá que la innovación bajo estudio tiene particular relevancia, ya que tiene un gran potencial para mejorar la eficiencia en agricultura, a través de un aumento en la productividad y, a su vez, una reducción en el impacto ecológico de las distintas prácticas. Esto hace que resulte vital comprender cuáles son las variables asociadas a una mayor adopción.

Para ello, corresponde describir apropiadamente a la AP. Esta refiere a un grupo de tecnologías que permiten la aplicación variable de distintos insumos en un mismo lote (Ortega et al., 1999). A modo ilustrativo, al detectar las distintas características en cada espacio de un lote puede ser recomendable aplicar con una menor intensidad un plaguicida en una zona del terreno. En este sentido, se logra explotar la variabilidad en el tiempo y el espacio para generar ganancias de eficiencia, lo cual constituye el principal aporte de la AP (Pierce y Nowak, 1999). Gracias a dichas ganancias, la huella ecológica de la producción se ve reducida. En este contexto, la AP representa una gran caja de herramientas, de la que un productor puede optar por seleccionar algunas que le resulten beneficiosas (Lowenberg-DeBoer, 2019).

Las tecnologías comprendidas aquí no se limitan exclusivamente a servicios digitales, como podría ser un servicio brindado a través de una plataforma que utiliza información satelital. A modo ilustrativo, algunas de las tecnologías que en trabajos del INTA (Melchiori et al., 2013; 2018) mostraron una difusión mayor en el plano local son los monitores de rendimiento y de siembra, así como los banderilleros satelitales. Otra tecnología implementada son las computadoras de dosis variable, aunque estas tienen un menor nivel de difusión, tanto local como internacionalmente (Lowenberg-DeBoer y Erickson, 2019).

Por último, cabe destacar que no se trata de un paquete cerrado. Al ser una innovación con aplicación sobre un bien de base biológica, se tiene una dinámica constante. Así, la AP debe adaptarse a nuevos contextos constantemente. Esto es así

porque una herramienta puede perder eficacia con el tiempo, así como en distintos espacios. Por ello, nuevas adaptaciones y perfeccionamientos deben ser incorporados en forma rutinaria.

La agricultura de precisión y su difusión

En conjunto, los factores mencionados previamente han despertado interés por el asunto en distintas partes del mundo. En algunos países, la adopción de estas tecnologías es mayor y es relevante entender qué factores explican esto¹. Asimismo, incluso al interior de estos países, corresponde estudiar las variables que explican las diferencias en la difusión.

Desde el campo de los estudios descriptivos, la falta de información es un obstáculo generalizado. No existe a nivel internacional una base de datos unificada que dé seguimiento en forma armónica. La información disponible se encuentra atomizada y proviene de distintas fuentes (*e. g.*, encuestas de organismos públicos o de empresas con alcances y perfil de encuestados heterogéneos). Esto hace que la comparación entre países y el seguimiento a lo largo del tiempo se vean limitados.

A pesar de estos puntos, Lowenberg-DeBoer y Erickson (2019) destacan algunas tendencias y rasgos generales. Así, los continentes donde la AP se encuentra menos difundida son Asia y África. Por otra parte, destacan el rol avanzado de ciertos países. Argentina y Brasil se encontrarían en la frontera de Sudamérica, y Alemania en la misma posición dentro de Europa. No obstante, el liderazgo mundial se encuentra concentrado en Estados Unidos.

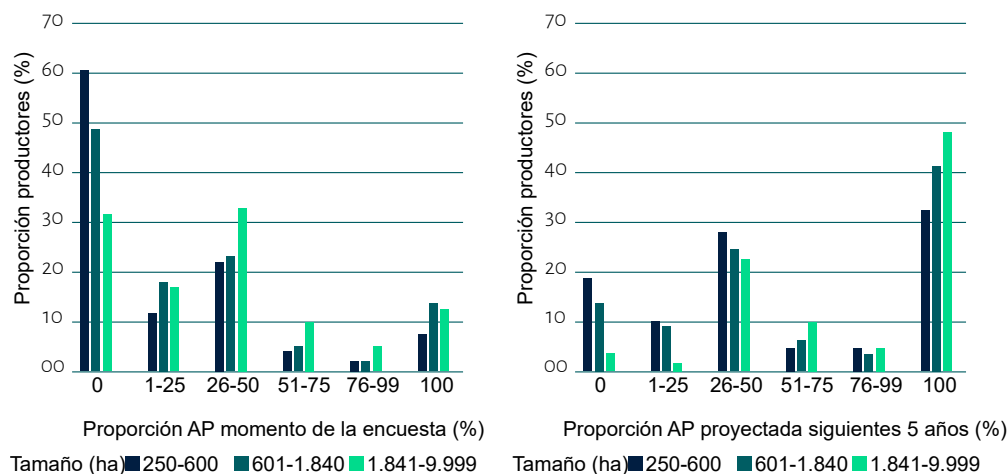
Los autores esbozan distintos argumentos que explican la elevada heterogeneidad. Entre los destacados, se mencionan el nivel adquisitivo de los productores en cada lugar, necesario para hacer frente a ciertas inversiones. Asimismo, son relevantes ciertos aspectos culturales y demográficos (*e. g.*, disponibilidad de mano de obra).

En el caso argentino, los estudios descriptivos son compatibles, aun proviniendo de distintas fuentes como los trabajos de Schiafino (2020) o Lachman y López (2018) o documentos de instituciones como el INTA (ver, por ejemplo, Scaramuzza et al., 2016), la Universidad Austral (Feeney et al., 2010; 2012) y el INDEC (2021). Puntualmente, las encuestas de la Universidad Austral muestran que los productores asignan crecientemente importancia a la AP. Entre las estadísticas que presentan destacan una mayor intensidad en la adopción en productores con terrenos de mayor tamaño. Esto es un fenómeno usual en la literatura para distintas partes del mundo y se vincula con una mayor capacidad de inversión, así como con el mayor aprovechamiento que se puede hacer de la AP cuando el tamaño de la explotación es mayor.

¹ Se destaca que el foco de este trabajo se encuentra en la adopción tecnológica en Argentina. No obstante, para una revisión más profunda sobre las tecnologías o la oferta es útil consultar Wolfert et al. (2017), Lachman y López (2018), Lavarello et al. (2019), Lachman et al. (2021) o Vidosa et al. (2022).

Sin embargo, en dicho estudio resulta particularmente destacable que los productores, independientemente del tamaño, proyectaban incrementar sus niveles de adopción, lo cual se presenta resumidamente en la figura 1. Si bien en los trabajos no se profundiza puntualmente, entre los limitantes a la adopción que destacan los productores se encuentran las restricciones financieras.

Figura 1. Niveles de adopción por tamaño de explotación en el momento de la encuesta (2012) y proyectado

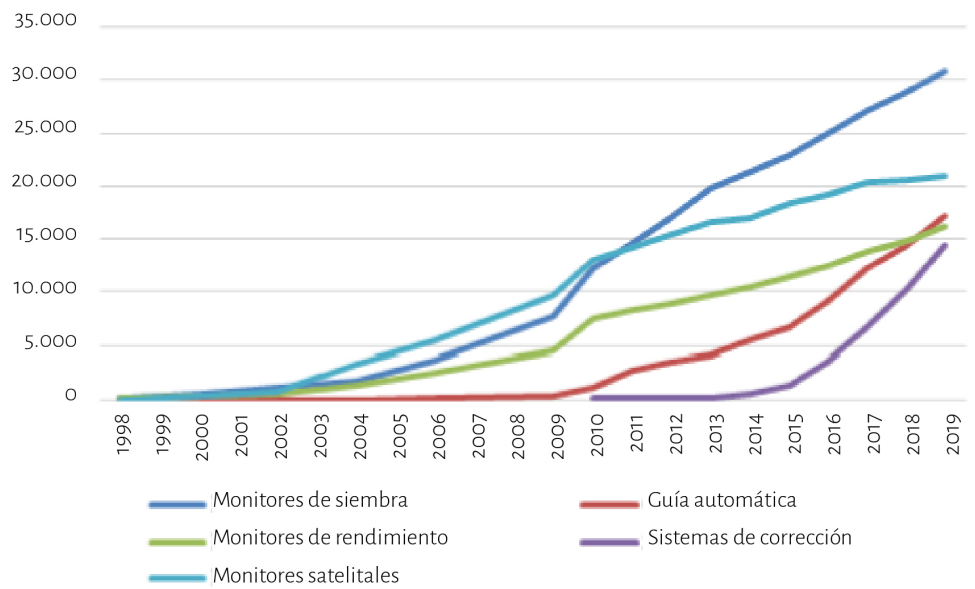


Fuente: elaboración propia con base en Feeney et al. (2012).

Estos datos son compatibles con publicaciones del INTA. En estas, se destaca que ya desde la década de 1990 se encuentra una difusión creciente de la AP. Desde la década del 2000 esta adopta un ritmo de crecimiento mayor. No obstante, en 2015 comenzó una desaceleración debido a restricciones a las importaciones y otros controles de cambios (Scaramuzza et al., 2016)². Aun así, por lo menos hasta 2019 la tendencia en la difusión continuó siendo creciente (Villarroel et al., 2020). Estos autores presentan datos de ventas acumuladas de distintas tecnologías de AP. Abarcan una variedad de tecnologías y se observa que la tendencia creciente es común a prácticamente todas. En la figura 2 se presenta una selección de algunas de las más importantes.

² Con respecto a los controles de cambios, si bien se establecen ya en 2011, en el 2013, asociados a un déficit externo creciente, se endurecen ciertas medidas (Badosa, 2014; Feldman y Fomento, 2019; Chequeado, 2020).

Figura 2. Ventas acumuladas de equipos de AP



Fuente: elaboración propia con base en Scaramuzza et al. (2016) y Villarroel et al. (2020).

No obstante, si bien resulta claro a nivel local que la difusión de estas tecnologías es creciente³, a pesar de enfrentar ciertas limitaciones, existen disparidades importantes. Lachman y López (2018) utilizan datos de Map of Agriculture⁴ y registran que, si bien la proporción de productores adoptantes subió aproximadamente de un 11 % a un 16 % entre 2016 y 2018, la adopción no es uniforme. Los productores de explotaciones de más de 1.000 ha presentan niveles de adopción que, de mínima, duplican los de productores de menores dimensiones.

A nivel regional, las provincias más reconocidas en la literatura por su intensidad en la utilización de tecnologías son Santa Fe, Buenos Aires y Córdoba; las cuales aquí presentan niveles de adopción del 11 %, 15 % y 18 %, respectivamente. No obstante, los autores mencionan que provincias del NOA y NEA presentan una difusión aun mayor de estas tecnologías. En este sentido, destacan los casos de Chaco (22 %) y Salta (36 %).

Por último, también destacan que la intensidad en la adopción es mayor en productores de cultivos extensivos, principalmente en los casos de la soja y el maíz. Esto se vincula con distintos factores. Si bien es cierto que en cultivos extensivos

3 Cabe destacar que esta tendencia no es un aspecto que se observa únicamente en el caso argentino. Ver, por ejemplo, CEMA (2017).

4 Map of Agriculture es una empresa originada en Nueva Zelanda que tuvo posteriormente operaciones en Argentina. El foco de su trabajo es generar información especializada de agricultura y ganadería a partir de encuestas a productores. Esta empresa también facilitó datos utilizados en este trabajo.

existe un mayor margen de variabilidad espacial que puede ser explotado por la AP, también el grado de desarrollo de estas tecnologías para estos cultivos es mayor. Este fenómeno, al igual que varios de los anteriores, no es exclusivo de la Argentina si no que han sido documentados para otras partes del mundo⁵.

No obstante, dado que este trabajo se propone estudiar los determinantes en forma econométrica, el énfasis se encontrará sobre este frente. La problemática de la difusión tecnológica en el sector agrícola ha sido ampliamente estudiada, principalmente en los Estados Unidos. Las estrategias de identificación más difundidas consisten en modelos lineales (Skreli et al., 2011) o no lineales (Banerjee et al., 2008; English et al., 2000; Tey y Brindal, 2012) que buscan explicar la adopción o no adopción de tecnologías (en forma dicotómica) o la intensidad en la adopción.

Dado que dependiendo de cada encuesta la información disponible puede variar considerablemente, la evidencia apunta en múltiples direcciones. Así, Tey y Brindal (2012) destacan que más de treinta factores han sido estudiados en un conjunto de diez trabajos empíricos. Los autores los agrupan en siete categorías, aunque por una cuestión de síntesis y de información disponible, se los presentarán como factores: (1) sociales, (2) agroecológicos, (3) económicos, y (4) tecnológicos.

Dentro del grupo de variables sociales, se destacan la edad, la educación y la experiencia en el sector de los productores. Los factores agroecológicos incluyen la dimensión de la explotación y el tipo de cultivo producido. Entre los económicos, se encuentran el acceso al crédito, la diversidad de actividades (*e. g.*, que el productor también lleve adelante actividades de ganadería) y la propiedad de la explotación. Finalmente, los factores tecnológicos abarcan variables que refieren a la existencia de un umbral tecnológico (*e. g.*, manipulación de computadoras) como aquellas referidas al acceso o disponibilidad de tecnologías. Fuera de estos aspectos, en los estudios también se destaca la relevancia de la localización, ya que puede influir por distintos motivos (*e. g.*, marcos instituciones distintos).

En definitiva, se trata de una literatura heterogénea, donde las muestras provienen de distintas fuentes, que abarcan perfiles de productores muy variados y se pueden focalizar en ciertas herramientas como en paquetes tecnológicos enteros. No obstante, los hallazgos principales tienden a ubicarse en una misma línea. Los resultados de algunos de los trabajos tomados a modo de referencia en la aplicación de este estudio se presentan en forma armonizada en la tabla 1.

⁵ Ver, por ejemplo, Schimmelpfennig para el caso de Estados Unidos.

Tabla 1. Resumen de estudios recientes y principales variables estadísticamente significativas para explicar la adopción de tecnologías

	Banerjee y Martin (2008)	English et al. (2000)	Paudel et al. (2011)	Akudugu et al. (2012)	Banerjee et al. (2008)
Explicada	Algodón genéticamente modificado	AP	AP	Adopción de tecnologías	Adopción de GPS
Explicativas significativas de interés	Especialización	Propiedad vs. Alquiler	Educación	Educación	Rinde
	Localización	Proporción de grandes productores	Superficie	Superficie	Superficie
			Edad		Edad

Fuente: elaboración propia con base en Banerjee y Martin (2008), English et al. (2000), Paudel et al. (2011), Akudugu et al. (2012) y Banerjee et al. (2008).

Como un primer ejemplo, English et al. (2000) estudian en Tennessee modelos de adopción agregada a nivel condado, y encuentran que la presencia de productores con terrenos de gran tamaño y que la mayor presencia de productores dueños de la explotación que trabajan se asocian positivamente con un nivel de adopción tecnológica mayor.

Por otra parte, Banerjee et al. (2008) focalizan su estudio en productores de algodón de Estados Unidos. Encuentran una relación negativa entre adopción tecnológica y edad, mientras que la utilización de computadoras y el tamaño de las explotaciones presentan una asociación positiva. Banerjee y Martin (2008) encuentran resultados similares al estudiar la adopción de variedades de algodón genéticamente modificadas: no registran una asociación entre esta y características de los productores como la educación, la edad y la experiencia. Aquí cabe destacar que el resultado con respecto a la edad difiere del primer trabajo. No obstante, Paudel et al. (2011) estiman un modelo para la adopción de AP de productores de algodón de Estados Unidos y sí encuentran evidencia de la relevancia del perfil etario de los productores.

Por último, se destaca que Akudugu et al. (2012) realizan un ejercicio similar en Ghana, donde la educación y el tamaño de los establecimientos son variables relevantes para explicar la adopción tecnológica. Adicionalmente, no encuentran evidencia de que influya tener una diversificación en las actividades.

A modo de cierre, la AP comprende un paquete tecnológico prometedor para la agricultura. Si bien no se cuenta con información armonizada, se conoce que su difusión en el mundo ha sido creciente y dispar. En particular, en la Argentina la difusión y el interés por parte de los productores ha sido creciente. Los factores que explican la adopción en productores o en regiones son variados y han sido amplia-

mente estudiados, aunque no para el caso argentino, y ese es el foco de este trabajo. En la siguiente sección se profundiza en la metodología para llevar a cabo el estudio.

Metodología

La variable explicada en este trabajo es la intensidad promedio en la aplicación de AP a nivel departamental. En esencia, esto refleja cuál es la proporción promedio de los lotes en los que se aplica AP. A modo ilustrativo, se espera que en general esta proporción sea mayor en explotaciones de mayor superficie. Consecuentemente, la variable dependiente tiene un rango de valores posibles limitado, ya que la adopción media en un departamento no puede ser menor que cero ni mayor a la unidad.

Esto representa un desafío para la metodología a seguir. Un primer tipo de modelo implementable sería una regresión lineal (Friedman, 2012). No obstante, dado el comportamiento de la variable resulta relevante aportar evidencia en base a modelos que no violen la restricción de los valores posibles de la variable dependiente. Por este motivo, se utilizarán modelos fraccionales en dos vertientes, aquí llamadas Logit fraccional y Probit fraccional (Papke y Wooldridge, 1996; Wooldridge, 2002).

Estos modelos conservan similitudes con los modelos Logit y Probit tradicionales, donde la particularidad radica en que la variable dependiente en lugar de ser dicotómica puede ubicarse en cualquier punto del intervalo $[0;1]$. Así como en las versiones más usuales, la magnitud de los coeficientes no tiene una interpretación directa. Por este motivo, también se reportarán los efectos marginales promedio a fines de explorar con mayor precisión la vinculación entre las variables.

Por último, se incluye un ejercicio de robustez en el que se analiza el cambio en los resultados corrigiendo los errores estándar frente a heterocedasticidad. De este modo, se contribuye a la evidencia proveída por las estimaciones anteriores.

Datos utilizados: fuentes y análisis

Si bien no es la única, la encuesta de Map of Agriculture (MoA) es la fuente de información principal utilizada en el estudio. Durante sus operaciones en Argentina la empresa realizaba un cuestionario en forma telefónica a productores locales, lo cual permitía llevar adelante sus operaciones y tener un monitoreo del mercado. Este cuestionario comprendía características propias de los productores, así como aspectos vinculados a la toma de decisiones, entre otros. La base aquí utilizada consiste en encuestas que alcanzaron a 5.895 productores entre febrero de 2017 y agosto de 2018. A nivel complementario, se utilizaron dos fuentes adicionales. Como variables de control adicionales se incorporaron datos del Ente Nacional de Comunicaciones (ENACOM, 2022) y del Censo Nacional Agropecuario 2018 (INDEC, 2022). El resumen de las variables tenidas en cuenta y su fuente se describe en la tabla 2.

En este trabajo será de particular interés estudiar la compatibilidad entre los resultados sobre la vinculación de variables con la adopción en el plano local y lo que sugiere la literatura previa. En este sentido, se espera que la adopción esté asociada a la superficie promedio en forma positiva. En forma secundaria, también se estudia la condición de alquiler y los ingresos por ganadería, que deberían tener una relación negativa para ubicarse en línea con los resultados previos (English et al., 2000). A su vez, siguiendo lo mencionado por Lachman y López (2018), será de interés detectar si el cultivo de variantes extensivas predominantes (soja, maíz y trigo) es una variable relevante para explicar niveles de adopción diferentes.

Tabla 2. Variables incorporadas al estudio

Variable	Nombre en tablas	Fuente	Definición
Adopción de AP	Adopción de AP	MoA	Promedio de utilización de AP por cada productor
Superficie	Superficie	MoA	Tamaño total promedio de las explotaciones de los productores
Alquila	Alquila	MoA	Proporción de productores que alquila (ya sea parcial o totalmente) la superficie explotada
Soja, trigo o maíz	Cultivos	MoA	Proporción de productores que cultiva soja, trigo o maíz
Actividad ganadera	Ganadería	MoA	Proporción de productores que tiene animales de ganado
Productor cooperativo	Cooperativo	MoA	Proporción de productores que pertenecen a un grupo de compra o cooperativa
Experiencia	Experiencia	MoA	Años promedio de experiencia en el sector
Cuadrado de la experiencia	Cuad. Exp.	MoA	Cuadrado de los años promedio de experiencia
Banco	Banco	MoA	Proporción de productores que se encuentra bancarizado
Sistema de control	Computadora	MoA	Proporción de productores que utilizan como sistema para control del campo una alternativa computacional (e. g., Excel)
Conexión	Conexión	ENACOM	Proporción de localidades del departamento que tienen cobertura 3G o 4G
Educación	Educación	INDEC	Proporción de productores con estudios secundarios completos

Fuente: elaboración propia.

Como variables de control se incorporan la proporción de productores cooperativos, ya que a partir de los resultados de la Universidad Austral (2013) esta variable podría ser relevante para explicar diferencias en adopción. A su vez, las restricciones financieras no pueden ser incorporadas, pero a modo de *proxy* se incorpora la pro-

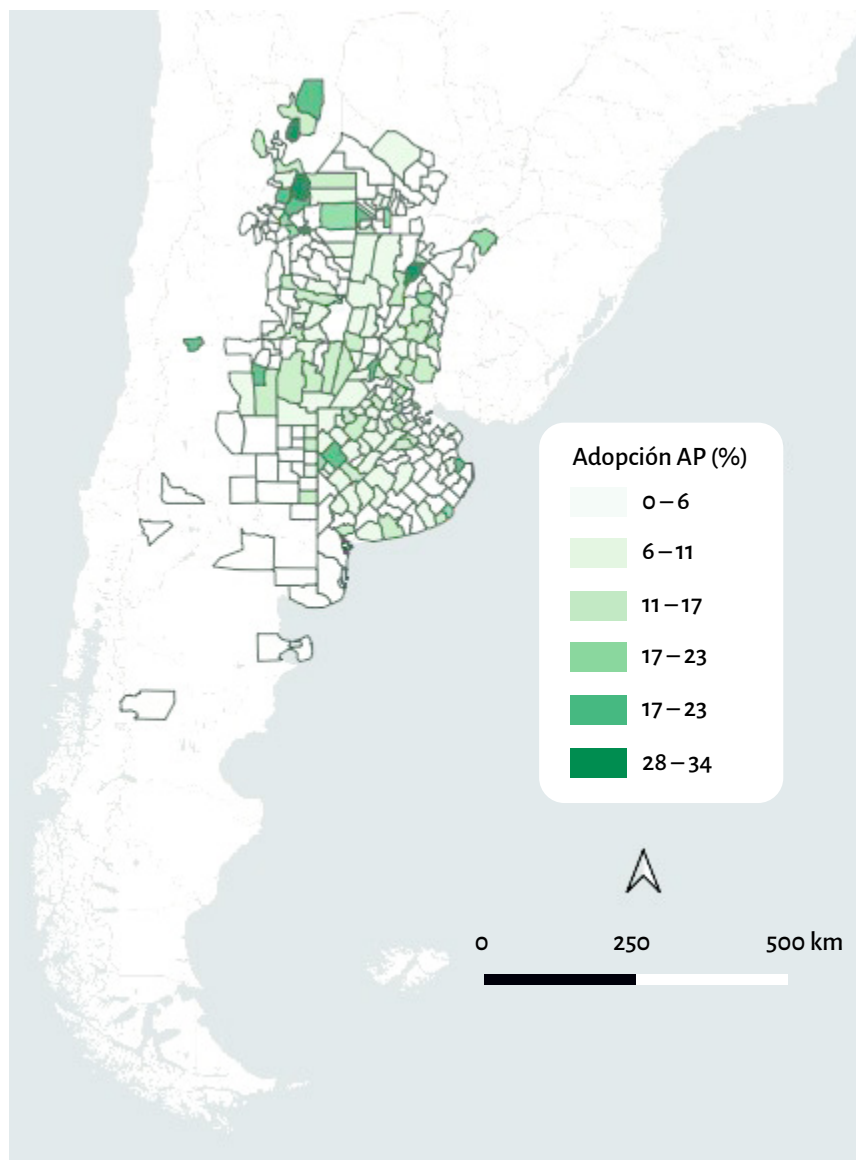
porción de productores bancarizados⁶. El sistema de control es incluido como variable de control dada su utilización en el estudio de Banerjee et al. (2008). Lachman et al. (2021) señalan los problemas de infraestructura en su estudio, entre los cuales se menciona la falta de conectividad a Internet. A partir de la base de ENACOM se incorpora una variable que refleja la conectividad del departamento en general; no obstante, esta variable es una aproximación, ya que no necesariamente refleja el acceso a una conexión puntualmente en la localización de los establecimientos de los productores encuestados. A nivel de capacidad individual se incorporan dos variables adicionales. Siguiendo a Banerjee y Martin (2008) se tendrá en cuenta la experiencia en el sector, y, en línea con literatura ya citada (English et al., 2000; Banerjee et al., 2008; Banerjee y Martin, 2008; Akudugu et al., 2012; Pandit et al., 2012), se intentará controlar por la educación. Dado que esta variable no se encuentra disponible también se utilizará una aproximación. La mejor variable de control encontrada fue la educación de los productores encuestados en el CNA 2018, de modo que en realidad es la educación de productores agropecuarios de otra muestra. El CNA 2018 relevó un número significativamente mayor de establecimientos, de modo que, si bien es el mejor sustituto hallado, no deja de ser una aproximación acotada.

Hay limitaciones que se deben destacar. En primer lugar, problemas potenciales pueden encontrarse en el registro de los datos durante la realización de la encuesta. De este modo, errores de registro pueden llevar a conclusiones erradas. Por otra parte, también pueden encontrarse problemas en la naturaleza de la encuesta, dado que se realizaba por vía telefónica por parte de una institución privada sin alcance nacional. Esto lleva a que la muestra sea limitada y que no se tengan observaciones para varios departamentos, a la vez que podría existir un sesgo de selección (debido al método de contacto). Por otra parte, los datos de conectividad y educación reflejan promedios a nivel departamento, de modo que son aproximaciones, y pueden no ser fielmente representativas para los productores efectivamente observados en la encuesta MoA.

Avanzando hacia un análisis breve de los datos, a nivel regional puede observarse cierta autocorrelación espacial positiva en la adopción de la AP a nivel departamental. Esto se puede observar en la figura 3. Se verifica allí también la presencia de algunas unidades aisladas en términos de contigüidad. Estas fueron removidas del análisis para evitar un potencial problema proveniente de la heterogeneidad espacial, lo que implicó un recorte de un 3,7 % de la base.

⁶ La elección de esta variable como *proxy* se fundamenta en el trabajo de Khera et al. (2021), en el que, en un contexto distinto, se la menciona como una medida de inclusión financiera.

Figura 3. Mapa de adopción de AP en Argentina⁷



Fuente: elaboración propia con base en datos de Map of Agriculture.

Para la detección de *outliers* se procedió a un análisis de *clusters* utilizando un mapa LISA basado en I's de Moran locales (Anselin et al., 1996). Para este ejercicio se utilizó una matriz de contigüidad de tipo reina. Mediante esta herramienta se detectaron cuatro tipos de *clusters*, los *clusters* de tipo alto-bajo y viceversa refieren a casos atípicos. A los fines de este trabajo, los tests se realizaron con un nivel de significancia del 0,1 %. Los resultados de este ejercicio sugirieron la existencia de cuatro *clusters* que refieren a casos atípicos, con nodos en Patiño (Formosa), Santo

⁷ Por cuestiones ilustrativas no se incluye parte de la provincia de Tierra del Fuego.

Tomé (Corrientes), Rosario de Lerma (Salta) y Banda (Santiago del Estero), los cuales fueron removidos de la base de datos. Así, el número de departamentos base finalmente utilizado en los modelos es de 252.

En base a esta última muestra se presentan algunas estadísticas descriptivas. Si bien la unidad observacional consiste de departamentos, corresponde describir a los productores que integran la muestra. De los productores encuestados, un 12,4 % utilizó tecnologías de AP en alguna parte de su explotación. Si bien una proporción no menor de productores aplicaron estas tecnologías en la totalidad de su explotación, no fue el caso general. Consecuentemente, la cobertura promedio de estas tecnologías es de un 8,3 % de la superficie explotada por estos sujetos.

El productor encuestado más pequeño tenía una explotación de 100 ha. Esta variable presenta una distribución asimétrica, lo cual se ve reflejado en que la mediana de la superficie es de 440 ha y la media es de 923 ha. Por otra parte, un 84,4 % de los productores tenían entre sus cultivos alguna variedad de maíz, soja o trigo, y un 57 % realizaba actividades de ganadería.

Entre rasgos más asociados al perfil de los productores, un 59,1 % de ellos alquila por lo menos una porción de la explotación. A su vez, un 26,6 % pertenece a un grupo de compra o cooperativa, y un 94 % se encuentra bancarizado. La experiencia promedio en el sector es de 31 años, lo cual refleja la extensa trayectoria de una parte importante de la muestra. Finalmente, un 43 % usó como sistema para el control del campo alguna alternativa computacional. Sobre este último punto, resulta relevante destacar que un 53 % afirmó que su principal sistema de control era el papel⁸.

A nivel departamental, el comportamiento de estas variables es similar al encontrado a nivel productor. En este sentido, una limitación es la cantidad de observaciones. En promedio se tienen entre 22 y 23 observaciones por departamento; sin embargo, un 27 % de ellos cuenta con tres observaciones o menos. Este aspecto es una limitación que debe señalarse dado que es más probable que la selección de productores de estos departamentos sea poco representativa del comportamiento generalizado allí.

A su vez, en esta agregación se incorporan dos variables adicionales: la conectividad y la educación. En promedio, los departamentos tienen conexión a 3G o 4G en un 73 % de sus localidades; a la vez que un 31 % tiene conectividad en todas las localidades. Con respecto a la educación, el nivel de finalización de secundario promedio es del 48 %. Los departamentos con menores niveles de educación promedio se encuentran en Santiago del Estero, donde la proporción de productores por departamento que terminó el secundario es baja, con un mínimo de 6,6 %. En el otro extremo, los departamentos con mayores niveles de educación son principalmente de Buenos Aires, donde el máximo es de 78,7 %.

8 Una porción de productores declaró no haber utilizado ninguna alternativa de control.

Si bien ya fue mencionado, se destaca que estas últimas dos variables son de distintas fuentes. Así, no se señala la conectividad del establecimiento. Por ejemplo, podría no tenerse conexión en el establecimiento, a pesar de haber cobertura en otras localidades del departamento. Por eso, esta variable se define como el grado de cobertura dentro del departamento, ya que se considera que es la mejor aproximación (a mayor cobertura generalizada, debería ser más probable que la haya donde se encuentran los productores encuestados)⁹. Por otra parte, la educación proviene de una muestra de productores agropecuarios realizada por el INDEC, de modo que esta puede diferir de la educación de los productores observados en la encuesta de MoA. Extendiendo el análisis anterior, en general las variables no están correlacionadas a nivel individual en forma significativa con la adopción a nivel departamental. Esto resulta en línea con lo esperable dada la gran amplitud de factores señalados que determinan las decisiones de adopción. En la tabla 3 se presentan los coeficientes de correlación individual, allí se observa que solo dos variables tienen un coeficiente estadísticamente significativo, utilizando un test de correlación al 1 % de significancia (Bacchini et al., 2018). Así, el cultivo de las variedades más difundidas y la actividad en ganadería, además de tener coeficiente significativo, tienen una correlación con el signo esperado (positivo y negativo, respectivamente).

Tabla 3. Correlación entre variables

Variable	Correlación empírica
Cultivos	0,284***
Cooperativa	0,082
Superficie	0,079
Banco	0,066
Alquila	0,064
Conexión	0,021
Cuad. Exp.	0,019
Computadora	0,011
Educación	-0,029
Experiencia	-0,072
Ganadería	-0,279***

Fuente: elaboración propia.

⁹ Cabe recordar que no se dispone de la ubicación de los productores a nivel localidad, y por eso la aproximación se realiza a nivel departamento.

Resultados

En la tabla 4 puede observarse que los resultados se encuentran en línea con lo que sugiere la literatura. En este sentido, la superficie se encuentra asociada positivamente a la adopción tecnológica, mientras que la mayor presencia de actividades de ganadería se encuentra relacionada en forma negativa. Un punto adicional es que la adopción tecnológica es mayor en departamentos donde una mayor proporción de productores se dedica, aunque sea parcialmente, a cultivos extensivos.

La evidencia sobre la experiencia en este caso es mixta, ya que solo en los modelos fraccionales donde se incluyen más variables de control es significativa, incluso haciendo un test conjunto. Por otra parte, la mayor proporción de productores que alquila aunque sea una parte del terreno donde producen no parece vincularse con una mayor o menor adopción, lo cual puede vincularse con que, si bien la AP permite una producción más sustentable en el tiempo (compatible con los intereses de productores dueños), también puede traducirse en mayores beneficios actuales, más allá de los incentivos hacia el largo plazo.

Tabla 4. Resultados de regresiones principales

	Adopción de AP			
	Logit fraccional		Probit fraccional	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Superficie	0,359***	0,398***	0,176***	0,199***
Alquila	-0,399	-0,439	-0,144	-0,167
Cultivos	0,750**	0,856**	0,344**	0,410**
Ganadería	-1,289***	-1,270***	-0,650***	-0,649***
Experiencia	-0,02	-0,025*	-0,01	-0,013**
Cuad. Exp.	0,00001	0,00001*	0,00001	0,00001**
Computadora		-0,384		-0,215
Cooperativo		0,09		0,054
Banco		0,2		0,073
Educación		-0,833		-0,404
Conexión		0,424		0,23
Observaciones	252	251	252	251
Nota:	* p < 0,1; ** p < 0,05; *** p < 0,01			

Fuente: elaboración propia.

En otra dimensión, la asociación a cooperativas no es relevante, lo cual no resulta obvio dados los estudios presentados por la Universidad Austral. A su vez, la utilización de computadoras, que aproxima la presencia de umbrales tecnológicos,

no se encuentra correlacionada. Esto bien puede deberse a que la utilización de muchas de estas tecnologías es accesible, aunque también puede ser el resultado de una aproximación deficiente. Adicionalmente, la bancarización no se encuentra relacionada con la adopción de tecnologías. No obstante, esto no se considera evidencia suficiente para afirmar que el acceso al crédito no sea una dimensión importante. Por último, las variables *proxy* conexión y educación, incluidas a modo de control y provenientes de otra base, no resultan significativas.

Si contrastamos estos resultados con los obtenidos al utilizar estimaciones robustas de los desvíos se puede observar en la tabla 5 que, en general, las conclusiones apuntan en una misma dirección. Con el fin de mantener la parsimonia en la exposición, el resto de las variables se denotan en la categoría llamada *variables restantes*, indicando según corresponde si fueron incluidas en la estimación. Los resultados con respecto a estas no varían.

Tabla 5. Regresiones utilizando errores robustos

	Adopción de AP			
	Logit fraccional		Probit fraccional	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Superficie	0,359***	0,398***	0,176***	0,199***
Alquila	-0,399	-0,439	-0,144	-0,167
Cultivos	0,75	0,856	0,344	0,41
Ganadería	-1,289***	-1,270***	-0,650***	-0,649***
Experiencia	-0,02	-0,025*	-0,01	-0,013**
Cuad. Exp.	0,00001	0,00001*	0,00001	0,00001**
Variables restantes	No	Sí	No	Sí
Observaciones	252	251	252	251
Nota:	* p < 0,1; ** p < 0,05; *** p < 0,01			

Fuente: elaboración propia.

No obstante, caben dos menciones. En primera instancia, la relación entre la producción de cultivos extensivos y la difusión tecnológica deja de ser significativa. Por otra parte, se encuentra evidencia más sólida que sugiere una vinculación entre la adopción y la experiencia de los productores de los departamentos. Esta relación estimada es convexa, de modo que la mayor adopción se vincula con una menor experiencia (lo cual probablemente es una característica de productores más jóvenes). No obstante, cabe destacar que la estimación del coeficiente que acompaña al cuadrado de la edad es de una magnitud muy baja, de modo que no corresponde afirmar que también en los departamentos donde los productores tienen un perfil de mucha experiencia se espera un mayor nivel de adopción.

El último punto a presentar se encuentra en la tabla 6. En esta se puede observar que los efectos medios estimados por los modelos fraccionales son similares y particularmente estables para las variables estadísticamente significativas y robustas. En este sentido, se puede observar que, si la superficie media en un departamento es un 1 % más alta, la adopción media esperada estimada es aproximadamente un 2 % mayor. Por otra parte, si la proporción de productores que realizan actividades de ganadería es un 1 % mayor, esta se encuentra en torno a un 8 % menor. Esto refleja una estrecha relación entre la especialización en agricultura y la adopción tecnológica.

Tabla 6. Efectos marginales promedio

	Adopción de AP			
	Logit fraccional		Probit fraccional	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Superficie	0,0221***	0,0246***	0,022***	0,0248***
Alquila	-0,0245	-0,027	-0,0179	-0,0208
Cultivos	0,0461**	0,0527**	0,0429**	0,0512**
Ganadería	-0,0793***	-0,0783***	-0,0811***	-0,081***
Experiencia	-0,0013	-0,0016*	-0,0012	-0,0016**
Cuad. Exp.	0	0*	0	0**
Computadora		-0,0237		-0,0268
Cooperativo		0,0055		0,0067
Banco		0,0123		0,0091
Educación		-0,0513		-0,0504
Conexión		0,0261		0,0287
Nota:	* p < 0,1; ** p < 0,05; *** p < 0,01			

Fuente: elaboración propia.

Discusión

La AP representa un avance tecnológico que permite extender el potencial de la agricultura, a la vez que se traduce en prácticas más ecológicas. La evidencia sobre su difusión a nivel mundial no se encuentra armonizada, pero a nivel local las distintas fuentes sugieren que se encuentra una tendencia creciente en la adopción y en el interés por estas tecnologías. No obstante, no parece ser un paquete tecnológico consolidado y utilizado en forma totalmente masiva.

Dada su elevada relevancia, este trabajo se centró en el estudio de los factores que permiten explicar la adopción, analizando cuáles eran las variables más frecuen-

temente asociadas a mayores niveles de adopción a nivel departamental. A grandes rasgos, los resultados se encuentran en línea con lo que sugiere la literatura.

En este sentido, una mayor superficie se asocia a mayores niveles de adopción tecnológica mientras que la presencia de actividades de ganadería tiene una relación negativa. Estos resultados son robustos a distintas especificaciones y métodos de estimación. Adicionalmente, se encuentra una evidencia mixta frente a la relación que hay con el cultivo de soja, maíz o trigo y con los años de experiencia en el sector, donde se presenta evidencia preliminar que sugiere que la adopción se vincula positivamente con estos cultivos y negativamente con la experiencia.

Referencias

- AKUDUGU, M.A., GUO, E., & DADZIE, S.K. (2012). Adoption of Modern Agricultural Production Technologies by Farm Households in Ghana: What Factors Influence their Decisions? *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 2, 0-0.
- ANSELIN, L.; BERA, A. K.; FLORAX, R. y YOON, M. J. (1996). Simple diagnostic tests for spatial dependence. *Regional science and urban economics*, 26(1), 77-104.
- BACCHINI, D.; VÁZQUEZ, L. V.; BIANCO, M. J. y CASPARRI, M. T. (2018). *Introducción a la Probabilidad y a la Estadística*. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires. http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/econ/collection/libros/document/Bacchini_Introduccion-a-la-probabilidad-y-a-la-estadistica-2018
- BANERJEE, S. y MARTIN, S. (2008). A Binary Logit Analysis of Factors Impacting Adoption of Genetically Modified Cotton. *AgBioForum*, 12.
- BANERJEE, S.; MARTIN, S. W.; ROBERTS, R. K.; LARKIN, S. L.; LARSON, J. A.; PAXTON, K. W.; ENGLISH, B. C.; MARRA, M. C. y REEVES, J. M. (2008). A binary logit estimation of factors affecting adoption of GPS guidance systems by cotton producers. *Journal of agricultural and applied economics*, 40(1), 345-355.
- CEMA (2017, febrero 13). *Digital Farming: What does it really mean?* <https://www.cema-agri.org/position-papers/254-digital-farming-what-does-it-really-mean>
- ENACOM (2022). *Conectividad al servicio de Internet. Datos Abiertos ENACOM*. ENACOM. <http://datosabiertos.enacom.gob.ar/dataviews/241175/conectividad-al-servicio-de-internet/>
- ENGLISH, B. C.; ROBERTS, R. K. y LARSON, J. A. (2000). A logit analysis of precision farming technology adoption in Tennessee. Mimeo. Knoxville: *The University of Tennessee Agricultural Experiment Station, Department of Agricultural Economics*, 1-22.
- FEENEY, R.; BERARDI, M.; BERTOSSI, O.; STEIGER, C.; PIAZZARDI, B.; COLOMBO, M. y PREUMAYR, F. (2010). *Encuesta sobre las necesidades del Productor Agropecuario Argentino*. Universidad Austral.
- FEENEY, R.; MACCLAY, P.; PIAZZARDI, B.; STEIGER, C. y MANDRILE, J. (2012). *Encuesta*

- sobre las necesidades del Productor Agropecuario Argentino. Universidad Austral.
- INDEC (2022). INDEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina. <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87>
- INDEC (2021). *Censo Nacional Agropecuario 2018: Resultados definitivos, abril de 2021*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- KHERA, P.; NG, S.; OGAWA, S. y SAHAY, R. (2021). *Measuring Digital Financial Inclusion in Emerging Market and Developing Economies: A New Index*. IMF Working Paper WP/21/90.
- LACHMAN, J. y LÓPEZ, A. (2018). Nuevas oportunidades y desafíos productivos en la Argentina: Resultados de la Primera Encuesta Nacional a Empresas de Agricultura y Ganadería de Precisión. *IIEP-BAIRES, Serie Documentos de Trabajo*, 38.
- LACHMAN, J.; LÓPEZ, A. F.; TINGHITELLA, G. y GÓMEZ ROCA, S. (2021). Las Agtech en Argentina: Desarrollo reciente, situación actual y perspectivas. *IIEP-BAIRES, Serie Documentos de Trabajo*, 57.
- LAVARELLO, P.; BIL, D.; VIDOSA, R. y LANGARD, F. (2019). Reconfiguración del oligopolio mundial y cambio tecnológico frente a la agricultura 4.0: Implicancias para la trayectoria de la maquinaria agrícola en Argentina. *Ciclos en la Historia, la Economía y la Sociedad*, 53.
- LOWENBERG-DEBOER, J. (2019). The economics of precision agriculture. En J. Stafford (Ed.), *Precision agriculture for sustainability* (p. 481-502). Burleigh Dodds Science Publishing. DOI:10.19103/AS.2017.0032.19
- LOWENBERG-DEBOER, J. y ERICKSON, B. (2019). Setting the record straight on precision agriculture adoption. *Agronomy Journal*, 111(4), 1552-1569. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0779>
- MELCHIORI, R. J.; ALBARENQUE, S. M. y KEMERER, A. C. (2013). Uso, adopción y limitaciones de la agricultura de precisión en Argentina. Documento interno del INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_uso_adopcin_y_limitaciones_de_la_agricultura_de_.pdf
- MELCHIORI, R. J.; ALBARENQUE, S. M. y KEMERER, A. C. (2018). Evolución y cambios en la adopción de la agricultura de precisión en Argentina. *17° curso internacional de agricultura y ganadería de precisión*.
- ORTEGA B., R.; PÉREZ C., C.; DÍAZ B., K. y CLARET M., M. (1999) *Agricultura de precisión. Introducción al manejo sitio-específico*. Serie Quilamapu. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/28468>
- PAPKE, L. E. y WOOLDRIDGE, J. M. (1996). Econometric methods for fractional response variables with an application to 401(k) plan participation rates. *Journal of Applied Econometrics*, 11(6), 619-632. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1255\(199611\)11:6<619::AID-JAE418>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1255(199611)11:6<619::AID-JAE418>3.0.CO;2-1)
- PAUDEL, K. P., PANDIT, M., MISHRA, A. K., & SEGARRA, E. (2011). Why Don't Farmers Adopt Precision Farming Technologies in Cotton Production? <https://ideas.repec.org/p/ags/aaea11/104828.html>.

- PIERCE, F. J. y NOWAK, P. (1999). Aspects of precision agriculture. *Advances in agronomy*, 67, 1-85.
- SCARAMUZZA, F.; VÉLEZ, J. y VILLARROEL, D. (2016). Adopción de Agricultura de Precisión en Argentina: Evolución en los principales segmentos. Documento interno del INTA. *Agricultura y Ganadería de precisión y agregado de valor en origen*. INTA.
- SCHIAFFINO, G. N. (2020). Fenómeno técnico y modernización del campo en el área concentrada de Argentina: las empresas de agricultura de precisión. *Estudios Socioterritoriales. Revista De Geografía*, 28, 058. <https://doi.org/10.37838//unicen/est.28-058>
- SCHIMMELPFENNIG, D. (2016). *Farm profits and adoption of precision agriculture*. <https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/80326/err-217.pdf?v=0>
- SKRELI, E.; KOLA, R. y OSMANI, M. (2011). Factors determining collective action in Albanian agriculture: Case of apple producers in Albania. *Albanian Journal of Agricultural Sciences*, 10(3), 35-41.
- TEY, Y. S. y BRINDAL, M. (2012). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: A review for policy implications. *Precision agriculture*, 13(6), 713-730.
- VIDOSA, R.; IGLESIAS, N.; JELINSKI, F.; TAPIA, E. y LAVARELLO, P. (2022). Reestructuración de la industria de maquinaria agrícola mundial: Nuevos estándares frente a la agricultura 4.0. *SaberEs*, 14(1), Art. 1. <https://doi.org/10.35305/s.v14i1.269>
- VILLARROEL, D. D.; SCARAMUZZA, F. M. y MELCHIORI, R. J. (2020). *Estimación de la evolución en la adopción de componentes de Agricultura de Precisión de cara al inicio de una década de Agricultura digitalizada*. INTA. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/9513>
- WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C. y BOGAARDT, M.-J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- WOOLDRIDGE, J. M. (2002). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. MIT Press.