

DOCUMENTO DE TRABAJO DEL BID N° IDB-WP-858

Descifrando los Misterios de los Sistemas Descentralizados de Riego Comunitario en Bolivia

César Augusto López
Lina Salazar

Descifrando los Misterios de los Sistemas Descentralizados de Riego Comunitario en Bolivia

César Augusto López*
Lina Salazar**

*Consultor, Banco Interamericano de Desarrollo

**Economista Sr., Banco Interamericano de Desarrollo

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo

Lopez, Cesar Augusto.

Descifrando los misterios de los sistemas descentralizados de riego comunitario en
Bolivia / Cesar Augusto Lopez, Lina Salazar.

p. cm. — (Documento de trabajo del BID ; 858)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Irrigation farming-Bolivia. 2. Agricultural productivity-Bolivia. 3. Agricultural
innovations-Bolivia. 4. Water-supply, Agricultural-Bolivia. I. Salazar, Lina. II. Banco
Interamericano de Desarrollo. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y
Administración de Riesgos por Desastres. III. Título. IV. Serie.
IDB-WP-858

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2017 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Después de un proceso de revisión por pares, y con el consentimiento previo y por escrito del BID, una versión revisada de esta obra podrá reproducirse en cualquier revista académica, incluyendo aquellas referenciadas por la Asociación Americana de Economía a través de EconLit, siempre y cuando se otorgue el reconocimiento respectivo al BID, y el autor o autores no obtengan ingresos de la publicación. Por lo tanto, la restricción a obtener ingresos de dicha publicación sólo se extenderá al autor o autores de la publicación. Con respecto a dicha restricción, en caso de cualquier inconsistencia entre la licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas y estas declaraciones, prevalecerán estas últimas.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Banco Interamericano de Desarrollo | 1300 New York Avenue, N.W. Washington, D.C. 20577

Lina Salazar | lsalazar@iadb.org

Descifrando los Misterios de los Sistemas Descentralizados de Riego Comunitario en Bolivia

César Augusto López
Lina Salazar

Tabla de Contenidos

1. Introducción	1
2. Evidencia Empírica de Evaluaciones de Impacto	2
3. Teoría del Cambio: El Programa Nacional de Riego con Enfoque de Cuenca	5
4. Datos	9
5. Enfoque Empírico para la Identificación de Efectos Causales	17
6. Resultados	19
7. Conclusión	31
Referencias	33
Apéndice	37

Lista de Gráficos

Gráfico 1 — Teoría del Cambio	7
Gráfico 2 — Ubicación Geográfica de la Muestra de Beneficiarios	9
Gráfico 3 — Distribución de los Puntajes de Propensión Estimados antes del Emparejamiento	20
Gráfico 4 — Valor de la Producción Agrícola (US\$), por Cultivo y Fase del Programa	28

Lista de Tablas

Tabla 1 — Estadística Descriptiva: Características Demográficas y Socioeconómicas	12
Tabla 2 — Estadística Descriptiva: Uso y Producción de Insumos Agrícolas	15
Tabla 3 — Estadística Descriptiva: Infraestructura y Manejo de Sistemas de Riego	16
Tabla 4 — Probabilidad de Participación en PRONAREC	22
Tabla 5 — Mediciones Generales de Desequilibrio en las Covariables Antes y Después del Emparejamiento	24
Tabla 6 — Diferencial en las Covariables Después del Emparejamiento	25
Tabla 7 — Impactos de PRONAREC sobre el Uso de Insumos Agrícolas, Producción e Ingresos	27
Tabla 8 — Impactos de PRONAREC sobre el Manejo y Organización de los Sistemas de Riego	30
Tabla A1 — Medidas Generales de Desequilibrio en las Covariables Antes y Después del Emparejamiento	39

Descifrando los Misterios de los Sistemas Descentralizados de Riego Comunitario en Bolivia

César Augusto López ⁱ

Lina Salazar ⁱⁱ

Resumen

El riego es un determinante clave de la productividad agrícola, del ingreso y del desarrollo sostenible. Este estudio estima el impacto del Programa Nacional de Riego con Enfoque de Cuenca (PRONAREC) sobre el valor de la producción agrícola, las inversiones en tecnologías complementarias, el ingreso de los hogares y el manejo de recursos hídricos en comunidades rurales de Bolivia. Para esto, utilizamos datos recolectados a una muestra de 1.682 agricultores (583 beneficiarios y 1.099 del grupo de control) para el ciclo agrícola 2014-2015. Para evaluar los efectos del programa, aprovechamos las características especiales del diseño del programa al comparar dos rondas de participantes en el PRONAREC: las comunidades de tratamiento son aquellas que recibieron el programa en la primera fase, mientras que las comunidades de control son aquellas que estaban en lista de espera para recibir el programa en la segunda fase. La estrategia controla el sesgo de asignación en el programa y de autoselección a nivel comunitario, mientras que nosotros controlamos la autoselección en base a características observables mediante la implementación del Emparejamiento Estadístico por Puntajes de Propensión. Los resultados muestran que la participación en el programa mejoró el valor de la producción agrícola y desencadenó un proceso más profundo de cambio tecnológico que conllevó a inversiones en insumos complementarios. Adicionalmente, existe evidencia de que el PRONAREC ha fortalecido el acceso de los agricultores a los mercados, ha incrementado los ingresos de los hogares, ha promovido la formalización de las asociaciones de regantes, y ha mejorado la organización y el manejo de los sistemas de riego. Sin embargo, la falta de efectos sobre la productividad agrícola sugiere que los beneficiarios del programa se encuentran en la curva ascendente del proceso de aprendizaje.

Palabras clave: Agricultura, riego, adopción de tecnologías, productividad, emparejamiento estadístico por puntajes de propensión, manejo de recursos hídricos, Bolivia

Clasificación JEL: O13; O33; Q12; Q15; Q16; Q25

☆ Los autores desean expresar su agradecimiento al Estado Plurinacional de Bolivia, particularmente al Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), al Vice Ministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR) y a la unidad ejecutora de PRONAREC, especialmente a Boris Calcina. Su continuo apoyo durante el diseño, ejecución e implementación de esta evaluación fueron extremadamente importantes. Estamos agradecidos con nuestros colegas Juan Manuel Murguía, Luis Hernando Hintze, Fernando Balcazar, Sergio Ardila y Mario González-Flores por su invaluable colaboración, discusiones y sugerencias. También queremos agradecer a Pedro Martel por su apoyo incondicional durante este proceso. Agradecemos también a los participantes de la Inter-Conferencia y Simposio sobre Productividad Agrícola, Cambio Climático y Manejo de Desarrollo Sostenible 2017 de la IAAE, particularmente a Boris Bravo-Ureta, por sus excelentes comentarios que mejoraron de manera significativa este documento. Finalmente, queremos agradecer al "Centro de Estudios y Proyecto S.R.L" (CEP) por sus esfuerzos durante la recolección de datos y a Julián Aramburu por el excelente apoyo brindado para la investigación durante el levantamiento de datos y diseño de la muestra. Los hallazgos, interpretaciones y conclusiones expresadas en este documento son de entera responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de la Corporación Interamericana de Inversiones, de sus Directorios o de los países a los cuales representan. Todos los errores corresponden a los autores.

ⁱ Consultor, Banco Interamericano de Desarrollo, División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Manejo de Riesgos y Desastres (CSD/RND), (clopezrivas@iadb.org).

ⁱⁱ Economista Sr., Banco Interamericano de Desarrollo, División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Manejo de Riesgos y Desastres (CSD/RND), (lsalazar@iadb.org).

1. Introducción

La agricultura es un sector importante y dinámico de la economía boliviana. En el 2015, la agricultura contribuyó con US\$1,506 miles de millones a la economía boliviana, equivalentes al 9,7 por ciento de su producto interno bruto (PIB, precios 2005) (FAOSTAT, 2016). Este sector emplea aproximadamente al 30 por ciento de la fuerza laboral de Bolivia y al 80 por ciento en áreas rurales (ECLAC/FAO/IICA, 2012; INE, 2014). Sin embargo, en comparación con otros países de la región, la productividad agrícola en Bolivia se mantiene relativamente baja (Hameleers et al., 2011; Kay, 2011; Banco Mundial, 2011). De hecho, Bolivia es el único país de la región que mostró un crecimiento negativo en la productividad total agrícola durante el período 2006-2011 (Nin-Pratt et al., 2015). En general, parte del problema, es la falta de acceso a tecnologías modernas tales como riego (Viceministerio de Riego, 2007). De hecho, el censo agrícola del 2013 muestra que el 9 por ciento (aproximadamente 249.000 hectáreas) del suelo agrícola contó con riego durante el verano 2012-2013 y el 17 por ciento (alrededor de 17.800 hectáreas) durante el invierno del 2012 (INE, 2015).

A través de varios proyectos e iniciativas que arrancaron a mediados de los noventa, el Banco Interamericano de Desarrollo ha apoyado de forma continua los esfuerzos del Gobierno Boliviano para la expansión de las áreas de riego, así como para la creación de condiciones favorables para mejorar la eficiencia de las inversiones públicas en sistemas de riego comunitario. Inicialmente, de 1996 al 2005, el gobierno implementó el Programa Nacional de Riego (PRONAR), el cual financió un total de 158 proyectos de riego a pequeña escala que abarcaron alrededor de 22.000 hectáreas. Más adelante, en 2009, el Gobierno implementó la primera fase del Programa Nacional de Riego con Enfoque de Cuenca (PRONAREC), seguida por una segunda fase aprobada en el 2013.¹ El objetivo general del PRONAREC es aumentar el ingreso agrícola y la productividad de los hogares rurales mediante la expansión del suelo agrícola con riego, y la mejora de la eficiencia en el uso y distribución de agua con fines agrícolas a través del desarrollo de sistemas comunitarios de riego.²

Pese a la importancia que tienen los sistemas comunitarios de riego en Bolivia (Saldías et al., 2012; VRHR-MMAyA, 2013), el único intento sistemático para evaluar sus efectos fue realizado por Andersen et al. (2015). Mediante registros administrativos y encuestas nacionales de hogares, los autores evaluaron el impacto de PRONAR y PRONAREC sobre la vulnerabilidad

¹ El Banco Interamericano de Desarrollo financió ambas fases de PRONAREC con un total de US\$34,3 millones y US\$57 millones, respectivamente. La entidad responsable de la implementación de PRONAREC es el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) a través del Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR).

² El desarrollo comunitario se refiere a la participación activa de los beneficiarios (comunidades, sus miembros y su capital social) en el diseño y gestión de los proyectos (Mansuri and Rao, 2004).

de los hogares agrícolas a través de la implementación del emparejamiento estadístico por puntajes de propensión (PSM, por sus siglas en inglés) combinado con diferencias en las diferencias.³ De manera específica, analizaron la vulnerabilidad utilizando dos indicadores: ingreso per cápita y un índice de diversificación del ingreso. Los resultados de esta evaluación sugieren que los sistemas de riego financiados por PRONAR y PRONAREC no tuvieron impacto sobre la resiliencia de los hogares agrícolas. Sin embargo, conforme lo señalan los autores, los resultados de su análisis cuantitativo podrían estar sesgados debido a limitaciones significativas en los datos, particularmente debido a que no pudieron identificar a los beneficiarios directos de PRONAR y PRONAREC.

Este estudio pretende reducir esta brecha de conocimiento por medio de la evaluación de impacto de un programa de riego comunitario (PRONAREC) sobre el ingreso agrícola, la productividad y el manejo de recursos hídricos. De manera específica, mediante un enfoque cuasi-experimental, se busca examinar si el acceso a infraestructura pública genera suficientes incentivos para generar inversiones privadas que conlleven a un aumento de la productividad agrícola y del ingreso de los pequeños agricultores. Además, analizamos si el programa afecta el manejo y la organización de los sistemas de riego, lo cual, consecuentemente, debería mejorar la eficiencia en el uso y distribución de agua para riego. La principal contribución de este documento es proporcionar más evidencia acerca de la efectividad de los programas agrícolas que promueven la adopción de sistemas comunitarios de riego. Los resultados evidencian que existe un impacto positivo sobre la adopción de tecnología agrícola, producción, ingreso y manejo de recursos hídricos.

El resto del documento se organiza de la siguiente manera: la Sección 2 proporciona un resumen de la evidencia empírica de evaluaciones de impacto rigurosas. La Sección 3 introduce el programa y presenta la teoría del cambio. La Sección 4 describe los datos utilizados en el análisis y evalúa la comparabilidad de los grupos de tratamiento y control. La Sección 5 presenta el marco metodológico utilizado para la identificación de los impactos del programa. En la Sección 6 comentamos los principales hallazgos de la evaluación de impacto y en la Sección 7 se presentan las conclusiones.

2. Evidencia Empírica de Evaluaciones de Impacto

Existe amplia literatura teórica y empírica que investiga la adopción y difusión de innovaciones agrícolas, incluyendo las limitaciones para su adopción y su impacto (Feder, Just y

³ Por vulnerabilidad, los autores se refieren a la "inhabilidad de anticipar, manejar, resistir y recuperarse de los impactos de shocks y estrés de todo tipo" (Andersen et al., 2015).

Zilberman, 1985; Feder y Umali, 1993; Sunding y Zilberman, 2001; Lee 2005; Foster y Rosenzweig, 2010). En el caso de la adopción de tecnologías de riego, Dillon (2011a) señala que, aunque el acceso a riego tiene un impacto significativo en la producción agrícola, en el norte de Mali el alcance del esquema de riego podría tener efectos diferenciados en el bienestar de los productores. De manera más específica, utilizando la técnica de PSM, el autor descubre que el sistema de riego a pequeña escala tiene un efecto significativo sobre la producción agrícola y el ingreso. Sin embargo, el impacto sobre el consumo per cápita solo fue significativo en el caso de sistemas de riego a gran escala. Dillon (2008, 2011b) utilizó una combinación de PSM y diferencias en diferencias (DD) sobre una muestra de sistemas de riego a pequeña escala de la misma área y encontró efectos similares sobre la producción agrícola. Adicionalmente, en cuanto a las ganancias de bienestar, el autor encontró evidencia de un incremento en el consumo de los hogares (27-30 por ciento), de ahorros a través de la acumulación de ganado y un incremento en la posibilidad de involucramiento de los beneficiarios en mecanismos informales de intercambio de alimentos (20 por ciento) con relación a los agricultores sin riego. Kuwornu y Owusu (2012) encontraron que el acceso a riego tiene un impacto positivo en el consumo per cápita de los hogares en el norte de Ghana. Sin embargo, Zeweld et al. (2015) hallaron que la participación en proyectos de riego superficial a pequeña escala en Etiopía no tuvo efectos sobre el consumo de alimentos, los recursos pecuarios o los gastos en educación y salud.⁴ Del Carpio, Loayza y Datar (2011) evaluaron el impacto de un proyecto de rehabilitación de riego a lo largo de la costa peruana y encontraron un incremento significativo en el valor de la producción (72 por ciento) y en el valor de las ventas (83 por ciento) de los productores del grupo de tratamiento ubicados en los 25 puntos porcentuales más altos (fincas más grandes) y un descenso (alrededor del 65 por ciento) en aquellos ubicados en los 25 puntos porcentuales más bajos.⁵

El impacto del riego sobre la adopción de insumos y tecnologías complementarias es mucho menos estudiado, particularmente en lo relacionado a prácticas agrícolas. Zeweld et al. (2015) encontraron que los esquemas de riego a pequeña escala tuvieron un efecto significativo sobre la acumulación de activos y gastos en insumos agrícolas (por ejemplo, fertilizantes químicos y semillas mejoradas). Lipton et al. (2003) señalan que la disponibilidad de agua influencia en gran medida la demanda de insumos agrícolas modernos; por lo tanto, el acceso a riego puede contribuir a la estabilización del rendimiento agrícola en el largo plazo. Más aún, a pesar de que existe una creciente preocupación acerca de la relación entre el riego y la

⁴ Tanto Kuwornu y Owusu (2012) y Zeweld et al. (2015) evaluaron los efectos del acceso a riego utilizando el PSM.

⁵ Los autores evaluaron la efectividad del proyecto utilizando una regresión espacial discontinua (RD) y DD. Encontraron efectos positivos en el percentil inferior. Sin embargo, los efectos no estaban relacionados a un incremento en la producción agrícola, sino a oportunidades de empleo en fincas más grandes.

sobreutilización de insumos modernos (i.e., fertilizantes químicos) y sus efectos sobre el medioambiente, las políticas que promueven la eficiencia del agua de riego, tales como los sistemas de riego comunitarios, pueden influenciar la eficiencia de los insumos y la sostenibilidad (Alauddin y Quiggin, 2008; Aregay y Minjuan, 2012).

Sin embargo, la mayoría de los estudios encontrados se enfocan en el análisis de las intervenciones en riego implementadas a nivel de finca en lugar de aquellas realizadas a nivel comunitario. Típicamente, los sistemas comunitarios de riego son más complejos ya que, por lo general, requieren una mayor inversión privada y, por lo tanto, es necesario un análisis más profundo del proceso de adopción. La evidencia empírica acerca de la efectividad de las intervenciones de transferencia del manejo de los sistemas de riego (TMR) y manejo participativo de los sistemas de riego (MPR) sobre los resultados a nivel de finca ha arrojado resultados mixtos, principalmente derivados ya sea de evaluaciones cualitativas o de estudios que no logran establecer un contrafactual apropiado (Vermillion, 1997; Gárces-Restrepo, Vermillion y Muñoz, 2007; Merrey, 2015; Senanayake, Mukherji, y Giordano, 2015).⁶ Sin embargo, la literatura muestra efectos positivos de este tipo de intervenciones sobre el desempeño operativo y financiero, con un incremento en el área bajo riego y una reducción de los gastos públicos en riego (Vermillion, 1997). También, la evidencia sugiere que las asociaciones de regantes también son efectivas para el desarrollo de operaciones básicas de canales y funciones de mantenimiento (Gárces-Restrepo, Vermillion y Muñoz, 2007). Sin embargo, tal como se mencionó, la evidencia empírica acerca de los impactos de las intervenciones de riego comunitario es muy limitada (Senanayake, Mukherji y Giordano, 2015). De hecho, solo se identificaron dos evaluaciones de impacto de los efectos de estas intervenciones sobre la productividad agrícola en Filipinas y China.

Utilizando una estrategia de PSM y variables instrumentales (VI), Bandyopadhyay, Shyamsundar y Xie (2007) examinaron un sistema de riego con reservorio en la isla de Luzón, Filipinas, en el cual, evaluaron el impacto de la TMR sobre el desempeño de los sistemas de riego y rendimientos de arroz. En términos del desempeño de los sistemas manejados por las asociaciones de riego, a pesar de que los efectos sobre el desarrollo de planes de mantenimiento y recolección de tasas son menos claros, los autores encontraron una fuerte evidencia de que la TMR promueve actividades para el mantenimiento del canal de riego. A nivel de finca, hallaron un incremento significativo en los rendimientos de arroz (2-6 por ciento) en comparación con los

⁶ Pese a que los dos conceptos están interrelacionados y con frecuencia se utilizan indistintamente, la TMR se refiere al traspaso de la responsabilidad y autoridad de los sistemas de irrigación públicos desde las agencias gubernamentales hacia las agencias no gubernamentales, tales como asociaciones de regantes. Por otro lado, la MPR se refiere a la participación de las asociaciones de regantes en el desarrollo de los sistemas de riego, en conjunto con el gobierno (Vermillion y Sagardoy, 1999).

agricultores de áreas donde no existía la intervención. Además, mediante un análisis de frontera de producción estocástica, los autores demostraron que el incremento en la productividad está asociado a una mejora en la eficiencia técnica de los productores de arroz.⁷ En un estudio más reciente de comunidades en el norte de China, Huang (2014) evaluó los efectos de la TMR sobre el desempeño de los sistemas de riego manejados por las asociaciones de regantes o contratistas privados y su impacto sobre la producción de arroz y trigo.⁸ Mediante un enfoque de variables instrumentales, el autor encontró efectos positivos y significativos de las asociaciones de regantes en los gastos de mantenimiento (37 por ciento), en la entrega oportuna de agua (la proporción de agua entregada de manera oportuna incrementó en 25 puntos porcentuales), en el área bajo riego (41 por ciento) y, en la tasa de recaudación de tarifa del agua (24 por ciento). Sin embargo, el autor no encontró evidencia de un impacto sobre la eficiencia en el uso de agua o la producción agrícola.

3. Teoría de Cambio: El Programa Nacional de Riego con Enfoque de Cuenca

El Programa Nacional de Riego con Enfoque de Cuenca (PRONAREC) promueve un marco de manejo integrado de recursos hídricos desde un enfoque comunitario.⁹ Este programa aspira a aumentar el ingreso y la productividad de los agricultores mediante la mejora de la eficiencia en el uso del agua, el incremento en el área bajo riego y la mejora en el manejo de los recursos hídricos. Para alcanzar sus objetivos, el programa financió inversiones en infraestructura pública para la construcción y rehabilitación de sistemas comunitarios de riego. También proporcionó asistencia técnica para el uso y mantenimiento de la infraestructura de riego, así como para la adopción de nuevas prácticas agrícolas más rentables. Es importante mencionar que el programa financió únicamente la infraestructura pública de los sistemas de riego comunitarios. En este sentido, la inversión privada en finca que permitía capturar plenamente los beneficios del programa era responsabilidad de los agricultores. Estas inversiones incluyeron canales de riego, tuberías, bombas de riego y otras inversiones, conforme a lo requerido en cada finca.

⁷ Los autores asumen “eficiencia distributiva” en la producción de arroz, considerando que el área de estudio es una de las regiones productoras de arroz más desarrollada del país.

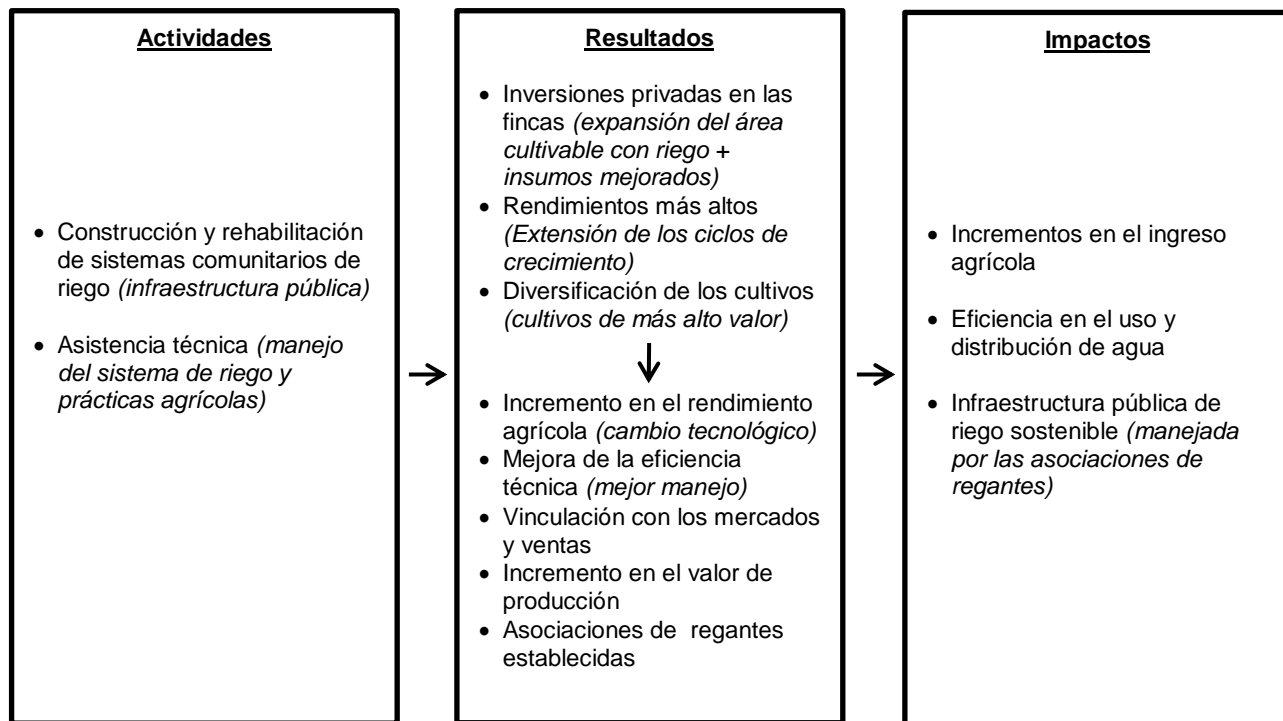
⁸ En China, las asociaciones de regantes se establecen típicamente a nivel comunitario ya que son las unidades hidrológicas básicas con fines de gestión del riego. Algunas comunidades participan en la *contratación*, una forma de gestión en el que se contratan contratistas para que operen o mantengan una parte del canal de riego de la comunidad. Las asociaciones de regantes y la *contratación*, la versión de China de la reforma en el manejo de agua, surgieron en el norte del país entre 1995 y 2004 como alternativas a las formas tradicionales de *manejo colectivo* de los sistemas de riego por parte de oficiales comunitarios (Huang et al., 2009).

⁹ El MIRH se define como un “proceso en marcha que promueve el desarrollo coordinado y el manejo del agua, suelo y recursos relacionados con el fin de maximizar el bienestar económico y social de una forma equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (GWP, 2000).

La literatura reconoce que existen varios obstáculos que limitan la adopción de tecnologías agrícolas, incluyendo restricciones de liquidez y acceso al crédito, problemas de acceso a la información o asimetría de la información, aversión al riesgo, ineficiencias en el mercado de insumos y productos, entre otros (Feder et al., 1985; Jack, 2013). El PRONAREC busca reducir las barreras que limitan la adopción de tecnologías de riego. Primero, en cuanto a las limitaciones de liquidez, el programa ha financiado inversiones para el desarrollo de infraestructura de riego en comunidades rurales. Segundo, una parte importante del programa se enfocó en la provisión de asistencia técnica especializada, particularmente enfocada al manejo de agua. Se esperaba que la asistencia técnica proporcione el conocimiento necesario para un manejo eficiente y efectivo del sistema que asegure un ahorro de recursos y mejore la productividad. Tercero, la aversión al riesgo limita la adopción de tecnologías agrícolas ya que, previo a realizar la inversión, los productores prefieren tener certeza acerca de los rendimientos económicos generados por dicha tecnología. Por lo tanto, los productores pueden postergar la inversión hasta confirmar las ganancias en la productividad asociadas con la tecnología a través de la experiencia de otros productores (Besley y Case, 1994; Foster y Rosenzweig, 1995). Por esta razón, el componente de capacitación técnica del programa también proporcionó asistencia relacionada a la diversificación agrícola enfocada a cultivos de mayor valor, incluyendo mercados de insumos y productos, tipos de cultivos y ciclos de cultivo.

El gráfico 1 ilustra la teoría del cambio, la cual describe cómo se espera que las actividades del programa produzcan una serie de resultados y sus efectos causales en los resultados finales. Las principales actividades financiadas por el programa incluyen: (i) financiamiento de infraestructura comunitaria para el desarrollo de sistemas de riego (es decir, represas de agua, canales de riego); (ii) asistencia técnica para el manejo de la infraestructura y uso eficiente de los recursos de agua; y (iii) asistencia técnica para la adopción de nuevas prácticas agrícolas (p. ej. transformación a cultivos de mayor valor). Se espera que el acceso a la infraestructura pública de riego desencadene inversiones privadas a nivel de finca con el fin de incrementar el área bajo riego. Estas inversiones privadas incluyen la construcción de canales dentro de las fincas, bombas de agua, tuberías de agua, etc. En otras palabras, los agricultores tienen que realizar inversiones privadas complementarias en las fincas para beneficiarse de los sistemas de riego comunitarios.

Gráfico 1—Teoría del Cambio



Se espera que la realización de inversiones privadas en las fincas y la expansión del área bajo riego incrementen el valor de la producción agrícola. Primero, un aumento en el valor de la producción puede deberse a mayores cosechas relacionadas a un incremento en el número de ciclos por temporada agrícola. Una menor dependencia de la agricultura en la lluvia permite que los agricultores cosechen en más de un ciclo y, por lo tanto, incrementen su producción. En segundo lugar, un aumento en el valor de la producción puede relacionarse a una transformación de la cédula de cultivos: una agricultura menos riesgosa debido al acceso al riego genera incentivos para que los agricultores siembren cultivos con un mayor valor comercial. Esta transformación agrícola se refuerza mediante la asistencia técnica y la capacitación proporcionada a los beneficiarios del programa sobre mercados y prácticas agroeconómicas; así como la asistencia a las asociaciones de regantes sobre el uso del recurso agua, la protección de las cuencas de agua, el manejo, la operación y el mantenimiento del sistema. Finalmente, se espera que el acceso a riego fortalezca los vínculos de los agricultores con los mercados, ya que el incremento de la producción agrícola se puede transformar en mayores ventas, favoreciendo la productividad agrícola y el ingreso.

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) de Bolivia y su Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR) empezaron a implementar el PRONAREC en el 2009. El

programa ha sido implementado en dos fases. La primera fase (PRONAREC I), con un costo total de US\$35,8 millones, empezó la construcción y rehabilitación de infraestructura para los sistemas de riego en el 2010. El programa financió un total de 54 sistemas comunitarios de riego (proyectos) con una cobertura de más de 9.000 hectáreas de suelo incremental beneficiando aproximadamente a 10.500 familias. Los proyectos estaban distribuidos a lo largo de Bolivia en los departamentos de Cochabamba, La Paz, Chuquisaca, Oruro, Potosí, Santa Cruz y Tarija. La construcción de los proyectos de la primera fase terminó en diferentes fechas entre el 2011-2015. Al momento del levantamiento de datos, 48 proyectos habían finalizado su construcción y habían estado operativos por al menos un ciclo agrícola.¹⁰ La segunda fase del programa (PRONAREC II), con un costo total de US\$77 millones, empezó con la construcción de infraestructura pública de riego en el 2014 y al momento se encuentra en implementación. El PRONAREC II financiará un total estimado de 75 sistemas de riego comunitario que cubrirán más de 10.500 hectáreas de suelo y beneficiarán a aproximadamente 13.192 familias.¹¹ El gráfico 2 presenta la ubicación geográfica de los proyectos considerados en este estudio (PRONAREC I y II).¹²

Los beneficiarios elegibles de PRONAREC fueron comunidades con asociaciones de regantes establecidas o en proceso de establecimiento que cumplían con ciertos criterios: (i) evidencia de estatus legal, (ii) evidencia de derechos de acceso a agua para riego otorgados por el SENARI, (iii) acuerdo firmado con el gobierno local para operar y mantener la infraestructura de riego, (iv) compromiso de contribuir con al menos el 10% del costo del sistema (en efectivo o en especies) y cubrir plenamente cualquier otro costo operativo, de mantenimiento y costos de depreciación de la inversión.

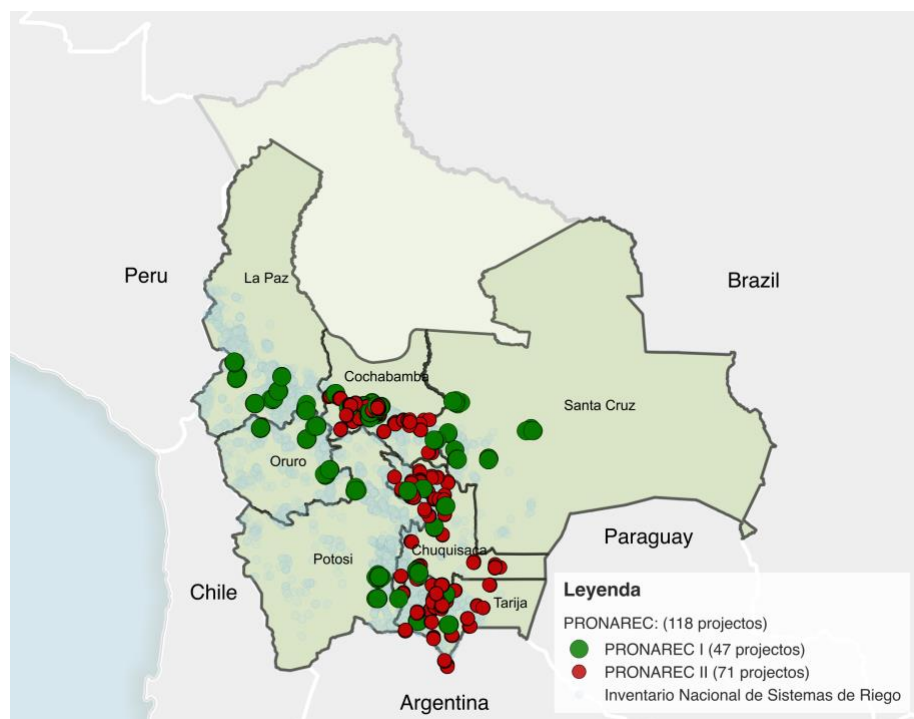
Las comunidades elegibles remitieron la documentación requerida para justificar la viabilidad del proyecto desde una perspectiva ambiental, técnica, legal y socioeconómica. Las propuestas también incluían un plan de manejo de cuencas. Por último, la revisión final y la aprobación estuvo a cargo de los Gobernadores, el Fondo Nacional de Inversión Productiva y Social y el VRHR.

¹⁰ Estos proyectos se considerarán como el grupo beneficiario. Se han excluido de este análisis a los proyectos de PRONAREC I que al momento de la recolección de datos todavía estaban en fase de construcción.

¹¹ Los proyectos de esta segunda fase se consideraron como el *grupo de control*, ya que los beneficios de los sistemas de irrigación no se habían materializado al momento de la recolección de datos.

¹² La mayoría de los proyectos financiados por PRONAREC II se revisaron, aprobaron y priorizaron dentro de los dos primeros años de implementación del programa (2014 y 2015). A junio 2016, la construcción de los primeros proyectos (39 sistemas de riego) había finalizado (este conjunto representa a los beneficiarios *iniciales* de PRONAREC II); el segundo conjunto (32 sistemas de riego) se completó después de julio 2016 (esto representa al conjunto *final* de beneficiarios de PRONAREC II). En conjunto, los beneficiarios *iniciales* y *finales* de PRONAREC II se considerarán como el grupo de control para evaluar el impacto de PRONAREC I.

Gráfico 2—Ubicación Geográfica de la Muestra de Beneficiarios



Fuente: Elaboración propia de los autores

Notas: Archivos (*shapefiles*) del Inventario Nacional de Sistemas de Riego obtenidos del GeoSIRH (2015)

4. Datos

Los datos analizados en este estudio se levantaron a través de una encuesta a hogares agropecuarios diseñada para examinar los efectos del PRONAREC. Los datos se recolectaron en diciembre 2015 a partir de una muestra representativa de hogares en comunidades beneficiarias de PRONAREC I y II en siete departamentos (Chuquisaca, Cochabamba, La Paz, Oruro, Potosí, Santa Cruz y Tarija).¹³ El cuestionario consistió en 15 módulos con información acerca de las características demográficas y socioeconómicas de los hogares, identificación y ubicación de las parcelas agrícolas, uso del suelo, tipos de cultivos, inversiones en tierras agrícolas, ganado, maquinaria y equipo agrícola, asistencia técnica, entre otros. En términos generales, la encuesta captura toda la información necesaria para realizar el análisis propuesto, incluyendo un set de módulos que capturan información acerca de las características y manejo

¹³ La firma consultora Centro de Estudios y Proyectos (CEP S.R.L.) fue la encargada de desarrollar y llevar a cabo la encuesta, bajo la supervisión de la unidad ejecutora del proyecto, UCEP-PRONAREC, del Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (VRHR-MMAyA) y el BID.

de los sistemas de riego (por ejemplo, funciones del sistema y estructura organizacional) así como del funcionamiento de las asociaciones de regantes. Las preguntas relacionadas a actividades agrícolas se refieren al ciclo agrícola comprendido entre julio 2014 y junio 2015.

Los muestra de análisis consiste en 47 proyectos de PRONAREC I y 71 proyectos de PRONAREC II, con un total de 583 y 1.099 productores entrevistados ($n=1.682$), respectivamente.¹⁴ Todos los sistemas de riego financiados por PRONAREC I y analizados en este estudio habían sido completados y estuvieron en pleno funcionamiento por al menos un ciclo agrícola al momento de la recolección de datos.¹⁵ Luego de descartar los valores atípicos y las unidades de producción que reportaron no haber tenido producción agrícola durante el ciclo agrícola 2014-2015, la base de datos final utilizada en nuestro análisis estuvo conformada por 1.591 observaciones (543 beneficiarios de PRONAREC I y 1.048 de PRONAREC II).¹⁶ Las tablas 1 a 8 presentan un resumen de estadísticas descriptivas y el estadístico t de dos muestras para los grupos de tratamiento. Las tablas 1 y 2 resumen las características demográficas y socioeconómicas; la tabla 3 muestra las áreas geográficas (por ejemplo, zonas agroecológicas) y tierras cultivadas; las tablas 4 a 6 presentan las estadísticas descriptivas asociadas con la producción agrícola; y las tablas 7 y 8 proporcionan una perspectiva de las variables relacionadas al manejo de los sistemas de riego, asistencia técnica para riego, derechos y uso de agua.

4.1 Estadística Descriptiva

El análisis comparativo preliminar entre unidades de tratamiento y control muestra que los productores de ambos grupos presentan similitudes en las características el hogar (ver Tabla 1). El hogar promedio de la muestra está compuesto por cuatro miembros, la mitad corresponde

¹⁴ El tamaño de la muestra y el poder estadístico de la evaluación de PRONAREC consideraron que la intervención se implementó a nivel de clúster (es decir, comunidad). Este enfoque asume que, en relación con los productores que pertenecen a diferentes comunidades, el comportamiento de los productores en una comunidad dada estará correlacionado. Entonces, la variabilidad de la información obtenida en la muestra depende de la distribución de las unidades muestrales en las diferentes comunidades. Por esta razón, la estrategia de muestreo siguió un diseño de clúster donde las unidades primarias de muestreo (UPM), o clústers, son las comunidades beneficiarias de PRONAREC. En cada comunidad se seleccionó una muestra aleatoria de 12 hogares. Los parámetros ρ (correlación dentro del clúster = 0.14), δ (tamaño del efecto estandarizado = 0.24) y R^2_{12} (proporción de la variación explicada = 0.32) se obtuvieron de la variable *valor de producción por hectárea* de la evaluación de impacto de CRIAR (Salazar et al. 2015). El programa CRIAR se implementó en áreas rurales de Bolivia similares a las de PRONAREC. El número total de clústers en la muestra (118) se basó en el número de proyectos de PRONAREC I (47) que contaban con sistemas de riego completos y funcionales y en los proyectos de PRONAREC II (71) que todavía estaban en lista de espera. Dados estos parámetros, el software *Optimal Design* señala que se deben incluir un mínimo de 12 observaciones por clúster para alcanzar el nivel deseado de poder estadístico (considerando el nivel comúnmente aceptado de 0,80). La muestra final incluyó un ajuste de 5% para tomar en cuenta la falta de respuesta.

¹⁵ Particularmente, un sistema había estado en operación durante cuatro ciclos, nueve sistemas durante tres ciclos, trece sistemas durante dos ciclos y los restantes veinticuatro sistemas durante un ciclo agrícola completo; ninguno de los sistemas de riego financiados por PRONAREC II habían sido completados y por lo tanto no se encontraban en operación.

¹⁶ Se descartaron un total de 66 observaciones que reportaron no haber contado con producción agrícola durante el ciclo agrícola 2014-2015. Adicionalmente, se excluyeron del análisis a 13 observaciones (atípicas) que reportaron haber trabajado en menos de 0,001 hectáreas de terreno.

a mujeres, y tienen una tasa de dependencia de aproximadamente 60 por ciento (Tabla 1).¹⁷ Con respecto a las características del jefe de hogar, existen diferencias significativas, aunque pequeñas, ambos grupos presentan pocas diferencias, aunque significativas, en cuanto a la edad, el estado civil, la etnia y los años de educación del jefe de hogar entre los dos grupos. En relación con el grupo de control, los jefes de hogar del grupo de tratamiento son, en promedio, dos años mayores y una proporción menor son solteros (4 puntos porcentuales, pp). Los jefes de hogar de la muestra tienen en promedio 5 años de educación, pero los del grupo de tratamiento tienen aproximadamente un año adicional de escolaridad. Con relación al origen étnico, el 77 por ciento de los jefes de hogar se autoidentificaron como miembros de Naciones y Pueblos Indígenas Originarios Campesinos, NyPIOC. En este caso, el porcentaje fue 10 puntos más alto en el caso del grupo de tratamiento.

Aunque la mayoría de los miembros del hogar (5 años en adelante) dedican al menos algo de su tiempo a las actividades agrícolas, particularmente a la producción de cultivos (86 por ciento) y a la crianza de animales (64 por ciento), la proporción es menor en el grupo de tratamiento (5 y 6 pp, respectivamente) en comparación con el grupo de control. Con respecto a las características de la vivienda y la accesibilidad, ambos grupos comparten múltiples similitudes. En concreto, el 83 por ciento de hogares indica tener acceso a electricidad, 74 por ciento tiene un teléfono celular y el 71 por ciento tiene televisión. Sin embargo, con respecto al material del piso, el 45 por ciento de los hogares del grupo de tratamiento indica tener piso de tierra, lo cual es significativamente mayor, 11 pp, a lo reportado por el grupo de control. La accesibilidad de los hogares se mide como el tiempo promedio, en minutos, que normalmente les toma a los productores para llegar: (i) al camino o vía (pavimentada) transitable durante todo el año; (ii) al mercado o feria más cercana para comprar o vender productos alimenticios; y (iii) a la principal fuente de agua para consumo y preparación de alimentos. En promedio, a los productores les toma aproximadamente 38 minutos llegar al camino más cercano, 92 minutos llegar al mercado o feria más cercana y alrededor de 3,8 minutos para llegar a la principal fuente de agua para consumo y preparación de alimentos. No existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos para estas variables.

¹⁷ La tasa de dependencia se refiere a la proporción de dependientes de hogar (individuos < 15 y > 65 años) por miembro en edad de trabajar (15-64 años).

Tabla 1 — Estadística Descriptiva: Características Demográficas y Socioeconómicas

	Media			Dif. en Medias
	Total	Tratamiento	Control	
<i>Características de los hogares</i>				
Tamaño del hogar (# miembros)	4,18	4,21	4,17	0,04
Tasa de dependencia	0,60	0,60	0,60	-0,01
Mujeres (% del hogar)	0,49	0,49	0,49	0,00
<i>Características del jefe de hogar</i>				
Edad (años)	52,04	53,39	51,34	2,05 **
Mujer (0,1)	0,17	0,15	0,18	-0,03
Jefe de hogar soltero (0,1)	0,10	0,07	0,11	-0,04 **
Indígena (0,1)	0,77	0,84	0,74	0,10 *
Años de educación (#)	5,16	5,70	4,88	0,82 **
<i>Ocupación de los miembros del hogar (5 años en adelante)</i>				
Producción agrícola (%)	0,86	0,83	0,88	-0,05 ***
Crianza y procesamiento de animales (%)	0,64	0,60	0,66	-0,06 *
<i>Características de la vivienda</i>				
Piso de tierra (0,1)	0,38	0,45	0,34	0,11 *
Electricidad (0,1)	0,83	0,86	0,81	0,04
Teléfono celular (0,1)	0,74	0,78	0,72	0,06 *
Televisión (0,1)	0,71	0,70	0,71	-0,01
<i>Accesibilidad (tiempo a)</i>				
Camino o vía transitable durante todo el año (min)	38,49	42,19	36,57	5,62
Mercado o feria más cercana para comprar/vender alimentos (min)	92,10	99,10	88,48	10,62
Principal fuente de agua para el consumo (min)	3,79	3,67	3,85	-0,18
<i>Asociatividad (capital social) ciclo agr. 2014-2015[§]</i>				
Asociaciones de regantes	0,89	0,93	0,88	0,05 *
Cooperativa o asociación agrícola (0,1)	0,46	0,42	0,48	-0,06
Asociación u organización no agrícola (0,1)	0,13	0,10	0,14	-0,04
<i>Características económicas</i>				
Índice PPI: por debajo de la línea nacional de pobreza (%)	30,43	32,82	29,19	3,63
Ingreso total del hogar (US\$) ‡	3.942,29	4.654,07	3.573,50	1.080,57 *
Ingreso no agrícola (US\$)	1.080,04	954,30	1.145,19	-190,90
Ingreso agrícola (US\$)	2.402,14	3.083,20	2.049,27	1.033,93 *
Producción agrícola (% del total del ingreso)	0,62	0,60	0,63	-0,04
Unidades Tropicales de Ganado (TLU)	9,04	8,82	9,15	-0,32
Cuenta bancaria (0,1)	0,16	0,17	0,15	0,01
Ahorros voluntarios (0,1)	0,16	0,17	0,16	0,01
Restricciones de crédito (0,1) †	0,18	0,19	0,17	0,02
Total de tierras (ha)	4,31	6,43	3,21	3,21 **
Tierras propias (ha)	4,22	6,28	3,15	3,13 **
Tierras propias (% total de tierras)	0,96	0,96	0,96	0,00
<i>Altitud y zonas agroecológicas (ZAE)</i>				
Altitud (MSNM) – a nivel de parcela	2.432,56	2.708,84	2.289,42	419,43 **
ZAE: Altiplano (0,1)	0,09	0,25	0,01	0,24 ***
ZAE: Valles andinos (0,1)	0,85	0,65	0,96	-0,31 ***
ZAE: Tropical (0,1)	0,06	0,10	0,04	0,07
n	1,591	543	1,048	

Fuente: Cálculos propios de los autores

Notas: Errores estándar de robustez del clúster a nivel comunitario. Prueba t de diferencia en las medias estadísticamente significativa en los niveles *** 1%, ** 5%, * 10%. § La variable ficticia para la asociación agrícola toma el valor de 1 si algún miembro del hogar participó en cualquier asociación agrícola, ganadera o de la agroindustria (excluyendo las asociaciones de regantes); caso contrario es 0. La asociación no agrícola toma el valor de 1 si el miembro del hogar participó en otras asociaciones (por ejemplo, artesanales, sociales, turismo); caso contrario es 0. ‡ Ingreso total derivado del ingreso fuera de la finca, remesas, producción agrícola (excepto pérdidas) y ganancia de la producción pecuaria (consumo del hogar y ventas). † Restricciones del crédito toma el valor de 1 si el hogar solicitó crédito a una institución financiera formal, pero la solicitud fue negada o el monto del crédito ofertado al hogar fue menor al monto solicitado; caso contrario es 0.

Durante las últimas tres décadas ha aumentado la atención y reconocimiento dado al concepto de “capital social” y su rol para el crecimiento económico y desarrollo sostenible (Sorensen, 2000; Winters et al., 2001; Atria y Siles, 2004). Esto es particularmente importante ya que el capital social –denominado *asociatividad*– podría ser uno de los recursos patrimoniales más importantes de pequeños agricultores en países en vías de desarrollo. Para los propósitos de este estudio, el capital social se evaluó utilizando un conjunto de variables “dummy” que indican si algún miembro del hogar participó en cualquier organización, ya sea esta agrícola o no agrícola. Este análisis preliminar indica que la fuente más importante de capital social de esta muestra proviene de los esquemas asociativos conformados con el propósito de coordinar el manejo de los recursos hídricos, es decir, la participación en las asociaciones de regantes. En promedio, el 89 por ciento de agricultores fue parte de una asociación de regantes (93 por ciento en el grupo de tratamiento y 87 por ciento en el grupo de control) durante el ciclo agrícola 2014-15. Es interesante que, en promedio, la proporción de la muestra que participó en otros tipos de organizaciones y/o asociaciones agrícolas y no agrícolas fue menor (46 por ciento y 13 por ciento, respectivamente).

Los hogares de ambos grupos muestran características económicas similares. Según el Índice de Progreso Fuera de la Pobreza (PPI, por sus siglas en inglés), en promedio, la probabilidad de que un hogar se encuentre por debajo de la línea nacional de pobreza es de alrededor del 30 por ciento.¹⁸ El ingreso promedio de los hogares y el ingreso agrícola fue de US\$3.942 y USD\$2.402, respectivamente. Es decir, la agricultura es la mayor fuente de ingresos para la mayoría de los hogares de la muestra. Los agricultores poseen en promedio, aproximadamente 9 *unidades tropicales de ganado* (TLU, por sus siglas en inglés)¹⁹ y se caracterizan por su bajo acceso a los servicios financieros (formales) (por ejemplo, cuenta bancaria, ahorros, crédito). En cuanto a la propiedad sobre la tierra, los hogares de la muestra poseen en promedio 4.31 hectáreas; sin embargo, el grupo de tratamiento posee alrededor del doble de superficie de tierra (6,43 ha) que el grupo de control (3,21 ha).

La mayoría de los beneficiarios de PRONAREC I están localizados en los valles andinos (65 por ciento) y en el Altiplano (25 por ciento), mientras que los beneficiarios de PRONAREC II se ubican principalmente en los valles andinos (96 por ciento). Esto se refleja en una diferencia

¹⁸ El PPI es una herramienta de medición de la pobreza creada por la Fundación Grameen para estimar la probabilidad de que un hogar esté viviendo por debajo de la línea de la pobreza (ya sea nacional o internacional). El PPI se diseña especialmente para cada país en base a los datos más recientes de los gastos de los hogares a nivel nacional o las encuestas de ingresos. Hasta el momento se han desarrollado 45 PPI para 45 países. El puntaje PPI se deriva de las respuestas a 10 preguntas relacionadas a las características y tenencia de activos de los hogares. Todas las preguntas del PPI de Bolivia 2007 se incorporaron en la cuesta de PRONAREC.

¹⁹ La Unidad Tropical de Ganado es el número de ganado de diferentes especies convertido a una unidad común, donde 1 TLU comúnmente representa 1 vaca madura de 250kg. Los factores de conversión son: ganado = 0,7; cerdos = 0,25; ovejas = 0,1; cabras = 0,1, aves = 0,01; caballos = 0,8; burros = 0,7, buey = 0,7, colmenas de abejas = 0,001.

significativa en la altitud promedio del grupo de tratamiento con respecto al grupo de control (419,4 metros sobre el nivel del mar, MSNM).

La Tabla 2 presenta las estadísticas descriptivas del uso de insumos agrícolas, gastos y producción. En promedio, existen diferencias significativas en la proporción de participantes del grupo de tratamiento que, en relación con el grupo de control, reportaron haber utilizado fertilizantes químicos (-10 pp), semillas mejoradas o certificadas (12 pp) y tracción animal (-13 pp). No se encontraron diferencias en el uso de otros insumos (es decir, fungicidas, herbicidas, insecticidas, fertilizantes orgánicos, maquinaria/equipo agrícola o trabajo remunerado). Adicionalmente, en comparación con el grupo de control, los beneficiarios de PRONAREC I tuvieron un gasto significativamente mayor en insumos o factores variables de la producción (US\$155,04), en el uso de tractores (US\$37,77) y en el riego de parcelas (US\$34,12), particularmente en equipos o mantenimiento y energía.

En este estudio, la diferencia entre las variables *área física cosechada (ha)* y *área cosechada (ha)* es sutil, pero importante. El *área física cosechada (ha)* se refiere al área física cultivada y cosechada durante el ciclo agrícola 2014-2015. Por otra parte, el *área cosechada (ha)* cuantifica el total de área sembrada y cultivada durante el mismo ciclo. Por ejemplo, si un productor reporta haber cultivado dos veces un terreno de 2 hectáreas, la variable *área física cosechada (ha)* tomaría el valor de "2", mientras que la variable *área cosechada (ha)* tomaría el valor de "4". Entonces, la intensificación del uso de la tierra se define como la proporción de *área cosechada* sobre *área física cosechada (ha)*.

En promedio, los productores cosecharon aproximadamente 2 hectáreas de tierra, de las cuales alrededor de un 65 por ciento contaba con riego.²⁰ La proporción de área cosechada con riego es significativamente mayor en el grupo de tratamiento (14 pp) con relación al grupo de control. El promedio de intensificación del uso de la tierra es 1,11, lo que indica un incremento en la frecuencia de los ciclos de cultivo, lo cual es un efecto esperado del riego. Sin embargo, el grupo de tratamiento tiene una tasa significativamente menor de intensificación del uso de la tierra (6 pp) en comparación con el grupo de control. Pese a que en un inicio esto pueda parecer extraño, el resultado es prácticamente un reflejo de las diferencias en la ubicación geográfica de los beneficiarios de PRONAREC I y II. Tal como se mencionó anteriormente, una proporción significativa de los beneficiarios de PRONAREC I se encuentra en el Altiplano, donde durante la época de invierno (abril a octubre), el suelo no es apto para la agricultura (García et al., 2007).

²⁰ La mayor parte de la tierra se utiliza para la producción agrícola (por ejemplo, cultivos temporales o permanentes).

Tabla 2. Estadística Descriptiva: Uso y Producción de Insumos Agrícolas

	Media			Dif. de Medias
	Total	Tratamiento	Control	
<i>Uso de insumos</i>				
Fungicidas (0,1)	0,29	0,28	0,29	-0,01
Herbicidas (0,1)	0,31	0,28	0,33	-0,05
Insecticidas (0,1)	0,34	0,34	0,35	-0,01
Fertilizante químico (0,1)	0,26	0,20	0,30	-0,10 **
Fertilizante orgánico, <i>guano</i> , estiércol, gallinaza (0,1)	0,67	0,69	0,66	0,03
Semillas mejoradas o certificadas (0,1)	0,19	0,28	0,15	0,12 ***
Tracción animal para la producción (0,1)	0,65	0,56	0,69	-0,13 **
Maquinaria Agrícola (0,1)	0,78	0,81	0,76	0,05
Tractor (0,1)	0,77	0,81	0,74	0,07
Trabajo remunerado (0,1)	0,69	0,66	0,71	-0,05
<i>Gastos en insumos</i>				
Insumos (US\$) ‡	559,71	661,84	506,80	155,04 **
Tracción animal (arado) (US\$)	45,06	46,12	44,51	1,61
Tractor (US\$)	106,65	131,52	93,76	37,77 **
Trabajo remunerado (US\$)	621,83	756,72	551,94	204,78
Gastos en riego de parcelas (US\$) §	41,58	64,05	29,93	34,12 ***
Equipo de riego/mantenimiento (US\$)	24,59	40,59	16,30	24,29 **
Servicio de agua (US\$)	13,05	14,41	12,34	2,07
Energía (US\$)	3,94	9,05	1,29	7,76 *
<i>Suelo agrícola</i>				
Área física cosechada (ha)	2,13	2,58	1,90	0,68
Agricultura de secano (ha)	1,07	1,26	0,97	0,29
Agricultura de riego (ha)	1,06	1,31	0,93	0,39
Área cosechada (ha)	2,24	2,64	2,03	0,61
Agricultura de secano (ha)	1,11	1,27	1,02	0,25
Agricultura de riego (ha)	1,14	1,37	1,02	0,35
Área cosechada bajo riego (%)	0,65	0,74	0,61	0,14 **
Intensificación del suelo: Cosecha/área física cosechada (%)	1,11	1,06	1,13	-0,06 **
<i>Cédula de cultivos</i>				
Cultivos tradicionales (0,1) †	0,90	0,90	0,89	0,01
Proporción de tierra con cultivos tradicionales (%)	0,69	0,68	0,70	-0,02
Producción exclusiva de cultivos tradicionales (0,1)	0,38	0,35	0,39	-0,04
Cultivos no tradicionales (0,1)	0,62	0,65	0,61	0,04
<i>Valor de la producción agrícola</i>				
Valor de la producción (US\$)	2.466,05	3.169,80	2.101,41	1.068,40 *
Valor de la producción (US\$/ha) (cosechado)	2.120,48	2.287,42	2.033,98	253,44
<i>Ventas</i>				
Ventas (0,1)	0,74	0,73	0,75	-0,02
Mayoría de cultivos vendidos en feria/Mercado (0,1)	0,48	0,53	0,45	0,09
Valor de ventas (US\$)	1.597,65	2.308,53	1.229,32	1.079,21 **
<i>Proporción de la producción agrícola dedicada a:</i>				
Consumo del hogar (%)	0,29	0,27	0,30	-0,04
Consumo de animales (%)	0,14	0,15	0,14	0,01
Pérdidas (%)	0,05	0,06	0,04	0,02 **
Transformación (subproductos) (%)	0,02	0,02	0,02	0,01
Ventas (%)	0,45	0,45	0,45	0,00
Semillas (%)	0,06	0,05	0,06	-0,01
<i>Márgenes brutos agrícolas</i>				
Márgenes brutos (US\$)	1.242,93	1.687,20	1.012,74	674,46
n	1,591	543	1,048	

Fuente: Cálculos propios de los autores.

Notas: Errores estándar de robustez del clúster a nivel comunitario. ‡ Insumos (US\$) incluye gastos en fungicidas, herbicidas, insecticidas, fertilizantes químicos y orgánicos, semillas, tracción animal (arado) y tractor. § Gastos en riego de parcelas incluye gastos en equipo, mantenimiento, servicio de agua y energía; no incluye gastos en trabajo de riego. † Cultivos tradicionales: arroz, cebada, maíz, quinua, trigo, sorgo, avena, papa, yuca, papalisa, tuna o frijoles/porotos; caso contrario el valor es 0. Prueba t de diferencia en las medias estadísticamente significativa en los niveles *** 1%, ** 5%, * 10%.

En general, no se hallaron diferencias significativas en cuanto a la cédula de cultivos entre ambos grupos. En promedio, el 90 por ciento cultivó al menos un cultivo tradicional (69 por ciento de la tierra estaba cultivada con cultivos tradicionales), 38 por ciento se dedicó a la producción exclusiva de cultivos tradicionales y 62 por ciento cultivó al menos un cultivo no tradicional.

Tabla 3 — Estadística Descriptiva: Infraestructura y Manejo de Sistemas de Riego

	Medias			Dif. En Medias
	Total	Tratamiento	Control	
<i>Inversiones en infraestructura agrícola – ciclo agr. 2014-15</i>				
Inversiones totales (US\$)	102,14	118,62	93,60	25,02
Inversiones en riego (US\$)	55,35	60,15	52,86	7,30
Otras inversiones (ejemplo, pozos, cercas) (US\$)	34,63	43,37	30,10	13,27
Inversiones comunales (US\$)	12,16	15,09	10,64	4,46
<i>Área equipada con riego §</i>				
Riego en finca (0,1)	0,73	0,83	0,67	0,16 ***
Total de tierra propia equipada con riego (ha)	1,27	1,59	1,11	0,48 *
Proporción tierra propia equipada con riego (%)	0,60	0,68	0,56	0,12 **
Sistema moderno de irrigación (0,1)	0,07	0,08	0,06	0,02
Tierra equipada con riego moderno (ha)	0,12	0,12	0,12	0,00
Proporción tierra equipada con riego moderno (%)	0,06	0,07	0,06	0,01
Sistema tradicional de riego (0,1)	0,67	0,77	0,62	0,16 **
Tierra equipada con riego tradicional (ha)	1,15	1,48	0,99	0,49 *
Proporción. tierra equipada con riego tradicional (%)	0,66	0,76	0,61	0,15 **
<i>Junta Comunitaria de Agua y Riego</i>				
Comité de Cuenca de Agua conformado (0,1)	0,39	0,49	0,34	0,15 ***
Hogar pertenece a una asociación de regantes (0,1)	0,91	0,93	0,90	0,04
Asociación de regantes formalizada (0,1)	0,83	0,89	0,80	0,09 ***
<i>Sistema de manejo del riego ‡</i>				
Normas (0,1)	0,58	0,74	0,50	0,23 ***
Turnos de riego (0,1)	0,63	0,85	0,51	0,34 ***
<i>Organización a nivel del sistema</i>				
Estatutos y regulaciones (0,1)	0,50	0,60	0,45	0,14 **
Manuales (0,1)	0,39	0,47	0,35	0,12 **
<i>Características del Sistema de Riego</i>				
Presa (0,1)	0,25	0,27	0,23	0,04
Estructura para la captación de agua (0,1)	0,55	0,78	0,43	0,35 ***
Sistema de transmisión del agua (0,1)	0,24	0,32	0,20	0,12 ***
Tubería principal (0,1)	0,46	0,58	0,40	0,18 ***
Sistema de distribución (0,1)	0,48	0,64	0,40	0,24 ***
Hidrante (0,1)	0,18	0,31	0,12	0,19 ***
Pozo (0,1)	0,15	0,20	0,12	0,08
Estación de bombeo (0,1)	0,08	0,13	0,06	0,07 *
n	1.591	543	1.048	

Fuente: Cálculos propios de los autores.

Notas: Errores estándar de robustez del clúster a nivel comunitario. § Los sistemas modernos incluyen riego por goteo, micro riego y riego por aspersión, mientras que los sistemas tradicionales incluyen riego por gravedad, sumersión y riego por inundación. ‡ Normas se refieren a las reglas consuetudinarias para el manejo de sistemas de riego (por ejemplo, asignación y distribución de agua, derechos y obligaciones, tipos de organización, etc.) (Gerbrandt y Hoogendam, 1998). Turnos de riego se refiere a la expresión (a nivel individual, familiar o comunitario) acerca del derecho o acceso al agua en el marco de un sistema de riego que opera con un esquema rotativo vinculado a un cronograma diseñado para la distribución eficiente y equitativa del agua (Gaceta Oficial de Bolivia, 2006).

Prueba t de diferencia en las medias estadísticamente significativa en los niveles *** 1%, ** 5%, * 10%.

El valor promedio de producción de la muestra fue de aproximadamente US\$2.466, la mayor parte se destinó a la venta (45 por ciento) o al consumo de los hogares (29 por ciento). Pese a que la mayoría de los productores en ambos grupos reporta haber vendido al menos una parte de su producción (alrededor del 74 por ciento), el valor de venta del grupo de tratamiento es significativamente mayor en comparación con el grupo de control (US\$1.079). Los márgenes brutos agrícolas de la muestra fueron de US\$1.242,93.²¹

Finalmente, la Tabla 3 se refiere a estadísticas descriptivas relacionadas a las inversiones en infraestructura realizadas en las fincas y al manejo de los sistemas de riego. Los productores considerados en la muestra invirtieron un promedio de US\$102 en infraestructura agrícola (US\$ 55 en riego) y el 73 por ciento cuenta con riego en la finca. Como era de esperar, los beneficiarios de PRONAREC I tienen una superficie de terreno equipada con riego significativamente mayor (1,59 ha), principalmente sistemas de riego tradicional, en comparación con el grupo de control (1,11 ha).

Naturalmente, la mayoría de las variables relacionadas a la estructura organizacional y al manejo de los sistemas de riego son significativamente diferentes entre el grupo de tratamiento y el grupo de control ya que el grupo de tratamiento ha estado expuesto al programa y sus beneficios por al menos un ciclo agrícola.

5. Enfoque Empírico para la Identificación de Efectos Causales

El objetivo principal de este estudio de caso es estimar el efecto causal del programa PRONAREC. En un escenario ideal de evaluación de impacto, nos gustaría observar los “resultados potenciales” de cada participante del programa: el resultado de un agricultor con el programa y su contrafactual (resultado sin el programa). Si esto fuera posible, una simple diferencia entre los dos resultados revelaría el verdadero impacto (a nivel individual) del programa. Sin embargo, no es posible observar a la misma unidad de análisis con el programa y sin el programa. Por lo tanto, “el problema fundamental de la inferencia causal” es la falta de datos o de un contrafactual (Rubin, 1974, 1978; Holland, 1986). En consecuencia, la investigación empírica se enfoca en la estimación de los efectos promedio sobre el grupo de tratamiento a través de la construcción de un grupo de control creíble y definido rigurosamente como un proxy del contrafactual (Imbens, 2004).

En el caso de PRONAREC, dado que el grupo de tratamiento no fue seleccionado de forma aleatoria, el sesgo de selección puede provenir de tres fuentes principales: (i) asignación

²¹ Los márgenes brutos agrícolas se obtuvieron de la deducción de los costos totales de los insumos (es decir, fungicidas, herbicidas, insecticidas, fertilizantes químicos, fertilizantes orgánicos, otros agroquímicos, trabajo remunerado, tractor, semillas, tracción animal y riego) del valor de la producción.

al programa; (ii) autoselección a nivel de comunidad; y (iii) autoselección a nivel individual (agricultor).²² Sin embargo, el diseño del programa cuenta con características especiales para tratar con cada uno de estos temas. Específicamente, aprovechamos la implementación gradual o la naturaleza de fases del programa: las comunidades beneficiarias de PRONAREC I representan al grupo de tratamiento y las futuras comunidades beneficiarias (PRONAREC II) representan al grupo de control. PRONAREC I empezó su implementación en el año 2009 y PRONAREC II en el año 2014. Entonces, para los propósitos de la evaluación, identificamos proyectos de PRONAREC I que habían estado operativos por al menos un ciclo agrícola y proyectos de PRONAREC II que estaban en construcción. Las comunidades beneficiarias de ambas fases se autoseleccionaron y pasaron por el mismo proceso de selección. La principal diferencia entre los dos grupos es el momento de la intervención. Por lo tanto, al comparar proyectos que se han beneficiado del programa en diferentes momentos del tiempo, estamos abordando los posibles sesgos de asignación en el programa y de autoselección a nivel comunitario.

Adicionalmente, controlamos el sesgo de variables observables de autoselección a nivel individual por medio del emparejamiento estadístico por puntajes de propensión (Imbens y Rubin, 2015).²³ El emparejamiento estadístico por puntajes de propensión es una técnica de evaluación cuasi experimental ampliamente aplicada en la investigación empírica para la evaluación de programas. Los métodos de emparejamiento estadístico dependen de las características observables previo al tratamiento y de las técnicas estadísticas para la construcción de un grupo de control creíble y definido de manera rigurosa que permita una evaluación no sesgada de los efectos sobre el grupo de tratamiento, bajo el supuesto de la falta de factores de confusión (Rubin, 1974; Rosenbaum y Rubin, 1983; Imbens, 2015).²⁴ Dado que no todos los productores considerados en la muestra de comunidades beneficiarias de PRONAREC I están conectados a los sistemas de riego financiados por el programa (Tabla 3), la estimación de interés es *la de intención de tratar* (ITT, por sus siglas en inglés): el impacto promedio de haber sido asignado al grupo de tratamiento o a la primera fase del programa.²⁵ El ITT se estima por medio de una variedad de técnicas de emparejamiento estadístico por puntajes de propensión, las cuales

²² El sesgo relacionado a la colocación endógena surge debido a la asignación no aleatoria del grupo de tratamiento (por ejemplo, siguiendo criterios de elegibilidad). La auto selección surge en cualquier situación en la que los individuos (o comunidades) escogen participar voluntariamente en el programa.

²³ El puntaje de propensión representa la probabilidad de participación en el programa condicionada a un conjunto de características pre tratamiento exógenas y observables.

²⁴ Ver Rubin (1994, 1977), Heckman y Robb (1985), Rosenbaum (2002) e Imbens (2004) para una discusión a profundidad acerca de los efectos promedios del tratamiento.

²⁵ Alrededor del 83% de los agricultores beneficiarios de PRONAREC I cuentan con riego en la finca.

utilizan un modelo de regresión probit (o logit) para predecir el puntaje de propensión.²⁶ Sin embargo, es importante considerar que la metodología de PSM asume que la selección no está sesgada en función de características no observables, el violar este supuesto restaría validez a los resultados.

6. Resultados

En esta sección, abordamos los resultados del análisis realizado mediante el emparejamiento estadístico por puntajes de propensión (PSM). Esto incluye una evaluación del modelo de participación y de la distribución de los puntajes de propensión que fueron estimados, una evaluación del resultado de la medición de las covariables luego del emparejamiento estadístico y los impactos del programa sobre los resultados de interés. En efecto, el emparejamiento estadístico por puntajes de propensión es un proceso de dos etapas. La primera etapa corresponde a la especificación y estimación de los puntajes de propensión utilizando un modelo probit o logit para predecir la probabilidad de participación de cada productor. La segunda etapa corresponde a la estimación de los efectos promedio en el grupo de tratamiento utilizando diferentes algoritmos de emparejamiento estadístico (*matching*) en base a los puntajes de propensión.²⁷

6.1 Primera Etapa: Especificación y Estimación del Modelo de Puntaje de Propensión

Para la especificación del modelo de puntaje de propensión seguimos las directrices señaladas en Heinrich et al. (2010). Hemos incluido variables que, de forma explícita, forman parte del criterio de elegibilidad al programa; covariables exógenas previo al tratamiento que no varían con el tiempo (es decir, variables que no hayan sido afectadas por la participación o la anticipación de participación); y covariables que influyen simultáneamente en la decisión de participación y las variables de resultado. También incorporamos variables que determinan los criterios de elegibilidad tales como tenencia de tierra y asociatividad. Adicionalmente, también se incluyeron variables que capturan la situación económica del hogar y la accesibilidad ya que éstas podrían haber influenciado la decisión de participación de los hogares.

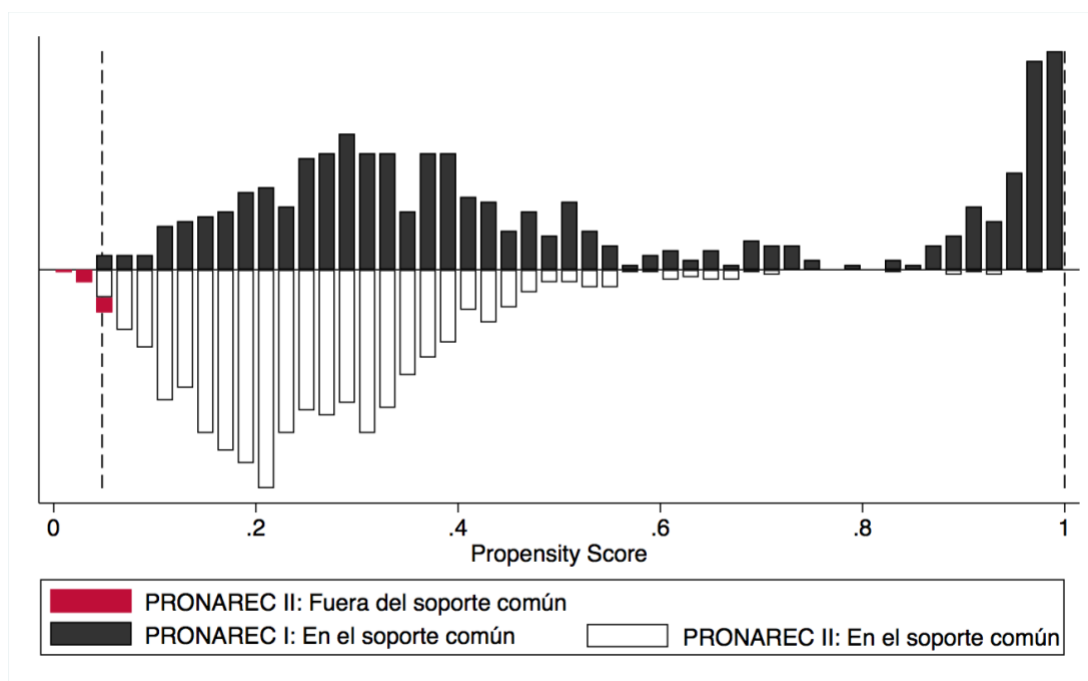
Los resultados del modelo de participación que se indican en la Tabla 4 muestran que el tener acceso a electricidad, las características del jefe de hogar (edad, nivel de educación y etnia), la tenencia de tierra, la altitud y las zonas agroecológicas influyen la participación en el

²⁶ Ver el Apéndice para un resumen del modelo Neyman-Rubin, marco conceptual y estadístico para analizar los efectos causales en los diseños de investigaciones experimentales o cuasi experimentales. Ver Sekhon (2008) para una discusión más profunda del modelo y Cerulli (2015) para una revisión general de la econometría teórica y aplicada a la evaluación de los programas socioeconómicos.

²⁷ Equilibrio de las covariables medidas no indica equilibrio en covariables no medidas. La presencia de factores de confusión no medidos podría resultar en el sesgo de los efectos estimados del tratamiento.

programa. De manera más específica, los hogares con electricidad tienen mayor probabilidad de participar en PRONAREC I (13,7 pp) que los hogares que no cuentan con electricidad en sus hogares. El ser indígena aumenta la probabilidad de participación en 5,56 pp y cada año adicional de educación incrementa la probabilidad de participación en 1,22 pp. La probabilidad de participación incrementa en 0,8 pp por hectárea de tierra que se posee; sin embargo, los resultados muestran efectos marginales decrecientes en la probabilidad de participación.

Gráfico 3 — Distribución de los Puntajes de Propensión Estimados antes del Emparejamiento



Fuente: Elaboración propia de los autores.

Notas: Las líneas verticales entrecortadas marcan la región de soporte común determinada por el comando Stata ingresado por el usuario *pscore* (Becher e Ichino, 2002).

En cuanto a las zonas agroecológicas, la probabilidad de participación disminuye en los valles Andinos (54,2 pp) y en las tierras bajas tropicales (22,2 pp) en comparación con el Altiplano. Por otra parte, ni el género del jefe de hogar ni el acceso a capital social (medido como la participación en asociaciones agrícolas o no agrícolas) afecta la probabilidad de participación en el programa.

Una vez estimado el puntaje de propensión de cada productor en la primera etapa mediante una regresión probit, el siguiente paso en la implementación de la metodología es verificar el “soporte común” o condición de superposición (Garrido et al., 2014). El gráfico 3 muestra un histograma de los puntajes de propensión estimados para ambos grupos de tratamiento antes del emparejamiento. La superposición en la distribución de los puntajes de propensión se ubica entre [0.0470383, 0.9999219] en el grupo de tratamiento y entre [0.0191598,

0.9646696] en el grupo de control. Se determina que la región de soporte común está dentro del rango [0.04703831, 0.99992188]. Un total de doce observaciones del grupo de control (0,75 por ciento de la muestra) se encuentran fuera del soporte común y se descartarán del análisis²⁸. En términos de la propiedad de balanceo del puntaje de propensión, luego de dividir la muestra en 9 bloques de igual espacio, el algoritmo no encontró diferencia estadística en el promedio del puntaje de propensión de las observaciones tratadas y control dentro de cada bloque, y tampoco en la media de cada covariable del modelo.

6.2 Segunda Etapa: Emparejamiento Estadístico por Puntajes de Propensión

El siguiente paso en la implementación de la metodología es el uso del puntaje de propensión para el emparejamiento estadístico de las observaciones del grupo de tratamiento y grupo de control. La selección del método de emparejamiento estadístico implica un compromiso o “trade-off” entre sesgo y eficiencia (Caliendo y Kopeinig, 2008).²⁹ Para examinar la solidez de este proceso, se utilizaron varios algoritmos de emparejamiento estadístico (i.e., vecino más cercano, radio, kernel y regresión lineal local) para producir estimaciones puntuales.³⁰ El algoritmo de vecino más cercano (NN, por sus siglas en inglés) construye el contrafactual por medio del emparejamiento estadístico del puntaje de propensión de cada observación del grupo de tratamiento con la observación del grupo de control más cercana (apegada) al puntaje de propensión. El emparejamiento NN se puede realizar con reemplazo o sin reemplazo y con los vecinos k más cercanos. Para esta evaluación, realizamos emparejamiento del 1-más cercano con reemplazo y sin reemplazo y también del 3-más cercano y 5-más cercano con reemplazo. Siguiendo un enfoque similar al emparejamiento NN, el algoritmo de radio utiliza un nivel predeterminado de tolerancia de la distancia máxima del puntaje de propensión o “caliper” para emparejar las observaciones del grupo de tratamiento con todas aquellas observaciones del grupo de control dentro de dicho caliper. En base a la literatura, se escogió un caliper del 25 por ciento (Rosenbaum y Rubin, 1985) y uno de 20 por ciento (Cochran y Rubin, 1973; Austin, 2011) de la desviación estándar combinada (sd_p) de los puntajes de propensión estimados.

²⁸ Caliendo y Kopeinig (2008) muestran que un método de definir la región de soporte común es aplicar la “comparación mínima y máxima” excluyendo todas las observaciones “cuyo puntaje de propensión sea menor al mínimo y mayor al máximo del grupo opuesto”; lo que, en este caso, sería [0.0478568, 0.9663905]. Siguiendo este enfoque, 88 observaciones están fuera de esta región de soporte común, lo que corresponde a 76 observaciones del grupo de tratamiento y 12 del grupo de control (5% de la muestra). Sin embargo, la región de soporte común utilizada y reportada en este análisis se basa en los resultados obtenidos del comando Stata `-pscore-` (Becker e Ichino, 2002), el cual seleccionó el valor 0.9999231 como límite superior de la región. Siguiendo este enfoque, un total de 87 observaciones están fuera de la región de soporte común. Los resultados con el uso de ambos enfoques son similares. Estos resultados no se muestran en este documento debido al limitado espacio, pero están disponibles bajo pedido. También es importante mencionar que el diseño de la muestra consideró una pérdida muestral del 5%.

²⁹ Ver a Caliendo y Kopeinig (2008) para una visión general de los diferentes algoritmos de emparejamiento y a Heckman et al. (1997), Imbens (2004), Smith y Todd (2005) e Imbens y Wooldridge (2009) para detalles técnicos.

³⁰ El emparejamiento estadístico por puntajes de propensión se realizó utilizando el comando Stata `-psmatch2-` (Leuven y Sianesi, 2003).

Tabla 4 — Probabilidad de Participación en PRONAREC

Covariables	(1) Margins
<i>Características de los hogares</i>	
Tamaño del hogar (# de miembros)	0,004 (0,006)
Electricidad (0,1)	0,137*** (0,032)
Piso de tierra (0,1)	0,009 (0,025)
Teléfono celular (0,1)	0,022 (0,026)
<i>Características del jefe de hogar</i>	
Edad (años)	0,003*** (0,001)
Soltero (0,1)	-0,015 (0,039)
Mujer (0,1)	0,009 (0,030)
Indígena (0,1)	0,056** (0,028)
Años de educación formal (#)	0,012*** (0,003)
<i>Características económicas</i>	
Tierras propias (ha)	0,008*** (0,002)
Tierras propias (ha)-cuadradas	-3,50e-05* (1,79e-05)
Cuenta bancaria (0,1)	0,036 (0,029)
<i>Accesibilidad (tiempo a)</i>	
Camino confiable (min)(log)	0,008 (0,022)
Camino confiable x altitud (MSNM)	1,06e-05 (8,68e-06)
<i>Características de la comunidad</i>	
Número de familias en la comunidad (#)	1,13e-05 (4,32e-05)
Altitud (MSNM) – al nivel del suelo cultivable	6,17e-05** (3,08e-05)
ZAE: Valles andinos (0,1)	-0,542*** (0,059)
ZAE: Tropical (0,1)	-0,222*** (0,080)
<i>Accesibilidad (capital social) antes del 2009 §</i>	
Asociación agrícola o asociación de regantes (0,1)	-0,006 (0,022)
Asociación/organización no agrícola (0,1)	0,014 (0,032)
n	1,591
Log likelihood	-808,09
$p > \chi^2$	0,00
Pseudo R ²	0,209
Clasificado correctamente (%)	75,81

Fuente: Cálculos propios de los autores.

Notas: grupo de referencia de nivel de zona agroecológica = Altiplano. La variable dependiente toma el valor de 1 si el hogar es beneficiario de PRONAREC I; caso contrario el valor es 0. La columna 1 indica los efectos marginales promedio en las medias de las covariables. § Las variables de participación en asociaciones u organizaciones agrícolas o no agrícolas incluidas en el modelo de regresión probit se modificaron para reflejar la participación antes de 2009. Errores estándar en paréntesis. Nivel de significación estadística en *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

También se implementó una combinación de emparejamiento NN con caliper.³¹ Finalmente, el contrafactual de cada observación del grupo de tratamiento se construyó utilizando el algoritmo de emparejamiento kernel y regresión lineal local (LLR, por sus siglas en inglés), ambos con un ancho de banda establecido en 0,06 y 0,01 (Heckman et al., 1997).³²

Pese a que no hay consenso en la literatura acerca de cuanta disparidad es aceptable al momento de implementar la metodología de PSM (Harder et al., 2010; Garrido et al., 2014), una regla general es considerar que una muestra emparejada tiene un balance adecuado si Rubin B es menor al 25 por ciento y Rubin R se encuentra entre 0,5 y 2 (Rubin, 2001). La estadística Rubin B es la diferencia absoluta estandarizada de las medias del índice lineal del puntaje de propensión entre el grupo de tratamiento y el grupo de control emparejado; y, la Rubin R es la tasa de variación del puntaje de propensión del grupo de tratamiento y del grupo de control emparejado (Rubin, 2001). De manera intuitiva, estas estadísticas están probando la similitud de las distribuciones de covariables a lo largo de los grupos de tratamiento. Para la muestra del análisis, la Rubin B antes del emparejamiento es de 103,50 por ciento y Rubin R es 7,24, lo cual indica una muestra altamente dispar con un gran sesgo inicial. El resto del análisis se basará en los resultados obtenidos del conjunto de muestras emparejadas que cumplen con el criterio de Rubin B y Rubin R. Particularmente, nuestro conjunto preferido de algoritmos de emparejamiento estadístico son NN 1:1 sin reemplazo y caliper (0,25sd_p, 0,1sd_p, 001); emparejamiento de radio con caliper (0.25sd_p y 0.2sd_p); y emparejamiento con kernel con un ancho de banda de 0,01.³³

La disparidad relativa, comparabilidad y calidad de las muestras emparejadas se puede evaluar a través de la revisión del *porcentaje de sesgo estandarizado* (% sesgo) (Rosenbaum y Rubin, 1985). La Tabla 5 muestra el diferencial restante en las covariables del conjunto de algoritmos de emparejamiento (por su bajo nivel de sesgo). A diferencia de las pruebas t, las diferencias absolutas estandarizadas de las medias no son sensibles al tamaño de la muestra. Esto permite a los investigadores comparar la diferencia en las medias de las covariables medidas entre las observaciones tratadas y de control en la muestra emparejada con aquellas de la muestra no emparejada como un porcentaje de la raíz cuadrada del promedio de las

³¹ Adicionalmente, ambos emparejamientos estadísticos, NN y radio, se implementaron utilizando calipers igual a 0.1sd_p, 0.3sd_p, 0.01, y 0.001. Además, la opción –ties– se especificó para todos los algoritmos emparejados, lo cual emparejó no solo al NN sino también a otras observaciones del grupo de control con puntajes de propensión idénticos (Abadie et al., 2004).

³² Abadie e Imbens (2008) muestran que el cálculo de errores estándar por el método de bootstrap no es válido para los estimadores de emparejamiento de NN estándar con reemplazo y un número fijo de vecinos (por ejemplo, uno, tres o cinco) dado que no son estimadores lineales asintóticos del promedio de los efectos del tratamiento. Sin embargo, a medida que el número de emparejamientos aumenta, los estimadores se convierten en asintóticamente lineales, tal es el caso de las técnicas de emparejamiento de radio, kernel y LLR (Abadie e Imbens, 2008; Ham, Li y Reagan, 2011).

³³ Los resultados de las medidas generales de la desequilibrio en las covariables para el conjunto completo de técnicas de emparejamiento están disponibles en la Tabla A1 del Apéndice. Los estimados ATT del conjunto completo de emparejamiento estadístico se han omitido debido al limitado espacio, pero están disponible bajo pedido.

varianzas muestrales en ambos grupos (Austin, 2009). De manera específica, una diferencia absoluta estandarizada promedio cercana a 0 indica pequeñas diferencias entre los grupos de tratamiento y grupos de control de las muestras emparejadas.³⁴

Tabla 5 — Mediciones Generales de Desequilibrio en las Covariables Antes y Después del Emparejamiento

Algoritmo de emparejamiento	No. de observaciones			Pseudo R ²	p > χ^2	Sesgo de la media (%)	Sesgo de la mediana (%)	Rubin B (%)	Rubin R
	Total	Tratamiento	Control						
Muestra no emparejada	1.579	543	1.036	0,21	0,00	20,82	15,51	103,50	7,24
NN 1:1 (sin reem, cal=0.25sd _p)	750	375	375	0,00	1,00	2,88	2,86	14,31	0,78
NN 1:1 (sin reem, cal=0.1sd _p)	746	373	373	0,00	1,00	3,51	3,13	15,80	0,92
NN 1:1 (sin reem., cal=0.01)	732	366	366	0,00	1,00	2,18	2,00	15,05	1,19
Radio (cal=0.25sd _p) †	1.500	464	1.036	0,01	0,99	4,23	4,09	19,37	1,10
Radio (cal=0.2sd _p) †	1.499	463	1.036	0,01	0,99	4,12	4,06	19,57	1,13
Radio (cal=0.01) †	1.466	436	1.030	0,00	1,00	3,20	2,66	16,01	0,95
Kernel (epan, bw=0.01) †	1.466	436	1.030	0,00	1,00	3,31	2,87	16,57	0,96

Fuente: Cálculos propios de los autores

Notas: NN = vecino más cercano; sin reem. = sin reemplazo; cal = caliper; epan = kernel epanechnikov. $p > \chi^2 = p$ -valor de la prueba de la probabilidad de la tasa; sd_p = desviación estándar combinada de los puntajes de propensión estimados (0.2327087); bw = ancho de banda

† Errores estándar obtenidos por bootstrapping con 500 repeticiones de clusters.

Las diferencias absolutas estandarizadas de las medias en las covariables se redujeron significativamente para el conjunto de técnicas de emparejamiento seleccionadas. Esto implica que la calidad del emparejamiento fue superior para estos algoritmos ya que se redujo significativamente el sesgo derivado de las características observables. De manera específica, el sesgo absoluto promedio estandarizado de la muestra no emparejada es del 20,82 por ciento, mientras que, con el PSM, el sesgo absoluto promedio estandarizado del conjunto seleccionado de técnicas de emparejamiento va del 2,18 al 4,23 por ciento. De manera similar, en el caso de la muestra no emparejada, el sesgo absoluto estandarizado de la mediana se redujo de 15,51 a un valor entre 2,00 a 4,09.

El *pseudo R²*, que indica qué tan bien las covariables del modelo explican la probabilidad de participación, es relativamente bajo para el conjunto de algoritmos de emparejamiento seleccionados (menor o igual a 0,01) en comparación con la muestra no emparejada (0,21). Esto indica que no existen diferencias sistemáticas en la distribución de covariables entre los grupos después del emparejamiento. Además, mientras el valor p de la prueba de la tasa de probabilidad de la significación conjunta de todos los regresores antes del emparejamiento es menor a 0,00 (no rechazando la hipótesis nula de insignificancia conjunta), los valores p luego del emparejamiento (≥ 0.99) sugieren la insignificancia conjunta de todos los regresores.

³⁴ Un balance exacto en las covariables es una propiedad de los ensayos controlados aleatorios (ECA) con tamaños muestrales grandes. En el caso de estudios de observación, y también en ECA con muestras pequeñas, se puede esperar algún grado de disparidad (Austin, 2009).

Tabla 6 —Diferencial en las Covariables Después del Emparejamiento

Covariables	% sesgo (antes del emparejamiento)	Algoritmo de emparejamiento						
		NN 1:1 (sin reem., cal=0.25sd _p)	NN 1:1 (sin reem., cal=0.1sd _p)	NN 1:1 (sin reem., cal=0.01)	Radio [†] (cal=0.25sd _p)	Radio [†] (cal=0.2sd _p)	Radio [†] (cal=0.01)	Kernel [†] (epan, bw=0.01)
% sesgo (después del emparejamiento)								
<i>Características de los hogares</i>								
Tamaño del hogar (# de miembros)	1,4	1,6	3,1	0,5	8,4	8,6	4,7	4,2
Electricidad (0,1)	10,8*	2,9	5,8	4,5	-1,1	-2,3	-2,4	-2,2
Piso de tierra (0,1)	22,5*	-3,8	-2,8	-1,7	-7,4	-8,0	-5,8	-6,1
Teléfono celular (0,1)	13,0*	5,6	5,6	3,8	0,8	1,1	-1,1	-0,9
<i>Características del jefe de hogar</i>								
Edad (años)	13,9*	-2,3	-1,9	-1,0	-1,7	-0,9	-3,6	-3,4
Soltero (0,1)	-14,3*	0,0	0,0	-1,9	-7,1	-7,7	-5,5	-5,7
Mujer (0,1)	-8,2	0,0	-0,7	0,7	-6,0	-4,5	-1,6	-2,0
Indígena (0,1)	23,8*	-6,6	-7,3	-6,7	-0,3	-1,7	-1,3	-1,3
Años de educación formal (#)	19,6*	4,4	4,5	1,7	7,2	7,2	4,2	3,8
<i>Características económicas</i>								
Tierras propias (ha)	24,4*	0,0	2,7	1,0	8,6	8,5	6,0	6,2
Tierras propias (ha) cuadradas	16,7*	-0,9	3,1	2,1	5,2	4,2	2,9	3,0
Cuenta bancaria (0,1)	3,3	4,4	7,3	2,2	5,4	5,4	5,6	6,5
<i>Accesibilidad (tiempo a)</i>								
Camino confiable (min)(log)	26,4*	4,4	3,9	2,1	2,2	2,2	4,5	5,6
Camino confiable x altitud (MSNM)	48,4*	1,1	0,9	-0,6	-1,0	-1,4	1,8	2,3
<i>Características de la comunidad</i>								
Familias en la comunidad (#)	-0,7	0,0	0,9	-3,3	0,4	0,3	-1,2	-1,6
Altitud (MSNM) - a nivel del suelo cultivable	45,5*	-2,8	-2,7	-0,3	-3,3	-3,9	-2,1	-2,5
ZAE: Valles andinos (0,1)	-84,3*	5,1	5,1	2,2	-2,0	-0,8	2,3	2,7
ZAE: Tropical (0,1)	26,2*	-5,3	-5,4	-3,3	9,0	6,8	1,2	0,6
<i>Asociatividad (capital social)</i>								
Organización agrícola o asociación de regantes (0,1)	-6,8	3,8	3,8	1,1	4,9	5,7	5,5	5,3
Asociación no agrícola (0,1)	-6,1	2,5	2,5	2,6	-2,5	-1,1	0,6	0,2

Fuente: Cálculos propios de los autores.

Notas: NN = vecino más cercano; sin reem = sin reemplazo; cal = caliper; epan = kernel epanechnikov; sd_p = desviación estándar combinada de los puntajes de propensión estimados (0.2327087); bw = ancho de banda. * Indica un valor absoluto del sesgo estandarizado mayor al 10 por ciento.

† Errores estándar obtenidos por bootstrapping con 500 repeticiones de clusters.

La Tabla 6 presenta un resumen del sesgo porcentual estandarizado entre las covariables medidas en las muestras no emparejadas y emparejadas del conjunto seleccionado de técnicas de emparejamiento. Para la muestra no emparejada, un total de 14 de 20 covariables tienen un sesgo absoluto estandarizado mayor al 10 por ciento; las diferencias más grandes corresponden a la variable “dummy” de la zona agroecológica de los valles Andinos (-84,3 por ciento), la interacción entre el tiempo hacia una ruta/camino confiable y la altitud (48,4 por ciento), altitud (45,5 por ciento) y tiempo hacia una ruta/camino confiable (26,4 por ciento). Solo tres covariables de la muestra no emparejada tienen un sesgo porcentual absoluto estandarizado menor al 5 por ciento. Luego del PSM, hay una mejora sustancial en la paridad de cada variable, lo cual indica que la propiedad de balanceo de la metodología de PSM se ha cumplido adecuadamente.

6.3 Impactos del Programa

Esta sección presenta los impactos de PRONAREC I sobre los resultados de interés. Las Tablas 7 y 8 muestran los estimados ITT obtenidos a partir del conjunto de técnicas de emparejamiento seleccionadas.

Los parámetros estimados en la Tabla 7 examinan los efectos sobre el uso de insumos agrícolas, producción y el ingreso total de los hogares. Los resultados indican que PRONAREC I tuvo un impacto positivo sobre el uso de semillas mejoradas y maquinaria agrícola durante el ciclo agrícola 2014-2015. En promedio, los beneficiarios de PRONAREC I tienen mayor probabilidad de utilizar semillas mejoradas o certificadas (80-90 por ciento) y maquinaria agrícola (7-19 por ciento), especialmente tractores (11-20 por ciento). Además, es menos probable que utilicen tracción animal (7-18 por ciento) en comparación con el grupo de control. Estos resultados son significativos y robustos para todos los algoritmos de emparejamiento. Pese a que los efectos del programa en la intensificación del uso del suelo son negativos, los resultados son relativamente bajos (4 pp) y no son robustos. Probablemente esto es una consecuencia de las temperaturas extremas en el Altiplano durante el invierno, lo cual hace que la región no sea apta para realizar varias siembras durante el mismo año agrícola, incluso cuando se dispone de riego.

Tal como se esperaba, el programa también tuvo efectos significativos en los gastos agregados dedicados al riego de parcelas (entre US\$30-US\$40), especialmente gastos en equipos y mantenimiento, lo cual representa un incremento aproximado del 160 por ciento con respecto a los gastos en riego del grupo de control. Los impactos en los gastos de riego son robustos en las diferentes técnicas de emparejamiento. De manera similar, los resultados muestran que la participación en el programa tuvo un impacto significativo sobre las inversiones en infraestructura de riego en finca; el total de tierras equipadas con riego es significativamente mayor entre los beneficiarios de PRONAREC I (0,4-0,5 hectáreas), lo que representa un incremento de aproximadamente el 35-45 por ciento con respecto al grupo de control. Además, los beneficiarios de PRONAREC I tienen una mayor proporción de tierra equipada con riego (15-17 pp) y un mayor número de hectáreas equipadas con riego estaban en producción durante el ciclo 2014-2015 (0,4-0,5 hectáreas). En general, los beneficiarios de PRONAREC I tienen un 24 por ciento más de probabilidad (16-18 pp) de tener riego en comparación con el grupo de control. Finalmente, PRONAREC I tuvo impactos positivos en los gastos en insumos variables de producción (34-47 por ciento), incluyendo tractores (35-55 por ciento), y estos resultados son robustos a lo largo de las especificaciones.

Tabla 7 — Impactos de PRONAREC sobre el Uso de Insumos Agrícolas, Producción e Ingresos

Estimados ITT	Algoritmo de emparejamiento						
	NN 1:1 (no reem., cal=0.25sd _p)	NN 1:1 (no reem., cal=0.1sd _p)	NN 1:1 (no reem., cal=0.01)	Radio [†] (cal=0.25sd _p)	Radio [†] (cal=0.2sd _p)	Radio [†] (cal=0.01)	Kernel [‡] (epan, bw=0.01)
<i>Uso de insumos</i>							
Fungicida (0,1)	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Herbicida (0,1)	0,05	0,05	0,05	0,01	0,02	-0,01	-0,01
Insecticida (0,1)	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05
Fertilizante químico (0,1)	-0,03	-0,03	-0,04	-0,03	-0,02	-0,03	-0,03
Fertilizante orgánico/guano/gallinaza (0,1)	0,02	0,02	0,02	-0,04	-0,04	-0,01	-0,01
Semillas mejoradas o certificadas (0,1)	0,13***	0,11***	0,13***	0,13**	0,13**	0,12**	0,11**
Tracción animal (buey) (0,1)	-0,09**	-0,09***	-0,09**	-0,17**	-0,17**	-0,16**	-0,16**
Maquinaria agrícola (0,1)	0,06**	0,06*	0,05*	0,15*	0,15*	0,13*	0,13*
Tractor (0,1)	0,08***	0,078**	0,07**	0,15*	0,15*	0,13*	0,13*
Trabajo remunerado (0,1)	0,01	0,01	0,00	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03
Área física cultivada (ha)	0,30	0,24	0,13	0,72	0,76	0,36	0,36
Hectáreas trabajadas (ha)	0,28	0,22	0,11	0,63	0,68	0,30	0,30
Intensificación del suelo: trabajada/área física (%)	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04**	-0,04*	-0,04*	-0,04*
<i>Gastos en insumos</i>							
Gasto en el riego de parcelas (US\$)	45,54***	41,54***	44,95***	32,82**	32,89**	32,41**	33,37**
Servicio de agua (US\$)	1,65	1,66	2,47	2,85	2,61	2,84	3,12
Energía (US\$)	5,05	5,15	4,99	7,42	7,46	4,47	4,49
Equipo de riego/mantenimiento (US\$)	38,71***	34,62***	37,37***	21,96*	22,74*	25,02**	25,68**
Insumos (US\$) †	184,60***	184,10***	172,60***	235,00***	243,0***	208,1**	208,4**
Tractor (US\$)	32,02***	35,25***	31,48***	51,61**	51,66**	44,65**	44,79**
Trabajo remunerado (US\$)	464,40	227,00	295,70	311,30	302,20	157,20	156,00
<i>Área equipada con riego</i>							
Riego en finca (0,1)	0,16***	0,16***	0,17***	0,17***	0,17***	0,18***	0,18***
Total de terreno equipado con riego (ha)	0,43**	0,43**	0,45**	0,51*	0,52*	0,42	0,40
Equipado con riego (% terreno)	0,15***	0,15***	0,16***	0,16***	0,16***	0,17***	0,17***
Trabajada con riego (ha)	0,40**	0,38**	0,42**	0,46*	0,46*	0,39	0,38
<i>Portafolio de cultivos</i>							
Cultivos no tradicionales (0,1)	-0,01	0,00	-0,01	0,01	0,01	0,00	-0,01
Tierra sin cultivos tradicionales (% trabajado)	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,02	0,02
<i>Ventas</i>							
Ventas (0,1)	0,04	0,04	0,03	0,08*	0,08*	0,07	0,07
Venta de la mayoría cultivo en una feria/mercado (0,1)	0,10***	0,10***	0,09**	0,16**	0,16**	0,14**	0,14**
<i>Producción agrícola</i>							
Valor de la producción (US\$)	1.296***	1.436***	1.304**	1.558**	1.539**	1.256**	1.268**
Consumo del hogar (% producción total)	-0,05**	-0,05**	-0,03	-0,10**	-0,09**	-0,09**	-0,09**
Ventas (% producción total)	0,05	0,05*	0,04	0,08*	0,07*	0,06	0,06
Valor de la producción (US\$/ha trabajada)	462,90	500,70	419,30	385,80	403,50	348,90	382,80
Márgenes brutos agrícolas (US\$)	606,30	938,70*	795,60	987,10*	969,40*	867,70*	880,00*
<i>Ingreso total de los hogares §</i>							
Ingreso total de los hogares (US\$)	1,387***	1,583***	1,357**	1,543**	1,529**	1,237*	1,246*
Ingreso obtenido fuera de la finca (US\$)	-141,90	-78,07	-194,10	-135,70	-149,60	-188,10	-191,50
Valor de producción							
Consumo del hogar (US\$)	-21,71	-23,54	-17,36	-13,69	-9,33	-59,16	-57,26
Consumo de los animales (US\$)	-97,19	-95,43	-106,50	-47,28	-48,29	-79,26	-83,66
Semillas (US\$)	-15,86	-14,59	-19,06	0,15	1,06	-4,71	-1,79
Ventas (US\$)	1.359***	1.498***	1.388***	1.523***	1.498***	1.301**	1.310**
Consumo del ganado propio (US\$)	61,59***	67,64***	69,28***	49,85*	53,18**	56,84**	56,86**
Ganado vendido (US\$)	173,8***	159,7**	161,6**	81,54	110,50	160,5*	158,40

Fuente: Cálculos propios de los autores.

Notas: NN = vecino más cercano; reem = reemplazo; cal = caliper; epan = kernel epanechnikov; sd_p = desviación estándar combinada de los puntajes de propensión estimados (0.23270874); bw = ancho de banda. Estimados ITT estadísticamente significativos en los niveles *** 1%, ** 5%, * 10%.

† Errores estándar obtenidos por bootstrapping con 500 repeticiones de clusters.

‡ Incluye gastos en fungicidas, herbicidas, insecticidas, fertilizantes, otros agroquímicos, semillas, tracción animal y tractores.

§ Ingreso total derivado del ingreso obtenido fuera de la finca, remesas, ganancias de la producción agrícola (excluye pérdidas) y pecuaria (consumo del hogar y ventas).

Gráfico 4 — Valor de la Producción Agrícola (US\$), por Cultivo y Fase del Programa



Fuente: Encuesta Agraria a Hogares, PRONAREC 2014-2015.

Notas: Tasa de cambio: 1 Boliviano = 0,15 US\$ (promedio 2014-2015). La lista incluye únicamente el conjunto de cultivos con los valores más altos (US\$).

* Traditional crop.

Se esperaba que el programa también tuviera un impacto sobre la composición de la cédula de cultivos de los agricultores mediante el cambio en los patrones de producción de cultivos tradicionales a cultivos de mayor valor. Sin embargo, utilizando como proxy a la proporción de tierra dedicada a los cultivos no tradicionales, no se encuentra ninguna evidencia de diversificación de cultivos para el período en estudio. Por otra parte, los estimados ITT de la Tabla 7 revelan que los beneficiarios de PRONAREC I están relativamente mejor conectados a los mercados como resultado del programa. Los agricultores del grupo de tratamiento tienen mayor probabilidad de vender sus productos en el mercado o feria (10-16 pp), un incremento de aproximadamente 20-30 por ciento relativo al grupo de control.³⁵ Además, hay evidencia que sugiere que los beneficiarios de PRONAREC I dedicaron una menor producción al consumo del hogar.

En promedio, la intervención tuvo un impacto positivo significativo sobre el valor de la producción agrícola (US\$1,250-US\$1,550), un incremento de aproximadamente el 60-70 por ciento comparado con el grupo de control. Por otra parte, no hay evidencia de un impacto en el valor de producción por hectárea (un proxy de productividad). Sin embargo, tenemos algo de evidencia de un efecto positivo sobre el margen bruto promedio (US\$867-US\$987), con un incremento de aproximadamente 86 a 98 por ciento como resultado del programa. El gráfico 4 compara la composición y destino de la producción agrícola entre los beneficiarios de PRONAREC I y II durante el ciclo 2014-2015. Los beneficiarios de PRONAREC I produjeron y vendieron una mayor proporción y variedad de frutas, vegetales y granos (arroz y sorgo). En contraste, los beneficiarios de PRONAREC II se enfocaron en gran medida a la producción de papa y maíz, con una menor producción de cultivos no tradicionales.

Los resultados presentados en la parte inferior de la Tabla 7 muestran los efectos de PRONAREC en el bienestar del hogar. El resultado muestra un ITT positivo significativo sobre el ingreso total de los hogares (US\$1,240-US\$1,580), derivado principalmente de las ventas agrícolas. El aumento en el ingreso representa una ganancia promedio de alrededor del 35-45 por ciento relativo al grupo de control.

Estos resultados indican que la participación en el PRONAREC ha desencadenado un proceso de modernización, creando un ciclo dinámico de cambio tecnológico. De manera específica, los beneficiarios han invertido en otras tecnologías modernas (es decir, semillas mejoradas y tractor) e insumos. Los agricultores del grupo de tratamiento también están más

³⁵ A partir de los datos, no es posible identificar la proporción exacta de la producción que fue vendida en una feria o mercado vs. *rescatista* (comerciante al por mayor). El cuestionario solicitó a los productores (cultivo por cultivo) que especifiquen si la *mayoría* de la producción se vendió: (1) en una feria (dentro y fuera de la comunidad), (2) a un *rescatista*, u (3) otros; no se levantó más información. Por ejemplo, si un productor vendió el 60 por ciento del cultivo *i* en una feria y el otro 40% a un *rescatista*, la única información que conocemos acerca de la composición de esta venta es que la *mayoría* de ese producto se vendió en una feria. Por lo tanto, esta variable es solo un proxy y los resultados deben interpretarse con precaución.

conectados a los mercados y reportan un ingreso mayor. En resumen, las inversiones han mejorado las conexiones de los mercados y han incrementado las ventas y el ingreso. También hay evidencia de que los beneficiarios del PRONAREC I todavía están en la fase de “aprender haciendo” en cuanto a la adopción de tecnologías ya que los resultados no reflejan un impacto en el valor de producción por hectárea.

Tabla 8 — Impactos de PRONAREC sobre el Manejo y Organización de los Sistemas de Riego

	Algoritmo de emparejamiento						
	NN 1:1 (no reem., cal=0.25sd _p)	NN 1:1 (no reem., cal=0.1sd _p)	NN 1:1 (no reem., cal=0.01)	Radio [†] (cal=0.25sd _p)	Radio [†] (cal=0.2sd _p)	Radio [†] (cal=0.01)	Kernel [†] (epan, bw=0.01)
Estimados ITT							
<i>Junta comunitaria de cuenca de agua y riego</i>							
Comité de cuenca de agua formado (0,1)	0,11***	0,10***	0,11***	0,08	0,08	0,09*	0,10*
Asociación de regantes formalizada (0,1)	0,10***	0,10***	0,10***	0,12***	0,12***	0,11***	0,12***
Hogares pertenecen a asociación de regantes (0,1)	0,05**	0,05**	0,04**	0,07***	0,06**	0,06**	0,06***
<i>Sistema de manejo de riego</i> [‡]							
Normas (0,1)	0,27***	0,27***	0,28***	0,27***	0,26***	0,28***	0,28***
Turnos de riego (0,1)	0,32***	0,33***	0,33***	0,31***	0,31***	0,33***	0,33***
<i>Organización del sistema de riego</i>							
Estatutos y regulaciones (0,1)	0,18***	0,19***	0,18***	0,17***	0,16***	0,19***	0,19***
Manuales (0,1)	0,17***	0,18***	0,16***	0,15***	0,15***	0,15***	0,16***

Fuente: Cálculos propios de los autores

Notas: NN = vecino más cercano; reem = reemplazo; cal = caliper; epan = kernel epanechnikov; sd_p = desviación estándar combinada de los puntajes de propensión estimados (0.23270874); bw = ancho de banda. Estimados ITT estadísticamente significativos en el nivel *** 1%, ** 5%, * 10%.

[‡] Normas se refieren a las reglas consuetudinarias para el manejo de sistemas de riego (por ejemplo, asignación y distribución del agua, derechos y obligaciones, tipos de organización, etc.) (Gerbrandt y Hoogendam, 1998). Turnos de riego se refiere a la expresión (a nivel individual, familiar o comunitario) acerca del derecho o acceso al agua en el marco de un sistema de riego que opera con un esquema rotativo vinculado a un cronograma diseñado para la distribución eficiente y equitativa del agua (Gaceta Oficial de Bolivia, 2006).

[†] Errores estándar obtenidos por bootstrapping con 500 repeticiones de clusters.

Finalmente, la Tabla 8 presenta los efectos de la participación en el programa sobre el manejo y organización de los sistemas de riego. En promedio, los beneficiarios de PRONAREC I tienen una mayor probabilidad de pertenecer a una asociación de regantes (5 por ciento) y de haber formalizado la asociación de regantes (12-15 por ciento).

También, hay una probabilidad significativamente mayor de que los agricultores del grupo de tratamiento señalen pertenecer a un esquema de riego con una mejor estructura de manejo y organización que incluye normas (50 por ciento), turnos de riego (57 por ciento), estatutos y regulaciones (36 por ciento) y manuales técnicos para la operación y mantenimiento del sistema de riego (42 por ciento). Estos resultados son altamente significativos y robustos a lo largo de las especificaciones emparejadas. Estos hallazgos son cruciales para la sostenibilidad de las inversiones en infraestructura de riego a nivel comunitario y de finca ya que se espera que la organización y formalización de las asociaciones de regantes mejoren la eficiencia en el uso y distribución del agua para riego.

7. Conclusión

Este estudio evalúa el impacto de la primera fase del Programa Nacional de Riego con Enfoque de Cuenca (PRONAREC) implementado en Bolivia, sobre un conjunto de variables agrícolas y de manejo de recursos hídricos. Para este propósito, se recolectaron y analizaron en detalle los datos transversales obtenidos a partir de una encuesta a hogares agrícolas. Para medir la efectividad del programa, aprovechamos las características únicas del diseño del programa (implementación en fases). Específicamente, se comparó una muestra representativa de agricultores de comunidades beneficiarias de la primera fase del programa (PRONAREC I) con agricultores de comunidades beneficiarias de la segunda fase del programa (PRONAREC II). Esta estrategia, combinada con el emparejamiento estadístico por puntajes de propensión (PSM, por sus siglas en inglés), nos permite controlar el sesgo relacionado a la asignación en el programa y la auto selección.

Los resultados de la evaluación de impacto indican que los beneficiarios del programa están pasando por cambios estructurales significativos. En particular, existe evidencia de un efecto cascada hacia la adopción de tecnologías complementarias. De manera más específica, los agricultores no solo invirtieron en infraestructura de riego en la finca, sino que también incrementaron sus gastos en semillas mejoradas o certificadas y maquinaria agrícola moderna. La modernización también se evidenció en un mayor acceso a los mercados, en una mejora de las ventas y en un incremento en el ingreso total de los hogares. Sin embargo, la falta de impactos significativos sobre la productividad agrícola sugiere que los agricultores todavía están en la parte ascendente de la curva de aprendizaje. En relación con los resultados relacionados a la organización y manejo de los sistemas de riego, éstos sugieren que las comunidades beneficiarias de PRONAREC I cuentan con sistemas de riego más avanzados y mejor estructurados, incluyendo asociaciones de riego formalizadas y derechos de uso de agua para riego. A nuestro entender, ésta es la primera vez que en Bolivia se lleva a cabo una evaluación de impacto de sistemas de riego comunales que, de manera rigurosa, se enfoca tanto en los resultados productivos como de gestión. Dicha evaluación es esencial debido a que la gobernabilidad de los sistemas comunales de riego es una estructura compleja y dinámica que depende de una serie informal y formal de normas, regulaciones, rasgos culturales, etc. Adicionalmente, se ha reconocido ampliamente que la gobernabilidad juega un rol fundamental para la sostenibilidad de los sistemas de riego (Redman et al. 2004, Saldía et al., 2012; McGinnis y Ostrom, 2014).

En general, estos resultados sugieren que los sistemas de riego comunitario pueden generar efectos a nivel agrícola, económico y de gobernabilidad. Los impactos causados por los sistemas de riego generan un efecto de bola de nieve que mejora la adopción de tecnologías

más modernas, lo cual crea un círculo virtuoso para la innovación agrícola. Sin embargo, la cadena causal para el desarrollo de estos impactos es bastante compleja y debe ser analizada con cuidado, utilizando indicadores apropiados en todos los niveles de la cadena causal, considerando la oportunidad y temporalidad para capturar los diversos tipos de efectos.

Finalmente, dado que el objetivo general del programa es aumentar el ingreso por medio de la mejora de la productividad agrícola; mejorar la eficiencia en el uso de agua; y, mejorar el manejo de los recursos hídricos para riego, el análisis de fronteras estocásticas (SFA, por sus siglas en inglés) sería un complemento adecuado para este estudio (Bravo-Ureta, 2014). Al combinar el PSM y el SFA para controlar el sesgo de selección (Green, 2010), nuestro objetivo de investigación en curso es analizar los efectos del PRONAREC I sobre el cambio tecnológico y la eficiencia técnica.³⁶ Este análisis nos permitirá corroborar si la modernización de los sistemas de riego genera efectos sobre la eficiencia y cambios tecnológicos a nivel de finca.

Una salvedad importante a tener en cuenta al momento de considerar la validez de los resultados del PSM se relaciona a la presencia potencial de características no observables. Si las características no observables afectan la participación en el programa y sus resultados, el análisis de PSM arroja estimaciones sesgadas de los ITT. Un enfoque que se aplica ampliamente en la literatura de evaluación, cuando hay disponibilidad de datos de panel, es la diferencia en diferencias (DD) (Imbens y Wooldridge, 2009). Los métodos de DD pueden mitigar el sesgo de selección que surge de las características no observables que no varían con el tiempo y que son específicas a los individuos. También es posible combinar los métodos de evaluación, tales como PSM y DD (Stuart et al., 2014). Dados los inconvenientes asociados con los datos transversales, para complementar este estudio sería útil contar con un análisis más detallado que utilice técnicas de datos de panel. Adicionalmente, al analizar los impactos a largo plazo, las investigaciones futuras tratarán de aportar conocimientos invaluable acerca de la sostenibilidad de este tipo de inversiones, lo cual es de crucial importancia para los hacedores de las políticas públicas.

³⁶ Cambio tecnológico se refiere al cambio en la frontera de producción ocasionado por la aplicación del conocimiento (ya sea incorporado o no en los insumos físicos o a través de la introducción de un conjunto completamente nuevo de procesos e insumos) y la eficiencia técnica se refiere a la "habilidad para evitar el desperdicio", ya sea a través del aumento en la producción (maximización de la producción dado el conjunto disponible de tecnología e insumos) u orientación hacia la conservación de insumos (minimizando el uso de insumos dado el conjunto de tecnología disponible y producción agrícola) (Carlson et al., 1993).

Referencias

- Abadie, A., Drukker, D., Herr, J. L., & Imbens, G. W. (2004). Implementing Matching Estimators for Average Treatment Effects in Stata. *Stata Journal*, 4, 290-311.
- Abadie, A., & Imbens, G. W. (2008). On the Failure of the Bootstrap for Matching Estimators. *Econometrica*, 76(6), 1537-1557.
- Abadie, A., & Imbens, G. W. (2016). Matching on the Estimated Propensity Score. *Econometrica*, 84, 781–807.
- Alauddin, M., & Quiggin, J. (2008). Agricultural Intensification, Irrigation and the Environment in South Asia: Issues and Policy Options. *Ecological Economics*, 65(1), 111-124.
- Andersen, L. E., Cardona, M., & Romero, D. (2015). Do Irrigation Programs Make Poor Rural Communities in Bolivia Less Vulnerable to Climatic and other Shocks? *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico*, (24), 9-46.
- Aregay, F. A., & Minjuan, Z. (2012). Impact of Irrigation on Fertilizer Use Decision of Farmers in China: A Case Study in Weihe River Basin. *Journal of Sustainable Development*, 5(4), 74.
- Atria, R., & Siles, M. (2004). *Social Capital and Poverty Reduction in Latin America and the Caribbean: Towards a New Paradigm* (Vol. 71). United Nations Publications.
- Austin, P. C. (2009). Balance Diagnostics for Comparing the Distribution of Baseline Covariates Between Treatment Groups in Propensity-Score Matched Samples. *Statistics in Medicine*, 28(25), 3083-3107.
- Austin, P. C. (2011). Optimal Caliper Widths for Propensity-Score Matching When Estimating Differences in Means and Differences in Proportions in Observational Studies. *Pharmaceutical Statistics*, 10(2), 150-161.
- Bandyopadhyay, S., Shyamsundar, P., & Xie, M. (2007). Yield Impact of Irrigation Management Transfer: Story from the Philippines. *World Bank Policy Research Working Paper*, (4298).
- Becker, S. O., & Ichino, A. (2002). Estimation of Average Treatment Effects Based on Propensity Scores. *The Stata Journal*, 2(4), 358-377.
- Besley, T., & Case, A. (1994). *Diffusion as a Learning Process: Evidence from HYV Cotton*. Working Papers. Research Program in Development Studies. Woodrow Wilson School of Public and International Affairs, Princeton University.
- Bravo-Ureta, B. E. (2014). Stochastic Frontiers, Productivity Effects and Development Projects. *Economics and Business Letters*, 3(1), 51-58.
- Caliendo, M., & Kopeinig, S. (2008). Some Practical Guidance for the Implementation of Propensity Score Matching. *Journal of Economic Surveys*, 22(1), 31-72.
- Carnegie, N. B., Harada, M., & Hill, J. L. (2016). Assessing Sensitivity to Unmeasured Confounding Using a Simulated Potential Confounder. *Journal of Research on Educational Effectiveness*, 9(3), 395-420.
- Carlson, G. A., Zilberman, D., & Miranowski, J. A. (Eds.). (1993). *Agricultural and Environmental Resource Economics*. New York: Oxford University Press.
- CBDHDD (2009). *Informe de la Sociedad Civil para el EPU Bolivia: Un Informe Sobre los Derechos Humanos en Bolivia*. Capítulo Boliviano de Derechos Humanos, Democracia y Desarrollo, La Paz.
- Cerulli, G. (2015). Econometric Evaluation of Socio-Economic Programs. *Advanced Studies in Theoretical and Applied Econometrics Series*, 49.
- Cochran, W. G., & Rubin, D. B. (1973). Controlling Bias in Observational Studies: A Review. *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics, Series A*, 417-446.
- Del Carpio, X. V., Loayza, N., & Datar, G. (2011). Is Irrigation Rehabilitation Good for Poor Farmers? An Impact Evaluation of a Non-Experimental Irrigation Project in Peru. *Journal of Agricultural Economics*, 62(2), 449-473.
- Dillon, A. (2008). *Access to Irrigation and the Escape from Poverty: Evidence from Northern Mali*. IFPRI Discussion Paper 872, International Food Policy Research Institute, Washington DC.

- Dillon, A. (2011a). Do Differences in the Scale of Irrigation Projects Generate Different Impacts on Poverty and Production? *Journal of Agricultural Economics*, 62(2), 474-492.
- Dillon, A. (2011b). The Effect of Irrigation on Poverty Reduction, Asset Accumulation, and Informal Insurance: Evidence from Northern Mali. *World Development*, 39(12), 2165-2175.
- ECLAC/FAO/IICA (2012). *The Outlook for Agriculture and Rural Development in the Americas: A Perspective on Latin America and the Caribbean 2013*. Santiago, Chile.
- FAOSTAT (2015). FAO Database: Value Added, Agriculture, Forestry and Fishing (Value US\$).
- Feder, G., & Umali, D. L. (1993). The Adoption of Agricultural Innovations: A Review. *Technological Forecasting and Social Change*, 43(3), 215-239.
- Feder, G., Just, R. E., & Zilberman, D. (1985). Adoption of Agricultural Innovations in Developing Countries: A Survey. *Economic Development and Cultural Change*, 33(2), 255-298.
- Foster, A. D., & Rosenzweig, M. R. (1995). Learning by Doing and Learning from Others: Human Capital and Technical Change in Agriculture. *Journal of Political Economy*, 103(6), 1176-1209.
- Foster, A. D., & Rosenzweig, M. R. (2010). Microeconomics of Technology Adoption. *Annual Review of Economics*, 2.
- Gaceta Oficial de Bolivia. (2006). *Bolivia: Reglamento a la Ley N° 2878 de Promoción y Apoyo al Sector Riego para la Producción Agropecuaria y Forestal Marco Institucional, DS N° 28817, 2 de agosto de 2006*. Estado Plurinacional de Bolivia
- Garces-Restrepo, C., Vermillion, D., & Muñoz, G. (2007). *Irrigation Management Transfer: Worldwide Efforts and Results*. FAO Water Report No. 32, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- García, M., Raes, D., Jacobsen, S. E., & Michel, T. (2007). Agroclimatic Constraints for Rainfed Agriculture in the Bolivian Altiplano. *Journal of Arid Environments*, 71(1), 109-121.
- Garrido, M. M., Kelley, A. S., Paris, J., Roza, K., Meier, D. E., Morrison, R. S., & Aldridge, M. D. (2014). Methods for Constructing and Assessing Propensity Scores. *Health Services Research*, 49(5), 1701-1720.
- GeoSIRH (2015). *Nacional: Mapa Inventario de Sistemas de Riego*. (August 28). Instituto de Datos Espaciales, Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego. Retrieved March 2017 from the World Wide Web: <http://geosirh.riegobolivia.org/maps/158>.
- Gerbrandy, G. & Hoogendam, P. (1998). *Aguas y Acequias: Los Derechos al Agua y la Gestión Campesina de Riego en los Andes Bolivianos*. Cochabamba: PEIRAV–Plural Editores
- GWP (2000). *Integrated Water Resource Management*. TAC Background Paper No. 4, Global Water Partnership Secretariat, Stockholm.
- Ham, J. C., Li, X., & Reagan, P. B. (2011). Matching and Semi-Parametric IV Estimation, a Distance-Based Measure of Migration, and The Wages of Young Men. *Journal of Econometrics*, 161(2), 208-227.
- Hameleers, A., Antezana, S. and Paz, B., (2011). *Agricultural Human Investment Strategies: Towards Strengthening the Farmers Innovation Capacity (FIC) Case Study: Bolivia*. FAO, page 33.
- Harder, V. S., Stuart, E. A., & Anthony, J. C. (2010). Propensity Score Techniques and the Assessment of Measured Covariate Balance to Test Causal Associations in Psychological Research. *Psychological Methods*, 15(3), 234.
- Heckman J.J., Ichimura H., & Todd P. (1997). Matching as an Econometric Evaluation Estimator: Evidence from Evaluating a Job Training Programme. *Review of Economic Studies*, 64, 605–54.
- Heckman, J. J., & Robb, R. (1985). Alternative Methods for Evaluating the Impact of Interventions: An Overview. *Journal of Econometrics*, 30(1), 239-267.
- Heinrich, C., Maffioli, A., & Vazquez, G. (2010). *A Primer for Applying Propensity-Score Matching*. Technical Note No. IDB-TN-161. Inter-American Development Bank.
- Holland, P. W. (1986). Statistics and Causal Inference. *Journal of the American Statistical Association*, 81(396), 945-960.

- Huang, Q. (2014). Impact Evaluation of the Irrigation Management Reform in Northern China. *Water Resources Research*, 50(5), 4323-4340.
- Huang, Q., Rozelle, S., Wang, J., & Huang, J. (2009). Water Management Institutional Reform: A Representative Look at Northern China. *Agricultural Water Management*, 96(2), 215-225.
- Imbens, G. W. (2004). Nonparametric Estimation of Average Treatment Effects Under Exogeneity: A Review. *Review of Economics and Statistics*, 86(1), 4-29.
- Imbens, G. W. (2015). Matching Methods in Practice: Three Examples. *Journal of Human Resources*, 50(2), 373-419.
- Imbens, G.W., & Wooldridge., J. M. (2009). Recent Developments in the Econometrics of Program Evaluation. *Journal of Economic Literature*, 47(1), 5-86.
- INE (2014). Estadísticas Sociales: Pobreza Desigualdad y Desarrollo Humana. <<http://www.ine.gob.bo/>>
- INE (2015). *Censo Agropecuario 2013: Bolivia*: Instituto Nacional de Estadística.
- Jack, B. K. (2013). *Constraints on the Adoption of Agricultural Technologies in Developing Countries*. Literature Review, Agricultural Technology Adoption Initiative, J-PAL (MIT) and CEGA (UC Berkeley).
- Kay, C. (2011). Rural Poverty Reduction Policies in Honduras, Nicaragua and Bolivia: Lessons From a Comparative Analysis. *European Journal of Development Research*, 23(2), 249-265.
- Kohl, B. (2003). Democratizing Decentralization in Bolivia: The Law of Popular Participation. *Journal of Planning Education and Research*, 23(2), 153-164.
- Kuwornu, J. K., & Owusu, E. S. (2012). Irrigation Access and Per Capita Consumption Expenditure in Farm Households: Evidence from Ghana. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 4(3), 78-92.
- Lee, D. R. (2005). Agricultural Sustainability and Technology Adoption: Issues and Policies for Developing Countries. *American Journal of Agricultural Economics*, 87(5), 1325-1334.
- Leuven, E., & Sianesi, B. (2003). PSMATCH2: Stata Module to Perform full Mahalanobis and Propensity Score Matching, Common Support Graphing, and Covariate Imbalance Testing. *Statistical Software Components*, S432001. Boston College Department of Economics, revised 19 Jan 2015.
- Lipton, M., Litchfield, J., & Faurès, J. M. (2003). The Effects of Irrigation on Poverty: A Framework for Analysis. *Water Policy*, 5(5-6), 413-427.
- Mansuri, G., & Rao, V. (2004). Community-Based and –Driven Development: A Critical Review. *The World Bank Research Observer*, 19(1), 1-39.
- McGinnis, M. D., & Ostrom, E. (2014). Social-Ecological System Framework: Initial Changes and Continuing Challenges. *Ecology and Society*, 19(2), 30.
- Merrey, D.J. 2015. *An Evaluation of CGIAR Centers' Impact Assessment Work on Irrigation and Water Management Research*. Rome, Italy, Standing Panel on Impact Assessment (SPIA), CGIAR Independent Science and Partnership Council (ISPC).
- Nin-Pratt, A., Falconi, C., Ludena, C.E., Martel, P. (2015). *Productivity and the Performance of Agriculture in Latin America and the Caribbean: From the Lost Decade to the Commodity Boom*. IADB Working Paper No. WP-608. Inter-American Development Bank, Washington, DC.
- Raitzer, D. A., & Ryan, J. G. (2008). State of the Art in Impact Assessment of Policy-Oriented International Agricultural Research. *Evidence & Policy: A Journal of Research, Debate and Practice*, 4(1), 5-30.
- Redman, C. L., Grove, J. M., & Kuby, L. H. (2004). Integrating Social Science into the Long-Term Ecological Research (LTER) Network: Social Dimensions of Ecological Change and Ecological Dimensions of Social Change. *Ecosystems*, 7(2), 161-171.
- Rosenbaum, P. (2002). Covariance Adjustment in Randomized Experiments and Observational Studies. *Statistical Science*, 17(3), 286 – 327.
- Rosenbaum, P., & Rubin, D. B. (1983). The Central Role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects. *Biometrika*, 70(1), 41-55.
- Rosenbaum, P., & Rubin, D. B. (1985). Constructing a Control Group using Multivariate Matched Sampling Methods that Incorporate the Propensity Score. *The American Statistician*, 39(1), 33-38.

- Rubin, D. B. (1990). Formal Modes of Statistical Inference for Causal Effects. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 25, 279–292
- Rubin, D. B. (1974). Estimating Causal Effects of Treatments in Randomized and Nonrandomized Studies. *Journal of Educational Psychology*, Vol 66(5), 688-701.
- Rubin, D. B. (1977). Assignment to Treatment Group on the Basis of a Covariate. *Journal of Educational and Behavioral statistics*, 2(1), 1-26.
- Rubin, D. B. (1978). Bayesian Inference for Causal Effects: The Role of Randomization. *Annals of Statistics*, 6(1), 34-58.
- Rubin, D. B. (2001). Using Propensity Scores to Help Design Observational Studies: Application to the Tobacco Litigation. *Health Services and Outcomes Research Methodology*, 2(3), 169-188. Chicago
- Salazar, L., Aramburu, J., González, M., & Winters, P. (2015). Food Security and Productivity: Impacts of Technology Adoption in Small Subsistence Farmers in Bolivia. *Inter-American Development Bank, IDB Working Paper Series No. IDB-WP-567*.
- Saldías, C., Boelens, R., Wegerich, K., & Speelman, S. (2012). Losing the Watershed Focus: A Look at Complex Community-Managed Irrigation Systems in Bolivia. *Water International*, 37(7), 744-759.
- Schultz, T. W. (1975). The Value of the Ability to Deal with Disequilibria. *Journal of Economic Literature*, 13(3), 827-846.
- Sekhon, J. (2008). The Neyman-Rubin Model of Causal Inference and Estimation via Matching Methods. *The Oxford Handbook of Political Methodology*, 271-299.
- Senanayake, N., Mukherji, A., & Giordano, M. (2015). Re-visiting What We Know About Irrigation Management Transfer: A Review of the Evidence. *Agricultural Water Management*, 149, 175-186.
- Smith, J. A., & Todd, P. E. (2005). Does Matching Overcome LaLonde's Critique of Nonexperimental Estimators? *Journal of Econometrics*, 125(1), 305-353.
- Sorensen, C. (2000). *Social Capital and Rural Development: A Discussion of Issues*. World Bank, Social Capital Initiative Working Paper No. 10.
- Sunding, D., & Zilberman, D. (2001). *The Agricultural Innovation Process: Research and Technology Adoption in a Changing Agricultural Sector*. Handbook of Agricultural Economics, 1, 207-261.
- Vermillion, D.L. (1997). *Impacts of Irrigation Management Transfer: A Review of the Evidence*. In: IWMI Research Report 11. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Vermillion, D. L., & Sagardoy, J. A. (1999). *Transfer of Irrigation Management Services: Guidelines*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 58, FAO, Rome.
- Viceministerio de Riego (2007). Plan Nacional de Desarrollo del Riego ... "para vivir bien" 2007-2011. Ministerio del Agua, La Paz, Bolivia.
- VRHR-MMAyA. (2013). *Inventario Nacional de Sistemas de Riego 2012*. Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Cochabamba, Bolivia.
- Walker, T., J. Ryan, and T. Kelley. 2010. Impact Assessment of Policy-Oriented International Agricultural Research: Evidence and Insights from Case Studies. *World Development*, 38(10), 1453-1461.
- Winters, P., Corral, L., & Gordillo, G. (2001). *Rural Livelihood Strategies and Social Capital in Latin America: Implications for Rural Development Projects*. University of New England, Graduate School of Agricultural and Resource Economics.
- World Bank (2011). *Plurinational State of Bolivia: Agriculture Public Expenditure Review*. Report No. 59696.
- Zeweld, W., Huylensbroeck, G. V., Hidgot, A., Chandrakanth, M. G., & Speelman, S. (2015). Adoption of Small-Scale Irrigation and Its Livelihood Impacts in Northern Ethiopia. *Irrigation and Drainage*, 64(5), 655-668.

Apéndice

Siguiendo la notación de Cerulli (2015), donde Y_{1i} denota el resultado potencial de la unidad i en presencia del tratamiento y Y_{0i} denota el resultado potencial de la misma unidad en ausencia del tratamiento, donde $i = 1 \dots, N$ denotan las unidades observadas. El efecto del tratamiento (τ) de la unidad i se podría expresar así:

$$\tau_i = Y_{1i} - Y_{0i} \quad (1)$$

Para cada unidad i , nunca se puede observar y medir directamente τ_i en la ecuación (1). El marco Neyman-Rubin señala que, bajo una asignación aleatoria del grupo de tratamiento, un estimado no sesgado del efecto promedio del tratamiento (ATE, por sus siglas en inglés) se puede calcular tomando la diferencia entre los resultados promedio de los grupos de tratamiento y control.³⁷

Los métodos de puntajes de propensión son técnicas estadísticas utilizadas en estudios de investigación no experimental para estimar el efecto causal de una intervención mediante la reducción del sesgo ocasionado por variables de confusión. El puntaje de propensión se define formalmente como la probabilidad condicional de la unidad i de recibir tratamiento dado un vector de covariables pretratamiento exógenas y observables (Rosebaum y Rubin, 1983).³⁸ Además, los autores definen al puntaje de propensión como el puntaje de balance “más apropiado” $b(X)$, donde $b(X)$ es una “función de las covariables (pretratamiento) observadas X en la que la distribución condicional de X dado $b(X)$ es la misma para las unidades de tratamiento y de control”. Se requieren dos supuestos para construir un grupo de control válido utilizando el puntaje de propensión: independencia condicional (o ausencia de factores de confusión) y superposición. Estos supuestos se conocen comúnmente como el supuesto de “*strong ignorability*” (Rosenbaum y Rubin, 1983). La ausencia de factores de confusión establece que al ajustar las diferencias en las covariables observables pretratamiento, la asignación del tratamiento es, en esencia, independiente de los resultados potenciales (Rubin, 1990). Por otra parte, el supuesto de superposición establece que para cada conjunto de covariables pretratamiento existe una probabilidad positiva de recibir tratamiento o no recibir tratamiento. En los estudios experimentales, el puntaje de propensión verdadero se conoce y define en el diseño del estudio (Abadie e Imbens, 2016). Sin embargo, en el caso de estudios no experimentales tales como esta evaluación de PRONAREC I, el puntaje de propensión debe estimarse utilizando un modelo logit o probit. Este enfoque busca crear un balance estadístico de las covariables

³⁷ Para que la estimación no sea sesgada, el modelo Neyman-Rubin asume implícitamente que se mantiene el *supuesto de estabilidad del valor de la unidad de tratamiento* (SUTVA, por sus siglas en inglés). El SUTVA asume que el estado de tratamiento de la unidad i no afectará los resultados potenciales de otras unidades y que el tratamiento es homogéneo a lo largo de las unidades (Rubin, 1978).

³⁸ Se asume que dado un conjunto de covariables pretratamiento X_i , el tratamiento T_i es independiente (Rosenbaum y Rubin, 1983):

$$e(X_i) \equiv pr(D_1, \dots, D_N | X_1, \dots, X_N) = \prod_{i=1}^N e(X_i)^{D_i} \{1 - e(X_i)\}^{1-D_i}$$

pretratamiento observables en los grupos de tratamiento y grupos de control³⁹. Consecuentemente, al asumir una “fuerte ignorabilidad”, los puntajes de propensión estimados se pueden utilizar para estimar eficientemente el ATT al emparejar las unidades de tratamiento y control que son lo más similares posible en base al puntaje de propensión. Dado que las inversiones privadas en finca para conectar una parcela al sistema de riego eran voluntarias y no todos los productores de las comunidades beneficiarias de la PRONAREC I tienen riego (Tabla 3), el parámetro estimado debería capturar el efecto de *intención de tratar* (ITT).

³⁹ Rosenbaum y Rubin (1983) muestran que una tarea importante de los puntajes de propensión es minimizar la heterogeneidad de las unidades ya que reducen tanto la variabilidad de la muestra como la sensibilidad al sesgo inobservado. Sin embargo, el PSM no puede ajustar las diferencias inobservadas entre los grupos.

Tabla A1 — Medidas Generales de Desequilibrio en las Covariables Antes y Después del Emparejamiento

Algoritmo de emparejamiento	No. de observaciones			Pseudo R ²	p > χ^2	Sesgo Media (%)	Sesgo Mediana (%)	Rubin B (%)	Rubin R
	Total	Tratamiento	Control						
Muestra no emparejada	1.579	543	1.036	0,21	0,00	20,82	15,51	103,50	7,24
NN 1:1 (reem., cal=0.3sd _p)	742	464	278	0,02	0,42	6,71	7,22	29,97*	1,05
NN 1:1 (reem., cal=0.25sd _p)	742	464	278	0,02	0,42	6,71	7,22	29,97*	1,05
NN 1:1 (reem., cal=0.2sd _p)	741	463	278	0,02	0,44	6,69	7,02	29,76*	1,07
NN 1:1 (reem., cal=0.1sd _p)	733	455	278	0,02	0,39	7,46	7,35	30,67*	1,01
NN 1:1 (reem., cal=0.01)	714	436	278	0,01	0,79	6,44	5,98	26,15*	1,01
NN 1:1 (reem., cal=0.001)	600	339	261	0,02	0,66	4,01	3,46	30,29*	1,63
NN 1:1 (reem., no cal)	742	464	278	0,02	0,42	6,71	7,22	29,97*	1,05
NN 1:1 (no reem., cal=0.3sd _p)	750	375	375	0,01	1,00	3,33	2,92	16,67	0,93
NN 1:1 (no reem., cal=0.25sd _p)	750	375	375	0,00	1,00	2,88	2,86	14,31	0,78
NN 1:1 (no reem., cal=0.2sd _p)	748	374	374	0,00	1,00	2,92	2,71	15,01	0,44*
NN 1:1 (no reem., cal=0.1sd _p)	746	373	373	0,00	1,00	3,51	3,13	15,80	0,92
NN 1:1 (no reem., cal=0.01)	732	366	366	0,00	1,00	2,18	2,00	15,05	1,19
NN 1:1 (no reem., cal=0.001)	620	310	310	0,01	0,98	3,00	2,55	24,30	1,41
NN 1:1 (no reem., no cal)	928	464	464	0,05	0,00	7,92	5,61	52,13*	5,55*
NN 1:3 (cal=0.3sd _p)	742	464	278	0,02	0,42	6,71	7,22	29,97*	1,05
NN 1:3 (cal=0.25sd _p)	742	464	278	0,02	0,42	6,71	7,22	29,97*	1,05
NN 1:3 (cal=0.2sd _p)	733	455	278	0,02	0,44	6,69	7,02	29,76*	1,07
NN 1:3 (cal=0.1sd _p)	714	436	278	0,02	0,39	7,46	7,35	30,67*	1,01
NN 1:3 (cal=0.01)	714	436	278	0,01	0,79	6,44	5,98	26,15*	1,01
NN 1:3 (cal=0.001)	600	339	261	0,02	0,66	4,01	3,46	30,29*	1,63
NN 1:3 (no cal)	742	464	278	0,02	0,42	6,71	7,22	29,97*	1,05
NN 1:5 (cal=0.3sd _p)	742	464	278	0,02	0,42	6,71	7,22	29,97*	1,05
NN 1:5 (cal=0.25sd _p)	742	464	278	0,02	0,42	6,71	7,22	29,97*	1,05
NN 1:5 (cal=0.2sd _p)	741	463	278	0,02	0,44	6,69	7,02	29,76*	1,07
NN 1:5 (cal=0.1sd _p)	733	455	278	0,02	0,39	7,46	7,35	30,67*	1,01
NN 1:5 (cal=0.01)	714	436	278	0,01	0,79	6,44	5,98	26,15*	1,01
NN 1:5 (cal=0.001)	600	339	261	0,02	0,66	4,01	3,46	30,29*	1,63
NN 1:5 (no cal)	742	464	278	0,02	0,42	6,71	7,22	29,97*	1,05
Radio (cal=0.3sd _p) †	1.500	464	1.036	0,01	0,98	4,20	4,03	19,79	1,14
Radio (cal=0.25sd _p) †	1.500	464	1.036	0,01	0,99	4,23	4,09	19,37	1,10
Radio (cal=0.2sd _p) †	1.499	463	1.036	0,01	0,99	4,12	4,06	19,57	1,13
Radio (cal=0.1sd _p) †	1.490	455	1.035	0,01	0,99	4,20	4,12	19,46	0,97
Radio (cal=0.01) †	1.466	436	1.030	0,00	1,00	3,20	2,66	16,01	0,95
Radio (cal=0.001) †	1.145	339	806	0,01	0,95	3,54	2,96	25,17*	1,07
Kernel (epan, bw=0.01) †	1.466	436	1.030	0,00	1,00	3,31	2,87	16,57	0,96
Kernel (epan, bw=0.06) †	1.500	464	1.036	0,01	0,99	4,15	4,16	19,28	1,10
LLR (epan, bw=0.01) †	742	464	278	0,02	0,42	6,71	7,22	29,97*	1,05

Fuente: Cálculos propios de los autores.

Notas: NN = vecino más cercano; reem. (no reem.) = con (sin) reemplazo; cal = caliper; epan = kernel epanechnikov; $p > \chi^2$ = p-valor de la prueba de tasa de probabilidad; sd_p = desviación estándar combinada de los puntajes de propensión estimados (0.23270874); bw = ancho de banda; LLR = regresión lineal local. * Indica a Rubin B > 25 por ciento o Rubin R externo [0.5, 2].

† Errores estándar obtenidos por bootstrapping con 500 repeticiones de clusters.