

Universidad Estatal de Milagro
Escuela de Negocios

**MAESTRÍA EN ECONOMÍA, MODALIDAD EN
LÍNEA.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN (PT) CON
COMPONENTE DE INVESTIGACIÓN APLICADA**

Educación del Jefe de Hogar y Relación
con Productividad Agrícola Ecuador,
2022-2024

AUTOR: ANGEL MARCELO ARCOS BALLADARES

DIRECTORA: EC. GRACE ARMIJOS BRAVO, PhD

MILAGRO, 22 DE DICIEMBRE DE 2025]

Derechos de autor

Sr. Dr.

Fabrizio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **Angel Marcelo Arcos Balladares** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de titulación, que fue realizado como requisito previo para la obtención del título de **Magíster en Economía**, como aporte a la Línea de Investigación **Modelos de Desarrollo Local y Empresarial** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 22 de diciembre de 2025



Angel Marcelo Arcos Balladares

Cédula de ciudadanía 1801978196

Aprobación del Director del Trabajo de Titulación

Yo, **Grace Victoria Armijos Bravo** en mi calidad de directora del proyecto de titulación, **APRUEBO** el trabajo elaborado por **Angel Marcelo Arcos Balladares**, cuyo tema es **Educación del Jefe de Hogar y Relación con Productividad Agrícola Ecuador, 2022-2024**, que aporta a la Línea de Investigación **Modelos de Desarrollo Local y Empresarial**, previo a la obtención del Grado **Magíster en Economía**. Este trabajo se articula sobre la base de una investigación aplicada y/o de desarrollo, inspirada en la teoría económica. Su enfoque metodológico contiene al menos una técnica econométrica robusta para validar los objetivos de la investigación, considero que el proyecto reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe. En dicho sentido, solicito que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Proyecto de Titulación con componente de investigación aplicada, en la Maestría en Economía de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, [4 de diciembre del 2025]



Grace Victoria Armijos Bravo
Cédula de ciudadanía 0922484597

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO
ACTA DE SUSTENTACIÓN
MAESTRÍA EN ECONOMÍA

En la Facultad de Posgrado de la Universidad Estatal de Milagro, a los cinco días del mes de febrero del dos mil veintiseis, siendo las 12:00 horas, de forma VIRTUAL comparece el/la maestrante, ING. ARCOS BALLADARES ANGEL MARCELO, a defender el Trabajo de Titulación denominado " **EDUCACIÓN DEL JEFE DE HOGAR Y RELACIÓN CON PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA ECUADOR, 2022-2024**", ante el Tribunal de Calificación integrado por: GONZALEZ REYES ROCIO ISABEL, Presidente(a), CADENA SILVA JAVIER PATRICIO en calidad de Vocal; y, Mg. Sc BUSTOS CHILQUINGA GABRIELA VALERIA que actúa como Secretario/a.

Una vez defendido el trabajo de titulación; examinado por los integrantes del Tribunal de Calificación, escuchada la defensa y las preguntas formuladas sobre el contenido del mismo al maestrante compareciente, durante el tiempo reglamentario, obtuvo las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACION	58.27
DEFENSA ORAL	36.90
PROMEDIO	95.17
EQUIVALENTE	MUY BUENO

Para constancia de lo actuado firman en unidad de acto el Tribunal de Calificación, siendo las 13:00 horas.



Firmado electrónicamente por:
**ROCIO ISABEL
GONZALEZ REYES**
Validar únicamente con FirmaEC

**GONZALEZ REYES ROCIO ISABEL
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**JAVIER PATRICIO
CADENA SILVA**
Validar únicamente con FirmaEC

**CADENA SILVA JAVIER PATRICIO
VOCAL**



Firmado electrónicamente por:
**GABRIELA VALERIA
BUSTOS CHILQUINGA**
Validar únicamente con FirmaEC

**Mg. Sc BUSTOS CHILQUINGA GABRIELA VALERIA
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**ANGEL MARCELO ARCOS
BALLADARES**
Validar únicamente con FirmaEC

**ING. ARCOS BALLADARES ANGEL MARCELO
MAGÍSTER**

Título: Educación del Jefe de Hogar y Relación con Productividad Agrícola Ecuador, 2022-2024.

Angel Marcelo Arcos Balladares¹,
Ec. Grace Armijos Bravo, PhD²

Palabras clave:

Productividad

agrícola, capital

humano, riego

tecnificado,

efectos fijos,

Ecuador

Resumen

Esta investigación evalúa la relación que tiene la educación del jefe de hogar y la adopción de riego tecnificado con la productividad agrícola en Ecuador durante el período 2022-2024. Utilizando datos de panel de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC-INEC) con 3.012 observaciones, se estima un modelo de efectos fijos que controla la heterogeneidad inobservable. Los resultados muestran que la educación incrementa la productividad en 2,5% por año adicional de escolaridad mientras que la existencia de riego tecnificado aumenta la productividad en 35,7% para el productor promedio. El hallazgo principal revela que la educación y el riego tecnificado actúan como sustitutos parciales, no como complementos, lo que sugiere que el riego tecnificado beneficia proporcionalmente más a productores con menor educación formal. Esta relación de sustitución es más pronunciada en la región costa y en unidades agropecuarias pequeñas menores a 10 hectáreas. Los hallazgos sugieren que el riego tecnificado tiene un efecto democratizador, reduciendo la brecha de productividad y proporcionando insumos cuantificados para focalizar políticas públicas alineadas con los ODS 1, 2 y 4.

Códigos JEL: Q12, 013, I25, C23

¹ Angel Marcelo Arcos Balladares, Cdla. Universitaria – km. 1.5 vía Milagro, aarcosb2@unemi.edu.ec

² Ec. Grace Armijos Bravo, PhD, Cdla. Universitaria – km. 1.5 vía Milagro, garmijosb4@unemi.edu.ec

Keywords:
Agricultural
productivity,
human capital,
technified
irrigation, fixed
effects, Ecuador

Abstract

This study evaluates the relationships between the education level of the household head and the adoption of technified irrigation on agricultural productivity in Ecuador over the period 2022-2024. Using Panel data from the Continuous Agricultural Surface and Production Survey (ESPAC-INEC), comprising 3,012 observations, a fixed-effects model is estimated to control for unobserved heterogeneity. The results indicate that education increase agricultural productivity by 2.5% per additional year of schooling, while the presence of technified irrigation raises productivity by 35.7% for the average producer. The main finding reveals that education and technified irrigation operate as partial substitutes rather than complements, suggesting that technified irrigation disproportionately benefits producers with lower levels of formal education. This substitution effect is more pronounced in the coastal region and among small agricultural units of less than 10 hectares. Overall, the findings suggest that technified irrigation exerts a democratizing effect by reducing productivity gaps and provide quantified inputs for the targeting of public policies aligned with Sustainable Development Global (SDGs) 1,2, and 4.

JEL Codes: Q12, O13, I25, C23

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	2
2.1	Capital Humano y Productividad Agrícola.....	2
2.2	Tecnología de Riego y Productividad Agrícola	2
2.3	La Relación Educación -Tecnología ¿Complementariedad o Sustitución?	2
2.4	Evidencia en América Latina y Ecuador.....	3
3	DATOS Y METODOLOGÍA	3
3.1	Definición de Variables	4
3.2	Estrategia Econométrica	5
3.3	Efectos Marginales del Riego por Nivel Educativo	5
4	RESULTADOS.....	6
4.1	Estimación del Modelo de Efectos Fijos.....	6
4.2	El Efecto Interacción: Evidencia de Sustitución	6
4.3	Análisis de Heterogeneidad	8
4.4	Efectos Marginales del Riego Tecnificado	9
4.5	Validación de las Hipótesis	9
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICA ECONÓMICA.....	10
5.1	Síntesis de Hallazgos.....	10
5.2	Implicaciones para la Política Pública	11
5.3	Consideraciones Finales	11
6	REFERENCIA	12
7	ANEXOS.	14

1 INTRODUCCIÓN

La evolución rural en Ecuador continúa enfrentando barreras estructurales, en las que el capital humano juega un rol crucial. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC, 2024), el 43% de las personas que habitan en zonas rurales se encuentran bajo condiciones de pobreza, y el 22% vive en pobreza extrema; además el 70% de la población depende de las actividades agropecuarias para sobrevivir. Esta circunstancia destaca la relevancia de identificar factores que fomenten la productividad en el sector agrícola para reducir la pobreza en las áreas rurales (Morales & Mideros, 2021).

La teoría del capital humano sostiene que la educación contribuye a mejorar las habilidades cognitivas, la capacidad de manejar información técnica y el aprendizaje frente a los riesgos (Hanushek & Woessmann, 2020). En el sector agrario, estas habilidades son fundamentales frente a la volatilidad de precios y a la variabilidad climática (Takahashi et al., 2020). Al respecto, Ma & Abdulai (2021) muestran que existe compensación positiva entre la gestión eficaz de insumos y nivel educativo del líder familiar.

A la par, la adopción de tecnologías agrícolas es determinante para elevar la productividad en países en desarrollo (Adams & Jumpah, 2021). Entre estas, el riego tecnificado se destaca por reducir la dependencia climática y mejorar el uso del agua y fertilizantes, fortaleciendo la resiliencia productiva (Bandopadhyay et al., 2024; Ehiakpor et al., 2021). En Ecuador, su modernización es una herramienta estratégica para optimizar la producción y la seguridad alimentaria (Becerra-Encinales et al., 2024).

Un aspecto fundamental es la articulación entre educación y tecnología. Diversos estudios sostienen que un mayor nivel educativo potencia el aprovechamiento de tecnologías modernas, generando efectos sinérgicos en la productividad (Klerkx, 2020; Zegeye et al., 2022). Bajo esta hipótesis,

productores con mayores habilidades comprenderían mejor los manuales técnicos y operarían más eficientemente los sistemas de riego. La evidencia internacional ha documentado estos efectos de complementariedad (Takahashi et al., 2020).

En el caso ecuatoriano, la evidencia es limitada. Carrasco y Ygnacio (2022a) señalan que la mayoría de las investigaciones se basan en análisis transversales, sin controlar la heterogeneidad no observable. Esta limitación es más relevante tras la pandemia por COVID-19, que profundizó las brechas educativas en zonas rurales y afectó la capacidad de innovación y adopción tecnológica (Moscoviz & Evans, 2022).

Ante este vacío, el presente estudio plantea responder: ¿Cómo interactúa la educación del jefe de hogar con la adopción del riego tecnificado y su relación con la productividad agrícola ecuatoriana entre 2022 y 2024? El objetivo general es analizar la relación de la educación y su función moderadora en la relación entre tecnología de riego y la productividad agrícola durante los años 2022 a 2024.

Los resultados muestran un patrón particular en el contexto ecuatoriano: : aunque la educación y el riego tecnificado tienen una relación positiva directa, su interacción es negativa y significativa ($\beta_3 = -0,0396$, $p < 0,05$), evidenciando que actúan como **sustitutos parciales**. Para el nivel educativo promedio de la muestra (9,28 años), el riego tecnificado incrementa la productividad en un 35,7%.

Este estudio aporta tres contribuciones principales. (1) constituye la primera evidencia longitudinal para Ecuador sobre la interacción entre educación y tecnologías agrícolas; (2) revela patrón de sustitución que matiza el debate teórico de complementariedad entre capital humano y tecnología; (3) proporciona insumos para políticas públicas alineadas con los ODS y el plan de Creación de Oportunidades 2021-2025, destacando la importancia de estrategias

diferenciadas según el nivel educativo del productor (Barrett et al., 2022).

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Capital Humano y Productividad Agrícola

La teoría del capital humano, sostiene que la inversión educativa eleva la capacidad para procesar información (Hanushek & Woessmann, 2020). En la agricultura, esta relación es relevante: productores con mayor escolaridad gestionan mejor los riesgos, incorporan innovaciones y se adaptan a cambios productivos (Ruzzante et al., 2021; Takahashi et al., 2020). Así lo sustenta la literatura, por ejemplo, en Sudáfrica, el capital humano impulsa la innovación agrícola (Baiyegunhi, 2024), y estudios de panel en China demuestran que la educación del jefe del hogar aumenta la productividad total (Ma & Abdulai, 2021). Además, los productores más educados adoptan tecnologías con mayor facilidad mejorando su rendimiento.

En países en desarrollo, la educación contribuye a comprender las prácticas técnicas, el uso eficiente de insumos y la reducción de brechas de productividad (Fadeyi et al., 2022). Sin embargo, persisten limitaciones estructurales: el acceso insuficiente a educación de calidad en áreas rurales perpetúa la baja productiva y pobreza (Serote et al., 2023). En América Latina, donde cerca del 85% de las unidades productivas corresponden a la agricultura familiar, estas limitaciones educativas resultan especialmente determinantes. (Fadeyi et al., 2022).

2.2 Tecnología de Riego y Productividad Agrícola

La adopción de tecnología de riego constituye un determinante fundamental para incrementar la productividad agrícola, particularmente en territorios expuestos a variabilidad climática (Ali et al., 2020). Para mejorar la resiliencia y dejar de depender de las lluvias, el riego tecnificado es una de las mejores estrategias a adoptar (Takeshima & Mano, 2023). La evidencia lo respalda: los rendimientos en

tierras irrigadas son 2,3 veces superiores a los obtenidos por agricultores de secano (Mupaso et al., 2023), y aunque solo el 22% de la superficie cultivada cuenta con riego tecnificado, ésta aporta cerca del 40% de la producción alimentaria mundial (Rosa, 2022).

A pesar de sus ventajas, la adopción de riego avanzado enfrenta barreras, entre ellas altos costos iniciales, restricciones de financiamiento y la complejidad operativa de las tecnologías disponibles (Serote et al., 2023). Fadeyi et al. (2022) enfatizan que, además de los factores económicos, las normas comunitarias, sociales y socioeconómicas también influyen en la disposición de los agricultores para adoptar tecnologías novedosas. Además, la literatura enfatiza que para vencer barreras y posibilitar la adopción de innovaciones como los sistemas fundamentados en IoT¹ y las tecnologías de agricultura de precisión en naciones en vías de desarrollo, la capacitación técnica es un elemento esencial (Mhlanga & Ndhlovu, 2023).

En Ecuador, donde la agricultura representa alrededor del 78% del PIB y es una fuente primordial de empleo (World Bank., 2024), existen restricciones estructurales que limitan la adopción tecnológica. Esto se observa sobre todo en las zonas rurales, donde la informalidad productiva y la pobreza son más altas (INEC, 2022). En este contexto, la expansión del riego tecnificado se posiciona como una estrategia fundamental para mejorar la seguridad alimentaria y fortalecer la competitividad del sector agrícola (Koncagül et al., 2024).

2.3 La Relación Educación - Tecnología ¿Complementariedad o Sustitución?

El debate teórico sobre la relación entre educación y tecnología agrícola examina si ambos factores son complementarios o sustitutivos. La visión predominante sostiene complementariedad: agricultores con mayor educación aprovechan mejor las innovaciones y obtienen mayores rendimientos (Klerkx, 2020; Ruzzante et al.,

2021). Hörner et al. (2022) evidencia que la adopción de paquetes tecnológicos requiere capacidades previas que faciliten el aprendizaje; Ayalew et al. (2022) destacan que la información agronómica especializada impulsa la adopción, especialmente entre agricultores más educados.

No obstante, Li y Zhang (2023) muestran dinámicas heterogéneas en la agricultura digital, donde algunas innovaciones pueden generar beneficios relativamente mayores entre productores con menor educación, operando como sustitutos parciales del conocimiento formal.

2.4 Evidencia para América Latina y Ecuador

La productividad agrícola en América Latina presenta alta heterogeneidad. Gáfaró et al. (2023) señalan que el tamaño de las explotaciones y la baja productividad laboral en unidades pequeñas explican gran parte de la desigualdad de ingresos. En Ecuador, esta brecha es evidente: al segundo trimestre del 2025, el ingreso mensual promedio en labores agrícolas fue de \$ 221, menos de la mitad del salario básico unificado (INEC, 2025), reflejando diferencias estructurales de productividad entre sectores.

La evidencia longitudinal para Ecuador es limitada. Aunque se ha evidenciado que la escolaridad del jefe de hogar influye en la adopción de tecnologías de riego (Carrasco & Ygnacio, 2022b), aún no se ha estimado rigurosamente la magnitud ni la dirección del efecto moderador. Este estudio aporta a cerrar este vacío mediante el uso de datos de panel, que permiten controlar la heterogeneidad no observable y generar estimaciones más robustas.

En contextos de baja escolaridad, el riego puede funcionar como mecanismo compensatorio, generando beneficios relativamente mayores para productores con menor capital humano formal.

3 DATOS Y METODOLOGÍA

La investigación emplea microdatos del INEC, específicamente de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), de 2022-2024. La ESPAC es la fuente de datos estadísticos más relevante sobre el sector agrícola en Ecuador. Tiene representatividad a nivel nacional y abarca las variables principales de tecnología, de productividad y sociodemográficas más relevantes de la Unidad de Producción Agropecuaria (UPA).

El diseño muestral de la ESPAC se estructura a partir de dos marcos complementarios: el Marco de Área y el Marco de Lista; definidos por dos categorías de cultivos: transitorios de ciclo corto, menor a un año, como maíz, arroz, papa y permanentes de ciclo largo, mayor a un año, como banano, cacao, café o palma africana, durante el trienio analizado.

La conformación del panel balanceado está orientado a garantizar la consistencia temporal de los registros y la robustez analítica del conjunto de datos.

Los criterios de depuración aplicados a la base de datos se resumen en la Tabla Nro. 01, parten de la muestra analítica de 18.144 observaciones correspondientes a 6.048 UPA presentes en los tres años consecutivos (balanceado). Se aplicaron criterios de exclusión secuenciales: primero se eliminaron 14.637 observaciones de 4.879 UPA que reportaron producción nula en el período, condición que impide calcular la productividad como variable dependiente; segundo, se excluyeron 48 observaciones de 16 UPA con información educativa inválida o ausente; tercero, se removieron 1.410 observaciones de 470 UPA que registraron cambios de provincia entre años, finalmente, se identificaron y eliminaron 75 observaciones de 25 UPA clasificadas como valores atípicos en productividad. La muestra analítica final está compuesta por 3.012 observaciones.

Tabla Nro. 01
CONSTRUCCIÓN DE LA MUESTRA ANALÍTICA POR MARCO DE MUESTREO

Panel de UPAs Ecuador 2022-2024

Criterio	M. Área		M. Lista		Total	
	Obs.	UPAs	Obs.	UPAs	Obs.	UPAs
Panel balanceado (3 años)	9.537	3.179	8.607	2.869	18.144	6.048
(-) Sin producción algún año	(7.743)	(2.581)	(6.894)	(2.298)	(14.637)	(4.879)
(-) Sin educación válida	(3)	(1)	(45)	(15)	(48)	(16)
(-) Cambio de provincia	(714)	(238)	(696)	(232)	(1,410)	(470)
Subtotal antes de outliers	1.515	505	1.572	524	3.087	1.029
(-) Outliers (Productividad)	(33)	(11)	(42)	(14)	(75)	(25)
MUESTRA ANALITICA FINAL	1.482	494	1.530	510	3.012	1.004

Fuente: ESPAC 2022-2024 (INEC).

Elaboración: Ángel Marcelo Arcos Balladares.

3.1 Definición de Variables

La variable dependiente es la productividad agrícola, medida como el cociente entre la producción total en toneladas métricas y la superficie cultivada en hectáreas. La Tabla Nro. 02 presenta las estadísticas descriptivas: la propiedad promedio alcanza 9,36 TM/ha con desviación estándar de 16,72, evidenciando considerable heterogeneidad entre las unidades productivas.

Educación Centrada (Educación*): Para mejorar la interpretación del modelo de

interacción y reducir problemas de multicolinealidad, se centró la variable educación restando la media muestral.

$$\text{Educación*} = \text{educación}_{it} - 9,28 \text{ (media)}$$

Esta transformación permite que el coeficiente β_2 sea interpretado como el efecto marginal del riego para el productor con nivel educativo promedio de la muestra, y no para el caso de cero años de escolaridad (el cual podría ser una extrapolación fuera del rango de datos).

Tabla Nro. 02
ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS

N = 3.012 observaciones | 1.004 UPAs | 2022-2024

Variable	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Productividad (TM/ha)	3.012	9,36	16,72	0,0000	1,29	103,82
Educación (años)	3.012	9,28	4,36	0	12	18
Usa riego tecnificado (0/1)	3.012	0,446				
Superficie (ha)	3.012	206,38	1.063,63	0,01	19,00	24.379,51
Edad del productor (años)	3.012	56,95	14,43	16	57	98

Fuente: ESPAC 2022-2024 (INEC).

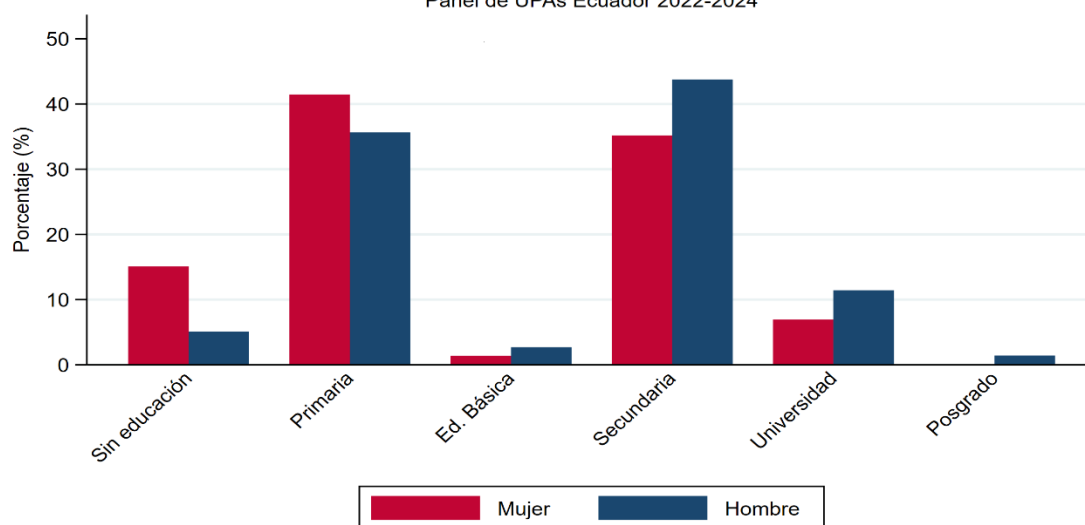
Elaboración: Ángel Marcelo Arcos Balladares.

La variable explicativa de interés es la educación del jefe de hogar, medida en años de escolaridad completos. La Tabla Nro. A1 y el Gráfico Nro. 01 resume su distribución por nivel educativo y sexo: predominando los productores con educación secundaria (41,7%) y primaria (37,1%), alcanzando un promedio general de 9,28 años de escolaridad.

Asimismo, se evidencia brechas de género: mientras el 43,8% de los hombres alcanza educación secundaria, esta proporción disminuye a 35,2% entre las mujeres, quienes presentan mayor incidencia en ausencia de escolaridad (15,1% frente a 5,1%).

Gráfico Nro. 01

Distribución del Nivel Educativo por Sexo del Productor
Panel de UPAs Ecuador 2022-2024



Fuente: Elaboración propia con base en ESPAC 2022-2024.
N = 3012 observaciones.

La segunda variable clave es la adopción de riego tecnificado, definida como una variable dicotómica. El 44,6% de las observaciones corresponden a unidades que utilizan sistema de riego tecnificado. Finalmente, las variables de control incorporadas incluyen el tamaño de la UPA, como una media de 206,38 hectáreas, de una mediana 19,00 hectáreas, y la edad del productor, cuyo promedio alcanza 56,95 años.

3.2 Estrategia Econométrica

La estimación se basa en un modelo de efectos fijos, el cual permite controlar la heterogeneidad inobservable constante en el tiempo entre las unidades productivas (Takahashi et al., 2020). La especificación empírica adopta la siguiente forma:

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \beta_1(\text{Educación}^*)_{it} + \beta_2(\text{riego}_{it}) + \beta_3(\text{Educación}^* \times \text{riego}_{it}) + \beta_4 \ln(\text{superficie})_{it} + \beta_5(\text{edad}_{it}) + \beta_6(\text{edad2}_{it}) + \beta_7(\text{sexo}_{it}) + \alpha_i + \gamma_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

Para la variable Educación* se utilizó en versión centrada respecto a la media muestral (9,28 años). Esta transformación permite una interpretación más clara y directa tanto del coeficiente β_2 , que refleja el efecto del riego para un productor con educación promedio,

como de los efectos marginales estimados en torno a dicho valor de referencia.

La selección del modelo de efectos fijos se sustenta en los resultados del test de Hausman (Tabla Nro. A3), cuyo estadístico $\chi^2 = 338,88$ y el valor $p < 0,0001$ permiten rechazar la hipótesis nula de consistencia al estimador de efectos aleatorios. Esto muestra evidencia de la existencia de correlación significativa entre los efectos individuales no observados y las variables explicativas, validando formalmente la pertinencia del estimador de efectos fijos (Ruzzante et al., 2021).

La Tabla Nro.A2 presenta la matriz de correlaciones, donde destaca la asociación positiva entre productividad y educación ($r = 0,345$, $p < 0,001$), coherente con la literatura sobre capital humano y desempeño agrícola.

3.3 Efectos Marginales del Riego por Nivel Educativo

El término de interacción Educación* $\times$ riego permite determinar cómo varía la relación del riego tecnificado según el nivel educativo del productor. En este modelo, los coeficientes principales se interpretan como relaciones condicionales, ya que dependen del valor que tome la otra variable.

El coeficiente β_2 representa el efecto del riego para un productor con educación promedio (9,28 años), mientras que β_3 indica cómo dicho efecto se modifica por cada año adicional de escolaridad. Un β_3 negativo revela que el beneficio marginal del riego disminuye conforme aumenta la educación, lo que sugiere una relación de sustitución parcial entre los factores.

El efecto total riego, expresado como cambio porcentual en la probabilidad, se obtiene mediante:

$$\text{Cambio\%} = (e^{\beta_2 + \beta_3(\text{Educación} - \bar{x})} - 1) \times 100$$

Esta expresión sintetiza cómo el retorno del riego tecnificado depende del capital humano del producto y permite identificar heterogeneidades relevantes para el diseño de políticas públicas focalizadas.

4 RESULTADOS

4.1 Estimación del Modelo de Efectos Fijos

Los resultados del modelo de efectos fijos que se observa en la Tabla Nro. 03 muestra el coeficiente β_1 0,0250, lo que implica que cada año adicional de escolaridad se relaciona con un incremento cercano al 2,5% en la productividad agrícola. Este resultado es consistente con los postulados de la teoría del capital humano (Hanushek & Woessmann, 2020). Por su parte, el coeficiente de riego tecnificado asciende a $\beta_2 = 0,3055$, lo que muestra una relación positiva y significativa, en concordancia con la literatura internacional sobre modernización de sistemas de riego (Ruzzante et al., 2021).

Tabla 03
RESULTADOS DE REGRESIÓN: MODELO DE EFECTOS FIJOS
Variable dependiente: $\ln(\text{Productividad Agrícola})$ | Panel UPA Ecuador 2022-2024

Variable	(1) MCO	(2) FE	(3) FE+ controles
<u>Variables Principales</u>			
Educación: β_1	0,0965*** (0,0123)	0,0182 (0,0134)	0,0250* (0,0127)
Usa riego tecnificado: β_2	1,4679*** (0,0844)	0,1890 (0,1135)	0,3055** (0,1083)
Educación $\times$ Riego: β_3	0,0827*** (0,0192)	-0,0259 (0,0172)	-0,0396* (0,0165)
<u>Variables de Control</u>			
Ln_sup_ha	NO	NO	SI
edad_productor	NO	NO	SI
Edad-sp(edad ²)	NO	NO	SI
<u>Efectos Fijos</u>			
UPA	NO	SI	SI
Años	NO	NO	SI
Observaciones	3.012	3.012	3.012

Fuente: Elaboración propia con base en ESPAC 2022-2024.

Elaboración: Marcelo Arcos Balladares.

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

Un resultado especialmente relevante es el cambio de signo en el término de interacción, en el modelo de efectos fijos se torna negativo ($\beta_3 = -0,0396$), lo que constituye un hallazgo central. Este giro indica que, una vez controlada la heterogeneidad inobservable, la educación y riego tecnificado no operan como complementos, sino que exhiben una relación de sustitución parcial. En otras palabras, el efecto marginal de riego disminuye conforme aumenta la escolaridad del productor, una

dinámica que contrasta con la literatura convencional sobre sinergias entre capital humano y tecnología agrícola.

4.2 El Efecto Interacción: Evidencia de Sustitución

El hallazgo más destacado proviene del término de interacción. En contraste con la hipótesis de complementariedad ampliamente sostenida en la literatura (Klerkx, 2020; Ma & Abdulai, 2021), el coeficiente estimado es negativo y estadísticamente significativo ($\beta_3 =$

-0,0396). Este resultado constituye un aporte central del estudio, pues demuestra que, en el contexto ecuatoriano, el beneficio marginal del riego tecnificado se atenúa sistemáticamente a medida que aumenta el nivel educativo del productor.

La Tabla Nro. 04 y el Gráfico Nro. 02 permiten descomponer este patrón de forma detallada. El Gráfico Nro. 02 muestra una caída en el

efecto marginal de riego: para productores sin educación formal (0 años), el riego significado incrementa la productividad en 96,0%, dicho efecto disminuye un 54,5% para educación primaria (6 años), 37,2% para educación básica (9 años) y de 21,9% para secundaria completa (12 años). De manera notable, entre productores con educación universitaria (16 años), el efecto se reduce a apenas al 4,0% y deja de ser significativo.

Tabla 04

EFFECTOS MARGINALES DEL RIEGO TECNIFICADO POR NIVEL EDUCATIVO

Impacto diferenciado sobre la productividad agrícola según años de escolaridad

Nivel Educativo	Coficiente	Efecto (%)	IC 95%	Sig.
0 años (Sin educación)	0,6729	+96,0%	[37,1%, 180,2%]	***
6 años (Primaria)	0,4353	+54,5%	[22,6%, 94,8%]	***
9 años (Educación Básica)	0,3165	+37,2%	[11,0%, 69,6%]	**
12 años (Secundaria)	0,1977	+21,9%	[-3,6%, 54,1%]	
16 años (Universidad)	0,0393	+4,0%	[-23,9%, 42,2%]	
18 años (Posgrado)	-0,0399	-3,9%	[-33,2%, 38,1%]	
Media muestral	0,3055	+35,7%		**

Fuente:

Elaboración propia con base en modelo FE.

Elaboración:

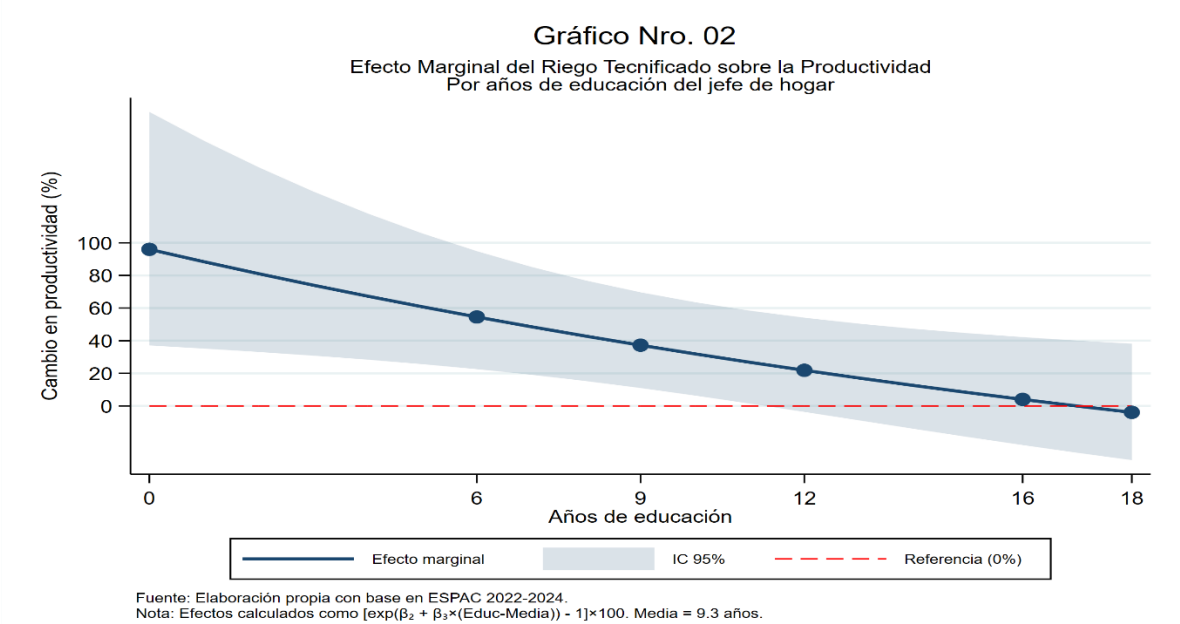
Marcelo Arcos Balladares.

Nota:

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

En conjunto, estos resultados indican que la tecnología de riego funciona como sustituto parcial del capital humano formal, un hallazgo

consistente con corrientes recientes que documentan efectos heterogéneos de la digitalización agrícola (Zhang et al., 2024).



Al incorporar protocolos operativos estandarizados, los sistemas de riego tecnificado reducen la dependencia de habilidades cognitivas avanzadas, beneficiando en mayor proporción a

productores con menor escolaridad. Para un agricultor con nivel educativo promedio de la muestra de (9,28 años), el riego tecnificado incrementa la productividad en 35,7%.

4.3 Análisis de Heterogeneidad

Al desagregar el análisis por regiones geográficas (Tabla Nro.05) y por tamaño de UPA (Tabla Nro.06), se aprecia una disminución en los niveles de significancia estadística de los coeficientes. Este comportamiento es consistente con la teoría estadística: al fragmentar la muestra en sus grupos más pequeños, el número de observaciones por estrato se reduce, lo que incrementa los errores estándar y disminuye el

poder estadístico para identificar efectos significativos.

A pesar de ello, la estabilidad en el signo y en el orden de magnitud de los coeficientes, en particular del término de interacción β_3 , que permanece negativo en la mayoría de los estratos, respalda la solidez del resultado central, el cual evidencia un patrón de sustitución entre el nivel educativo del productor y el uso de riego tecnificado.

Tabla 05
ANÁLISIS DE HETEROGENEIDAD POR REGIÓN GEOGRÁFICA
Modelo de Efectos Fijos estimado por submuestra regional

Variable	Muestra Completa	Costa	Sierra	Amazonía
<u>Variables Principales</u>				
Educación: β_1	0,0250* (0,0127)	0,0404* (0,0180)	0,0115 (0,0177)	0,0075 (0,0541)
Usa riego tecnificado: β_2	0,3055** (0,1083)	0,2391 (0,1360)	0,3562 (0,1855)	2,3613 (1,7219)
Educación $\times$ Riego: β_3	-0,0396* (0,0165)	-0,0436* (0,0213)	-0,0305 (0,0302)	0,0000 (0,0000)
<u>Variables de Control</u>				
Ln_sup_ha	SI	SI	SI	SI
edad_productor	SI	SI	SI	SI
Edad-sp(edad ²)	SI	SI	SI	SI
<u>Efectos Fijos</u>				
UPA	SI	SI	SI	SI
años	SI	SI	SI	SI
Observaciones	3.012	1.749	1.144	119

Fuente: Elaboración propia con base en ESPAC 2022-2024.

Elaboración: Marcelo Arcos Balladares.

Nota: * p<0,10, ** p<0,05, *** p<0,01

La Tabla Nro. 05, evalúa la consistencia de los resultados al desagregar el modelo por región natural. En la región Costa, la educación presenta su mayor impacto sobre la productividad ($\beta_1 = 0,0404$), mientras que el término de interacción conserva un signo negativo y estadísticamente significativo ($\beta_3 = -0,0436$), confirmando que el patrón de sustitución entre educación y riego tecnificados es particularmente pronunciado en este territorio; el riego tecnificado por sí solo ($\beta_2 = 0,2391$) no es estadísticamente significativo.

En la Sierra ninguno de los coeficientes (β_1 , β_2 , β_3) es estadísticamente significativo, aunque los signos son similares en la muestra completa.

En la Amazonia, ninguno de los coeficientes principales es estadísticamente significativo, esta submuestra tiene el menor número de observaciones (119), lo que influye en la falta de significancia estadística.

La costa es la región que impulsa la significancia de los resultados de la muestra completa. En la Sierra y Amazonía, las relaciones observadas a nivel nacional no son replicables de forma estadísticamente significativa.

La Tabla Nro. 06, examina posibles heterogeneidades según el tamaño de la explotación, utilizando cuartiles de superficie agrícola. El efecto de la educación resulta significativo únicamente en el segundo cuartil (3,8 a 19,0 ha), donde se estima $\beta_1 = 0,0658$, Este resultado sugiere que las unidades

productivas pequeñas-medianas son el segmento donde el capital humano genera las mayores ganancias diferenciadas en productividad, patrón consistente con estudios

recientes de América Latina que destaca el rol de la educación para optimizar la gestión en unidades de escala intermedia (Gáfaró et al., 2023).

Tabla 06
ANÁLISIS DE HETEROGENEIDAD POR TAMAÑO DE UPA

Modelo de Efectos Fijos estimado por cuartiles de superficie

Variable	Muestra Completa	Q1 (<3,8 ha)	Q2 (3,8-19,0 ha)	Q3 (19,0-150,0 ha)	Q4 (>150,0 ha)
<u>Variables Principales</u>					
Educación: β_1	0,0250* (0,0127)	0,0090 (0,0294)	0,0658*(0,0273)	0,0087 (0,0379)	0,0291 (0,0311)
Uso riego tecnificado: β_2	0,3055** (0,1083)	-0,2631 (0,2580)	0,3192 (0,2306)	0,3141 (0,2504)	0,0565 (0,2603)
Educación×Riego: β_3	-0,0396* (0,0165)	-0,0365 (0,0315)	-0,0726 (0,0444)	-0,0049 (0,0461)	-0,0329 (0,0322)
<u>Variables de Control</u>					
Ln_sup_ha	SI	SI	SI	SI	SI
edad_productor	SI	SI	SI	SI	SI
Edad-sp(edad ²)	SI	SI	SI	SI	SI
<u>Efectos Fijos</u>					
UPA	SI	SI	SI	SI	SI
años	SI	SI	SI	SI	SI
Observaciones	3012	702	768	768	774

Fuente: Elaboración propia con base en ESPAC 2022-2024.

Elaboración: Marcelo Arcos Balladares,

Nota: * p<0,10, ** p<0,05, *** p<0,01

4.4 Efectos Marginales del Riego Tecnificado

El ejemplo muestra el cálculo de los efectos marginales del riego según el nivel educativo el productor. Para un productor sin educación formal (0 años), la educación centrada se obtiene restando la media muestral (9.28 años):

$$\text{Cambio}\% = (e^{\beta_2 + \beta_3(\text{Educacion} - \bar{x})} - 1) \times 100$$

Sustituyendo los valores estimados:

$$\begin{aligned} \text{Cambio}\% &= (e^{0,3055 + (-0,0396)(0 - 9,28)} - 1) \times 100 \\ &= (e^{0,673} - 1) \times 100 = 96\% \end{aligned}$$

Estos resultados muestran un gradiente pronunciado: mientras un productor sin educación formal incrementa su productividad en aproximadamente 96% al adoptar riego

tecnificado, un productor con educación universitaria obtiene solo un 4% de aumento.

La diferencia, más de 92 puntos porcentuales evidencian un claro efecto compensatorio de la tecnología: el riego tecnificado funciona como un mecanismo que reduce las brechas de productividad asociadas al capital humano, beneficiando de manera particularmente intensa a los productores con menor nivel educativo.

4.5 Validación de las Hipótesis

La Tabla Nro. 07 presenta el contraste formal de la hipótesis derivada del marco teórico, utilizando los coeficientes del modelo de efectos fijos, el cual permite controlar la heterogeneidad inobservable y los shocks comunes, siguiendo criterios metodológicos sugeridos por Ruzzante et al. (2021).

La primera hipótesis (H1), que plantea una relación positiva entre los años de escolaridad del jefe de hogar y la productividad agrícola, recibe respaldo empírico consistente. El coeficiente estimado ($\beta_1 = 0,0250$), indica que cada año adicional de educación incrementa la productividad en aproximadamente 2.5%. Este resultado es coherente con la teoría del capital humano (Hanushek & Woessmann, 2020) y con evidencia en países de desarrollo que reportan elasticidad similares (Ma & Abdulai, 2021).

La segunda hipótesis (H2), referida al impacto de riego tecnificado, también se valida con alta significancia estadística. El coeficiente $\beta_2 = 0.3055$ implica que la adopción de esta tecnología aumenta la productividad en torno al 35% para productores con educación promedio. Este efecto coincide con estudios que destacan los beneficios del riego tecnificado en términos de reducción de vulnerabilidad climática y optimización de insumos (Ehiakpor et al., 2021; Takahashi et al., 2020).

En contraste, la tercera hipótesis (H3), que anticipa complementariedad entre educación, riego tecnificado, es rechazada. El coeficiente de interacción es negativo y significativo ($\beta_3 = -0.0396$), lo que evidencia que el retorno marginal de riego disminuye conforme aumenta la escolaridad. El Gráfico Nro. 02 muestra esta tendencia decreciente: mientras productores sin educación pueden alcanzar incrementos cercanos al 96%, el efecto se reduce a niveles no significativos en agricultores con formación universitaria.

Este patrón respalda la interpretación de que el riego tecnificado funciona como un sustituto parcial del capital humano, especialmente al incorporar procedimientos estandarizados que reducen las exigencias cognitivas (Zhang et al., 2024). Desde la política pública, estos resultados sugieren que la focalización del riego tecnificado en zonas con menor nivel educativo podría maximizar el impacto productivo y compensar déficits estructurales en el capital humano.

Tabla 07
RESUMEN DE VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS
Contraste empírico de las hipótesis de investigación

Hip.	Enunciado	Evidencia Empírica	¿Validada?	Observación
H1	Mayor educación del jefe de hogar se asocia con mayor productividad agrícola	$\beta_1 = 0,0250$ (0,049)	Sí $p < 0,05$	Relación positiva estadísticamente significativa
H2	La adopción de riego tecnificado aumenta significativamente la productividad	$\beta_2 = 0,3055$ (0,1083)	Sí $p < 0,10$	Relación positiva estadísticamente significativa
H3	El impacto del riego es MAYOR en productores con mayor educación (complementariedad)	$\beta_3 = -0,0396$ (0,0165)	No $p < 0,05$	Evidencia de SUSTITUCIÓN

Fuente: Elaboración propia con base en resultados del modelo FE.

Elaboración: Marcelo Arcos Balladares.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICA ECONÓMICA

5.1 Síntesis de Hallazgos

Este estudio ofrece evidencia empírica robusta sobre la relación entre el capital humano, adopción de tecnología y desempeño

productivo en la agricultura ecuatoriana. Con un panel de 3.012 observaciones se muestra que tanto la educación del jefe de hogar como el uso del riego tecnificado son factores determinantes en la productividad agrícola. No obstante, el aporte más relevante de esta investigación radica en cuestionar la supuesta complementariedad entre educación y tecnología: en este contexto ambos operan como **sustitutos parciales**.

El coeficiente de interacción negativa ($\beta_3 = -0,0396$, $p = 0,0165$) pone en evidencia que los retornos del riego tecnificado disminuyen a medida que aumenta el nivel educativo del productor. El análisis marginal confirma que un agricultor sin educación formal puede duplicar su productividad (96%) con la adopción del riego tecnificado, mientras que para productores con formación universitaria apenas llega a un 4% (sin ser estadísticamente significativo).

Esto indica que la estandarización de los sistemas de riego reduce dependencia de capacidades cognitivas complejas, permitiendo que agricultores con menor educación obtengan mayores retornos.

5.2 Implicaciones para la Política Pública

Dado que el 42,9% de la población rural vive en pobreza y la productividad agrícola es un determinante crítico del bienestar económico (INEC, 2023), los resultados obligan a replantear la focalización y priorización de la política pública en el sector rural. La investigación demuestra que los retornos marginales del riego son mayores en territorios con baja escolaridad, alta pobreza multidimensional y predominio de la agricultura familiar, por lo que priorizar en estas zonas permitirá maximizar el impacto por dólar invertido y reducir desigualdades, en concordancia con otras investigaciones sobre eficiencia distributiva (Adams & Jumpah, 2021).

Para garantizar su efectividad de estas intervenciones el riego tecnificado debe implementarse mediante paquetes tecnológicos ajustados al perfil educativo de los productores, con protocolos simplificados, capacitación pertinente, asistencia técnica continua y mecanismos participativos de monitoreo. La estandarización de estas herramientas resulta esencial para agricultores con menor formación, permitiendo cerrar brechas estructurales y fortalecer la adopción tecnológica en los contextos más rezagados.

El análisis de efectos directos confirma que cada año adicional de escolaridad incrementa la productividad en un 2,5%. Por ello, la tecnología solo compensa brechas de capital humana en el corto plazo, la educación permanece como el factor estructural de largo plazo para incrementos sostenidos en productividad agrícola. Se requiere, por tanto, fortalecer la educación rural, ampliar la formación técnica agropecuaria y cerrar brechas de género (Gráfico Nro. 01).

5.3 Consideraciones Finales

La evidencia demuestra que el riego tecnificado cumple una doble función: incrementa la productividad y actúa como un instrumento redistributivo al bienestar proporcionalmente más a los productores con menor nivel educativo. Esto lo convierte en una herramienta estratégica para el desarrollo rural inclusivo, y para avanzar en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 1 (Fin de la pobreza), el ODS 2 (Hambre cero) y el ODS 4 (Educación de Calidad).

Este estudio constituye la primera evidencia longitudinal para Ecuador sobre sustitución entre capital humano y riego tecnificado, y abre una agenda futura para evaluar otras tecnologías estandarizadas, como fertirrigación, o monitoreo automático que podrían cerrar las brechas productivas.

En conclusión, la política pública ecuatoriana dispone de una base empírica para reformular su estrategia: focalizar el riego en territorios con bajo niveles educativos, diseñar paquetes tecnológicos diferenciados y fortalecer la articulación entre educación y agricultura, con miras a políticas complementarias, son pasos a un desarrollo rural más productivo, equitativo y sostenible.

6 REFERENCIAS

- Adams, A., & Jumpah, E. T. (2021). Agricultural technologies adoption and smallholder farmers' welfare: Evidence from Northern Ghana. *Cogent Economics & Finance*, 9(1), 2006905. <https://doi.org/10.1080/23322039.2021.2006905>
- Ayalew, H., Chamberlin, J., & Newman, C. (2022). Site-specific agronomic information and technology adoption: A field experiment from Ethiopia. *Journal of Development Economics*, 156, 102788.
- Baiyegunhi, L. J. S. (2024). Examining the impact of human capital and innovation on farm productivity in the KwaZulu-Natal North Coast, South Africa. *Agrekon*, 63(1-2), 51-64. <https://doi.org/10.1080/03031853.2024.2357072>
- Bandopadhyay, S., Dey, S., Grover, L., Ghosh, S., & Das, B. (2024). *Sensing the dynamic nature of fragmented croplands in India through earth observation: A comprehensive review*. <https://eartharxiv.org/repository/view/8048/>
- Barrett, C. B., Benton, T., Fanzo, J., Herrero, M., Nelson, R. J., Bageant, E., Buckler, E., Cooper, K., Culotta, I., & Fan, S. (2022). *Socio-technical innovation bundles for agri-food systems transformation*. Springer Nature. <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/54421>
- Carrasco, E. S. M., & Ygnacio, M. A. C. (2022a). Una revisión de procesos de implementación para sistemas de riego automatizado. *ReCIBE, Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*, 11(1), C1-19.
- Carrasco, E. S. M., & Ygnacio, M. A. C. (2022b). Una revisión de procesos de implementación para sistemas de riego automatizado. *ReCIBE, Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*, 11(1), C1-19.
- Ehiakpor, D. S., Danso-Abbeam, G., & Mubashiru, Y. (2021). Adoption of interrelated sustainable agricultural practices among smallholder farmers in Ghana. *Land use policy*, 101, 105142.
- Fadeyi, O. A., Ariyawardana, A., & Aziz, A. A. (2022). Factors influencing technology adoption among smallholder farmers: A systematic review in Africa. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*, 123(1), 13-30.
- Gáfaró, M., Ibáñez, A. M., Sánchez-Ordoñez, D., & Ortiz, M. C. (2023). *Farm Size and Income Distribution of Latin American Agriculture New Perspectives on an Old Issue*. <https://publications.iadb.org/en/farm-size-and-income-distribution-latin-american-agriculture-new-perspectives-old-issue>
- Hanushek, E. A., & Woessmann, L. (2020). Education, knowledge capital, and economic growth. *The economics of education*, 171-182.
- Hörner, D., Bouguen, A., Frölich, M., & Wollni, M. (2022). Knowledge and adoption of complex agricultural technologies: Evidence from an extension experiment. *The World Bank Economic Review*, 36(1), 68-90.
- INEC (Ed.). (2022). *Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU), Junio 2022: Pobreza y desigualdad* (No. Boletín Técnico N° 11-2022-ENEMDU; p. 8). Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/POBREZA/2022/Junio_2022/202206_Boletin_pobreza.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025). *Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU)—Segundo trimestre 2025* (No. Informe estadístico). INEC. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/economia-laboral/>
- Klerkx, L. (2020). Advisory services and transformation, plurality and

- disruption of agriculture and food systems: Towards a new research agenda for agricultural education and extension studies. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 26(2), 131-140. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2020.1738046>
- Koncagül, E., Connor, R., & Abete, V. (2024). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2024: Agua para la prosperidad y la paz; datos, cifras y planes de acción*. https://www.sidalc.net/search/Record/dig-unesdoc-ark:-48223-pf0000388952_spa/Description
- Li, F., & Zhang, W. (2023). Research on the effect of digital economy on agricultural labor force employment and its relationship using SEM and fsQCA methods. *Agriculture*, 13(3), 566.
- Ma, W., & Abdulai, A. (2021). Technology adoption and efficiency in developing countries: The role of farmers' capacity and human capital JO - Journal of Rural Studies. *Journal of Rural Studies*, 194-204.
- Mhlanga, D., & Ndhlovu, E. (2023). Digital Technology Adoption in the Agriculture Sector: Challenges and Complexities in Africa. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2023, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2023/6951879>
- Moscoviz, L., & Evans, D. K. (2022). *Learning loss and student dropouts during the covid-19 pandemic: A review of the evidence two years after schools shut down*. <https://www.ungei.org/sites/default/files/2022-04/learning-loss-and-student-dropouts-during-covid-19-pandemic-review-evidence-two-years.pdf>
- Mupaso, N., Makombe, G., & Mugandani, R. (2023). Smallholder irrigation and poverty reduction in developing countries: A review. *Heliyon*, 9(2). [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)00548-0](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)00548-0)
- Rosa, L. (2022). Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: Biophysical potentials and feedbacks. *Environmental Research Letters*, 17(6), 063008.
- Ruzzante, S., Labarta, R., & Bilton, A. (2021). Adoption of agricultural technology in the developing world: A meta-analysis of the empirical literature. *World development*, 146, 105599.
- Serote, B., Mokgehele, S., Senyolo, G., du Plooy, C., Hlophe-Ginindza, S., Mpandeli, S., Nhamo, L., & Araya, H. (2023). Exploring the barriers to the adoption of climate-smart irrigation technologies for sustainable crop productivity by smallholder farmers: Evidence from South Africa. *Agriculture*, 13(2), 246.
- Takahashi, K., Muraoka, R., & Otsuka, K. (2020). Technology adoption, impact, and extension in developing countries' agriculture: A review of the recent literature. *Agricultural Economics*, 51(1), 31-45. <https://doi.org/10.1111/agec.12539>
- World Bank., B. (2024). La evolución geográfica de la productividad y el empleo. *World Bank*. <https://www.bancomundial.org/es/region/lac/publication/the-evolving-geography-of-productivity-and-employment>. <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/3de974bc-ff5a-472e-a647-2c108f7e95df/content>
- Zegeye, M. B., Fikire, A. H., & Assefa, A. B. (2022). Impact of Agricultural Technology Adoption on Food Consumption Expenditure: Evidence from Rural Amhara Region, Ethiopia. *Cogent Economics & Finance*, 10(1), 2012988. <https://doi.org/10.1080/23322039.2021.2012988>
- Zhang, Q., Yang, Y., Li, X., & Wang, P. (2024). Digitalization and agricultural green total factor productivity: Evidence from China. *Agriculture*, 14(10), 1805.

7 ANEXOS.

Tabla Nro. A1
DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA POR NIVEL EDUCATIVO Y SEXO DEL PRODUCTOR

N = 3.012 observaciones | 1.004 UPAs | 2022-2024

Nivel Educativo	Hombre		Mujer		Total	
	Obs.	%	Obs.	%	Obs.	%
Sin educación (0 años)	116	5,1	111	15,1	227	7,5
Primaria (6 años)	811	35,6	305	41,4	1,116	37,1
Educación Básica (9 años)	61	2,7	10	1,4	71	2,4
Secundaria (12 años)	996	43,8	259	35,2	1.255	41,7
Universidad (16 años)	260	11,4	51	6,9	311	10,3
Posgrado (18 años)	32	1,4	0	0,0	32	1,1
Total	2.276	100,0	736	100,0	3.012	100,0
Porcentaje por genero	75,56%		24,44%		100%	

Fuente: ESPAC 2022-2024 (INEC).

Elaboración: Ángel Marcelo Arcos Balladares.

Tabla Nro. A2
MATRIZ DE CORRELACIONES DE VARIABLES DEL MODELO

Panel de UPA Ecuador 2022-2024

Variable	Ln(Productividad)	Educación (años)	Ln (Superficie ha)	Edad productor
ln(Productividad)	1,000			
Educación (años)	0,345***	1,000		
ln(Superficie ha)	0,249***	0,481***	1,000	
Edad productor	-0,072***	-0,231***	0,113***	1,000

Fuente: ESPAC 2022-2024.

Elaboración: Marcelo Arcos Balladares.

Notas: Coeficientes de correlación de Pearson.

*** p<0,01, n = 3.012 observaciones.

Tabla Nro. A3
TEST DE HAUSMAN: EFECTOS FIJOS VS. EFECTOS ALEATORIOS

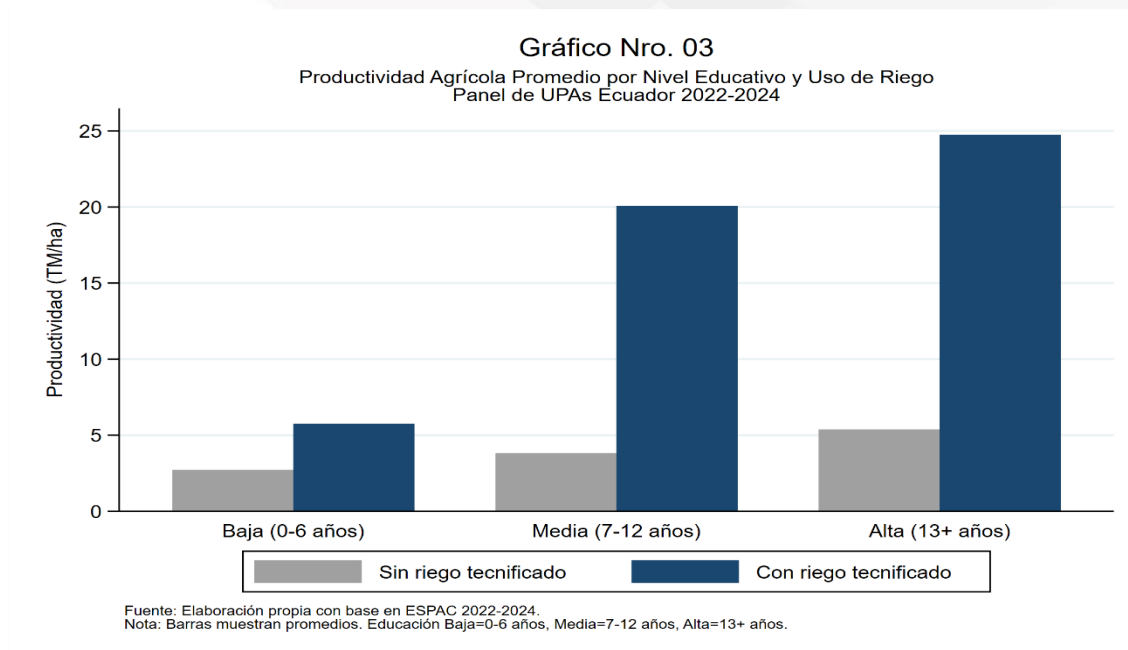
Validación de la especificación del modelo econométrico

Estadístico	Valor
Chi-cuadrado (χ^2)	338,88
Grados de libertad	8
Valor p	< 0,0001
Decisión estadística	Rechazar H_0
Modelo preferido	Efectos Fijos (FE)

Fuente: Elaboración propia con base en ESPAC 2022-2024.

Elab.: Marcelo Arcos Balladares.

Nota: H_0 : Los estimadores de Efectos Aleatorios son consistentes y eficientes (no hay correlación entre α_i y los regresores). H_1 : Solo los estimadores de Efectos Fijos son consistentes.



2

¹IoT hace referencia al Internet of Things (Internet de las Cosas), que consiste en dispositivos conectados que recopilan y transmiten datos en tiempo real para mejorar procesos agrícolas y productivos.