

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador

Departamento de Desarrollo, Ambiente y Territorio

Convocatoria 2020-2022

Tesis para obtener el título de maestría en Economía del Desarrollo

Análisis del impacto de la tecnificación del riego en la productividad agrícola en el Ecuador
durante el periodo 2016-2019

José Sebastián Acosta Altamirano

Asesor: Hugo Jácome

Lectores: Juan Fernández Sastre y Juan Ponce

Quito, febrero de 2024

Índice de contenido

Resumen	6
Agradecimientos.....	7
Introducción.....	6
Capítulo I: Marco teórico	11
1.1 Innovación tecnológica y agricultura.....	11
1.2 La productividad como herramienta analítica	12
1.2.1 Productividad agrícola.....	14
1.3 Riego, riego tecnificado y productividad agrícola.....	15
1.3.1 Riego versus no riego	16
1.3.2 Conceptualización y caracterización de la tecnificación de riego.....	18
1.3.3 Riego tecnificado versus riego no tecnificado	19
Capítulo II: Recolección de Datos y Metodología	24
2.1 Descripción de la intervención	24
2.2 Literatura metodológica.....	24
2.3 Recolección de los datos.....	26
2.4 Estrategia de identificación.....	27
Capítulo III: Resultados y discusión	30
3.1 Resultados: impacto del riego en la productividad de la tierra.....	30
3.1.1 Diferencias en Diferencias del riego versus no riego en la productividad de la tierra	30
3.1.2 Test de balance de covariables en línea base	33
3.1.3 Test de balance de covariables después del emparejamiento ponderado	35
3.1.4 Diferencias en diferencias con emparejamiento ponderado del riego versus no riego	37
3.2 Impacto del riego tecnificado en la productividad de la tierra	40

3.2.1	Diferencias en Diferencias del riego tecnificado versus no riego no tecnificado en la productividad de la tierra	40
3.2.2	Test de balance de covariables en línea base	44
3.2.3	Test de balance de covariables después del emparejamiento ponderado	45
3.2.4	Diferencias en diferencias con emparejamiento ponderado del riego tecnificado versus riego no tecnificado en la productividad de la tierra	47
3.3	Análisis costo-beneficio.....	50
Conclusiones		53
Referencias		55

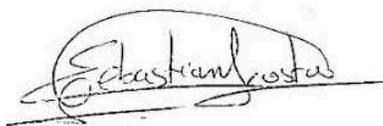
Lista de tablas

Tabla 3.1 Depuración de la muestra	30
Tabla 3.2 Distribución entre grupo de tratamiento y control	30
Tabla 3.3 Diferencias en diferencias del riego en la productividad de la tierra	31
Tabla 3.4 Prueba de medias entre grupo de tratamiento y control en línea base	34
Tabla 3.5 Prueba de medias después del emparejamiento ponderado	36
Tabla 3.6 Diferencias en diferencias del riego en la productividad de la tierra	38
Tabla 3.7 Depuración de la muestra	41
Tabla 3.8 Distribución entre grupo de tratamiento y control	41
Tabla 3.9 Diferencias en diferencias del riego tecnificado en la productividad de la tierra	42
Tabla 3.10 Prueba de medias en línea base entre grupo de tratamiento y de control.....	44
Tabla 3.11 Prueba de medias en línea base después del emparejamiento ponderado.....	46
Tabla 3.12 Diferencias en diferencias del riego tecnificado en la productividad de la tierra (emparejamiento ponderado).....	48
Tabla 3.13 Flujo de efectivo.....	51
Tabla 3.14 Análisis de viabilidad y costo-beneficio	52

Declaración de cesión de derecho de publicación de la tesis

Yo, José Sebastián Acosta Altamirano, autor de la tesis titulada Análisis del impacto de la tecnificación del riego en la productividad agrícola en Ecuador durante el periodo 2016-2019, declaro que la obra es de mi exclusiva autoría, que la he elaborado para obtener el título de maestría en Economía del Desarrollo, concedido por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador. Cedo a la FLACSO Ecuador los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, bajo la licencia Creative Commons 3.0 Ecuador (CC BY-NC-ND 3.0 EC), para que esta universidad la publique en su repositorio institucional, siempre y cuando el objetivo no sea obtener un beneficio económico.

Quito, febrero de 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sebastián Acosta', written over a horizontal line.

Firma

José Sebastián Acosta Altamirano

Resumen

El sector agrícola en América Latina se distingue por su alta competencia, donde la limitada capacidad de absorción de bienes agrícolas por parte de las empresas agroindustriales genera una intensa rivalidad entre los agricultores, en un mercado ya saturado. Esta situación, que también obstaculiza los encadenamientos productivos ha llevado a precios bajos de los productos agrícolas, siendo ésta la única ventaja competitiva de los agricultores familiares y pequeños productores, a expensas de su rentabilidad. La agricultura de pequeña escala es una actividad de subsistencia en la región, ya que ha generado escaso valor agregado en un mercado que carece de mecanismos consolidados para ello. En este contexto, la reducción de costos se vuelve crucial para mejorar la rentabilidad, y el aumento de la productividad agrícola se presenta como un factor fundamental para lograrlo donde, en el debate académico, los sistemas de riego tecnificado han tomado mayor relevancia.

El presente estudio tuvo como primer objetivo analizar la productividad agrícola en Ecuador entre 2016 y 2019, comparando predios con cultivos permanentes que implementaron sistemas de riego, con aquellos que no lo hicieron. Además, se planteó como segundo objetivo evaluar los efectos diferenciados entre los sistemas de riego tecnificados y no tecnificados. Para estimar la productividad agrícola se utilizó un modelo de Diferencias en Diferencias con efectos fijo emparejando la muestra a través del método de Puntaje de Propensión Ponderado (Propensity Score Weighted). Los resultados indican que la implementación del riego trajo consigo un aumento significativo de la productividad de la tierra. Para el caso del riego tecnificado, se encontró también un incremento de la productividad, aunque el impacto es menor. Sin embargo, la tecnificación del sistema de riego presenta rendimientos marginales decrecientes, evidenciados por un aumento más pronunciado en la productividad en predios con riego convencional en comparación con aquellos con riego tecnificado.

Agradecimientos:

A mi asesor de tesis Hugo Jácome, por su tiempo, dedicación y guía en este proceso,

A mis lectores Juan Fernández Sastre y Juan Ponce por sus valiosos aportes,

A mi pareja, y a mi familia ampliada, por su cariño y apoyo incondicional.

Introducción

En 2020, la crisis sanitaria significó una caída de la demanda global. En Ecuador, la demanda interna se redujo, sin embargo, según el ex ministro de Agricultura y Ganadería, Xavier Lazo, el 80 % de la producción agropecuaria continuaba operando normalmente. La importancia del sector agrícola radica no solo en su contribución con la quinta parte de la producción de bienes y servicios en Ecuador, lo que hace que la producción de alimentos sea suficiente (FAO 2019), sino también en que para 2019, año sin pandemia, este sector representó aproximadamente el 8 % del PIB, siendo, a su vez, el sector con mayor porcentaje de personas ocupadas (30 % de la población económicamente activa) y la actividad principal de la mayoría de los hogares rurales en Ecuador (INEC 2020). Sin embargo, los recursos productivos como la tierra y el agua de riego, entre otros insumos claves, están concentrados en pocas manos.

A esto último se suma el hecho de que el sector agrícola en América Latina se caracteriza por ser altamente competitivo. La poca capacidad de absorción de bienes agrícolas por parte de las empresas agroindustriales hace que los agricultores compitan entre sí en un mercado ya saturado. Ello, sin contar con que esta situación limita los encadenamientos productivos. En este contexto, los precios de los bienes agrícolas son bajos, convirtiéndose en la única ventaja competitiva de los agricultores familiares y pequeños productores a costa de un deterioro de su rentabilidad. De esta manera, la agricultura de pequeña escala en la región no ha sido más que una actividad de subsistencia desde la inserción de estas economías al mercado nacional o internacional.

Al pertenecer a un mercado altamente competitivo y al no existir mecanismos consolidados para que la agricultura de pequeña escala produzca valor agregado, la reducción de costos de producción se convierte en una condición necesaria para mejorar o generar rentabilidad. En este contexto, el incremento de la productividad agrícola juega un papel fundamental. En otras palabras, se requiere aumentar el producto por insumo utilizado. Ello se traduce en mayor eficiencia del uso de insumos, reducción de costos de producción, mayores retornos de los insumos, reducción de precios de venta y, por ende, un aumento de la competitividad.

Entre los insumos claves para la producción agrícola constan la tierra, semillas, fertilizantes, abonos, mano de obra y agua de riego. Con respecto al agua de riego, según Sistemas de Información sobre Agua y Agricultura de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (AQUASTAT- FAO), solo el 20,5 % del área con potencial de

riego en la región se encuentra irrigada (FAO 2012). Esto evidencia la poca capacidad de los agricultores de captar el agua para riego. Adicionalmente, no se requiere solo que exista disponibilidad de agua para uso productivo en territorio, sino también de infraestructura que permita la adecuada aplicación del riego en los cultivos. En otras palabras, se necesita la implementación de sistemas a grande o pequeña escala que regulen la cantidad necesaria de agua que un cultivo necesita para su producción. Entre las principales tecnologías de riego no tecnificado consta la implementación de riego por gravedad o inundación, como los surcos y canales. Los sistemas de riego por surcos o gravedad son sistemas de irrigación poco costosos y no requieren una alta inversión en mecanización adicional, a diferencia de los sistemas presurizados (*Ibid.*). Por ello, la presencia de surcos en la agricultura a pequeña escala en América Latina es predominante (*Ibid.*).

Por otro lado, existen sistemas de riego con tecnología incorporada (sistemas de riego tecnificado) que ofrecen la utilización eficiente de agua aumentando la productividad del resto de insumos utilizados en el proceso productivo. Entre estos se encuentran los sistemas de riego presurizados, tales como aspersión, microaspersión, riego por goteo, nebulización y otros sistemas no convencionales.

En este sentido, este estudio subraya el aporte de la tecnificación del riego en la productividad agrícola que permita plantear lineamientos de política pública para la inversión en tecnología agrícola en el área rural. De esta manera, se plantean los objetivos y preguntas de investigación detallados a continuación.

Pregunta general

- ¿En qué medida la tecnificación de riego incidió en la productividad agrícola de cultivos permanentes en Ecuador en el periodo 2016-2019?

Objetivo general

- Determinar el impacto de la tecnificación del riego en la productividad agrícola de cultivos permanentes en Ecuador durante el periodo 2016-2019.

Objetivos específicos

1. Identificar si existen efectos diferenciados en la productividad agrícola de predios con cultivos permanentes que implementaron algún sistema de riego y aquellos que no lo implementaron.
2. Identificar si existen efectos diferenciados en la productividad agrícola de cultivos permanentes entre los sistemas de riego tecnificados y los sistemas de riego no tecnificados.

Capítulo I: Marco teórico

1.1 Innovación tecnológica y agricultura

Las innovaciones tecnológicas son, en esencia, un proceso de destrucción creativa en donde nuevas tecnologías sustituyen poco a poco a las tecnologías que las precedieron. Dichas innovaciones han tenido profundas implicaciones sociales y económicas las cuales han creado y desplazado paradigmas vinculados tanto a las relaciones de producción como a las formas de organización social. En la agricultura, estas transformaciones han incidido no solo en los entornos rurales sino también en el desarrollo de otros sectores que operan y se desarrollan fuera y dentro del casco urbano (Schmitz *et al.* 2010). En este sentido, se habla de anclajes productivos que vinculan el campo a la ciudad y a la agricultura con otras industrias o sectores de la economía (sectores agroindustriales o de servicios) (*Ibid.*).

La capacidad de innovación de cada industria o sector de una economía depende de sus dinámicas internas y de su taxonomía. El sector agrícola, en este caso, se caracteriza por la existencia de una baja concentración de mercado, alta competencia en precios y baja capacidad de inversión en innovaciones de productos lo cual genera homogeneidad en su producción. En este contexto, y si bien en el sector existen distintos tipos de innovaciones de productos derivados de las iniciativas en investigación y desarrollo (I+D) —tales como el desarrollo de nuevos y mejores bienes agrícolas—, la mayoría de las tecnologías son desarrolladas para el mercado de bienes intermedios, como semillas, fertilizantes, equipos para riego, siembra o labranza, entre otros (Possas *et al.* 1996). De esta manera, la innovación en la agricultura se da desde los proveedores de insumos, lo cual sugiere que el desarrollo de nuevas tecnologías se enmarca mayoritariamente en la innovación de procesos (*Ibid.*).

Históricamente, estas transformaciones tecnológicas se han traducido como procesos de mecanización de la actividad productiva. La producción intensiva en mano de obra fue substituida gradualmente por la utilización de animales y, posteriormente, por maquinarias y equipos. Estas transformaciones tuvieron efectos en diversas macro variables como en la oferta de bienes agrícolas, en el empleo y en el ingreso rural (Schmitz *et al.* 2010). De esta manera, la mecanización de la agricultura no solamente permitió desplazar la frontera de producción de bienes agrícolas para abastecimiento de alimentos locales o para la reducción de la pobreza rural, sino que también permitió alimentar un mercado global que a mitad de del siglo XX ya se

encontraba en proceso de expansión trascendiendo fronteras locales, nacionales y regionales (Schmitz *et al.* 2010; Von Braun 1988). Ello promovió el desarrollo de anclajes productivos a gran escala y el abastecimiento de mayor cantidad y diversidad de bienes agrícolas a la demanda global (Schmitz *et al.* 2010).

En este sentido, el rol de la tecnología en procesos incrementales de la producción y en la dinamización de la economía es indispensable. El argumento gira en torno al impacto generalizado de nueva tecnología (e infraestructura) en la reducción de costos de producción, en el aumento de la productividad de insumos privados y de las tasas de rendimiento del capital cuando el *stock* de activos es bajo (Agénor 2010). En otras palabras, se vincula las transformaciones y adaptaciones tecnológicas con la formación de economías a escala y de procesos de industrialización. Particularmente en el riego, la construcción de represas para el almacenamiento de aguas productivas, por ejemplo, implica un potencial acceso al riego de pequeños y medianos productores que, a su vez, incide en la reducción de costes agrícolas y aumento de rendimientos del capital. En el mismo modo actúan los sistemas de riego con tecnología incorporada, permitiendo ampliar la superficie de regadío y, por tanto, incrementar la producción en menor tiempo y, a mediano plazo, a menor costo. En este sentido, se argumenta que la inversión en nuevas tecnologías y su potencial para incrementar la productividad agrícola están estrechamente relacionadas con las teorías del Big Push de Rosenstein-Rodan, considerando la necesidad de inversión para promover la industrialización de los países y alcanzar un equilibrio que implique una mejora del bienestar (Agénor 2010; Murphy 1989).

De esta manera, la tecnología agrícola se convierte en un concepto analítico central para el estudio de la productividad y sus efectos en el desarrollo de la ruralidad. Tal y como lo menciona Dhrifi (2014), el cambio tecnológico en la agricultura no solo tiene implicaciones en el incremento de la productividad de la tierra como un elemento aislado de las economías agrícolas, sino que con ello aumenta la participación de pequeños y medianos productores en el mercado de bienes agrícolas y, por ende, reduce la pobreza rural.

1.2 La productividad como herramienta analítica

A través de los cambios tecnológicos, las economías han logrado reducir costos y con ello mejorar la competitividad de sus productores tanto en el mercado local como global. En este sentido, es imperativo que países en desarrollo enfoquen sus esfuerzos en el desarrollo o

adaptación de innovaciones tecnológicas como un eje central de las políticas de fomento productivo. Por esta razón, se considera fundamental entender qué se concibe por productividad y cuáles son sus aspectos claves por subrayar, mismos que pueden ser afectados por los procesos de transformaciones tecnológicas.

La productividad, en este contexto, hace referencia a la relación insumo-producto en los procesos de producción. Esto se traduce como la cantidad de producto derivado del proceso productivo para la cantidad de insumos utilizados en el mismo. En este sentido, la productividad varía cuando aumenta la brecha entre la producción obtenida e insumos utilizados (Sharpe 2002). Tangen (2002) identificó cinco posibles variaciones de la relación insumo-producto (o un aumento de la brecha mencionada) que representan un incremento de la productividad:

1. la producción y los insumos aumentan, pero el aumento de los insumos es proporcionalmente menor que el aumento de la producción,
2. la producción aumenta mientras que los insumos permanecen igual,
3. la producción aumenta mientras se reducen los insumos,
4. la producción permanece igual mientras que los insumos disminuyen, y
5. la producción disminuye mientras que los insumos disminuyen aún más.

Las relaciones insumo-producto planteadas por Tangen asumen, en todos los casos, una diferencia en la ratio favorable a la producción sobre los insumos, en donde a mayor distancia la producción tome con respecto a los insumos utilizados, mayor será el incremento de la productividad (2002).

El autor sugiere que la relación insumo-producto implica estrictamente creación de valor. En este sentido, se vincula la productividad con el proceso de transformación de insumos a productos con el fin último de crear valor. Y, por el contrario, la ausencia de dicho valor producido es la mera producción del desperdicio: concepto antagónico de la productividad (Tangen 2002). De ahí que se asume que un proceso es productivo cuando la producción de valor es efectiva; en otras palabras, la productividad asumida únicamente en términos de resultados (Koss y Lewis 1993).

Sin embargo, Koss y Lewis agregan que el proceso previo al resultado es un factor para tomar en cuenta en la productividad (1993). De ahí que la relación entre productividad y la eficiencia se torna un factor de análisis relevante. Se asume la eficiencia como la utilización mínima de los

insumos requeridos para la producción de un bien o servicio (Tangen 2002). Ello se traduce en la gestión de insumos mínimos utilizados en el proceso para mejorar los resultados. Entonces, a mayor eficiencia en la utilización de insumos, menor será el consumo de estos en el proceso productivo para un resultado deseado y, por ende, mayor aprovechamiento de recursos. Esta cadena de eventos incide positivamente en la ratio insumo-producto en donde el aumento en la eficiencia del uso de los insumos implica un incremento de la productividad *per se*.

Adicionalmente, la reducción del consumo de insumos por la cantidad producida implica una reducción de los costos de producción. En este sentido, los agentes productivos aumentan sus márgenes de ganancia disminuyendo los recursos destinados a insumos. Dicho de otra forma, la reducción de los costos de producción aumenta la diferencia en la ratio costos-ingresos incrementando la rentabilidad del bien o servicio producido. Por esta razón, se argumenta que la productividad es eslabón fundamental entre el proceso productivo inicial y la rentabilidad obtenida, convirtiéndola en el aspecto más importante de la actividad económica (Tangen 2002).

1.2.1 Productividad agrícola

La productividad agrícola ha sido un tema de alto interés en países en desarrollo debido a su vínculo con el desarrollo económico y su cualidad como determinante del ingreso rural (Fan y Zhang 2004). En dichos países, cuyas economías son en gran proporción agrícolas, la búsqueda por el aumento de su productividad es indispensable. En este sentido, la productividad agrícola no solo aumenta la competitividad del sector, sino que también incentiva encadenamientos productivos, estimulando la producción, productividad y competitividad de otros sectores.

La productividad agrícola se define como la relación entre insumo agrícola y producto agrícola, en donde el incremento de la productividad es el aumento de la producción de un bien o servicio agrícola por insumo utilizado. La literatura, en este sentido, no ofrece una sino varias formas en las que la productividad se puede medir en el contexto de producción agrícola. Entre estas constan la productividad laboral, la productividad total de los factores y la productividad de la tierra.

En primer lugar, la productividad laboral ha sido una recurrente herramienta que diversos autores como Bhattarai y Narayanamoorthy (2003) y Fan y Zhang (2004) han utilizado para medir la productividad agrícola. Esta hace referencia a la capacidad productiva de una unidad de mano de obra, lo cual la vincula con el capital humano. Sin embargo, esta no recoge el impacto de otros

factores de producción particularmente importantes en los procesos de productivos del campo, como la tierra, semillas y fertilizantes.

Por otro lado, la productividad total de los factores (TFP, por sus siglas en inglés) es la diferencia entre la producción y los cambios en los insumos o el residuo después de estimar la contribución de los insumos al cambio en la producción (Sharpe 2002). En este sentido, la TFP se concentra en la eficiencia técnica o progreso tecnológico (el residuo), sin tomar en cuenta los efectos de insumos sobre la producción. Por ello se argumenta que la TFP presenta algunas deficiencias si se añade la infraestructura de riego como variable explicativa (FAO 2017).

Es así como Bordoloi (2020) sugiere la productividad de la tierra para analizar los efectos de los insumos productivos como el agua de riego. Esto debido a que la tierra es el factor que interactúa con todos los insumos utilizados en el proceso productivo y, por tanto, la productividad de la tierra refleja de mejor manera la relación insumo-producto (*Ibid.*)

1.3 Riego, riego tecnificado y productividad agrícola

El riego es un componente esencial para la producción agrícola. El acceso a este factor productivo determina los niveles de productividad de las unidades productivas, evidenciando niveles muy bajos en parcelas donde los sistemas de riego están ausentes, afectando directamente la competitividad y rentabilidad de sus cultivos. En este sentido, el primer subtema de esta sección subraya la relevancia del riego en el proceso productivo agrícola. Pese a que el acceso al riego no es en sí el eje central de esta investigación, se considera importante poner en relieve las limitaciones que los productores enfrentan al no tener acceso a este recurso y sus efectos en el aumento de la productividad agrícola.

Por otro lado, la importancia de la infraestructura y tecnificación de riego radica en su potencial para mejorar el acceso al agua como insumo vital para la agricultura, incrementar y diversificar la producción agrícola, reducir sus costos de producción, aumentar el rendimiento de los insumos y, con ello, desplazar la frontera de producción agrícola. En este sentido, la reducción de costos de producción y la mejora en la eficiencia de insumos promovidos por el riego son elementos claves para el análisis de la productividad agrícola (Bermúdez *et al.* 2010). Cabe señalar que existe evidencia de que la productividad de los cultivos presenta resultados diferenciados entre sistemas de riego (tecnificados y no tecnificados). Dicho esto, en el presente apartado se analiza la literatura referente a los impactos de la tecnificación del riego en la productividad agrícola. De

esta manera, en el segundo subtema de esta sección se realiza una conceptualización y caracterización del riego tecnificado y posteriormente se rescata la teoría asociada a la tecnificación del riego y sus impactos en el aumento de la productividad agrícola, tema central en este estudio.

1.3.1 Riego versus no riego

El agua de riego es un recurso esencial en el proceso productivo agrícola. El acceso a este recurso determina la cantidad de la producción y la productividad de los insumos utilizados. La producción agrícola es un proceso en donde el agua de riego actúa en la tierra cultivada en combinación con factores productivos fundamentales como el sol y el trabajo. De esta manera, el agua penetra la tierra ayudando a las plantas a absorber los nutrientes del suelo mientras el sol provoca la evapotranspiración, proceso que elimina naturalmente el exceso de agua del cultivo (Gurovich 1985). Si bien dichas necesidades hídricas de los cultivos pueden, en ocasiones, ser solventadas por fuentes naturales y no excluyentes de agua (precipitaciones), en la mayoría de los casos estos requieren la aplicación adicional de agua para su subsistencia (*Ibid.*). En este sentido, la irrigación provee la cantidad suficiente de agua (mas no necesariamente la adecuada) y su disponibilidad oportuna para la hidratación de los cultivos y la subsecuente producción de bienes agrícolas (*Ibid.*). Es así como la irrigación se define como la hidratación artificial de los cultivos para estimular su producción (Gurovich 1985a).

No obstante, el acceso al agua para uso productivo es mayoritariamente escaso entre los campesinos y ello no se debe únicamente a la disponibilidad física de fuentes de agua en territorio, sino que responde a distintos tipos de relaciones de poder. De acuerdo con Vargas-Velázquez (2010), el acceso limitado al agua de riego tiene trasfondos político-institucionales que merman la capacidad de los pequeños productores o agricultores de subsistencia de negociar por fuentes hídricas, y un trasfondo socioeconómico que se expresa en la captación y sobreexplotación de cuencas hídricas por parte de grandes agroindustriales y agricultores comerciales influyentes, disminuyendo así la disponibilidad efectiva de agua.

Sin acceso al agua de riego o a infraestructura de irrigación, los pequeños productores dependen únicamente de las precipitaciones, que en muchos casos son estacionarias e impredecibles, lo cual provoca que la cantidad y calidad de la producción se afecte (Llanos *et al.* 2013; Vermeulen *et al.* 2012). Esto debido a la poca capacidad de control de la cantidad de agua productiva

utilizada y de los tiempos de irrigación requeridos por cultivo (Llanos *et al.* 2013). Además, el cambio climático —que ha provocado periodos de sequía y de lluvias no previstos— vuelve aún más vulnerables a sectores agrícolas con irrigación basada en precipitaciones (Vermeulen *et al.* 2012; Olayide *et al.* 2016).

En economías en desarrollo, las precipitaciones como fuentes hídricas naturales predominan sobre los sistemas de irrigación. Sin embargo, Olayide *et al.* (2016) observaron que las precipitaciones tienen un impacto negativo en los niveles de producción agrícola, mientras que el impacto era positivo al tomarse en cuenta los cultivos con acceso a riego. Si se analiza la variabilidad climática de las últimas décadas, estos resultados se tornan aún más relevantes. Los autores argumentan que la producción y productividad agrícola tiene relación año a año con las precipitaciones cuya frecuencia es cada vez más errática e impredecible. En este sentido, Olayide *et al.* (2016) defienden la tecnificación del riego como estrategias para la “agricultura climáticamente inteligente”, capaz de contrarrestar los choques en la producción y productividad agrícola provocados por el cambio climático.

Por otro lado, los sistemas de riego provistos por el sector privado, y en caso de no ser subsidiados por el Estado, representan una inversión permanente para los agricultores, lo cual repercute no solo en sus costos de producción, sino en la capacidad productiva en sí misma (Llanos *et al.* 2013). Cabe señalar que, en países en desarrollo, la población de campesinos cuya actividad principal es la agricultura de subsistencia tiene limitado acceso a servicios privados de riego debido a su restricción presupuestaria y limitada capacidad de inversión (Llanos *et al.* 2013). En este sentido, las empresas que operan bajo lógicas de rentabilidad no prestan servicios en zonas en donde esta población es predominante (*Ibid.*). Esto, además, en un marco de limitada infraestructura de acceso (carreteras y caminos) que impide el paso de vehículos, sean privados o públicos, e incluso limitando medidas puntuales que se puedan llevar a cabo. Por lo tanto, la falta de infraestructura de irrigación, así como de infraestructura de carreteras y caminos, profundiza los procesos de divergencia productiva en el sector y hace que el agua, recurso clave, no esté efectivamente disponible.

Por lo mencionado, difieren significativamente los efectos en la productividad agrícola entre las parcelas con acceso a riego y las que no lo tienen. Pese a que los cambios en la productividad agrícola no son homogéneos (varían dependiendo del bien agrícola producido), los efectos de la

irrigación en la intensificación del cultivo son positivos, independientemente del bien que se produzca (Srivastava *et al.* 2013).

Finalmente, Jin *et al.* (2012) determinaron que los cultivos con acceso a riego aumentan la productividad de la tierra en un rango de 39 % a 52 % en comparación con las parcelas que no cuentan con ningún tipo de infraestructura de irrigación ni acceso agua para uso productivo. Cabe recalcar que los coeficientes del riego disminuyeron cuando se consideraron características de calidad de suelo cultivable y uso de insumos clave. A esto último, Dhehibi *et al.* (2016) añaden que el riego en complementariedad con el uso de otros insumos tiene un efecto positivo en la productividad de la tierra, pero muestra rendimientos decrecientes en la producción agrícola. En otras palabras, a mayor uso de insumos y menor calidad del suelo, el efecto incremental del riego en la producción disminuye.

1.3.2 Conceptualización y caracterización de la tecnificación de riego

Los sistemas de riego son técnicas o infraestructuras adaptadas para mejorar la distribución de agua productiva en el suelo cultivado. Los distintos sistemas difieren en la forma de implementación, tecnología adaptada, control de cantidad de agua en los cultivos, consumo de agua y eficiencia de su uso. Entre los sistemas más utilizados constan: sistema surcos o inundación, de aspersión o microaspersión y sistema por goteo. Adicionalmente, se considera como riego tecnificado los tres últimos sistemas mencionados (aspersión, microaspersión y goteo), debido a la tecnología incorporada en el método de irrigación. A continuación, se detallan las principales características de cada sistema de riego según la FAO (2008):

- Sistema de surcos o inundación. Este sistema consiste en la distribución superficial del agua de riego en el área cultivada. La distribución del agua en la totalidad de la superficie cultivada se denomina riego por inundación, mientras que el sistema por surcos distribuye el agua en el área parcial cultivada. Los surcos o inundaciones presentan dificultades en parcelas con pendientes más pronunciadas debido a la poca capacidad de controlar la cantidad de agua requerida para los cultivos. Además, el consumo de agua es alto, por lo que en contextos de escasez presenta problemas de implementación. El sistema requiere alta inversión inicial y utilización de mano de obra.
- Sistema de aspersión y microaspersión. Tanto el sistema de aspersión como el de microaspersión producen gotas de agua asperjadas en la superficie del cultivo, simulando

precipitaciones naturales. El sistema de microaspersión se diferencia por suministrar agua a menor distancia y de manera más localizada. La distribución de agua es desigual cuando el terreno cultivado presenta pendientes pronunciadas. El consumo de agua es sustancialmente menor que el de surcos o inundaciones, pero el doble que el sistema por goteo. Este sistema permite controlar el agua suministrada en los cultivos, siempre y cuando la infraestructura de aspersión distribuya la misma cantidad de agua en toda la plantación. Se requiere una mediana inversión inicial y utilización de mano de obra.

- Sistema por goteo. El sistema por goteo distribuye el agua de riego por gotas de manera localizada en los cultivos. Para ello, se utilizan mangueras de goteo y tuberías de distribución. Este sistema se adapta bien a terrenos con o sin pendientes y el consumo de agua requerido es bajo. Mediante este sistema, se puede controlar el agua suministrada en los cultivos tanto por cantidad como por tiempo de irrigación. La distribución lenta del agua suministrada en los cultivos permite un mejor aprovechamiento de este recurso, haciendo de este sistema el más eficiente (del 90 % al 95 %). La utilización de mano de obra operativa es baja, aunque la inversión inicial es elevada (FAO 2008).

1.3.3 Riego tecnificado versus riego no tecnificado

Las brechas en la productividad agrícola entre cultivos con riego tecnificado y con riego convencional se expresan en términos de uso eficiente de agua productiva. En este sentido, la tecnificación del riego tiene un efecto directo en la reducción de recursos hídricos utilizados para la actividad productiva y, con ello, la reducción de los costos de producción y el aumento de la eficiencia del uso de recursos. En contextos en donde los recursos hídricos son escasos, la adopción de tecnologías de riego o la tecnificación del riego conduce a la reducción de la presión sobre los recursos hídricos que el uso de sistemas de irrigación ineficientes provoca (Expósito y Berbel 2019; Schuck *et al.* 2005). Los sistemas de goteo, microaspersión o aspersión con baja presión, a su vez, optimizan la aplicación del agua de riego sobre los cultivos reduciendo el uso innecesario de agua en el proceso de distribución y conducción hasta los cultivos, incrementando su disponibilidad para usos futuros, satisfaciendo los requerimientos hídricos de los cultivos y mejorando la absorción de insumos como fertilizantes (Schuck *et al.* 2005; Pereira *et al.* 2002; Olvera *et al.*, 2014 en Olvera *et al.* 2014a, Wheeler *et al.* 2010; Skaggs 2001; Vargas-Velázquez 2010). En este sentido, encontrar nuevas formas para producir mayor cantidad de bienes

agrícolas con un menor consumo de agua es una alternativa para al problema de escasez de agua y la baja productividad agrícola (Playan 2006; Olvera *et al.* 2014a).

Cabe recalcar que el uso ineficiente de agua productiva tiene externalidades negativas de mediano y largo plazo. En contextos en donde la actividad agrícola es intensiva, la sobre explotación de cuencas hídricas se convierte en una actividad cotidiana, la cual genera impactos ambientales negativos además de reducir la disponibilidad de agua para demandas futuras, ya sean estas para uso productivo o consumo de subsistencia (Vargas-Velázquez 2010). Aumentar la eficiencia del uso de aguas productivas a través del riego tecnificado reduce dichas afectaciones. Vargas-Velázquez (2010) ilustra este fenómeno a través de su estudio de cuencas hídricas de Lerma-Chapala, las cuales han sido altamente aprovechadas por la creciente urbanización que estimula la explotación agrícola y aumentan los requerimientos de agua para suplir las necesidades básicas de quienes habitan la zona.

La tecnificación del riego incide también en la mejor distribución del agua para este fin. En tanto los sistemas de riego optimicen el uso de este recurso, la disponibilidad de agua para uso compartido aumenta. De ahí que las grandes captaciones de agua se reducen facilitando el acceso a pequeños agricultores a fuentes de agua (Vargas-Velázquez 2010). Incluso, el exceso de agua puede ser destinado a suplir necesidades más allá de la actividad económica que se realice (*Ibid.*). La teoría sugiere, además, que el riego tecnificado está asociado con otros fenómenos socioeconómicos, políticos e institucionales, tales como las presiones por la construcción de redes viales, introducción de nuevos sistemas de cultivos, creación de organizaciones campesinas y asociaciones de productores, adquisiciones de nuevas tecnologías agrícolas y ampliaciones del área de cultivo (Bermúdez 2003 y Bermúdez *et al.* 2010).

En pocas palabras, la implementación de sistemas de riego tecnificados optimiza el uso del agua productiva, mejora el aprovechamiento de los insumos y, con ello, los costos se reducen y el sistema productivo en su conjunto se torna más eficiente. De esta manera, se asocia la tecnificación con aumentos de la eficiencia del uso del agua que, a su vez, aumenta la productividad de la tierra en mayor proporción que los sistemas convencionales de riego.

De acuerdo con la literatura empírica analizada, la potencialización de la productividad de la tierra se evidencia al tomar en cuenta cultivos con riego tecnificado. Ello tomando como referencia el riego no tecnificado, como los sistemas por surcos o inundación o gravedad. Auci y

Pronti (2020), argumentan que las diferencias son significativas, ya que la adopción de tecnologías de riego —ya sea por aspersión, microaspersión y goteo— incrementa la productividad de la tierra en mayor proporción que los sistemas convencionales de irrigación por gravedad. Cuando se considera únicamente a productores agrícolas, los resultados expuestos por los autores evidencian que la adopción de riego tecnificado aumenta la productividad de la tierra en 15 553,17 (euros por hectárea), en comparación con los sistemas convencionales.

Bermúdez (2003) respalda estos resultados. En su estudio, se evidencia que la adopción de riego por aspersión incrementa notablemente la productividad de la tierra observada en los cultivos estudiados, en comparación con aquellos cultivos que no se tecnificaron en riego (Bermúdez 2003). Además, argumenta que el factor de riego y su tecnificación incidió en la regulación y ordenamiento de la oferta, en la planificación de la producción y ventas de las cosechas, y en la variación significativa en las canastas de costos de producción. Eso, a su vez, incide en una mejor y más eficiente asignación de recursos y en el aumento de la rentabilidad de los cultivos (*Ibid.*).

Olvera *et al.* (2014a) encontraron que la implementación de riego tecnificado está directamente asociada con los volúmenes de producción agrícola, su productividad y los costos de producción en cuanto a la cantidad de insumos aplicados por cultivo: esto afecta positivamente la disponibilidad de alimentos. Sin embargo, el efecto observado fue mayor en los cultivos con superficies más amplias (Olvera *et al.* 2014a). Por otro lado, los autores mencionan que la tecnificación a través de la aspersión y el goteo incrementó en promedio el volumen de agua ahorrado (en relación con los sistemas de gravedad), aunque este varía dependiendo del tipo de cultivo analizado. Así mismo, el riego tecnificado incrementó los ingresos de ventas por agua productiva utilizada. Esto significa que, en relación con los sistemas de riego convencionales, la tecnificación aumentó la rentabilidad de los cultivos de hogares productores y fincas (*Ibid.*).

Las diferencias en la productividad agrícola también son observables al comparar los distintos tipos de riego tecnificado. Por un lado, el riego por goteo muestra resultados positivos con la productividad de la tierra. Mbodj *et al.* (2014 citado en Albaji *et al.* 2015) establece que el riego por goteo produjo más áreas de riego en comparación con la práctica de riego superficial o riego por aspersión. Sin embargo, Olvera *et al.* (2014) observa que la relación costo beneficio en goteo

es baja, pese a que el ahorro de agua en volumen es mucho mayor a cualquier otro sistema tecnificado de riego.

En contraste, la tecnificación por aspersión tiene una relación positiva con la productividad del agua y de la tierra, aunque la productividad de la tierra muestra un mayor aumento que la del agua (Olvera *et al.* 2014). En comparación con las técnicas por goteo, los sistemas presurizados aportan en menor grado al ahorro (en volumen) del agua productiva, haciendo menos eficiente su uso (*Ibid.*). Según los autores, el goteo contribuyó al ahorro de este factor productivo cuatro veces más que los sistemas de aspersión (*Ibid.*), debido a las limitaciones topográficas (pendiente), de suelo (profundidad y textura) y de drenaje que enfrentan los sistemas de aspersión (Albaji *et al.* 2015). Sin embargo, Bermúdez *et al.* (2010) identifican ciertas deficiencias en este sistema por goteo. Entre estas constan el costo elevado de la infraestructura de presurización e infraestructura defectuosa y, con ello, presión deficiente de riego.

Tomando en cuenta estas diferencias en el riego tecnificado, Munir *et al.* (2002) analizaron los efectos individuales en la productividad agrícola de los canales o surcos inundados (sistemas convencionales), de las infraestructuras de pozos subterráneos (sistemas tecnificados) o de la combinación de ambas. Los autores concluyen que la diversificación de los sistemas o tecnologías de riego aumenta la productividad de la tierra en relación con las tecnologías especializadas, debido a que, según sus resultados, la irrigación mediante infraestructuras combinadas tiene mayor impacto que la implementación de un solo sistema de riego. Cabe señalar que los autores respaldan la tecnificación del riego, ya que la productividad agrícola de cultivos con pozos subterráneos y presurizados es mayor que aquellos que implementaron únicamente canales de irrigación (irrigación superficial).

La literatura hace énfasis en el tipo de provisión o tenencia de la infraestructura de irrigación (ya sea esta pública, privada o comunitaria) como un elemento importante para el análisis de la productividad agrícola. Sin embargo, en la literatura recogida para este estudio se evidencian resultados opuestos. Por ejemplo, Meinzen y Sullins (1994) y Jin *et al.* (2012) analizan las diferencias entre tipos de proveedores y argumentan que no hay garantías de que exista disponibilidad de agua suficiente para la compra de privados que exceda la disponibilidad de agua para la provisión del servicio desde lo público. Con ello, concluyen que los sistemas de

pozos subterráneos de irrigación, privados o públicos, tienen un impacto no diferenciado en la productividad de la tierra.

Cabe señalar que la literatura desarrollada en los últimos años señala que los determinantes de la adopción de tecnologías de riego derivan del nivel educativo, tamaño de la unidad productiva, conocimiento de programas gubernamentales, asistencia técnica y rendimiento (Torres 2021). Mitre añade que los factores que inciden en la adopción de estas tecnologías es el uso más eficiente del agua de riego, sobre todo cuando existen condiciones climáticas en donde la escasez de agua se manifiesta (2016).

Tras revisar la literatura teórica expuesta previamente, se plantean las siguientes hipótesis:

- El riego es un factor indispensable para aumentar la productividad de la tierra. En este sentido, el acceso a este recurso mitiga la poca capacidad de control que los productores tienen sobre la cantidad de agua productiva empleada en los cultivos los tiempos de irrigación requeridos. Adicionalmente, este determina la cantidad de la producción y el rendimiento de insumos administrados. En este contexto, se espera que en este estudio se obtengan resultados positivos y significativos en la productividad agrícola para aquellos predios que implementan cualquier sistema de riego en comparación con aquellos que no lo hacen.
- Por otro lado, se argumenta en la presente sección que el uso de riego tecnificado torna más eficiente el uso del agua productiva y optimiza el uso de este recurso. Además, incrementa el aprovechamiento de los insumos implementados en los cultivos y reduce los costos de producción. De esta manera, se espera que en este estudio se obtengan resultados positivos y significativos en la productividad agrícola para aquellos predios que implementan algún sistema de riego tecnificado, en comparación con aquellos que implementan sistemas de riego no tecnificados.

Capítulo II: Recolección de Datos y Metodología

2.1 Descripción de la intervención

En Ecuador, aproximadamente el 81 % del recurso hídrico está destinado principalmente a actividades agrícolas, sin embargo, la mayor parte de los cultivos depende únicamente de las precipitaciones (FAO 2015, citado en Borja, Cho y Sook Choi 2017). De acuerdo con datos del Banco Mundial para 2018, el 21,93 % del total de tierra corresponde a tierras agrícolas de las cuales el 15,05 % son tierras de regadío. Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC 2019), la superficie regada es de 836 776 ha, representando el 16,37 % del total de superficie destinado a uso agropecuario; y, del total de superficie regada, menos del 50 % corresponde a riego tecnificado. En ese contexto, se evidencia una limitada accesibilidad no solo a la irrigación sino también a la implementación de algún método que permita utilizar el recurso hídrico de forma óptima.

Según la Secretaría del Agua (2016), el limitado acceso al riego tecnificado se origina por escasez de disponibilidad de agua, inequitativo acceso al agua, bajos niveles de tecnificación de riego y de eficiencia, entre otras; lo que da lugar a bajo rendimiento agrícolas, baja competitividad, elevados costos de producción, pérdidas de agua, etc. A pesar de representar el riego un elemento esencial en la producción agrícola, poco se ha avanzado tanto en términos de accesibilidad como de infraestructura de riego. En este sentido, en el presente trabajo se evalúa el impacto que tiene la implementación de riego tecnificado en la productividad de la tierra a nivel nacional tomando, como referencia los periodos de 2016 a 2019.

2.2 Literatura metodológica

Los trabajos revisados coinciden en una relación positiva entre la productividad del suelo y el riego tecnificado, sin embargo, no todos utilizan una metodología que permita conocer el efecto causal, pues sus métodos van más en línea con correlaciones y análisis de carácter cualitativo. En ese sentido, en el presente trabajo se busca analizar la misma relación, pero utilizando el método de variables Diferencias en Diferencias, el cual permitirá conocer el efecto causal de tecnificar el riego en la productividad de tierra.

De esta manera, se revisó literatura referente al impacto de la tecnificación del riego en la productividad agrícola. Estos estudios plantean diseños experimentales y cuasi experimentales con los cuales detecta el efecto causal entre las variables de interés. Jha *et al.* (2016) comparan

los sistemas de riego por goteo y por surcos y su efecto en la productividad de especies forrajeras nutricionales comunes, a través de un diseño de parcelas divididas, implementado en tres distritos de Nepal. Este diseño consistió en fragmentar en seis partes las parcelas cultivadas y aplicar a cada uno de estos distintos tratamientos entre los que constaban las distintas técnicas de riego (tecnificada y no tecnificada) y dos bienes agrícolas (teosinte y caupí). Se realizó un análisis de varianza y prueba de rango múltiple de Duncan para separaciones de medias. Adicionalmente, los autores usaron ANOVA para determinar si las diferencias entre las medias de “factores múltiples y condiciones de campo” eran estadísticamente significativas. Mediante el método de diseño de parcelas divididas, se determinó que el riego por goteo usó un 73 % menos de agua y produjo un 7 % más.

Auci y Pronti (2020) implementan un modelo de regresión de conmutación endógena con variables explicativas endógenas. Los autores estiman el modelo en dos pasos. En el primero, se estima un modelo Probit con efectos aleatorios correlacionados. Para el segundo paso se estima un modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios en dos etapas (2OLS). Los autores comparan sistemas de riego por aspersión, microaspersión y goteo, y los sistemas convencionales de riego por gravedad. Con esta metodología, los autores determinaron el impacto del riego tecnificado en la productividad de la tierra (medida en euros por hectárea) en las granjas agrícolas italianas. Las variables de control destacadas por los autores abarcan características del predio, como la fuente de agua a la que tienen acceso los agricultores y el tipo de suelo; insumos implementados, como el trabajo medido en horas trabajadas, maquinaria implementada (tecnología), costo de los insumos de agua, energía y gasolina y costos en seguro agrícola; características del agricultor, como la edad y el género de la cabeza de la granja; variables de financiamiento y, por último, *dummies* de región.

Ogunniyi *et al.* (2018) analizaron el impacto de la tecnificación del riego en la producción y productividad agrícola, el ingreso por cultivos y la seguridad alimentaria de las familias. Para ello, se estimó un Propensity Score Matching (PSM) para controlar el sesgo por selección inherente en una muestra que toma en cuenta productores con y sin riego tecnificado. Adicionalmente, se planteó una regresión lineal con efectos de tratamiento endógeno. De esta forma, los autores controlaban el sesgo potencial por variables no observables. Las variables de control propuestas por los autores abarcan características de los agricultores y sus familias, tal como el género, tamaño del hogar, nivel de instrucción, estado civil y pertenencia a grupos

sociales; de igual manera, se contempló características del predio y clima, como la información de precipitaciones y el tamaño del predio.

2.3 Recolección de los datos

Los datos usados en esta investigación se recogieron de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). La encuesta se divide por segmentos y la rotación de la muestra incluye a seis segmentos, de los cuales uno se integra y otro se desvincula de la muestra año tras año. Ello permite tener datos de panel de máximo seis años. Para el presente estudio, se toma en cuenta el periodo 2016-2019. Se excluye el año 2020 del análisis, debido a la crisis provocada por la COVID-19.

Dado que la ESPAC se encuentra dividida, se unen las bases de datos correspondientes a las secciones 'Cultivos permanentes', 'Cultivos, usos de suelo y superficie de los terrenos', 'Información agroambiental y tecnificación agropecuaria' y 'Empleo en los terrenos'.

De esta encuesta se extraen las características generales de los predios cultivables, los tipos de insumos, la infraestructura necesaria para la producción agrícola y los precios promedio ponderados de los cultivos, de acuerdo con la unidad de medida cosechada (quintal, libra, racime, etc). Se tomó a los del año 2019 como precios base. Por último, siguiendo a Bordoloi (2020), se mide la variable de la productividad de la tierra como la cantidad de unidades de producto cosechado por su precio promedio, que se vendería al mercado dividida para el número de hectáreas plantadas:

En donde la variable de 'productividad de la tierra' está dada por el valor de la producción ($VP_i = (cantidad\ cosechada * precio)_i$) dividida para la superficie cultivada (SC_i):

$$Productividad\ de\ la\ tierra = Y_i = \frac{VP_i}{SC_i}$$

Como en cada predio puede haber diferentes tipos de cultivos permanentes primero se calcula el ingreso bruto aproximado de la producción cosechada para cada cultivo, se los suma y luego se lo divide por el número total de hectáreas plantadas de cultivos permanentes en el predio. La variable de tratamiento identifica a los predios que poseen y utilizan un sistema de riego para los cultivos. De esta manera, se busca determinar cómo la utilización de un sistema de riego afecta a la productividad de la tierra.

2.4 Estrategia de identificación

La productividad de la tierra representa la variable de resultado, mientras que la variable de tratamiento identifica a los predios que utilizan un sistema de riego tecnificado para los cultivos. La estrategia de identificación busca determinar el efecto causal de los productores que poseen y no poseen riego tecnificado en la productividad del suelo a través del método de Diferencias en Diferencias. La ecuación que, en esencia, se busca estimar es la siguiente:

$$Y_{it} = \alpha + \gamma T_i + \delta t_t + \beta(TY)_i + \varphi X'_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

Donde Y_{it} es la productividad de la tierra (medida en dólares por metro cuadrado) del individuo i en el año t , T_i , el tratamiento del individuo i , es igual a 1 si en el predio utiliza un sistema de riego tecnificado y 0 caso contrario, t_t , es una *dummy* de tiempo que toma el valor de 1 para el año 2019 y 0 para 2016, $(TY)_i$, es la *dummy* de interacción entre la variable de tratamiento y de tiempo, X'_i , es un vector de variables de control¹ para el individuo i y ε_i es el término de error. Por último, β representa el efecto del tratamiento en la productividad de la tierra.

Para la estimación del Diferencias en Diferencias, se utiliza un modelo de efectos fijos para datos de panel de la siguiente forma:

$$Y_{it} = \gamma T_i + \delta t_t + \beta(TY)_i + \varphi X'_i + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (2)$$

La aplicación del modelo de Diferencias en Diferencias con Efectos Fijos permite controlar por factores observables y no observables que sean constantes en el tiempo. Para ello, en la ecuación (2) se añade efecto fijo individual de cada i en donde los no observables se corrigen por *dummies* de cada individuo constantes en el tiempo (μ_i).

¹ Las características de los predios y agricultores están representadas por el vector $X'\beta$, donde se incluyen los siguientes controles siguiendo a Auci y Pronti (2020), Nayak (2015) y Fan y Zhang (2004): variables dicotómicas que recogen el tipo de semilla utilizada en los cultivos del predio como semillas comunes, mejoradas, híbridas nacionales e híbridas internacionales; variables dicotómicas que indican el uso de otros insumos en los cultivos como fertilizantes o pesticidas; variables continuas como la edad promedio de los cultivos permanentes, número de trabajadores involucrados en el proceso productivo y superficie del área cultivable, la última recoge las diferencias entre micro, pequeños, medianos y grandes productores; capacitación agrícola a los trabajadores y propietarios, provisión del servicio de agua que incluye provisión pública, pública transferida a usuarios (pública comunitaria), comunitaria y privada; y, por último, la variables dicotómicas de regiones (Sierra y Costa), que recoge las diferencias regionales y algunos efectos no observados en relación con el clima y áreas geográficas (ver Anexo1 para la descripción de la construcción de variables).

Con base en la ecuación anterior, se estiman tres especificaciones: i) relación entre resultado y tratamiento sin controles; ii) relación entre resultado y tratamiento con pocos controles (número de trabajadores, tipos de semillas, capacitaciones, fertilizantes y plaguicidas), y iii) relación entre resultado y tratamiento con la mayor cantidad de controles posibles (número de trabajadores, tipos de semillas, capacitaciones, fertilizantes, plaguicidas, superficie total, edad, tipo de provisión de riego y región).

Los autores mencionados en el marco de la literatura metodológica revisada ignoran el primer periodo usando un método de emparejamiento con datos de sección cruzada. Sin embargo, de acuerdo con Wooldridge (2010), el problema con el enfoque transversal es que pueden existir diferencias no medidas en los grupos de tratamiento y control de carácter temporal y que no se relacionen con la política que se pretende evaluar. En este sentido, el modelo de Diferencias en Diferencias corrige estas potenciales diferencias y se obtienen los efectos específicos de captados por la variable temporal y de tratamiento, la cual toma en cuenta factual y contrafactual (Wooldridge 2010).

Además, el método propuesto no utiliza un tratamiento escalonado. Esto debido a que dichos modelos presentan sesgos cuando hay presencia de heterogeneidad en el efecto del tratamiento (Baker *et al.* 2021). En este sentido, los diseños en donde el tratamiento varía a lo largo del tiempo requieren una mayor cantidad de pruebas de robustez (*ibid.*).

Adicionalmente, debido a la falta de aleatorización para la asignación del tratamiento, se trabaja con una muestra con observaciones heterogéneas y, por lo tanto, no existen similitudes en las características entre grupo de control y tratamiento. En este sentido, se asume que existe un problema de endogeneidad en la variable de tratamiento. Para evitar el sesgo de selección asociado, se utiliza un método cuasi experimental a través de un Emparejamiento por Puntaje de Propensión (Propensity Score Matching) para tener covariables balanceadas entre Tratamiento y Control. Este método permite determinar la probabilidad de las observaciones de recibir el tratamiento a partir de las covariables observables. Adicionalmente, usando el método de Puntaje de Propensión Ponderado (Propensity Score Weighted), se asigna un peso de propensión a cada individuo derivado de los puntajes de propensión (PS) obtenidos en línea base y, de esta manera, tener un grupo de tratamiento y control que sean comparables entre sí. Esto último permite,

además, que el supuesto de tendencia común se cumpla, mismo que es necesario para para la validación del modelo de Diferencias en Diferencias.

Finalmente, se plantea un modelo de Diferencias en Diferencias con Efectos Fijos utilizando los pesos obtenidos Puntaje de Propensión Ponderado, tanto para tratamiento y control, para lo cual se estima el Efecto Tratamiento Promedio en los Tratados (ATT).

Para obtener el Efecto Tratamiento Promedio en los Tratados (ATT) los pesos (W_{ATT}) se calculan de la siguiente manera:

$$W_{ATT} = 1 \text{ para } T = 1 \text{ y } \frac{PS}{(1 - PS)} \text{ para } T = 0$$

Capítulo III: Resultados y discusión

3.1 Resultados: impacto del riego en la productividad de la tierra

3.1.1 Diferencias en Diferencias del riego versus no riego en la productividad de la tierra

Se estima en una primera etapa el modelo de Diferencias en Diferencias con Efectos Fijos. Se depura la muestra de tal manera que se obtiene una base de datos de panel con información completa para ambos periodos de análisis y posteriormente se definen los grupos de tratamiento y control. Finalmente, se conservan únicamente los predios que reportan una productividad mayor a cero (ver tabla N.º 1). Se obtiene una muestra de 916 observaciones (458 para cada periodo).

Tabla 3.1 Depuración de la muestra

Elaborado por el autor

Descripción de la muestra	N.º de predios	N.º de predios en t0	N.º de predios en t1
N.º total de predios en 2016 y 2019 antes de la depuración	32 036	17 202	14 834
N.º de predios que tienen información para los dos años de análisis (2016 y 2019)	3802	1901	1901
N.º de predios después de la definición de los grupos de tratamiento y control	2468	1234	1234
N.º de predios con productividad reportada mayor a 0	916	458	458

Elaborado por el autor

En la tabla N.º 2 se muestran la distribución respectiva para grupo de tratamiento y control. Se obtienen 47 y 411 para los respectivos grupos.

Tabla 3.2 Distribución entre grupo de tratamiento y control

	t0	t1	Total
Control	411	411	822
Tratamiento	47	47	94
Total	458	458	916

Elaborado por el autor

Los resultados de la estimación se reportan en la tabla N.º 3. Se observa que la variable de tratamiento (representada por la variable de interacción) tiene un efecto positivo y significativo en la productividad de la tierra. En este contexto, se determina que el uso de riego tecnificado o no tecnificado está asociado con 23,05, 25,28 y 23,83 dólares por metro cuadrado (\$/m²) para la primera, segunda y tercera especificación, respectivamente, en relación con aquellos predios que

no tienen ningún tipo de riego implementado. Adicionalmente, se observa que el uso de plaguicidas tiene un efecto positivo y significativo en la variable de resultado para las dos especificaciones con controles. Debido a la heterogeneidad que se asume existe en la muestra, no se puede inferir que esta estimación determina el efecto causal del riego en la productividad. Por ello, se realiza a continuación el test de prueba de medias en línea base y las estimaciones con emparejamiento ponderado.

Tabla 3.3 Diferencias en diferencias del riego en la productividad de la tierra

	(1) Productividad de la tierra (en \$/m2)	(2) Productividad de la tierra (en \$/m2)	(3) Productividad de la tierra (en \$/m2)
Uso de Riego	23,05** (11,42)	25,28** (11,75)	23,83* (12,36)
t (año)	0,0528 (3,657)	-1,047 (3,886)	2,478 (6,862)
Trabajadores		0,000996 (0,0534)	0,00715 (0,0608)
<i>Tipo de semilla</i>			
Semilla Común		-6,518 (7,028)	-8,472 (7,821)
Semilla mejorada		-4,783 (6,602)	-4,238 (7,073)
Semilla hibrida (Ext.)		-4,355 (8,603)	-3,420 (9,262)
Capacitaciones		-8,942 (6,437)	-9,186 (6,700)
Uso de fertilizante		-8,264 (6,005)	-7,644 (6,307)
Uso de plaguicida		10,52* (5,718)	12,63** (5,885)
Producción perdida			8,082 (7,147)
Superficie productiva			-0,00106 (0,00624)

Antigüedad de la UPA			0,351 (0,343)
<i>Región</i>			
Costa			-0,224 (8,112)
Amazonía			-3,471 (11,78)
<i>Destino de la producción</i>			
ventas			-2,833 (6,899)
Almacenamiento			18,16 (29,02)
Alimentos animales			7,307 (13,41)
Semilla			-48,09 (75,18)
<i>Tipo de cultivo</i>			
Banano (fruta fresca)			-14,89 (16,60)
Cacao (almendra seca)			-17,43 (11,28)
Café (grano oro)			0,176 (17,67)
Caña de azúcar (para azúcar)			-2,263 (24,33)
Caña de azúcar (otros usos)			-4,617 (56,08)
Limón (fruta fresca)			-77,39 (79,98)
Mango (fruta fresca)			8,264 (16,90)
Maracuyá (fruta fresca)			70,29*** (18,20)
Naranja (fruta fresca)			-11,03 (26,30)

Orito (fruta fresca)			-11,19 (28,45)
Palma africana (fruta fresca)			13,57 (53,31)
Palmito (tallo fresco)			7,333 (38,53)
Piña (fruta fresca)			-7,699 (9,368)
Plátano (fruta fresca)			-18,33 (55,48)
Tomate de árbol (fruta fresca)			1,759 (12,03)
_cons	5,572* (2,555)	14,00* (8,482)	14,97 (15,14)
<i>N</i>	916	916	916

Errores estándar en paréntesis

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

3.1.2 Test de balance de covariables en línea base

Previo al desarrollo de las estimaciones con emparejamiento ponderado se realizó una prueba de medias con el fin de determinar si las características observables entre grupo de control y tratamiento difieren significativamente entre sí. Para ello se realizó una prueba t para cada una de las variables de control en línea base. Los resultados de la prueba se reportan en la tabla N.º 4. Las variables analizadas correspondieron a la productividad agrícola, número de trabajadores, tipo de semilla, capacitaciones, uso de fertilizantes y plaguicidas, producción perdida, superficie y antigüedad de la UPA, región, destino de la producción y tipo de cultivo. Se observa que existen diferencias significativas en el uso de semilla híbrida externa, superficie de las UPAs, predios localizados en la Amazonía, destino de la producción (uso en alimento de animales y desperdicio), y en tres tipos de cultivos (cacao, maracuyá, naranja, palma africana, palmito, piña y plátano). Los resultados de esta prueba muestran, además, que todas las variables que presentan diferencias tienen predominancia para el grupo de control, por lo que se infiere que existe un desbalance en la muestra. Por ello, se plantea posteriormente el emparejamiento ponderado en línea base.

Tabla 3.4 Prueba de medias entre grupo de tratamiento y control en línea base

Variable	Control	Desviación estándar	Tratamiento	Desviación estándar	p-valor
Productividad de la tierra	6,906	(60,680)	10,764	(45,942)	[0,597]
Trabajadores	15,574	(80,841)	9,574	(16,745)	[0,199]
<i>Tipo de semilla</i>					
Semilla común	0,706	(0,456)	0,702	(0,462)	[0,961]
Semilla mejorada	0,455	(0,499)	0,426	(0,500)	[0,700]
Semilla híbrida (Int.)	0,170	(0,376)	0,149	(0,360)	[0,699]
Semilla híbrida (Ext.)	0,066	(0,248)	0,000	(0,000)	[0,000]
Capacitaciones	0,363	(0,481)	0,383	(0,491)	[0,785]
Uso de fertilizante	0,540	(0,499)	0,468	(0,504)	[0,350]
Uso de plaguicida	0,630	(0,483)	0,511	(0,505)	[0,121]
<i>Infraestructura para riego</i>					
Uso de bombas	0,002	(0,049)	0,000	(0,000)	[0,318]
Uso de drenajes	0,005	(0,070)	0,000	(0,000)	[0,158]
Producción perdida	0,645	(0,479)	0,532	(0,504)	[0,142]
Superficie productiva	223,544	(901,939)	121,171	(270,024)	[0,085]
<i>Antigüedad de la UPA</i>	12,711	(11,330)	13,377	(8,523)	[0,623]
<i>Región</i>					
Costa	0,518	(0,500)	0,553	(0,503)	[0,649]
Sierra	0,324	(0,468)	0,404	(0,496)	[0,285]
Amazonía	0,158	(0,365)	0,043	(0,204)	[0,001]
<i>Destino de la producción</i>					
Ventas	0,720	(0,449)	0,660	(0,479)	[0,405]
Almacenamiento	0,007	(0,085)	0,043	(0,204)	[0,238]

Alimento animales	0,090	(0,287)	0,021	(0,146)	[0,007]
Semilla	0,002	(0,049)	0,000	(0,000)	[0,318]
Autoconsumo	0,268	(0,443)	0,298	(0,462)	[0,668]
Desperdicio	0,012	(0,110)	0,000	(0,000)	[0,025]
<i>Otro</i>	0,007	(0,085)	0,000	(0,000)	[0,083]
<i>Tipo de cultivo</i>					
Aguacate (fruta fresca)	0,002	(0,049)	0,000	(0,000)	[0,318]
Banano (fruta fresca)	0,036	(0,188)	0,043	(0,204)	[0,845]
Cacao (almendra seca)	0,511	(0,500)	0,660	(0,479)	[0,044]
Café (grano oro)	0,117	(0,322)	0,106	(0,312)	[0,828]
Caña de azúcar para azúcar	0,000	(0,000)	0,000	(0,000)	[.]
Caña de azúcar para otros usos	0,015	(0,120)	0,021	(0,146)	[0,761]
Limón (fruta fresca)	0,010	(0,098)	0,021	(0,146)	[0,594]
Mango (fruta fresca)	0,002	(0,049)	0,000	(0,000)	[0,318]
Maracuyá (fruta fresca)	0,049	(0,215)	0,000	(0,000)	[0,000]
Naranja (fruta fresca)	0,046	(0,210)	0,149	(0,360)	[0,054]
Orito (fruta fresca)	0,019	(0,138)	0,021	(0,146)	[0,935]
Palma africana (fruta fresca)	0,319	(0,467)	0,213	(0,414)	[0,099]
Palmito (tallo fresco)	0,015	(0,120)	0,000	(0,000)	[0,014]
Piña (fruta fresca)	0,007	(0,085)	0,000	(0,000)	[0,083]
Plátano (fruta fresca)	0,170	(0,376)	0,085	(0,282)	[0,058]
Tomate de árbol (fruta fresca)	0,000	(0,000)	0,000	(0,000)	[.]
Otros	0,090	(0,287)	0,106	(0,312)	[0,729]
N	411		47		

Elaborado por el autor

3.1.3 Test de balance de covariables después del emparejamiento ponderado

Una vez realizado el emparejamiento ponderado en línea base, se realiza la verificación de balance. Para ello se estiman regresiones lineales, tomando como variables independientes a cada una de las mencionadas en el test de balance en línea base y como variable de resultado se toma la *dummy* de tratamiento, siendo 1 si el predio implementó riego y 0 si el predio no tiene ningún sistema de riego implementado (ver Tabla N.º 5). Los resultados muestran que no existen significancias para ninguna de las estimaciones realizadas, lo que sugiere que el emparejamiento se llevó a cabo correctamente y la muestra para el análisis está balanceada.

Tabla 3.5 Prueba de medias después del emparejamiento ponderado

	T=1 si tiene riego, 0 no tiene riego
Trabajadores	-0,0000455 (0,0007456)
_cons	0,4644213*** (,0244416)
<i>Tipo de semilla</i>	
Común	-0,089478 (0,0593612)
Mejorada	-0,0476785 (0,0537229)
Híbrida interna	-,0722043 (0,069982)
_cons	0,5609046*** (0,066389)
Capacitaciones	0,0081281 (0,0295221)
_cons	0,0996564*** (0,0178267)
Uso de fertilizantes	-0,040354 (0,0466791)
_cons	0,4837478*** (0,0326693)
Uso de plaguicidas	-0,0452566 (0,0467739)
_cons	0,4881896*** (0,0342091)
Producción perdida	-0,0418483 (0,0469436)
_cons	0,487174*** (0,0349469)
Superficie total de la UPA	1,42e-06 (0,0000645)

_cons	0,4638099*** (0,0246191)
Antigüedad de la UPA	-0,0020333 (0,0020375)
_cons	0,4923484*** (0,0367732)
<i>Región</i>	
Costa	-0,011493 (0,1213956)
Sierra	-0,061033 (0,1223615)
_cons	0,4963624*** (0,1170765)
<i>Destinos de la producción</i>	
Ventas	0,0268879 (0,0500913)
Almacenamiento	0,0151547 (,1181044)
Alimentos para animales	0,0644678 (0,1725181)
Semilla	-0,4450742 (0,8066403)
_cons	0,4450742*** (0,0414168)
N	458

Errores estándar en paréntesis

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

3.1.4 Diferencias en diferencias con emparejamiento ponderado del riego versus no riego

Se observa de la tabla N.º 6 los resultados de las estimaciones con emparejamiento ponderado y, con ello, el efecto causal de la implementación del riego en la productividad de la tierra. Para las estimaciones del modelo se observa que el riego tiene un efecto significativo y positivo para las tres especificaciones correspondientes a las estimaciones (1), (2) y (3). En la primera especificación, estimación sin controles, se observa que aquellos predios que tienen cualquier tipo de sistema de riego implementado aumentan la productividad de la tierra en 29,17 dólares por metro cuadrado ($\$/m^2$). En las estimaciones con controles, correspondientes a las especificaciones (2) y (3), se observa que el impacto del tratamiento es de 39,01 y 32,60 dólares por metros cuadrados ($\$/m^2$), respectivamente.

Pese a que la pérdida de observaciones representaba una limitación al disminuir el poder estadístico de las estimaciones realizadas, los efectos potenciales del tratamiento sobre la variable de interés son detectados.

Estos resultados respaldan los hallazgos de Jin *et al.* (2012), quienes sugieren que el riego aumenta la productividad de la tierra considerablemente (en un rango de 39 a 52 %) y autores como Dhehibi *et al.* (2016), quienes apuntan que la productividad (producción por insumo utilizado) aumenta en un rango de 24 a 34,6 % dependiendo del cultivo analizado. Srivastava *et al.* (2013) sugieren que la productividad agrícola varía según el tipo de cultivo; sin embargo, debido al tamaño de la muestra, no se pudo determinar el efecto causal del riego en la productividad con la desagregación sugerida por los autores.

Adicionalmente, para las especificaciones con controles (especificaciones 2 y 3) se observa un efecto negativo y significativo en el uso de semilla común en relación con el uso de semilla híbrida interna, y efectos negativos para las capacitaciones y uso de fertilizantes. Sin embargo, se observa que el uso de plaguicida tiene un efecto positivo y significativo. Por último, tres de las variables dicotómicas de tipo de cultivo (cacao, maracuyá y naranja) tienen efectos significativos en la productividad.

Tabla 3.6 Diferencias en diferencias del riego en la productividad de la tierra

	(1) Productividad de la tierra (en \$/m ²)	(2) Productividad de la tierra (en \$/m ²)	(3) Productividad de la tierra (en \$/m ²)
Uso de riego	29,17** (11,34)	39,01*** (11,98)	32,60** (13,43)
t (año)	-6,071 (7,726)	-13,55* (8,003)	3,800 (11,25)
Trabajadores		0,0905 (0,160)	0,117 (0,165)
<i>Tipo de semilla</i>			
Semilla común		-20,09* (11,45)	-25,12* (12,81)
Semilla mejorada		-14,88 (10,46)	-17,95 (11,17)
Semilla híbrida (Ext.)		-8,559 (14,46)	-6,696 (15,24)
Capacitaciones		-33,80*** (9,927)	-38,15*** (10,65)

Uso de fertilizante		-24,22** (10,12)	-24,79** (11,09)
Uso de plaguicida		34,93*** (9,544)	38,81*** (10,03)
Producción perdida			19,12 (11,71)
Superficie productiva			-0,00795 (0,00962)
Antigüedad de la UPA			0,657 (0,529)
<i>Región</i>			
Costa			-6,946 (12,54)
Amazonía			-18,58 (36,24)
<i>Destino de la producción</i>			
ventas			-9,638 (10,11)
Almacenamiento			36,65 (29,58)
Alimentos animales			8,000 (41,55)
Semilla			-77,73 (190,0)
<i>Tipo de cultivo</i>			
Banano (fruta fresca)			-28,26 (20,76)
Cacao (almendra seca)			-32,11* (18,62)
Café (grano oro)			-4,557 (34,45)
Caña de azúcar (otros usos)			-18,01 (39,23)
Limón (fruta fresca)			-36,06 (70,94)

Mango (fruta fresca)			-85,05 (202,6)
Maracuyá (fruta fresca)			54,04** (27,21)
Naranja (fruta fresca)			67,28*** (20,33)
Orito (fruta fresca)			-38,15 (43,44)
Palma africana (fruta fresca)			-28,26 (39,84)
Palmito (tallo fresco)			15,03 (94,92)
Piña (fruta fresca)			0,975 (97,80)
Plátano (fruta fresca)			-18,78 (15,26)
Tomate de árbol (fruta fresca)			-29,72 (116,2)
Otros cultivos permanentes			-6,051 (19,04)
_cons	15,31*** (4,170)	42,61*** (13,60)	50,52** (22,60)
<i>N</i>	916	916	916

Errores estándar en paréntesis

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

3.2 Impacto del riego tecnificado en la productividad de la tierra

3.2.1 Diferencias en Diferencias del riego tecnificado versus no riego no tecnificado en la productividad de la tierra

En esta segunda etapa, se estima el modelo de Diferencias en Diferencias para determinar el efecto del riego tecnificado en comparación con el riego no tecnificado en la productividad de la tierra. Se depura la muestra de tal manera que la se obtiene una base de datos de panel con información completa para ambos periodos de análisis y, posteriormente, se definen los grupos de tratamiento y control. Finalmente, se conservan únicamente los predios que reportan una

productividad mayor a cero (ver tabla N.º 7). Se obtiene una muestra de 198 observaciones (99 para cada periodo).

Tabla 3.7 Depuración de la muestra

Descripción de la muestra	N.º de predios	N.º de predios en t0	N.º de predios en t1
N.º total de predios en 2016 y 2019 antes de la depuración	32 036	17 202	14 834
N.º de predios que tienen información para los dos años de análisis (2016 y 2019)	3802	1901	1901
N.º de predios que implementan algún sistema de riego	1094	547	547
N.º de predios después de la definición de los grupos de tratamiento y control	330	165	165
N.º de predios con productividad reportada mayor a 0	198	99	99

Elaborado por el autor

En la tabla N.º 8 se muestran la distribución respectiva para grupo de tratamiento y control. Se obtienen 36 y 63 para los respectivos grupos.

Tabla 3.8 Distribución entre grupo de tratamiento y control

	t0	t1	Total
Control	63	63	126
Tratamiento	36	36	72
Total	99	99	198

Elaborado por el autor

Se muestra en la tabla N.º 9 los resultados. Se observa que para las tres especificaciones planteadas no existe un efecto significativo entre la variable de tratamiento y la de resultado; en otras palabras, el riego tecnificado no tiene un impacto en la productividad de la tierra. Sin embargo, no se toman en cuenta estos resultados debido a la heterogeneidad que se asume existe en la muestra. Por otro lado, se observa que las capacitaciones tienen un efecto negativo y significativo en la productividad únicamente para la especificación (3).

Tabla 3.9 Diferencias en diferencias del riego tecnificado en la productividad de la tierra

	(1) Productividad de la tierra (en \$/m ²)	(2) Productividad de la tierra (en \$/m ²)	(3) Productividad de la tierra (en \$/m ²)
Uso de riego tecnificado	0,489 (0,304)	0,456 (0,330)	0,0931 (0,299)
t (año)	-0,136 (0,183)	-0,188 (0,217)	-0,564* (0,308)
Trabajadores		-0,0000627 (0,000528)	0,0000251 (0,000698)
<i>Tipo de semilla</i>			
Semilla común		0,113 (0,232)	-0,0766 (0,205)
Semilla híbrida (Int.)		-0,402 (0,424)	0,130 (0,358)
Semilla híbrida (Ext.)		-0,00208 (1,008)	0,181 (0,895)
Capacitaciones		-0,150 (0,263)	-0,0402 (0,216)
Uso de fertilizante		-0,160 (0,446)	-0,149 (0,375)
Uso de plaguicida		0,0873 (0,299)	0,160 (0,244)
<i>Provisión del riego</i>			
Público			-0,659 (0,456)
Transferido			-0,399 (0,315)
Comunitario			-0,175 (0,285)
<i>Infraestructura para riego</i>			
Uso de bombas			0,293 (0,301)
Uso de drenajes			0,240 (0,295)
Producción perdida			-0,294 (0,257)

Superficie productiva			0,000149 (0,000194)
<i>Antigüedad de la UPA</i>			
Edad 1 (menos de 1 año a menos de 10 años)			0,0927 (0,304)
Edad 2 (de 10 años a menos de 20 años)			0,0887 (0,237)
<i>Región</i>			
Costa			0,486 (0,347)
<i>Destino de la producción</i>			
Ventas			0,299 (0,291)
Almacenamiento			5,177*** (0,897)
Alimento para animales			0,0901 (0,894)
<i>Tipo de cultivo</i>			
Aguacate (fruta fresca)			1,757* (0,947)
Banano (fruta fresca)			0,992 (0,893)
Cacao (almendra seca)			-0,655 (1,272)
Café (grano oro)			0,0726 (1,183)
Caña de azúcar para azúcar			-1,831 (2,612)
Limón (fruta fresca)			-2,883*** (0,653)
Mango (fruta fresca)			5,523*** (1,671)
Maracuyá (fruta fresca)			-0,209 (1,127)
Palma africana (fruta fresca)			-0,798 (1,311)

Plátano (fruta fresca)			-1,601** (0,769)
Tomate de árbol (fruta fresca)			0,0738 (0,964)
Otros permanentes			0,191 (0,563)
_cons	0,633*** (0,103)	0,796 (0,496)	1,152 (1,446)
N	198	198	198

Standard errors in parentheses

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

3.2.2 Test de balance de covariables en línea base

En la Tabla N.º 10 se observa el test de balance de covariables en línea base para grupo de tratamiento y control. Para el desarrollo de este test se utilizó una prueba t, con la cual se determina si existen diferencias significativas entre las medias analizadas. Las variables estudiadas correspondieron a la productividad agrícola, número de trabajadores, tipo de semilla, capacitaciones, uso de fertilizantes y plaguicidas, infraestructura para riego, producción perdida, superficie y antigüedad de la UPA, región, destino de la producción y tipo de cultivo. Se observa que existen diferencias significativas en el uso de semilla mejorada, acceso a bombas y drenajes, en la producción perdida en las UPA, y en tres tipos de cultivos (banano, cacao y caña de azúcar para azúcar). Con ello se concluye que existe un desbalance entre los grupos, por lo que se requiere la aplicación del método de emparejamiento.

Tabla 3.10 Prueba de medias en línea base entre grupo de tratamiento y de control

Variable	Control	Desviación Estándar	Tratados	Desviación Estándar	p-valor
Productividad de la tierra	0,779	(3,345)	0,376	(0,451)	[0,349]
Trabajadores	118,476	(562,082)	110,028	(551,305)	[0,942]
<i>Tipo de semilla</i>					
Semilla común	0,635	(0,485)	0,583	(0,500)	[0,618]
Semilla mejorada	0,349	(0,481)	0,583	(0,500)	[0,025]
Semilla híbrida (Int.)	0,079	(0,272)	0,167	(0,378)	[0,225]
Semilla híbrida (Ext.)	0,048	(0,215)	0,028	(0,167)	[0,610]
Capacitaciones	0,698	(0,463)	0,611	(0,494)	[0,388]
Uso de fertilizante	0,905	(0,296)	0,889	(0,319)	[0,807]
Uso de plaguicida	0,730	(0,447)	0,694	(0,467)	[0,711]
<i>Infraestructura para riego</i>					

Uso de bombas	0,651	(0,481)	0,278	(0,454)	[0,000]
Uso de drenajes	0,667	(0,475)	0,444	(0,504)	[0,033]
Producción perdida	0,238	(0,429)	0,556	(0,504)	[0,002]
Superficie productiva	605,662	(1969,985)	685,208	(3361,039)	[0,897]
Antigüedad de la UPA	9,337	(8,205)	12,392	(10,260)	[0,129]
<i>Región</i>					
Costa	0,762	(0,429)	0,750	(0,439)	[0,896]
Sierra	0,238	(0,429)	0,250	(0,439)	[0,896]
<i>Destino de la producción</i>					
Ventas	0,841	(0,368)	0,750	(0,439)	[0,294]
Almacenamiento	0,016	(0,126)	0,028	(0,167)	[0,710]
Alimento animales	0,032	(0,177)	0,000	(0,000)	[0,158]
Autoconsumo	0,159	(0,368)	0,194	(0,401)	[0,661]
Desperdicio	0,063	(0,246)	0,111	(0,319)	[0,439]
<i>Tipo de cultivo</i>					
Aguacate (fruta fresca)	0,048	(0,215)	0,056	(0,232)	[0,867]
Banano (fruta fresca)	0,032	(0,177)	0,139	(0,351)	[0,089]
Cacao (almendra seca)	0,238	(0,429)	0,528	(0,506)	[0,005]
Café (grano oro)	0,032	(0,177)	0,083	(0,280)	[0,320]
Caña de azúcar para azúcar	0,635	(0,485)	0,083	(0,280)	[0,000]
Limón (fruta fresca)	0,063	(0,246)	0,028	(0,167)	[0,393]
Mango (fruta fresca)	0,000	(0,000)	0,028	(0,167)	[0,318]
Maracuyá (fruta fresca)	0,016	(0,126)	0,000	(0,000)	[0,321]
Palma africana (fruta fresca)	0,000	(0,000)	0,028	(0,167)	[0,318]
plátano (fruta fresca)	0,016	(0,126)	0,083	(0,280)	[0,173]
tomate de árbol (fruta fresca)	0,032	(0,177)	0,028	(0,167)	[0,911]
Otros	0,048	(0,215)	0,111	(0,319)	[0,288]
N	63		36		

Elaborado por el autor

3.2.3 Test de balance de covariables después del emparejamiento ponderado

Una vez realizado el emparejamiento ponderado en línea base, se realiza la verificación de balance. Para ello, se corren regresiones, tomando como variables independientes a cada una de las mencionadas en el test de balance en línea base y como variable de resultado se toma la *dummie* de tratamiento, siendo 1 si el predio implementó riego tecnificado y 0 si el predio implementó un sistema de riego no tecnificado (ver Tabla N.º 11). Los resultados muestran que no existen significancias para ninguna de las estimaciones realizadas, lo que sugiere que el emparejamiento se llevó a cabo correctamente y que la muestra para el análisis está balanceada.

Tabla 3.11 Prueba de medias en línea base después del emparejamiento ponderado

	T=1 si tiene riego tecnificado, 0 tiene riego no tecnificado
Trabajadores	9,26e-06 (0,000082)
_cons	0,3628521*** (0,0350538)
<i>Tipo de semilla</i>	
Mejorada	-0,01597 (0,1151127)
Híbrida interna	0,2611989 (0,1722988)
Híbrida externa	0,1917589 (0,3621207)
_cons	0,489417*** (0,0976879)
Capacitaciones	-0,0909091 (0,1031992)
_cons	0,4242424*** (0,0842618)
Uso de fertilizantes	-0,1752466 (0,1814392)
_cons	0,6737199*** (0,1735894)
Uso de plaguicidas	0,0977346 (0,1060205)
_cons	0,4496644*** (0,0855551)
<i>Infraestructura de riego</i>	
Uso de bombas	-0,21263 (0,1096924)
Uso de drenajes	0,0789448 (0,1062551)
_cons	0,5557106*** (0,0712816)
Producción perdida	0,0683514 (0,1013627)
_cons	0,4776068*** (0,0732574)
Superficie total de la UPA	8,91e-06 (0,000019)
_cons	0,5083026*** (0,0518094)
<i>Antigüedad de la UPA</i>	
Edad 1 (menos de 1 año a menos de 10 años)	-0,10322 (0,1235426)
Edad 2 (de 10 años a menos de 20 años)	0,1057779 (0,1062551)
_cons	0,5592232*** (0,1168278)

<i>Región</i>	
Costa	-0,10242 (0,1228446)
_cons	0,5935841*** (0,1087581)
<i>Destinos de la producción</i>	
Ventas	-0,21276 (0,129846)
Almacenamiento	0,0197636 (0,3025906)
Alimentos para animales	-0,6930007 (0,4348653)
_cons	0,6930007*** (0,1166109)
N	99

Errores estándar en paréntesis

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

3.2.4 Diferencias en diferencias con emparejamiento ponderado del riego tecnificado versus riego no tecnificado en la productividad de la tierra

Una vez realizado el emparejamiento ponderado, se observa en los resultados de la tabla N.º 12 el efecto causal del uso del riego tecnificado en la productividad de la tierra. Los resultados correspondientes a las estimaciones del modelo se muestran en las especificaciones (1), (2) y (3) de la tabla. Se observa que tanto para la primera como para la segunda especificación existe un efecto estadísticamente significativo y positivo de la implementación del riego tecnificado en la productividad de la tierra. Para la especificación sin controles (1), se observa que el uso de riego tecnificado aumenta la productividad de la tierra en 0,75 dólares por metro cuadrado ($\$/m^2$), mientras que para la especificación (2) la productividad aumenta en 0,72 dólares por metro cuadrado ($\$/m^2$). No existe un efecto significativo cuando se incluyen todas las variables de control.

Los resultados obtenidos respaldan los hallazgos de Auci y Pronti, quienes determinaron que la adopción de riego tecnificado aumenta la productividad de la tierra en 15 553,17 (€/Ha) lo que equivale a 1,55 ($\$/m^2$). Adicionalmente, se respalda los resultados de Bermúdez (2003) y Ngango *et al.* (2021), quienes evidencian que la adopción de riego tecnificado incrementa notablemente la productividad de la tierra observada en los respectivos cultivos estudiados.

Los autores mencionados sugieren que la productividad agrícola varía según el tipo de cultivo, sin embargo, debido al tamaño de la muestra no se pudo determinar el efecto causal del riego en la productividad con dicha desagregación.

Tabla 3.12 Diferencias en diferencias del riego tecnificado en la productividad de la tierra (emparejamiento ponderado)

	(1) Productividad de la tierra (en \$/m ²)	(2) Productividad de la tierra (en \$/m ²)	(3) Productividad de la tierra (en \$/m ²)
Uso de Riego	0,757** (0,337)	0,726* (0,409)	0,165 (0,377)
t (año)	-0,404* (0,242)	-0,456 (0,286)	-0,772* (0,445)
Trabajadores		0,0000132 (0,000985)	0,000685 (0,00155)
<i>Tipo de semilla</i>			
Semilla común		0,222 (0,292)	-0,298 (0,249)
Semilla híbrida (Int.)		-0,447 (0,464)	0,179 (0,440)
Semilla híbrida (Ext.)		0,0315 (1,383)	-0,305 (2,624)
Capacitaciones		-0,167 (0,347)	-0,145 (0,283)
Uso de fertilizante		-0,244 (0,481)	-0,387 (0,470)
Uso de plaguicida		-0,0223 (0,334)	0,279 (0,288)
<i>Provisión del riego</i>			
Público			-0,836 (0,546)
Transferido			-0,302 (0,339)
Comunitario			-0,292 (0,431)
<i>Infraestructura para riego</i>			

Uso de bombas			0,363 (0,368)
Uso de drenajes			0,211 (0,380)
Producción perdida			-0,264 (0,283)
Superficie productiva			0,000206 (0,000239)
<i>Antigüedad de la UPA</i>			
Edad 1 (menos de 1 año a menos de 10 años)			0,204 (0,362)
Edad 2 (de 10 años a menos de 20 años)			0,0737 (0,258)
<i>Región</i>			
Costa			0,649 (0,391)
<i>Destino de la producción</i>			
Ventas			0,375 (0,282)
Almacenamiento			5,462*** (0,899)
Alimento para animales			0,369 (1,274)
<i>Tipo de cultivo</i>			
Aguacate (fruta fresca)			3,105*** (1,050)
Banano (fruta fresca)			1,172 (1,100)
Cacao (almendra seca)			-0,870 (1,206)
Café (grano oro)			0,0145 (1,161)
Caña de azúcar para azúcar			-3,961 (4,485)
Limón (fruta fresca)			-3,848*** (0,688)
Mango (fruta fresca)			6,582*** (1,635)

Maracuyá (fruta fresca)			-0,375 (2,405)
Palma africana (fruta fresca)			-1,033 (1,250)
Plátano (fruta fresca)			-1,380* (0,720)
Tomate de árbol (fruta fresca)			-0,409 (2,682)
Otros permanentes			-0,181 (0,646)
_cons	0,900*** (0,119)	1,156*** (0,435)	1,556 (1,058)
N	198	198	198

Standard errors in parentheses

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

3.3 Análisis costo-beneficio

Los resultados sugieren que la implementación del riego tiene un efecto positivo en la productividad agrícola. Sin embargo, se observa que para el análisis de la productividad, comparando el riego tecnificado con el riego no tecnificado, los resultados no son robustos, pues no se observa ningún impacto para la tercera especificación. Adicionalmente, se observa también que este efecto es mucho mayor cuando se compara predios que implementan cualquier sistema de riego con aquellos que no lo hacen, versus la comparación entre predios con riego tecnificado y riego no tecnificado. Por esta razón, se plantea un análisis del flujo de efectivo y de costo beneficio, con el fin de determinar si la inversión en riego tecnificado genera retornos en el corto o mediano plazo y si el proyecto es financieramente viable.

Para ello, se desarrolla como primer paso la matriz de costos. De esta manera se obtienen la inversión inicial para la adquisición e instalación de la tecnología de riego mecanizado y la capacitación de la mano de obra para operar el sistema, la cual asciende a un promedio de 4000,00 (\$/Ha). Los costos de producción por periodo de análisis², incluyendo mano de obra y costos asociados al uso de agua productiva, son de 5022,00 (\$/Ha), mientras que los costos administrativos y de mantenimiento alcanzan los 1280,00 (\$/Ha).

² Para el presente estudio se considera como un periodo de análisis a tres años productivos.

Con base en los datos de la matriz de costos se desarrolla el flujo de efectivo descrito en la tabla N.º 13. Los ingresos representan el coeficiente de impacto obtenido de 0,75 (\$/m²), lo que corresponde a 7570 (\$/Ha). Cabe señalar que para el flujo de efectivo no se toman en cuenta los impuestos de participación ni el impuesto a la renta, ya que se analiza únicamente el aumento de la productividad derivado de la implementación de los sistemas de riego tecnificado. En este sentido, se observa que el emprendimiento es rentable al finalizar el cuarto periodo, es decir, doce años después de la implementación del sistema de riego analizado, por lo que se concluye que la adquisición de estos sistemas para la muestra estudiada genera rentabilidad a mediano plazo.

Tabla 3.13 Flujo de efectivo

	2016	2019	2022	2025	2028
	t0	t1	t2	t3	t4
Ingresos		\$ 7570,00	\$ 7570,00	\$ 7570,00	\$ 7570,00
Costos de producción		-\$ 5022,00	-\$ 5022,00	-\$ 5022,00	-\$ 5022,00
Gastos de venta		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos de administración		-\$ 1280,00	-\$ 1280,00	-\$ 1280,00	-\$ 1280,00
Depreciación (-)		\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1,00
Utilidad antes de impuestos y 15 % participación		\$ 1268,00	\$1268,00	\$ 1268,00	\$ 1268,00
Inversión (-)	-\$ 4000,00				
Capital de trabajo	\$ -				
Valor residual (+)					
FLUJO DE CAJA EFECTIVO	-\$ 4000,00	\$ 1268,00	\$ 1268,00	\$ 1268,00	\$ 1269,00
SALDO DE EFECTIVO ACUMULADO	-\$ 4000,00	-\$ 2732,00	-\$ 1464,00	-\$ 196,00	\$ 1073,00

Elaborado por el autor

Para robustecer estos resultados se realiza un análisis de viabilidad del proyecto, se calcula en primer lugar el Valor Actual Neto (VAN), siendo este \$18,25, un valor mayor a cero, indicando

que el proyecto es viable. Adicionalmente, se calcula la Tasa Interna de Retorno (TIR) con una tasa de interés estándar en el mercado financiero del 7 %. Los resultados sugieren que, si el proyecto se ejecuta, se obtiene una TIR del 10 %, valor mayor a la tasa de descuento propuesta, indicando que la inversión es rentable. Por último, la ratio costo-beneficio es mayor a 1, lo que sugiere que los beneficios de inversión superan a los costos. Con base en estos resultados, se concluye que la adquisición de sistemas de riego tecnificado es viable (ver tabla N.º 14).

Tabla 3.14 Análisis de viabilidad y costo-beneficio

Valor Actual Neto (VAN)	\$18,25
Tasa Interna de Retorno (TIR)	10 %
Ratio Beneficio/Costo (B/C)	1,26825

Elaborado por el autor

Conclusiones

El presente estudio tuvo como primer objetivo identificar si existen efectos diferenciados en la productividad agrícola, en Ecuador, entre predios con cultivos permanentes que implementaron algún sistema de riego, y aquellos que no lo implementaron durante el periodo 2016-2019. Los resultados expuestos en el estudio sugieren que la implementación del riego aumenta la productividad de la tierra en un rango de 29 a 39 dólares por metro cuadrado ($\$/m^2$) en comparación con aquellos predios que no implementaron ningún tipo de sistemas de riego.

Adicionalmente, se planteó como segundo objetivo de investigación identificar si existen, en Ecuador, efectos diferenciados en la productividad agrícola de cultivos permanentes entre los sistemas de riego tecnificados y los sistemas de riego no tecnificados durante el periodo 2016-2019. Los resultados sugieren que la implementación de riego tecnificado aumenta la productividad de la tierra en un rango de 0,16 a 0,75 dólares por metro cuadrado ($\$/m^2$).

Los resultados para esta muestra sugieren que la adecuación de tecnología en el sistema de riego tiene rendimientos marginales decrecientes, ya que se observa un fuerte aumento de la productividad en los predios que implementaron riego, en relación con aquellos que no lo hicieron, pero el aumento es mucho menor cuando se considera a predios con riego tecnificado, en contraste con aquellos con riego convencional. Sin embargo, cabe señalar que, si bien en ambos análisis las muestras contaron con pocas observaciones para los dos grupos de tratamiento, los resultados fueron estadísticamente significativos, evidenciando que pese al déficit de observaciones los efectos son detectables.

Las debilidades del estudio se enmarcan en variables de control no incluidas y representatividad de la muestra. Por un lado, no se incluyeron variables de relevancia para el análisis de la productividad agrícola, según la literatura revisada como el acceso a crédito, acceso a maquinaria y propiedad de tierra; esto se debió a la falta de data reportada por el INEC para los dos periodos de análisis. Por otro lado, la consolidación del panel de datos implicó una reducción considerable de la muestra, por lo no existe representatividad a nivel nacional. En este sentido, los resultados presentados en esta investigación se ajustan únicamente para la muestra analizada.

Por último, se considera importante para futuras investigaciones realizar el análisis para distintos tipos de cultivos, debido a la alta heterogeneidad que existe entre estos en cuanto a sus procesos de producción y precios de venta. Adicionalmente, se recomienda estudiar en un futuro el efecto

del riego tecnificado en el ingreso y bienestar de los agricultores. Cabe señalar que, en economías en desarrollo como la de Ecuador, las políticas públicas orientadas al aumento de la productividad tienen, entre sus principales objetivos, mejorar la calidad de vida en el campo.

Referencias

- Albaji, Mohammad, Mona Golabi, M., SAEED Baroomand Nasab y Farzad Nazari Zadeh. 2015. "Investigation of surface, sprinkler and drip irrigation methods based on the parametric evaluation approach in Jaizan Plain". *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 14(1): 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.11.001>
- Alcon, F., Nuria Navarro, María Dolores de-Miguel, Andre L. Balbo, A. L. 2019. "Drip irrigation technology: Analysis of adoption and diffusion processes". En *Sustainable solutions for food security*, editado por Atanu Sarker, 269-285. Suiza: Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77878-5_14
- Auci, Sabrina y Andrea Pronti. 2020. "Innovation in Irrigation Technologies for Sustainable Agriculture: An Endogenous Switching Analysis on Italian Farms' Land Productivity" *SEEDS, Sustainability Environmental Economics and Dynamics Studies* 1220: 1-36.
- Agénor, Pierre Richard. 2010. "A theory of infrastructure-led development". *Journal of Economic Dynamics and Control* 34(5): 932-950.
- Baker, Andrew C., David F. Larcker, D. F. y Charles C.Y. Wang. 2022. "How much should we trust staggered difference-in-differences estimates?" *Journal of Financial Economics* 144(2): 370-395. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2022.01.004>
- Bermúdez, Lilia Teresa. 2003. "Análisis del cambio tecnológico en el distrito de riego del alto Chicamocha". *Agronomía Colombiana* 21(3): 220-230.
- Bermúdez, Lilia Teresa, Andrés Felipe Páez, Luis Felipe Rodríguez. 2010. "Impactos socioeconómicos y ambientales del Proyecto de Riego y Drenaje del Valle del Alto Chicamocha y Firavitoba, Boyacá (Colombia)." *Agronomía Colombiana* 38(2): 337-344.
- Bhattacharai, Madhusudan y A. Narayanamoorthy. 2003. "Impact of irrigation on rural poverty in India: an aggregate panel-data analysis." *Water Policy* 5(5-6): 443-458. <https://doi.org/10.2166/wp.2003.0028>
- Bordoloi, Popiha. 2020. "Productivity enhancement of Maize (*Zea mays*) through liming under rainfed condition of North east India." *Int. J. Current Microb. Appl. Sci* 11: 2875-2881.
- Borja, Nicolás, Jaepil Cho y Kyung Sook Choi. 2017. "The influence of climate change on irrigation water requirements for corn in the coastal region of Ecuador." *Paddy and water environment* 15: 71-78.
- Carrión, Diego y Stalin Herrera. 2012. "Soberanía alimentaria, inversión pública y política agraria". En *Ecuador rural del siglo XXI*. Editado por María Belén Cevallos, 39-79. Quito: IEE.
- Chinkousky, María Antonia y María Camila Urrego. 2020. "Determinantes de la adopción de tecnologías de agricultura climáticamente inteligente en Colombia". Tesis de grado, Universidad Eafit.
- Dhehibi, Boubaker, Ali El Shahat Ali y Aden Aw-Hassan. 2016. "Impacts of irrigation on agricultural productivity in Egypt." *Annals of Arid Zone* 55: 67-78. <https://hdl.handle.net/20.500.11766/6438>
- Dhrifi, Abdelhafidh. 2014. "Agricultural productivity and poverty alleviation: what role for technological innovation". *Journal of Economic and Social Studies* 4(1): 139-158.

- Expósito, Alfonso y Julio Berbel. 2019. "Drivers of irrigation water productivity and basin closure process: Analysis of the Guadalquivir river basin (Spain)." *Water Resources Management* 33(4): 1439-1450.
- Fan, Shenggen y Xiaobo Zhang. 2004. "Infrastructure and regional economic development in rural China". En *Regional Inequality in China*, editado Shenggen Fan, Ravi Kanbur y Xiaobo Zhang, 201-214. Reino Unido: Routledge.
- FAO. 2008. "Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado". En *El Desarrollo del Microrriego en América Central: Oportunidades, Limitaciones y Desafíos*, 27-37. Chile: Santiago.
- FAO. 2012. *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura: La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Madrid: FAO.
- FAO. 2017. *Productivity and Efficiency Measurement in Agriculture Literature Review and Gaps Analysis*. Madrid: FAO.
- FAO. 2019. *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe*. Santiago: FAO. <https://doi.org/10.37774/9789251319581>
- González, Humberto. 1996. "Transformación productiva con equidad: la alternativa cepalina del desarrollo". *Revista universidad EAFIT* 32(101): 61-68.
- Gurovich, Luis. 1985. "Conceptos del riego". En *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*, editado por Tomás Saraví y Julio Escoto, 7-29. San José: Iica.
- Gurovich, Luis. 1985a. "Ciclo hídrico y calidad del agua de riego". En *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*, editado por Tomás Saraví y Julio Escoto, 29-59. San José: Iica.
- INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2020. Boletín Técnico Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, 2020. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Boletin%20Tecnico%20ESPAC_2019.pdf
- Jha, Ajay, Razan Malla, Mohan Sharma, Jeeban Panthi, Tarendra Lakhankar, Nir Krakauer, Soni Pradhanang, Piyush Dahal y Madan Shrestha 2016. "Impact of irrigation method on water use efficiency and productivity of fodder crops in Nepal." *Climate* 4(1): 4-32. <https://doi.org/10.3390/cli4010004>
- Jin, Songqing, Winston Yu, Hans Jansen y Rie Muraoka. 2012. "The impact of irrigation on agricultural productivity: Evidence from India" *AgEcon Search* 1:1-37.
- Koss, Elle y David Lewis. 1993. "Productivity or efficiency - measuring what we really want" *National Productivity Review* 12, 273-295.
- Letey, John. 1991. Crop-water production function and the problems of drainage and salinity. En *The economics and management of water and drainage in agriculture*, editado por Ariel Dinar y David Ziberman, 209-227. Springer: Boston.
- Llanos, José Luis, Roberto Rojas, José Osorio y Ricardo Muños Cisternas. 2013. "Efecto de una política gubernamental de inversión en infraestructura pública de riego sobre la producción agrícola en Chile". *Revista Mexicana de Agronegocios* 33: 422-431.

- López, César, Lina Salazar, Carmine De Salvo. 2017. *Gasto público, evaluaciones de impacto y productividad agrícola: Resumen de evidencias de América Latina y el Caribe*. Santiago: Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <http://dx.doi.org/10.18235/0000627>
- Lozano-Espitia, Ignacio, y Juan Restrepo-Salazar. 2016. “El papel de la infraestructura rural en el desarrollo agrícola en Colombia.” *Coyuntura Económica* 46(1): 107-147. <http://hdl.handle.net/11445/3351>
- MEFCCA. 2018. *Uso del agua del reservorio en labores agropecuarias*. Managua: Nicaragua
- Meinzen-Dick, Ruth y Martha Sullins. 1994. “Water Markets in Pakistan: Participation and Productivity”. *IFPRI Discussion* 4: 3-70.
- Mitre, David. 2016. “Determinantes de la adopción de tecnologías de riego en México: de la intención a la acción de modernizarse”. Tesis de maestría, Instituto Tecnológico Autónomo de México.
- Murphy, Kevin, Andrei Shleifer y Robert Vishny. 1989. “Industrialization and the big push”. *Journal of political economy* 97(5):1003-1026.
- Munir Ahmad, Ghulam M. Chaudhry y Mohammad Iqbal. 2002. “Wheat Productivity, Efficiency, and Sustainability: A Stochastic Production Frontier Analysis” *Pakistan Development Review* 41:643-633.
- Narayanamoorthy, A. y Hanjra Munir. 2006. “Rural infrastructure and agricultural output linkages: a study of 256 Indian districts” *Indian Journal of Agricultural Economics* 61(3): 444-459.
- Nayak, Chittaranjan. 2015. “Rural Infrastructure, Land Productivity and Crop Diversification in Odisha, India: An Assessment”. *MPRA*. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/87995/>
- Ngango, Jules, y Seungjee Hong. 2021. “Adoption of small-scale irrigation technologies and its impact on land productivity: Evidence from Rwanda.” *Journal of Integrative Agriculture* 20(8): 2302-2312. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63417-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63417-7)
- Ogunniyi, Adebayo, Bolarin Omonona, Oyewalw Abioye y Kehinde Olagunju. 2018. “Impact of irrigation technology use on crop yield, crop income and household food security in Nigeria: A treatment effect approach.” *AIMS Agriculture and Food* 3(2): 154–171. DOI: 10.3934/agrfood.2018.2.154
- Olayide, Emmanuel, Isaac Tetteh y Labode Popoola. 2016. “Differential impacts of rainfall and irrigation on agricultural production in Nigeria: Any lessons for climate-smart agriculture?” *Agricultural Water Management* 178, 30-36.
- Olvera, María, Juan Manuel Hernández, Andrés J. González, Pedro Pacheco, Juan Torres, Helene Unland y Rodolfo Namuche. 2014. *Impacto de la tecnificación del riego a partir de indicadores comparativos en distritos de riego*. Chapingo: México.
- Olvera Salgado, Dolores, Gregorio Bahena Delgado, Oscar Alpuche Garcés, y Francisco García Matías. 2014a. “La tecnificación del riego ante la escasez del agua para la generación de alimentos: estudio de caso en Chihuahua, México.” *Ambiente y Desarrollo* 18(35): 23-36.
- Pereira, Luis, Theib Oweis, y Abdelaziz Zairi. 2002. “Irrigation management under water scarcity”. *Agricultural water management* 57(3): 175-206.

- Playan, Enrique y Luciano Mateos. 2006. "Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity." *Agricultural Water Management* 80(1-3): 100-116
- Possas, Mario L., Sergio Salles-Filho y José María da Silveira. 1996. "An evolutionary approach to technological innovation in agriculture: some preliminary remarks." *Research policy* 25(6): 933-945.
- Schmitz, Christoph, Jan Philipp Dietrich, Herman Lotze-Campen, Christoph Müller, y Alexander Popp. 2010. *Implementing endogenous technological change in a global land-use model*. Penang: Malaysia.
- Schuck, Erik, Marshal Frasier, Robert Webb, Lindsey Ellingson y Wendy Umberger. 2005. "Adoption of more technically efficient irrigation systems as a drought response" *Water Resources Development* 21(4): 651-662. <https://doi.org/10.1080/07900620500363321>
- Secretaría del Agua. 2016. "Propuesta de modelo de gestión integral del riego en el Ecuador". Disponible en: <http://www2.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/01-06IGC2016-MGRIEGO-SENAGUA-MODELO-DE-GESTIO%CC%81N-INTEGRAL-DEL-RIEGO.p>
- Sharpe, Andrew. 2002. "Productivity Concepts, Trends And Prospects: An Overview". En *The Review of Economic Performance and Social Progress 2002: Towards a Social Understanding of Productivity*, editado por Andrew Sharpe, Executive Director y France St-Hilaire, 31-55.
- Srivastava, Shivendra, Souvik Ghosh, Ashwani Kumar, P. Anand, y S. Raju, S. S. 2013. "Trends in Irrigation Development and its Impact on Agricultural Productivity in India: A Time Series Analysis". *Agricultural situation in India* 35: 13-19.
- Tangen, Stefan. (2002). "Understanding the concept of productivity". En *Proceedings of the 7th Asia-Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference*, 18-22.
- Torres Moreno, Miriam. 2021. "Factores determinantes de la adopción de sistemas de riego eficientes en la Comarca Lagunera". Tesis doctoral. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas
- Vargas-Velázquez, Sergio. 2010. "Aspectos socioeconómicos de la agricultura de riego en la Cuenca Lerma-Chapala". *Economía, sociedad y territorio* 10(32): 231-263.
- Vermeulen, Sonja., P.K. Aggarwal, A. Ainslie, C. Angelone, B.M. Campbell, A.J. Challinor, J.W. Hansen, J.S.I. Ingram, A. Jarvis, P. Kristjanson, C. Lau, G.C. Nelson, P.K. Thornton, y E. Wollenberg. 2012. "Options for support to agriculture and food security under climate change." *Environ. Sci. Policy* 15(1): 136-144.
- Von Braun, Joachim. 1988. "Effects of technological change in agriculture on food consumption and nutrition: rice in a West African setting." *World Development* 16(9): 1083-1098.
- Wheeler, Sarah, Henning Bjornlund, Olsen, T., Kurt Klein y Nicol, L. 2010. "Modelling the adoption of different types of irrigation water technology in Alberta, Canada". En *Sustainable Irrigation Management, Technologies and Policies III*, editado por C.A. Brebbia, A.M. Marinov y H. Bjornlund, 189-201.
- Wooldridge, Jeffrey. 2010. *Econometric analysis of cross section and panel data*. Cambridge: MIT press.