

## DOSSIER

# Determinantes de la adopción de tecnología de riego presurizado. El caso del Valle de Tulum, San Juan

Determinants of the adoption of pressurized irrigation technology. The case of the Tulum Valley, San Juan

**Ana Ayelén Goti-Ayala**

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) | CONICET | Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan, Argentina  
[goti.ayelen@inta.gob.ar](mailto:goti.ayelen@inta.gob.ar)

**Lisandro Roco**

Centro de Economía para el Desarrollo Sostenible (CEDES), Facultad de Economía y Gobierno, Universidad San Sebastián, Valdivia, Chile  
[lisandro.roco@uss.cl](mailto:lisandro.roco@uss.cl)

**Jimena Andrieu**

Estación Experimental Agropecuaria San Juan, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) | Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan, Argentina  
[andrieu.jimena@inta.gob.ar](mailto:andrieu.jimena@inta.gob.ar)

Fecha de recepción: 10/9/2024. Fecha de aceptación: 13/11/2024



URL de la revista: [revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/cuyonomics](https://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 producción agrícola bajo riego en zonas áridas requiere una gestión eficiente en el uso de los recursos para garantizar la sostenibilidad del sistema. Por este motivo, es crucial comprender las decisiones en torno al uso y manejo del agua, la energía, la producción y los sistemas de riego. Este trabajo empírico analiza los factores que influyen en la instalación de sistemas de riego presurizado en el Valle de Tulum, San Juan, Argentina, a partir de una muestra de 106 predios mediante un modelo de regresión probit. Se identificaron que las siguientes variables impactaron de forma significativa y positiva: número de integrantes del hogar, nivel educativo, relación superficie regada sobre la superficie total, seguridad en la tenencia de la tierra, disponibilidad de fuentes de energía renovables y almacenamiento de agua intra finca. El estudio aporta a la comprensión de la adopción de tecnologías en el medio rural y genera orientaciones relevantes para la política agraria.

**Palabras clave:** sistema de riego, adopción de tecnologías, gestión del agua, producción agrícola, modelo probit

## Abstract

Irrigated agricultural production in arid areas requires efficient management in the use of resources to ensure the sustainability of the system. For this reason, it is crucial to understand the decisions around water use and management, energy, production and irrigation systems. This empirical work analyzes the factors that influence the installation of pressurized irrigation systems in the Tulum Valley, San Juan, Argentina, based on a sample of 106 farms using a probit regression model. The following variables were identified as having a significant and positive impact: number of household members, educational level, irrigated area/total area ratio, land tenure security, availability of renewable energy sources and intra-farm water storage. The study contributes to the understanding of the adoption of technologies in rural areas and generates relevant guidelines for agricultural policy.

**Keywords:** irrigation system, adoption of technologies, water management, agricultural production, probit model

**Journal of Economic Literature (JEL):** Q15, Q25

## Introducción

La producción agrícola bajo riego en zonas áridas y semiáridas requiere una gestión eficiente en el uso de los recursos para garantizar la sostenibilidad del sistema socioprodutivo allí instalado. Se prevé a futuro que los usos consuntivos del agua tiendan a aumentar, lo que a su vez incrementará la demanda energética tanto directa como indirecta asociada a este factor productivo (Flores Vichi, 2013).

En los últimos diez años la provincia de San Juan, ubicada al oeste de Argentina, está enfrentando una crisis hídrica debido a una reducción significativa del 30 % de los caudales de los ríos principales que sostienen los oasis de la región (Ministerio de Obras y Servicios Públicos, 2023). A este contexto se le suman problemas derivados del cambio climático, de la prevalencia de la inseguridad alimentaria, las barreras del desarrollo económico, el crecimiento demográfico y el aumento de la demanda de alimentos (Kakkavou et al., 2024).

Bajo este contexto se elige el Valle de Tulum como área de estudio, el cual abarca 13 municipios de la provincia y concentra el 80 % de la población y de las actividades económicas. Los municipios son: Capital, Rawson, Rivadavia, Santa Lucía, Chimbas, Pocito, Albardón, Angaco, Caucete, 9 de Julio, San Martín, Sarmiento y 25 de Mayo, de los cuales solamente Capital no registra superficie cultivada.

El sector agrícola del valle, según los datos del Censo Nacional Agropecuario (CNA) 2018<sup>1</sup>, el último disponible a nivel nacional, tiene una superficie de explotaciones agropecuarias de 322 668 ha, las cuales han disminuido en un 23,1 % respecto del CNA del 2002. Tiene una superficie implantada de 66 052 ha, donde predominan los frutales, que ocupan el 77 % del área total. Dentro de estos cultivos, la vid es la más representativa, abarca el 68 % de la superficie frutícola, seguida por el olivo con un 26 %.

Del total de la superficie disponible para cultivo solo el 15 % está bajo algún sistema de riego: el 52 % tiene riego tradicional por superficie, es decir, riego gravitacional, por inundación o surco con una leve inclinación o nivelado a “cero”, y el 42 % tiene riego presurizado, ya sea por aspersión, goteo o microaspersión (Liotta et al., 2010; Demin, 2014; Sosa, 2023).

En la provincia de San Juan la administración en la gobernanza del agua está a cargo de dos organismos dependientes del Poder Ejecutivo, ambos con distintos

<sup>1</sup> Disponible en <https://consultascna2018.indec.gob.ar/>

grados de autonomía, y de la participación del sector privado, a través de los usuarios, en las comisiones de canal y en las juntas departamentales por medio de sus consejeros, que son parte del directorio del Departamento de Hidráulica (Ministerio de Obras y Servicios Públicos, 2023), el cual depende actualmente de la Secretaría de Recursos Hídricos y Energía Renovable, en el marco del Ministerio de Infraestructura, Agua y Energía.

El valle obtiene el agua para riego de dos fuentes principales. Una es a través del Río San Juan que alimenta la red de riego formada por canales matrices, principales, secundarios, terciarios y ramos comuneros. La mayoría de estos canales se encuentran impermeabilizados y su administración y conservación depende del Departamento de Hidráulica (DH) y de las Juntas de Riego Departamentales (JRD). La distribución del agua a cada departamento se establece por medio de turnos de riego dados por las JRD. Cada dotación de agua se entrega por medio de uno o más canales que derivan del canal matriz a través de compartos y tomas. Cuando el agua se encuentra en los canales terciarios se deriva, a través de compuertas regulables, a los ramos comuneros o acequias, estas últimas por lo general son de tierra, y luego abastecen de agua a las propiedades con derecho a riego (Gobierno de la Provincia de San Juan, 2021). Además, los caudales de los canales se refuerzan por el encauzamiento de torrentes estacionales, con agua subterránea proveniente de la batería de pozos oficiales que se encuentran en Zonda, Santa Lucía, 9 de Julio, Angaco, San Martín, Médano de Oro y Pocito, y de la recuperación de los drenajes (Miranda, 2015). La segunda fuente de obtención de agua es de los acuíferos subterráneos a través de pozos privados o comuneros. Según un informe del Instituto Nacional del Agua - Subgerencia Centro Regional de Aguas Subterráneas (INA-CRAS), los acuíferos en el periodo 2021-2022 han registrado uno de los volúmenes más bajos, lo que genera problemáticas a la hora de extraer agua. La mayor profundidad del agua subterránea genera incrementos en los costos de los productores dado que necesitan aumentar el consumo energético para extraer el recurso. Esto provoca mayores costos de mantenimiento y se enfrentan a su vez con un aumento de la salinidad del agua, lo que genera bajas en la rentabilidad de la actividad e ineficiencias en el uso del agua (Flores Vichi, 2013; Ministerio de Obras y Servicios Públicos, 2023).

La agricultura es altamente dependiente del agua ya que utiliza alrededor del 70 % del recurso disponible a nivel mundial (Banco Mundial, 2024), lo que implica una vinculación directa entre rendimientos económicos de la explotación agrícola y formas de riego. Dado este proceso, se ha avanzado en la generación de tecnologías aplicadas al manejo de recursos hídricos, desde la recolección, el almacenamiento y la distribución del agua tanto afuera como adentro de las fincas (Alcón, Arcas, De Miguel y Fernández Zamudio, 2009). Por lo tanto, la gestión del recurso hídrico en zonas con características áridas es un desafío, ya que de esto dependen los rendimientos del sector y, por consiguiente, la seguridad alimentaria (Pérez Blanco et al., 2020).

Por este motivo, es crucial comprender las decisiones dentro de las fincas en relación con el uso y el manejo del agua, la energía, la producción de cultivos y los sistemas de riego utilizados. Esto permite evaluar los factores que influyen en la incorporación de mejoras tecnológicas con el fin de ayudar a la gestión del agua dentro de la matriz de producción primaria del Valle de Tulum, San Juan, Argentina (Pérez Blanco et al., 2020; Pronti et al., 2024).

El propósito del estudio es analizar los factores que influyen en la adopción de tecnologías de riego presurizado en Unidades Productivas Agrícolas (UPA) del Valle de Tulum. Este análisis busca comprender la manera en que toman decisiones sobre la implementación de sistemas de riego tecnificados, como una respuesta a la creciente escasez de agua en la región. La investigación no solo explora las dinámicas dentro de las fincas en relación con la gestión del agua y la energía, sino que también contribuye al debate sobre la sostenibilidad del sistema agroalimentario en contextos de crisis hídrica. Este tipo de estudios sirve para pensar los limitantes y los desafíos que tienen las políticas públicas con el fin de fomentar la innovación agrícola y promover un uso más eficiente de los recursos naturales, contribuyendo al desarrollo sostenible en zonas áridas.

Como hipótesis se consideran las siguientes:

- ▶ la crisis hídrica de la provincia impulsa a los productores a implementar tecnologías de riego dentro de las fincas para mejorar la eficiencia en el uso del agua y adaptarse a las condiciones climáticas adversas, y
- ▶ la adopción de tecnologías de riego está positivamente relacionada con el nivel educativo de los productores, la cantidad de capacitaciones realizadas, la seguridad en la tenencia de la tierra, el tamaño del hogar, la superficie regada, el acceso a agua de pozo, la ubicación en zonas rurales, la disponibilidad de fuentes de energía renovables y la capacidad de almacenamiento de agua dentro de la finca.

## Revisión de literatura

### Fundamentos económicos de la adopción de tecnología

En la toma de decisiones sobre la adopción de nuevas tecnologías agrícolas las teorías económicas han presentado diversas hipótesis que explican los motivos detrás de estas elecciones (Ruzzante, Labarta y Bilton, 2021; Dissanayake et al., 2022). Diversas razones conducen a los agricultores a no adoptar una tecnología, por lo que el desafío es identificar cuáles son los determinantes que predominan en su decisión.

La implementación o no de tecnologías en la agricultura es un proceso complejo y dinámico que en la literatura se enmarca en el enfoque de la maximización de la

utilidad esperada respecto de las características individuales de los agricultores y sus respectivas decisiones de adopción (Pronti, Auci y Berbel, 2024). Este enfoque supone que las UPA actúan bajo un comportamiento de elección racional, seleccionando la alternativa más beneficiosa para ellos. Según Gareth y Sunding (1997) esta elección se vincula con la rentabilidad percibida de la producción agrícola, denominada  $\pi_i$ , la cual se determina en base a los factores particulares de cada productor.

$$\pi_{1i}(X) - \pi_{0i}(X) > 0 \quad [1]$$

Donde:

$\pi_{1i}$ : rentabilidad bajo riego presurizado, y

$\pi_{0i}$ : rentabilidad bajo riego por gravedad.

Por lo tanto, se supone que los productores maximizan su utilidad esperada seleccionando la tecnología que les genere mayor ganancia esperada:

$$\pi_i(X) = F_i(X) + \varepsilon \quad [2]$$

Donde:

$F_i(X)$ : función no estocástica de las características del productor, y

$\varepsilon$ : factores no observados.

Para estimar la probabilidad de adoptar una tecnología de riego en la finca, se emplean modelos de elección discreta, como el modelo probit de respuesta binaria. En este modelo hay más probabilidad de incluir la tecnología si su utilidad subjetiva de adquirirla ( $U_{1i}$ ) es mayor a la utilidad percibida de no adoptarla ( $U_{0i}$ ).

Se pueden encontrar varios estudios que analizan las preferencias individuales en el marco de la maximización de la utilidad, permitiendo identificar los diferentes factores que aparecen a la hora de adoptar una tecnología, y modelar la decisión del productor (Gareth y Sunding, 1997; Roco Fuentes, Engler Palma y Jara-Rojas, 2012; Pokhrel, Paudel y Segarra, 2018).

## Antecedentes sobre la adopción de tecnología en el sector agrícola

Investigaciones previas han estudiado el comportamiento de los productores ante diferentes determinantes socioeconómicos, culturales, de conocimiento, expectativas, productivos, de relación con otros actores sociales e institucionales y de infraestructura que pueden influir en las decisiones de adopción. En dichas investigaciones se utilizan modelos para entender los comportamientos (Lachman, Gómez Roca y López, 2022; Pronti, Auci y Berbel, 2024). Además, se pueden considerar variables exógenas a la producción individual, como el rol de las instituciones, el clima, la información disponible y las condiciones locales (Pronti et al., 2024). La vincu-

lación entre la decisión de adoptar y las diferentes variables de estudio pueden tener correlaciones positivas o negativas, ya que depende de las realidades territoriales (Jara Rojas, Bravo Ureta y Díaz, 2012).

Dentro de la literatura empírica se pueden encontrar trabajos con métodos econométricos que hacen foco en: a) características de la producción, como las variables sociodemográficas, legales o culturales, el tipo de cultivos, la estructura de la finca o los rendimientos esperados (Shrestha y Gopalakrishnan, 1993; Pokhrel, Paudel y Segarra, 2018; Wheeler et al., 2020); b) características de los recursos hídricos, como las fuentes de agua, la superficie regada o el valor del agua (Huang, Xu, Kovacs y West, 2014; Cremades, Wang y Morris, 2015; Olen, Wu y Langpap, 2015; Quintana Ashwell, Gholson, Krutz, Henry y Cooke, 2020), o c) características en torno al conocimiento y la experiencia de los productores, como la edad, los años de estudio, las capacitaciones, el tiempo de trabajo en el rubro, los ingresos dentro y fuera de la finca, el acceso a la información o las expectativas (Flores Vichi, 2013; Salazar, 2016; Taylor y Zilberman, 2017; Yuan, Yang y Shuhong, 2021). Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar múltiples factores para promover la adopción de tecnologías de riego eficientes, que maximicen la utilidad, y abordar los desafíos de la escasez de agua.

El proceso de decidir si se incorpora una innovación tecnológica dentro de las explotaciones agrícolas implica la interacción de múltiples factores. No solo depende de la disponibilidad y la viabilidad económica de la tecnología, sino que también se ponen en juego las características particulares de las UPA vistas anteriormente (Belaidi, Chehat y Benmehaia, 2022). La agricultura de precisión surge como una práctica innovadora que utiliza tecnologías para optimizar la gestión de recursos y aumentar la productividad. Estas tecnologías mejoran la eficiencia productiva, reducen costos y minimizan el impacto ambiental, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la seguridad alimentaria (Marote, 2010; Guzmán Albores et al., 2024).

De acuerdo con trabajos previos, en el área de estudio el sistema de riego más utilizado es el riego por goteo (Miranda y Medina, 2005; Olguín Pringles, 2016). Dicho sistema se destaca por la baja entrega de agua de manera frecuente en la zona de las raíces de la planta, de manera que se mantiene la humedad en el suelo y se reduce el estrés hídrico en los cultivos. Lo anterior se traduce en un ahorro de agua debido a menores pérdidas de evaporación y de infiltración en la conducción y distribución del agua en la finca. Otras ventajas que tiene este tipo de sistema de riego son la disminución de la percolación, la reducción de costos (por fertirriego y menores actividades de labranza), la posibilidad de aprovechar terrenos productivos en condiciones marginales y la reducción de costos de mano de obra para actividades de extracción riego (Demin, 2014; Olguín Pringles, 2016; Sosa, 2023; Pronti et al., 2024).

A pesar de las ventajas planteadas anteriormente, el 52 % de la superficie regada en la provincia de San Juan tiene algún sistema de riego tradicional (CNA, 2018).



Estos presentan inconvenientes tales como: uso de una gran cantidad de agua; requerir suelos nivelados de manera adecuada, pérdida de agua por infiltración y pérdida de agua en la distribución (Demin, 2014). Esto representa un desafío para estudiar las decisiones que toman las UPA dentro de las fincas en cuanto a tecnificar prácticas de riego.

En paralelo a esta situación, la provincia se encuentra en un proceso de transición energética a través de políticas públicas que fomentan emprendimientos de energías renovables, particularmente con tecnología solar-fotovoltaica (Kazimierski y Samper, 2021). Además, se están implementando otro tipo de políticas destinadas a promover la adopción de riego tecnificado, la impermeabilización de reservorios y/o la re-perforación de pozos de agua como estrategia para enfrentar la crisis hídrica de la provincia (Ministerio de Producción Trabajo e Innovación, 2023). Estas medidas gubernamentales se presentan como opciones de adaptación ante los cambios climáticos que afectan al Valle (Cunha et al., 2013).

De este modo, el presente artículo tiene por objetivo identificar cuáles son los factores que influyen en la decisión de instalar un sistema de riego presurizado dentro de las fincas en el Valle de Tulum como estrategia para hacer frente a las problemáticas derivadas de la escasez hídrica (Pérez Blanco et al., 2020; Pronti et al., 2024). El objetivo está alineado con la innovación en los sistemas productivos primarios y la sostenibilidad del sistema agroalimentario. Considerando el contexto provincial de escasez de agua, esta situación genera tensiones en la seguridad alimentaria y energética, particularmente en el sector agrícola, dada la baja productividad y afecta al desarrollo sostenible (Kakkavou et al., 2024).

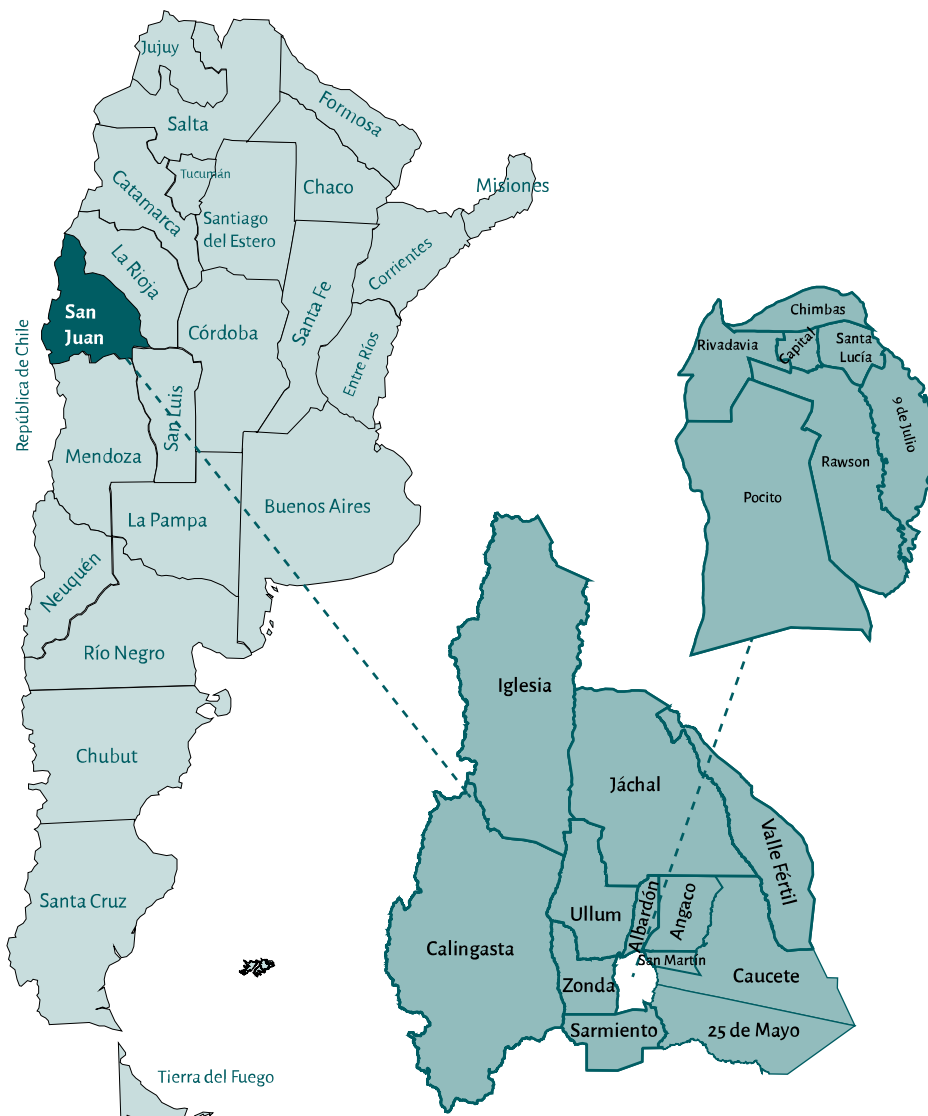
Existe una tensión entre el agua, la energía y la producción agrícola (Segovia Hernández et al., 2023), por lo que es menester entender cómo se dan los procesos de adaptación en las UPA para pensar las limitaciones y los desafíos que tiene la provincia en la promoción de un desarrollo agrícola resiliente, en la modernización, en la innovación de los sistemas productivos y en la sostenibilidad del sistema agroalimentario en contexto de crisis hídrica. Investigaciones previas, como las de Pérez Blanco et al. (2020), así como Kakkavou et al. (2024) en Grecia, han explorado cuestiones similares relacionadas con la eficiencia del uso del agua en la agricultura y la relación entre recursos hídricos, energía y producción agrícola. Es importante considerar que la implementación de tecnologías más eficientes, como sistemas de riego presurizado o fuentes energéticas renovables, puede dar lugar a la paradoja de Jevons. Esta teoría plantea que las mejoras en la eficiencia de uso del agua y la energía pueden generar aumentos en el consumo de estos recursos debido a la disminución de los costos y a una mayor disponibilidad (Ruiz et al., 2015).



## Metodología

### Área de estudio

Figura 1. Mapa de la provincia de San Juan



Fuente: Atlas Socioeconómico de San Juan (2024)<sup>2</sup> y Dirección de Geodesia y Catastro (2024)<sup>3</sup>

El área de estudio es el Valle de Tulum, ubicado en el centro sur de la provincia de San Juan, en el centro oeste de la República Argentina (31°39'34" S, 68°25'23" O). La provincia se encuentra en la zona árida del país, en donde las precipitaciones oscilan alred-

<sup>2</sup> <http://www.atlas.unsj.edu.ar/>

<sup>3</sup> Consulta de Catastro Provincial: <https://catastro.sanjuan.gob.ar/>

edor de los 100 mm anuales (Universidad Nacional de San Juan, 2024). Se caracteriza por tener un relieve montañoso con escasa vegetación, zonas de oasis que se dan por el curso de los ríos por deshielo cordillerano. Este contexto ha generado asentamientos de poblaciones de manera localizada en los diferentes oasis bajo sistemas de riego con distintas altitudes y características propias (figura 1). El Valle de Tulum es el más grande de los oasis que tiene la provincia, dada la disponibilidad de suelo y agua, y forma una unidad económica con los Valles de Ullum y Zonda, los cuales se riegan a través de agua proveniente de la cuenca del río San Juan almacenada en la presa Quebrada de Ullum, obra cabecera del sistema de riego del Valle de Tulum.

### Encuesta y muestreo

Durante el periodo 2022-2023 se realizó una encuesta a UPA ubicadas en el Valle de Tulum, San Juan, Argentina, enfocada en el desarrollo y la producción agrícola. En este trabajo se presentará el análisis de los datos relacionados con cinco apartados de dicho instrumento, en donde se captura información sobre el terreno, los sistemas de producción, el agua, los sistemas de riego y la energía.

Tabla 1. Observaciones por municipio

Municipios	UPA (CNA 2018)	Observaciones (%)
San Juan	3212	
Albardón	189	8 (8 %)
Angaco	148	6 (6 %)
Capital	0	0 (0 %)
Caucete	333	14 (14 %)
Chimbas	116	6 (5 %)
9 de Julio	123	6 (5 %)
Pocito	299	14 (13 %)
Rawson	279	12 (12 %)
Rivadavia	40	2 (2 %)
San Martín	191	8 (8 %)
Santa Lucía	111	6 (5 %)
Sarmiento	318	14 (13 %)
25 de Mayo	241	10 (10 %)
Valle de Tulum	2388	106 (100 %)

Fuente: *Elaboración propia sobre la base del Censo Nacional Agropecuario 2018.*

La muestra se realizó de manera aleatoria en doce municipios de los trece que conforman el Valle del Tulum, en donde hay terrenos para la producción agrícola,

teniendo en cuenta la información brindada por el CNA 2018. El municipio de Capital no registra explotaciones agropecuarias con superficie implantada.

Teniendo en cuenta la ecuación 3 y asumiendo un valor  $z$  de 1,96 para un nivel de confianza de 95 %, una probabilidad de ocurrencia del evento  $p$  de 0,5 y un error permitido  $d$  igual a 9,3 %, el tamaño de la muestra equivale a  $n = 106$  casos. Dado que se conoce el universo,  $N = 2388$  UPA, el tamaño muestral, ajustado con la ecuación 4, queda finalmente en 106 encuestas.

$$n = \frac{z_{\alpha/2}^2 p (1-p)}{d^2} \quad [3] \qquad n' = \frac{n}{1 + \frac{n}{N}} \quad [4]$$

En el estudio se recopiló información de 106 encuestas, lo que corresponde a un 4,4 % del universo, a través de 79 productores (tabla 1), y se advierte que algunos de ellos gestionan más de una finca. Esta característica presenta una dinámica compleja en la toma de decisiones sobre la adopción de tecnologías de riego. Moreira et al. (2011) destacan que la eficiencia técnica y la adopción de innovaciones agrícolas, como pueden ser los sistemas de riego presurizado, pueden estar influenciadas por diferentes factores, entre ellos la localización de las fincas, los recursos disponibles, las condiciones de suelo y el contexto territorial. Por este motivo es posible considerar a cada finca como una UPA independiente, dado que los rendimientos y la productividad pueden variar incluso bajo la misma administración. Las encuestas se realizaron a través de un formulario estructurado en donde respondieron productores dueños de la producción, responsables de la finca y familiares del productor a cargo.

## Descripción del modelo

Al analizar qué factores impactan en la decisión de instalar sistemas de riego tecnificado en las fincas, las UPA tienen la opción de adquirir estas tecnologías o no hacerlo. Por este motivo, se realizará un análisis econométrico con los datos obtenidos a través de la encuesta realizada, en donde se toma como variable dependiente “Tener riego presurizado”, con un modelo probit. Por este motivo, permite explicar las teorías de adopción y propagación de tecnologías (Flores Vichi, 2013; Salazar, 2016; Pokhrel, Paudel y Segarra, 2018; Quintana Ashwell et al., 2020).

En la revisión bibliográfica se encontraron estudios que emplean este modelo para analizar la adopción de diversas tecnologías en sectores agrícolas, incluyendo distintas estrategias de adaptación del sector frente a problemáticas ambientales y económicas (Roco Fuentes et al., 2012; Flores Vichi, 2013; Gavidia, 2015; Torres Moreno et al., 2023). Para el modelo la variable dependiente tendrá el valor 1 ( $Y = 1$ ) si la UPA tiene en la finca un sistema de riego presurizado y el valor 0 ( $Y = 0$ ) si no tiene sistema de riego presurizado.

El modelo probit de respuesta binaria se utiliza para estimar la probabilidad de adopción de la tecnología de riego en la finca. El modelo se presenta de la siguiente manera (Gujarati, 1995):  $P_i = P(Y=i) = F[\text{parámetros asociados a variable } X_t]$

Donde  $i=1$  si ocurre el suceso  $i$  e  $i=0$  si no ocurre el suceso  $i$ , en este caso, la adopción de riego presurizado en la finca.

En particular, se establece la definición de la ecuación de regresión a utilizar, la cual incorpora una variable binaria como variable dependiente:

$$P_i = \Pr(Y=1) = \Pr(U_{i1} \geq U_{i0}) = F(I_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\beta X_i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad [5]$$

Donde:

$P_i$ : probabilidad de adopción de las tecnologías de riego presurizado

$U_{i1}$ : utilidad esperada de adquirir la tecnología de riego

$U_{i0}$ : utilidad esperada de no adquirir la tecnología de riego

$\beta$ : vector de coeficientes a estimar

$X_i$ : conjunto de variables que explican la adopción, con características socioeconómicas, productivas y de infraestructura, y

$t$ : variable normal estandarizada.

El objetivo del modelo es explicar el impacto de la variable independiente  $X_i$  sobre la probabilidad de éxito, es decir, cuando ocurre la decisión de incorporar sistemas de riego presurizado, ya sea por aspersión, goteo o microaspersión, en la finca. Sobre la base de la literatura respecto de los determinantes de la adopción de sistemas de riego presurizado en UPA se han seleccionado doce variables relacionadas con aspectos sociodemográficos, productivos y de infraestructura (Roco Fuentes et al., 2012; Flores Vichi, 2013; Pérez Blanco et al., 2020; Torres Moreno et al., 2023). En esta investigación, no se han incluido variables económicas por falta de información en las encuestas, lo que representa un área de vacancia para futuros estudios. Se clasifica a las variables con relación a la adopción de tecnologías de riego presurizado de acuerdo con lo planteado por Pronti et al. (2024):

- *Características organizativas de la finca.* En esta clase están las variables sociodemográficas y legales, el tipo de cultivos, los valores, la cultura y la estructura de la finca. En el modelo se trabaja con:
  - Número de personas que viven en el hogar del encuestado;
  - Seguridad en la tenencia de la tierra, variable en la que se distingue productores dueños de la titularidad y aquellos que tienen derecho de uso, pero no de transferencia;
  - Almacenamiento del agua;
  - Superficie total de la finca relevada;

- Proporción de la superficie regada respecto de la superficie total;
- Cantidad de cultivos, y
- Zonificación de la finca: se categorizan las ubicaciones de las fincas según zona rural o zona periurbana con base en el trabajo realizado por Blanco Ávila et al. (2021).
- 
- *Características personales del productor.* En esta clase están las variables vinculadas al conocimiento, la formación, las habilidades, las competencias, el género, la edad, la experiencia, los ingresos, la clase social, las actividades externas, las expectativas en los beneficios y los riesgos. En esta categoría se utiliza:
  - Edad del encuestado.
  - Años de educación formal terminados. Esta variable se realiza sobre la base de una pregunta que originalmente era categórica y se la valoriza de acuerdo con el sistema educativo de Argentina. Los valores que toma son 0 si no tiene estudios formales terminados, 6 si tiene la primaria completa, 12 si ha finalizado la secundaria, 15 si terminó alguna formación superior corta, como tecnicatura, 17 si ha finalizado el ciclo universitario o superior y 22 si tiene completo algún título de posgrado. Este cambio ayuda a estimar mejor el modelo y a interpretar los resultados (Quintana Ashwell et al., 2020).
  - Cantidad de capacitaciones relacionadas con el sector. Estas incluyen cursos, capacitaciones y talleres, entre otros, relacionados con sistemas de riego, uso y gestión del agua dentro de la finca, fuentes energéticas renovables, buenas prácticas agrícolas o administración.
  -
- *Características geográficas y climáticas.* Para esta clase utilizaremos las siguientes variables:
  - Obtención del agua: para esta variable se indaga si la finca tiene pozo. En Valle de Tulum hay dos maneras de obtener agua para riego, a través del turno de riego y de pozos, tanto privados como comuneros. Algunos tienen solo una fuente de agua y otros tienen una combinación. La utilización de pozos implica que estén vinculados a sistemas de riego presurizados para hacer un uso más eficiente del recurso (Golmohamadi y Asadi, 2020). En la muestra el 75 % de las fincas tiene pozo, lo que indica que es la fuente principal. En la literatura se puede ver que los productores que tienen agua subterránea son más propensos a incorporar sistemas presurizados (Quintana Ashwell et al., 2020).
  - Tipo de energía: se toma la variable como *dummy* considerando 1 si tiene energías renovables y 0 si tiene otras fuentes de energía convencionales o si no cuenta con energía.

Las variables independientes se describen en la tabla 3, con base en las encuestas realizadas a las UPA. Se comprobó la inexistencia de correlaciones altas entre variables para evitar efectos de multicolinealidad (ver apéndice, tabla 5). Para detectar problemas de multicolinealidad, de manera adicional al análisis de correlación, se aplicó una prueba de factor de inflación de varianza (VIF). Se encontraron valores aceptables para todas las variables del modelo. El valor promedio de VIF es 1,38, lo que indica la no presencia de este problema. Se considera multicolinealidad moderada valores de VIF hasta 5, valores mayores a 5 corresponden a multicolinealidad alta. En el apéndice, tabla 6, se pueden observar los valores de VIF para cada variable.

La estimación del modelo probit se hizo bajo la sintaxis “Probit” del paquete estadístico STATA 10.1 (STATA, 2010). La bondad de ajuste para el modelo probit se determinó a través del índice de cociente de verosimilitudes (IVC), también llamado pseudo  $R^2$  de McFadden.

A priori, se espera que a mayor cantidad de años en la educación formal y de participación en capacitaciones relacionadas con la actividad agrícola aumenten las probabilidades de que el productor adquiera la tecnología de riego. Por otro lado, se espera que a mayor cantidad de miembros que viven en el hogar del encuestado aumente la probabilidad de adoptar sistemas de riego presurizado, aunque la adopción de estas tecnologías no requiere la misma cantidad de mano de obra en todo momento (Roco Fuentes et al., 2012). Por otro lado, la edad puede tener efectos positivos y negativos en la decisión de adoptar tecnologías. Hay estudios en los que la vinculación es positiva (Singh et al., 2015) y otros en los que es negativa (Pokhrel et al., 2018; Belaidi et al., 2022). Para las variables dicotómicas se espera que la opción de ocurrencia del evento genere una mayor probabilidad de que el productor quiera implementar un sistema de riego presurizado. En relación con la superficie regada y la superficie total de la que dispone el productor se espera que a mayor cantidad de hectáreas aumente la probabilidad de adoptar sistemas tecnológicos de riego. Sin embargo, hay estudios que muestran que la superficie total puede tener una relación negativa con la adopción de tecnologías en la agricultura, por lo que el tamaño de la finca sobre la incorporación de sistemas de riego no es concluyente (Zhang et al., 2019). Para el caso del monocultivo, no está claro cuál sería su impacto sobre la adopción de la tecnología (Pronti et al., 2024).

El modelo general de adopción, sobre la base de los datos de la encuesta, se define de la siguiente manera como la ecuación 6:

$$P(TenerRP = 1) = f(Edad; Miembro\_Hogar; Educación; Cuant\_Capacit; SR\_ST; Solo\_Total; Periurbano; Monocultivo; Seg\_Tenencia; Fuente\_Energía; Solo\_Pozo; Almacena\_Agua) \quad [6]$$

La variable dependiente “Tener riego presurizado” (TenerRP) implica que el productor tiene instalados y en funcionamiento sistemas de riego tecnificado (por goteo, aspersión o microaspersión).

## Resultados y discusión

La edad de los encuestados se encuentra entre los 29 y los 81 años, la edad promedio es de 50 años; la cantidad media de los miembros del hogar ronda los tres integrantes, variando entre uno a siete personas; en cuanto a la educación, casi el 47 % de los encuestados ha terminado el nivel secundario, con un promedio de 13,7 años; la cantidad de capacitaciones realizadas es de 1,64 en promedio, valor que varía entre cero y siete capacitaciones; en promedio el 66 % de la superficie total está regada y la media de las fincas relevadas tienen 37,0 hectáreas de superficie total (tabla 2).

En relación con las variables binarias se puede ver que el 21 % de las fincas encuestadas se encuentra dentro de las zonas periurbanas de cada municipio; en relación con la diversidad de cultivo se observa que el 67 % tiene un solo cultivo en la finca; en cuanto a la seguridad de la tenencia de tierra, el 83 % tiene la propiedad del terreno; un 19 % utiliza fuentes energéticas renovables; solo el 8 % utiliza solo pozo para la obtención del agua, y el 35 % tiene almacenamiento de agua dentro de la finca.

En la tabla 3 se presentan los resultados de la regresión del modelo probit. Allí se pueden observar los coeficientes, el error estándar robusto y los efectos marginales que se obtienen a través de procedimiento habitual del programa estadístico. En el modelo ajustado se registraron siete variables estadísticamente significativas ( $p < 0,10$ ) de un total de doce variables. A pesar de esta situación las variables se mantienen en el modelo ya que ayudan a comprender que la decisión de adoptar tecnologías depende de los factores particulares de los territorios. Además, en la tabla 4 se puede ver que presenta un porcentaje de predicciones correctas del 83,0 %, lo que indica la proporción de casos en los que el modelo clasifica correctamente la adopción o no adopción del sistema de riego presurizado. Este porcentaje se calcula comparando las predicciones del modelo con los datos observados en la muestra. Con un porcentaje mayor al 70 % se considera que el modelo tiene una buena capacidad para predecir la adopción de tecnologías de riego presurizado en función de las variables incluidas en el análisis. Es relevante mencionar que la matriz de correlación entre las variables independientes muestra una baja probabilidad de que exista multicolinealidad entre las variables seleccionadas, lo que implica que no hay riesgo de obtener relaciones espurias en los resultados (Roco Fuentes et al., 2012).



**Tabla 2. Variables sociodemográficas, productivas y de infraestructura consideradas en el modelo y efecto esperado sobre la adopción de tecnologías de riego presurizado**

Variables del modelo	Nombre	Descripción	Unidad de medida	Media	Desviación estándar	Efecto esperado
Variables continuas						
Edad	Edad	Edad del encuestado en años	Años	50,16	11,05	(-,+)
Miembro_Hogar	Dependientes económicos	Cantidad de personas que viven en el hogar del encuestado	Número de personas	3,23	1,35	(-,+)
Educación	Nivel educativo	Cantidad de años de estudios formales terminados	Años	13,71	4,16	(+)
Cuant_Capacit	Capacitación	Cantidad de capacitaciones a las que asistió el productor	Cantidad de cursos	1,64	1,54	(+)
SR_ST	Superficie regada/superficie total	Porcentaje de la superficie regada respecto de la superficie total	Porcentaje	0,66	0,24	(+)
Solo_Total	Superficie total	Superficie total de la finca	Hectáreas	37,01	52,59	(-,+)
Variables binarias						
Periurbano	Fincas ubicadas en zonas periurbanas	Adquiere el valor 1 si la finca está en zona periurbana y 0 si la finca está en otras zonas		0,21		(+)
Monocultivo	Diversifica cultivos	Adquiere el valor 1 si en la finca hay un solo cultivo y 0 si en la finca hay más de un cultivo		0,67		(-,+)
Seg_Tenencia	Seguridad en la tenencia de la tierra	Adquiere el valor 1 si el productor tiene seguridad en la tenencia de la tierra y 0 en los otros casos		0,83		(+)
Fuente_Energía	Fuentes de energía	Adquiere el valor 1 si la finca usa alguna fuente de energía renovable y 0 en los otros casos		0,19		(+)
Solo_Pozo	Obtención de agua	Adquiere el valor 1 si obtiene agua a través de pozo y 0 si la obtiene de otras fuentes		0,08		(+)
Almacena_Agua	Almacenamiento de agua	Adquiere el valor 1 si almacena agua en la finca y 0 si no almacena agua		0,35		(+)

Fuente: *Elaboración propia sobre la base de datos obtenido de la encuesta de campo.*

Se puede observar que la cantidad de miembros que viven en el hogar del encuestado se relaciona positivamente con la probabilidad de incluir sistemas de riego presurizado. Esto puede deberse a mejoras en la organización agrícola debido a factores como contribución dentro de la finca y división del trabajo agrícola (Gaviddia, 2015; Salazar, 2016; Pronti et al., 2024). Por cada miembro incluido en el hogar aumenta un 10,46 % la probabilidad de incorporar sistemas de riego presurizado, *ceteris paribus* el resto de las variables consideradas en el estudio.

La educación tiene un impacto positivo y resulta ser muy significativa en la decisión de adoptar la tecnología en la finca, cada año de formación impacta en un 3,7 % sobre la probabilidad de adopción. Hay trabajos que coinciden que terminar los ciclos educativos es un determinante muy importante en la incorporación de

sistemas de riego presurizado (Roco Fuentes et al., 2012; Quintana Ashwell et al., 2020). Los productores con mayor cantidad de años de estudios tienen más información sobre el uso y el acceso a diferentes sistemas de riego y además adquieren una mejor capacidad para procesar información de nuevas tecnologías y una mayor habilidad de gestión (Belaidi et al., 2022).

Tabla 3. Estimación del modelo de regresión probit

Variables del modelo	Coeficiente	Error estándar robusto <sup>a</sup>	Efectos marginales	Variables del modelo	Coeficiente	Error estándar robusto <sup>a</sup>	Efectos marginales
Variables continuas				Variables binarias			
Edad	0,012	0,1273	0,0048	Periurbano	0,180	0,3371	0,1316
Miembro_Hogar	0,263**	0,1187	0,1046	Monocultivo	-0,616**	0,3091	-0,1149
Educación	0,093***	0,0379	0,0370	Seg_Tenencia	0,774*	0,4048	0,1422
Cuant_Capacit	0,040	0,1159	0,0160	Fuente_Energía	0,735*	0,4585	0,1503
SR_ST	2,278***	0,7990	0,9048	Solo_Pozo	1,464	1,0958	0,1711
Super_Total	0,003	0,0043	0,0014	Almacena_Agua	1,364***	0,3600	0,1043
Constante	-5,329***	1,3669	-				

Mc Fadden's R <sup>2</sup>	0,4364
Log pseudolikelihood	-41,409898
N	106

\* p < 0,1; \*\* p < 0,05; \*\*\* p < 0,01.

a) errores estándar robustos estimados con el paquete estadístico STATA 10.1 (comandos: probit, robust).

Fuente: elaboración propia sobre la base de datos obtenida de la encuesta de campo.

Tabla 4. Predicción del modelo econométrico

Clasificado del modelo	Datos originales	
	Adopta	No adopta
Adopta	43 (84,13 %)	8 (15,09 %)
No adopta	10 (18,87 %)	45 (84,91 %)
Promedio	83,02 %	

Fuente: elaboración propia sobre la base de datos obtenida de la encuesta de campo.

En cuanto a la superficie regada, tiene un impacto positivo y resulta ser muy significativa, en donde el aumento de una hectárea regada para cultivar impacta en un 90,48 % en la probabilidad de incorporar sistemas de riego presurizado. Esto va en concordancia con los resultados descritos por Quintana et al. (2020), para quienes el área irrigada es un determinante a la hora de adoptar una tecnología de riego.

En este modelo tener un solo cultivo disminuye la probabilidad de incorporar tecnologías de riego. Para este caso el valor del efecto marginal es de -0,1149, lo que implica que tener una finca sin diversidad de cultivos disminuye en un 11,5 % la probabilidad de incorporar riego presurizado. Esto va en concordancia con Belaidi et al. (2022), que explica que tener un cultivo en la finca implica que los productores son más adversos al riesgo, por lo que esta decisión de producción puede afectar a la hora de incorporar tecnologías más controladas. Por lo tanto, el tener monocultivo en la finca indica que es menos probable que adopte tecnologías de riego.

Tener seguridad en la tenencia de la tierra, es decir, ser el propietario de la finca, mejora la probabilidad de un mayor uso de tecnologías de riego. Esto está directamente vinculado con el retorno de las inversiones de largo plazo (Salazar, 2016; Pokhrel et al., 2018) e implica que cuando el productor consigue ser el titular vigente del terreno aumenta la probabilidad de incorporar sistemas de riego tecnificado en un 14,2 %.

Por otro lado, si el productor incluyó en su matriz productiva fuentes de energía renovables se puede ver en los resultados que este factor tiene una vinculación positiva con la decisión de tener sistemas de riego presurizado y su incorporación impacta en un 15,03 % en la probabilidad. Estas fuentes de energía se complementan con los sistemas de obtención, distribución y gestión del agua, dado que pueden compensar costos provenientes de la energía convencional (Valadão et al., 2024).

Por último, el almacenamiento de agua tiene un impacto positivo en la adopción de sistemas de riego presurizado y es una variable muy significativa en el modelo. Cuando un productor puede incorporar alguna fuente de almacenamiento aumenta la probabilidad de poner riego presurizado en un 10,4 %. En concordancia con Oremo et al. (2021), tener una fuente de almacenamiento es fundamental para aliviar la presión sobre la disponibilidad de agua en momentos clave de la producción, en especial en un contexto de crisis hídrica, y sirve para complementar los sistemas de riego.

Este estudio muestra que las variables edad de los encuestados, cantidad de capacitaciones realizadas, superficie total de la UPA, zonificación y obtención de agua a través de pozos tienen un efecto positivo en la decisión de incorporar sistemas de riego presurizado, pero no resultaron significativas. Además, se introduce una mención especial sobre el análisis de la variable relación superficie regada/superficie total. La producción desarrollada en la provincia de San Juan se caracteriza por tener una estructura minifundista, casi el 55 % de las explotaciones agrícolas tiene menos de 10 hectáreas (CNA, 2018). La literatura señala que, en fincas pequeñas, la incorporación de sistemas de riego presurizado puede ser difícil debido a los altos costos de la inversión inicial (Demin, 2014; Teha y Jianjun, 2021; Garcia Salazar et al., 2023). A su vez, debido a las economías de escala para la inversión, la capacidad de innovar puede ser limitada por el contexto (Jones García y Krishna, 2021). Sin em-

bargo, algunos estudios plantean que la superficie no siempre es un factor determinante para explicar comportamientos en relación con la gestión del agua. Factores como las estructuras sociales, la estructura de la red de distribución de agua y las dinámicas culturales pueden influir en la forma de gestionar el agua en el territorio (Andrieu, 2017; Andrieu y Rodríguez Savall, 2019).

## Conclusión

En este estudio se han identificado y analizado los factores determinantes en la adopción de tecnologías de riego presurizado en las UPA del Valle de Tulum, bajo un contexto escasez hídrica. Sobre la base de los resultados arrojados por el modelo se comprueba una parte de las hipótesis planteadas en esta investigación.

Las variables integrantes del hogar, nivel educativo, relación superficie regada/superficie total, seguridad en la tenencia de la tierra, disponibilidad de fuentes de energía renovables y de almacenamiento de agua intrafinca impactaron de forma positiva y significativa con respecto a la decisión de adoptar tecnologías. Por otro lado, tener un solo cultivo resultó significativo, pero con impacto negativo en la adopción. En este sentido apostar a la diversidad de cultivos también sería algo a considerar en los diseños de políticas públicas.

De estas variables el porcentaje de la superficie bajo riego en relación con la cantidad total de superficie disponible para cultivos es el componente que tiene mayor impacto en la implementación de sistemas de riego y, además, es altamente significativa. Este hallazgo coincide con estudios previos que indican que la superficie efectivamente irrigada es clave para adoptar tecnologías de riego.

Para futuras líneas se podría evaluar respecto de las garantías de acceso al agua superficial a lo largo de los canales hídricos y el impacto en la decisión de implementar sistemas de riego presurizado. Este análisis profundizaría en el entendimiento de cómo la disponibilidad de diversas fuentes de agua influye en la decisión de presurizar, reconociendo el impacto de la estructura de la red de distribución del agua existente. Justamente, también se podría evaluar la presencia de acciones conjuntas o asociativas para afrontar limitaciones.

Otro tema relevante para analizar es el impacto del financiamiento en el acceso e instalación de tecnologías más eficientes, como los sistemas de riego presurizado o los paneles solares, debido al aumento de los costos energéticos y a la falta de agua para riego. Es importante considerar que esto podría significar una mayor demanda general de agua y energía si no se acompaña con otras políticas integrales que promuevan el uso sostenible de estos recursos.

De este modo, se destaca la importancia del presente estudio en tanto se reconoce que, si bien existen incentivos hacia la modernización y la eficiencia en el sector agrícola, esto conlleva grandes desafíos. Las políticas públicas deben ser integrales y considerar cómo estas nuevas tecnologías pueden afectar la demanda de

recursos hídricos y energéticos. A su vez, es necesario implementar estrategias que aseguren el uso sostenible de estos recursos en la provincia.

En resumen, este análisis no solo aporta al entendimiento de las dinámicas agrícolas en el Valle de Tulum, sino que también sienta las bases para futuras investigaciones que podrían seguir explorando cómo optimizar el uso de recursos en un entorno cada vez más desafiante.

## Referencias bibliográficas

- ALCÓN, F.; ARCAS, N.; DE MIGUEL, M. y FERNÁNDEZ ZAMUDIO, M. (2009). *Adopción de tecnologías ahorradoras de agua en la agricultura*. La economía del agua de riego en España, 127-146. <http://hdl.handle.net/20.500.11939/6859>.
- ANDRIEU, J. (2017). ¿Cómo usan el agua los productores de los oasis del oeste argentino? Un estudio de las prácticas de riego en el Valle del Tulum de San Juan. *Pampa*, 16(13), 221-247. <https://doi.org/10.14409/pampa.voi16.6953>.
- ANDRIEU, J. y RODRÍGUEZ SAVALL, M. (2019). Tensiones por el gobierno del agua: el caso de Colonia Fiscal Norte-Cuyo, Argentina. *Millcayac. Revista Digital De Ciencias Sociales*, 06(10), 245-260. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/millca-digital/article/view/1733>.
- Banco Mundial (09 de septiembre de 2024). *Gestión de los recursos hídricos*. EEUU: GBM. <https://datos.bancomundial.org/indicador/ER.H2O.FWAG.ZS?view=chart>.
- BELAIDI, S.; CHEHAT, F. y BENMEHAIA, A. (2022). The adoption of water-saving irrigation technologies in the Mitidja plain, Algeria: An econometric analysis. *New Medit*, 21(01), 53-73. <https://doi.org/10.30682/nm2201d>.
- BLANCO ÁVILA, A.; SALES, R.; FRANK, A.; GALDEANO, M.; CAMAÑO, G.; PAPPANO, G. y SCOGNAMILLO, A. (2021). Propuesta de unidades de diagnóstico territorial en ciudades periféricas. Aportes al Ordenamiento Ambiental Territorial en tierras secas. El caso de Caucete, San Juan (Argentina). *Cartografía del Sur*, 14, 89-118. <https://cartografiasdelsur.undav.edu.ar/index.php/CdS/article/view/254>.
- CUNHA, D.; COELHO, A.; FÉRES, J.; BRAGA, M. y SOUZA, E. (2013). El riego como estrategia de adaptación de los pequeños agricultores al cambio climático: aspectos económicos. *Revista de Economía e Sociología Rural*, 51(02), 369-386. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032013000200009>.
- DEMIN, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego*. San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca, Argentina: INTA Ediciones.
- DISSANAYAKE, C.; JAYATHILAKE, W.; WICKRAMASURIYA, H.; DISSANAYAKE, U.; KOPIYAWATTAGE, K. y WASALA, W. (2022). Theories and Models of Technology Adoption in Agricultural Sector. *Human Behavior and Emerging Technologies*. <https://doi.org/10.1155/2022/9258317>.

- FLORES VICHI, F. (2013). Adopción de tecnología de riego para el uso sustentable del recurso hídrico en México. *Trayectorias*, 15(36), 65-82. <https://www.redalyc.org/pdf/607/60727448004.pdf>.
- FOLTZ, J. (2003). The Economics of Water-Conserving Technology Adoption in Tunisia: An Empirical Estimation of Farmer Technology Choice. *Economic Development and Cultural Change*, 51(02). <https://doi.org/10.1086/367627>.
- GARCIA SALAZAR, J.; BAUTISTA MAYORGA, F. y REYES SANTIAGO, E. (2023). Factores que condicionan la tasa de adopción de sistemas de riego tecnificados en México. *Agronomía Mesoamericana*, 34(02), 1-12. <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.51202>.
- GARETH, P. y SUNDING, D. (diciembre de 1997). Land Allocation, Soil Quality, and the Demand for Irrigation Technology. *Western Agricultural Economics Association*, 22(02), 367-375. <http://www.jstor.org/stable/40986955>.
- GAVIDIA, D. (2015). *Determinantes y efectos del riego tecnificado: un análisis económico para la sierra norte de La Libertad*. Lima: Consorcio de Investigación Económica y Social. <https://cies.org.pe/investigacion/determinantes-y-efectos-del-riego-tecnificado-un/>.
- Gobierno de la Provincia de San Juan (2021). *Plan estratégico San Juan*. San Juan. <https://planestrategico.sanjuan.gob.ar/wp-content/uploads/2021/03/Caracterizacion-San-Juan-Version-2021.pdf>.
- GOLMOHAMADI, H. y ASADI, A. (2020). A multi-stage stochastic energy management of responsive irrigation pumps in dynamic electricity markets. *Applied Energy*, 265. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114804>.
- GUJARATI, D. (1995). *Basic Econometrics*. USA: McGraw-Hill.
- GUZMÁN ALBORES, J.; MATUZ CRUZ, M.; ARANA LLANES, J.; LÓPEZ CARRASCO, E.; GÓMEZ VÁZQUEZ, V. y GONZÁLEZ CÁRDENAS, N. (2024). Avances y perspectivas de la agricultura de precisión para la sostenibilidad agrícola. *XIKUA Boletín Científico De La Escuela Superior De Tlahuelilpan*, 12(24), 1-6. <https://doi.org/10.29057/xikua.v12i24.12790>.
- HUANG, Q.; XU, Y.; KOVACS, K. y WEST, G. (2014). Analysis of factors that influence the use of irrigation technologies and water management practices in Arkansas. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 49(02), 159-185. <https://doi.org/10.1017/aae.2017.3>.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (2021). *Censo Nacional Agropecuario 2018. Resultados definitivos*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos - INDEC. [https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_definitivos.pdf).
- JARA ROJAS, R.; BRAVO URETA, B. y DÍAZ, J. (2012). Adoption of water conservation practices: A socioeconomic analysis of small-scale farmers in Central Chile. *Agricultural Systems*, 110, 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.03.008>.
- JONES GARCÍA, E y KRISHNA, V. (2021). *Farmer adoption of sustainable intensification technologies in the maize systems of the Global South. A review*. Agronomy for



- Sustainable Development, 41(08), 01-20. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00658-9>.
- KAKKAVOU, K.; GEMTOU, M. y SPYROS, F. (2024). Drivers and barriers to the adoption of precision irrigation technologies in olive and cotton farming: lessons from Messenia and Thessaly regions in Greece. *Smart Agricultural Technology*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100401>.
- KAZIMIERSKI, M. y SAMPER, M. (2021). Desarrollo fotovoltaico en San Juan: un acercamiento al entramado de estrategias públicas para la transición energética. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 32(63). <https://doi.org/10.33255/3263/1013>.
- KOUNDOURI, P.; NAUGES, C. y TZOUVELEKAS, V. (2006). Technology Adoption under Production Uncertainty: Theory and Application to Irrigation Technology. *American Journal of Agricultural Economics*, 88(063), 657-670. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2006.00886.x>.
- LACHMAN, J.; GÓMEZ ROCA, S. y LÓPEZ, A. (2022). Adopción de tecnologías de agricultura de precisión en los grupos CREA. *Documentos De Trabajo Del Instituto Interdisciplinario De Economía Política*, 79, 43. <https://ojs.economicas.uba.ar/DT-IIEP/article/view/2655>.
- LIOTTA, M.; MIRANDA, O.; OLGUIN PRINGLES, A. y AGUILERA, J. (2010). Demanda hídrica y eficiencia de riego en los valles de Tulúm, Ullúm y Zonda. *Ruralis*, 3(12), 4-7. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-ruralis\\_n\\_12.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-ruralis_n_12.pdf).
- MAROTE, M. (2010). Agricultura de Precisión. *Ciencia y Tecnología* 10, 143-166. <https://doi.org/10.18682/cyt.v1i1.765>.
- Ministerio de Obras y Servicios Públicos (2023). *Plan de Gestión Integral de los Recursos Hídricos*. San Juan: Secretaría de Agua y Energía. <https://hidraulica.sanjuan.gob.ar/sistemas/plan.php>.
- MIRANDA, O. (2015). El riego en la provincia de San Juan, Argentina: su dinámica institucional en los últimos dos siglos. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 12(3), 385-408. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722015000300006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722015000300006&lng=es&tlng=es).
- MIRANDA, O. y MEDINA, A. (2005). Adopción de riego localizado en las provincias de Mendoza y San Juan. *Ruralis*, 2(6), 15-17. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-ruralis\\_n\\_6.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-ruralis_n_6.pdf).
- MOREIRA, V.; TRONCOSO, J. y BRAVO URETA, B. (2011). Technical efficiency for a sample of Chilean wine grape producers: A stochastic production frontier analysis. *Ciencia e Investigación Agraria*, 38(03), 321-329. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202011000300001>.
- OLEN, B.; WU, J. y LANGPAP, C. (2015). Irrigation Decisions for Major West Coast Crops: Water Scarcity and Climatic Determinants. *American Journal of Agricultural Economics*, 98(01), 254-275. <https://doi.org/10.1093/ajae/aavo36>.
- OLGUÍN PRINGLES, A. (2016). *Evaluación integral de desempeño del método de riego por goteo en vid (Vitis vinífera L.), en la zona este y norte del oasis de Tulúm, San Juan*,



- Argentina [tesis de maestría]. Mendoza: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.
- OREMO, F.; MULWA, R. y OGUGE, N. (2021). Sustainable water access and willingness of smallholder irrigators to pay for on-farm water storage systems in Tsavo sub-catchment, Kenya. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 1371-1391. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00625-0>.
- PÉREZ BLANCO, C.; HRAST ESSENFELDER, A. y PERRY, C. (2020). Irrigation Technology and Water Conservation: A Review of the Theory and Evidence. *Review of Environmental Economics and Policy*, 14(02), 216-239. <https://doi.org/10.1093/reep/reaa004>.
- POKHREL, B., PAUDEL, K. y SEGARRA, E. (2018). Factores que afectan la elección, intensidad y asignación de tecnologías de riego por parte de los productores de algodón de Estados Unidos. *Water*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/w10060706>.
- Prensa Ministerio de Producción Trabajo e Innovación (21 de septiembre de 2023). *Producción relanzó la Línea de Riego Presurizado, Eficiencia Energética y/o Fuentes de Agua*. SI San Juan. <https://sisanjuan.gob.ar/produccion-y-desarrollo-economico/2023-09-21/51692-produccion-relanzo-la-linea-de-riego-presurizado-eficiencia-energetica-y-o-fuentes-de-agua>.
- PRONTI, A.; AUCI, S. y BERBEL, J. (2024). Water conservation and saving technologies for irrigation. A structured literature review of econometric studies on the determinants of adoption. *Agricultural Water Management*, 299. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108838>.
- QUINTANA ASHWELL, N.; GHOLSON, D.; KRUTZ, J.; HENRY, C. y COOKE, T. (2020). Adoption of Water-Conserving Irrigation Practices among Row-Crop Growers in Mississippi, USA. *Agronomy*, 10(08). <https://doi.org/10.3390/agronomy10081083>.
- ROCO FUENTES, L.; ENGLER PALMA, A. y JARA-ROJAS, R. (2012). Factores que influyen en la adopción de tecnologías de conservación de suelos en el secano interior de Chile Central. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 44(2), 31-45. Recuperado el 13/12/2024 de <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/6261>.
- RUIZ, D.; MARTÍNEZ, J. y FIGUEROA, A. (2015). Importancia del “efecto rebote” o paradoja de Jevons en el diseño de la política ambiental. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(27), 49-59. <https://doi.org/10.22395/rium.v14n27a3>.
- SALAZAR, C. R. (2016). Production risk and adoption of irrigation technology: evidence from small-scale farmers in Chile. *Latin American Economic Review*, 25(2). <https://doi.org/10.1007/s40503-016-0032-3>.
- SEGOVIA HERNÁNDEZ, J.; CONTRERAS ZARAZÚA, G. y RAMÍREZ MÁRQUEZ, C. (2023). Sustainable design of water–energy–food nexus: a literature review. *RSC Sustainability*, 1, 1332-1353. <https://doi.org/10.1039/D3SU00110E>.

- SHRESTHA, R. y GOPALAKRISHNAN, C. (1993). Adoption and Diffusion of Drip Irrigation Technology: An Econometric Analysis. *Economic Development and Cultural Change*, 41(02), 407-418. <https://doi.org/10.1086/452018>.
- SINGH, P.; PATEL, S.; TRIVEDI, M. y PATEL, G. (2015). Assessing the relative impacts of the factors affecting MIS adoption process. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 22(03), 213-218. <https://doi.org/10.1080/13504509.2015.1025887>.
- SOSA, A. (2023). *Riego por goteo. Conceptos básicos para la programación*. Estación Experimental Agropecuaria Rama Caída, Mendoza, INTA.
- TAYLOR, R. y ZILBERMAN, D. (2017). Diffusion of Drip Irrigation: The Case of California. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 39(01), 16-40. <https://doi.org/10.1093/aepp/ppw026>.
- TEHA, D. y JIANJUN, L. (2021). Factors Affecting Adoption of Small Scale Irrigation Technology: Insights from Sire Woreda, Oromiya Region, Ethiopia. *American Journal of Applied Scientific Research*, 7(4), 84-101. <https://doi.org/10.11648/j.ajasr.20210704.12>.
- TORRES MORENO, M.; MORA FLORES, J.; GARCÍA SALAZAR, J., RUBIÑOS PANTA, E.; ARANA CORONADO, O. y ARJONA-SUAREZ, E. (2023). Factores determinantes de la adopción de riego tecnificado en La Laguna, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* 14(6), 36. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-14-06-04>.
- Universidad Nacional de San Juan (2024). *Atlas Socioeconómico de la Provincia de San Juan*. San Juan: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan. Recuperado el 13/12/2024 de <http://www.atlas.unsj.edu.ar/>.
- VALADÃO, G.; DOS SANTOS RENATO, N.; MORAES, C.; PICCOLI MIRANDA DE FREITAS, C. y CABRAL ALEMAN, C. (2024). Photovoltaic solar energy applied to irrigation: an analysis of the financial impact in Brazil. *Electrical Engineering*, 106, 847-856. <https://doi.org/10.1007/s00202-023-02019-7>.
- YUAN, K.; YANG, Z. y SHUHONG, R. (2021). Water scarcity and adoption of water-saving irrigation technologies in groundwater over-exploited areas in the North China Plain. *Irrigation Science*, 39, 397-408. <https://doi.org/10.1007/s00271-021-00726-2>.
- ZHANG, B.; FU, Z.; WANG, J. y ZHANG, L. (2019). Farmers' adoption of water-saving irrigation technology alleviates water scarcity in metropolis suburbs: A case study of Beijing, China. *Agricultural Water Management*, 212, 349-357. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.021>.

Apéndice

Tabla 5. Correlaciones de variables. Modelo probit

	Riego Presurizado	Edad	Miembros_Hogar	Educación	Cuant_Capacit	Periurbano	Seg_Tenencia	SupRegSupTotal	Monocultivo	Almacena_Agua	Fuente_Energía	Super_Total	Solo_Pozo
Riego Presurizado	1,00												
Edad	-0,075	1,00											
Miembros_Hogar	0,155	-0,369	1,00										
Educación	0,257	-0,060	-0,136	1,00									
Cuant_Capacit	0,086	0,006	-0,08	0,100	1,00								
Periurbano	0,093	-0,058	0,018	0,070	-0,108	1,00							
Seg_Tenencia	0,251	0,057	-0,167	0,223	-0,007	-0,078	1,00						
SupRegSupTotal	0,185	-0,183	0,117	0,018	-0,155	0,223	-0,055	1,00					
Monocultivo	-0,140	0,045	-0,091	0,135	-0,007	-0,135	0,163	0,036	1,00				
Almacena_Agua	0,534	0,045	0,113	0,224	-0,035	0,065	0,279	-0,003	-0,075	1,00			
Fuente_Energía	0,338	0,085	0,027	0,028	0,113	-0,128	0,154	-0,123	-0,123	0,355	1,00		
Super_Total	0,293	-0,124	0,038	0,251	0,265	-0,214	0,191	-0,194	0,139	0,240	0,262	1,00	
Solo_Pozo	0,237	-0,088	-0,077	0,022	0,381	-0,156	0,048	-0,113	0,070	-0,01	0,199	0,626	1,00

Fuente: elaboración propia sobre la base de datos obtenida de la encuesta de campo.

Tabla 6. Prueba de factor de inflación de varianza (VIF)

Variables del modelo	VIF	1/VIF	Variables del modelo	VIF	1/VIF
Variables continuas			Variables binarias		
Edad	1,28	0,784	Periurbano	1,15	0,784
Miembro_Hogar	1,32	0,760	Monocultivo	1,13	0,883
Educación	1,25	0,796	Seg_Tenencia	1,21	0,823
Cuant_Capacit	1,22	0,822	Fuente_Energía	1,28	0,781
SR_ST	1,16	0,863	Solo_Pozo	1,99	0,503
Super_Total	2,21	0,453	Almacena_Agua	1,42	0,704