

**INSTITUTO DE ESTUDIOS AVANZADOS EN
DESARROLLO**



**RIESGOS Y RESTRICCIONES PRESUPUESTARIAS EN LA
ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS
SOSTENIBLES: EVIDENCIA EXPERIMENTAL PARA LA
QUINUA**

Por:

**Javier Aliaga Lordemann
Beatriz Muriel Hernández
Nicolás Fernández Venegas**

Serie Documentos de Trabajo sobre Desarrollo

No. 3/2026

La Paz, abril 2026

Las opiniones expresadas en este documento les pertenecen a sus autores y no necesariamente reflejan la posición oficial de las instituciones auspiciadoras ni de la Fundación INESAD (Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo). Los derechos de autor le pertenecen al autor y/o a las instituciones auspiciadoras, si las hubiere. El documento solamente puede ser descargado para uso personal.

Presentación

Entre tanta incertidumbre, hay algo que sí sabemos y que puede guiar las acciones de respuesta: los trabajos del futuro –los que impulsarán el dinamismo laboral de los próximos años– serán más verdes, más tecnológicos y más humanos que en el pasado. Verdes porque, frente al cambio climático, la transición hacia economías de baja emisiones de carbono demanda un mercado laboral menos contaminante. Tecnológicos porque la digitalización y la IA tienen un potencial transformador enorme, pero no funcionan solas: necesitan personas capaces de desarrollar, entrenar, implementar y sostener los sistemas basados en datos y algoritmos. Y humanos porque, en el medio de tantos cambios, aparecen en el centro de la escena las habilidades que siguen siendo exclusivas de las personas: la creatividad, la empatía, la comunicación, el liderazgo, y la agencia.

Con la mirada puesta en el futuro del trabajo, esta serie de investigación de Sur Futuro busca entender cómo se posiciona América Latina y el Caribe frente a estos segmentos clave del mercado laboral y qué acciones hacen falta para crear un futuro del trabajo dinámico e inclusivo en la región. ¿Qué tan preparados están los países de nuestra región para promover empleos verdes, tecnológicos y humanos? ¿Qué barreras enfrentan, y cómo pueden transformar estos sectores en motores de productividad y resiliencia e inclusión?

En este contexto, el presente estudio –elaborado en conjunto con INESAD– pone el foco en uno de los desafíos críticos para construir un futuro del trabajo más verde e inclusivo en América Latina y el Caribe: la transformación del empleo agrícola a través del uso de tecnologías sostenibles. A pesar de que el debate global suele concentrarse en los cambios impulsados por la digitalización y la inteligencia artificial, cerca del 20% del empleo de la región continúa vinculado a actividades agrícolas. Se trata, además, de un segmento que enfrenta condiciones laborales más precarias y una alta exposición a los riesgos del cambio climático: 1 de cada 4 personas ocupadas trabaja en actividades particularmente sensibles a estos impactos. A partir de un experimento aplicado a productores de quinua en la región andina, la investigación muestra que, si bien existen tecnologías productivas sostenibles capaces de mejorar la productividad y fortalecer la resiliencia frente a shocks climáticos, su adopción no es automática. Las decisiones productivas están atravesadas contextos de alta incertidumbre sobre los resultados, restricciones de liquidez, limitaciones de información y factores socioculturales que influyen en la percepción de riesgo y en la disposición a innovar. Estos resultados sugieren que transformar el empleo agrícola requiere algo más que disponibilidad tecnológica: implica generar las condiciones habilitantes que articulen a productores, gobiernos, organizaciones y actores del sistema de conocimiento, facilitando el acceso a financiamiento, información y capacidades. Avanzar en esa dirección será clave para impulsar una transición hacia una agricultura más productiva, resiliente y con mejores oportunidades laborales en la región.

Riesgos y restricciones presupuestarias en la adopción de tecnologías agrícolas sostenibles: Evidencia experimental para la quinua *

Javier Aliaga L. **

Beatriz Muriel H. ***

Nicolás Fernández V. ****

Resumen

El experimento presentado en este documento busca identificar los factores que impulsan o limitan la adopción de una tecnología sostenible –en comparación con una tecnología tradicional– para el caso de los pequeños productores agrícolas, en particular cuando toman decisiones bajo incertidumbre, con y sin restricciones de liquidez, y frente a escenarios de riesgo climático. En el marco teórico se formaliza la elección como una maximización de beneficios esperados, con funciones Cobb-Douglas y utilidad esperada. En este cuadro, la tecnología sostenible es más costosa, pero ofrece un mayor rendimiento esperado y, en ciertos escenarios, mejoras intertemporales. Además, el diseño del experimento busca aproximarse al contexto de productores de quinua del Altiplano Sur, con ajustes de beneficios por hectárea y calibración de parámetros con datos reales.

La metodología para el experimento aplica tres tratamientos con aleatorización y pagos reales para asegurar validez interna y un comportamiento consistente. En el Tratamiento 1 (5 rondas), se compara la elección bajo incertidumbre solo para la tecnología sostenible, y se introduce un componente entre grupos “con comunicación” vs “sin comunicación” para explorar el aprendizaje social. En el Tratamiento 2 (9 rondas en 3 ciclos), se agrega una restricción presupuestaria: la dotación cubre la tecnología tradicional y la sostenible requiere un préstamo con interés, además de rendimientos crecientes por cambio tecnológico sesgado al capital. En el Tratamiento 3 se suma el riesgo climático, lo que afecta a la tecnología tradicional: ahora ambas tecnologías enfrentan incertidumbre. El análisis se complementa con pruebas de diferencias de proporciones y modelos *Probit* para aislar el rol de rondas/ciclos y las características individuales.

* La investigación forma parte del proyecto “Empleos verdes y tecnologías agrícolas sostenibles: El caso de la producción de quinua en los países andinos”, actualmente desarrollado por la Fundación INESAD con el apoyo de Sur Futuro en el marco de la iniciativa global **FutureWORKS Collective**, impulsada por el **Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC)** de Canadá. Los autores agradecen a los participantes del taller “Herramientas de evaluación económica e impacto en la agricultura”, realizado los días 21, 22 y 23 de agosto de 2025 en la ciudad de Oruro, organizado conjuntamente con la Universidad Técnica de Oruro (UTO). Expresan, asimismo, un reconocimiento especial al Ing. Pedro Román Vallejos, Director de Investigación Científica y Tecnológica. Los posibles errores son de entera responsabilidad de sus autores.

** Investigador senior asociado de INESAD (jaliaga@inesad.edu.bo).

*** Directora Ejecutiva e investigadora senior de INESAD (bmuriel@inesad.edu.bo).

**** Investigador junior de INESAD (nfernandez@inesad.edu.bo).

Los resultados muestran un patrón robusto: la adopción de la tecnología sostenible aumenta con la experiencia acumulada y con señales más claras de resiliencia. En el Tratamiento 1, los participantes parten inclinándose por lo tradicional (una conducta precautoria), pero luego migran hacia lo sostenible, lo que sugiere un aprendizaje/actualización de creencias; la comunicación casi no cambia el resultado, indicando que la evidencia propia pesa más que la influencia social. En el Tratamiento 2, la liquidez frena inicialmente la adopción, pero la selección de la tecnología sostenible crece en ciclos posteriores cuando se internalizan los beneficios relativos, pese al crédito. Por último, en el Tratamiento 3, el riesgo climático vuelve a la tecnología sostenible una “cobertura” contra *shocks*, lo que aumenta su adopción hasta un 88% en el ciclo final.

Códigos JEL: C93, D81, O33, Q12, Q16, Q54.

Palabras clave: Adopción de tecnología, producción sostenible, pequeños productores de quinua, aversión al riesgo, cambio climático, economía experimental y del comportamiento.

Abstract

The experiment presented in this document aims to identify the factors that promote or hinder the adoption of sustainable technology –in relation to traditional alternatives– among smallholder agricultural producers making decisions under uncertainty, both with and without liquidity constraints, and in the presence of climate-related risk. The theoretical framework formalizes technology choice as the maximization of expected profits using Cobb–Douglas production functions and expected-utility preferences. Sustainable technology entails higher upfront costs, but delivers higher expected yields and, in some settings, intertemporal productivity gains. The design of the experiment is calibrated to the context of quinoa producers in Bolivia’s Southern Altiplano, by modelling returns per hectare and calibrating parameters with empirical data.

Methodologically, this study applies three randomized approaches with real monetary incentives to ensure internal validity and incentive compatibility. In Treatment 1 (five rounds), only the sustainable technology is stochastic, and a between-subjects manipulation (“with communication” versus “without communication”) is introduced to examine social learning. Treatment 2 (nine rounds, organized into three cycles) introduces a binding budget constraint. The endowment covers traditional technology, whereas adoption of the sustainable technology requires borrowing at an interest rate; returns also increase across cycles due to capital-biased technical change. Treatment 3 extends Treatment 2 by introducing climate risk, which perturbs outcomes under the use of traditional technology, rendering both technologies uncertain. Our analysis is complemented by tests of differences in proportions and Probit models, in order to isolate the effects of rounds/cycles and individual characteristics.

Results reveal a robust pattern: the adoption of sustainable technology increases, with accumulated experience and clearer signals of resilience. In Treatment 1, participants initially prefer the traditional option (a precautionary stance); but subsequently, they shift towards the sustainable alternative, an outcome that is consistent with learning processes and belief updating. Communication has negligible effects, suggesting that private experience predominates over peer influence. In Treatment 2, liquidity constraints dampen early adoptions, yet sustainable uptake rises in later cycles, as participants internalize relative pay-offs despite the borrowing requirements. In Treatment 3, climate risk makes the sustainable technology a form of hedge against shocks, raising their adoption to approximately 88% by the last cycle.

JEL Code: C93, D81, O33, Q12, Q16, Q54.

Keywords: Technology adoption, sustainable production, small-scale quinoa producers, risk aversion, climate change, experimental and behavioral economics.

I. Introducción

La producción de quinua en el Altiplano Sur de Bolivia enfrenta no solo riesgos climáticos – como sequías, heladas y lluvias irregulares –, sino también problemas estructurales. La degradación y erosión de suelos, junto con la reducción del barbecho, han disminuido la fertilidad y los rendimientos. Los pequeños productores tienen acceso limitado al crédito, la tecnología, el riego y los seguros agrícolas. Además, la volatilidad de los precios internacionales genera incertidumbre en los ingresos (Aliaga *et al.*, 2024d). A esto se suman los altos costos logísticos y la competencia externa creciente, pues aumentan la vulnerabilidad del sector.

Diversos estudios han documentado que los pequeños agricultores tienden a ser más adversos al riesgo y, por lo tanto, más reacios a adoptar tecnologías sostenibles. Si bien estas tecnologías podrían aumentar los rendimientos a largo plazo, también conllevan mayores riesgos e inversiones iniciales (Kahneman y Tversky, 1979; Feder *et al.*, 1985; Bryan *et al.*, 2010; Penson *et al.*, 2018). Además, las restricciones presupuestarias pueden limitar aún más la capacidad de los agricultores de adoptar tecnologías sostenibles, incluso si están interesados en hacerlo (Rabin, 2000; Amare y Simane, 2017; Harvey *et al.*, 2018; Ruhinduka *et al.*, 2020).

Nuestro punto de partida es el auge internacional de precios en la década de 2010, que incentivó una expansión acelerada de la frontera agrícola, muchas veces sobre tierras de menor fertilidad y bajo esquemas de monocultivo (Colque y Muriel, 2024). Este proceso estuvo acompañado por una reducción de los períodos de barbecho y de un debilitamiento del manejo integral de suelos, generando así una pérdida significativa de materia orgánica. Asimismo, la disminución de especies nativas que actuaban como barreras vivas incrementó la erosión, y el desplazamiento de camélidos redujo la disponibilidad del estiércol para fertilización orgánica. Estos cambios explican, pues, la caída de los rendimientos.

La evidencia reciente para el Altiplano Sur muestra que la variabilidad climática amplía la brecha entre el rendimiento observado y el potencial productivo, pues afecta directamente sobre los incentivos a innovar (Aliaga *et al.*, 2024). La dispersión productiva responde a la ineficiencia técnica asociada a las restricciones del capital y el acceso a insumos (Aliaga *et al.*, 2025a). En este contexto, la adopción de tecnologías sostenibles —como prácticas de conservación de suelos y mejoras en manejo agronómico— puede desplazar la frontera de producción y reducir la varianza del rendimiento. Sin embargo, la exposición recurrente a *shocks* climáticos induce comportamientos precautorios.

Además, en el caso de Bolivia, el acceso limitado al financiamiento productivo y climático constituye una barrera clave para la adopción tecnológica (Aliaga *et al.*, 2025b). El crédito rural enfrenta altos costos de transacción, una escasa cobertura territorial y exigencias de

garantías que muchos pequeños productores no pueden cumplir. Aunque la tierra podría servir como colateral, su uso está restringido al régimen agrario y su función económica social, lo que limita su “hipotecabilidad”. Esta restricción, si bien reduce el acceso al crédito, también actúa como salvaguarda frente a procesos de concentración regresiva de la tierra.

El objetivo de este documento es evaluar, desde la economía experimental y del comportamiento, cómo los pequeños productores del Altiplano Sur de Bolivia deciden entre tecnologías tradicionales y tecnologías sostenibles. Se contrastan tres hipótesis: (i) la tecnología sostenible puede percibirse como más riesgosa, aun cuando promete mayores rendimientos esperados; (ii) las restricciones presupuestarias y de liquidez pueden frenar la adopción de tecnologías sostenibles incluso cuando hay interés en ellas; y (iii) los productores podrían valorar la tecnología sostenible como un mecanismo de adaptación al cambio climático y, por ello, mostrar una mayor disposición a tenerla (Ajzen, 1991). Además, el cambio climático refuerza el efecto: un mal año reduce el capital de trabajo y condiciona la inversión del siguiente ciclo. En este sentido, el acceso al crédito y a los instrumentos de gestión del riesgo se vuelven factores clave para viabilizar la adopción de tecnologías sostenibles.

Los resultados de esta investigación aportan evidencia útil para el diseño de políticas públicas que busquen acelerar la adopción de tecnologías sostenibles. Por ejemplo, si domina el riesgo percibido, serán relevantes los seguros; si dominan los problemas de liquidez, será prioritario el crédito estacional.

El documento se estructura de la siguiente manera: en la segunda sección se presenta la revisión de la literatura. Posteriormente, se desarrolla la formulación del modelo conceptual y empírico que guía el análisis. A continuación, se describe el diseño del experimento y la estrategia de implementación. Finalmente, se presentan los resultados, seguidos de las conclusiones y las recomendaciones de política.

II. Revisión de la literatura

Las decisiones bajo incertidumbre han sido ampliamente estudiadas en la literatura económica. En ellas, los agentes se enfrentan a diferentes opciones de resultados posibles y sus selecciones están intrínsecamente relacionadas con su grado de aversión al riesgo. Arrow (1965) y Pratt (1964) sentaron las bases para comprender cómo los individuos toman decisiones bajo incertidumbre. Arrow fundamenta la relación entre los costos asociados al riesgo, las preferencias por el riesgo y la distribución de las probabilidades de riesgo. Por su parte, Pratt desarrolla las medidas de aversión al riesgo absoluta y relativa. Ambas bases conceptuales han sido ampliamente utilizadas en la literatura. En buena parte de los casos, se ha usado la función de utilidad esperada de von Neumann-Morgenstern.

Con todo, la literatura ha avanzado hacia algunas ampliaciones sobre la estructura conceptual del comportamiento de los agentes bajo incertidumbre. Entre ellas cabe mencionar a Schoemaker (1982), que revisa la evidencia empírica a favor y en contra de la utilidad esperada y analiza sus variantes y extensiones; pero mantiene a la utilidad como un marco normativo. Por su parte, Kahneman y Tversky (1979) proponen la teoría de la prospectiva, donde plantean que los individuos tienden a dar mayor peso a las pérdidas que a las ganancias de igual magnitud, y que la ponderación de probabilidades no es necesariamente lineal. Camerer y Ho (1994) indican que los individuos tienden a sobreponderar las probabilidades bajas y subponderar las probabilidades altas, incluso sin referencias relacionadas con pérdidas y ganancias. Por último, Bleichrodt y Pinto (2000) proponen un método para obtener la función de ponderación de probabilidades sin necesidad de supuestos paramétricos.

Bajo estas bases conceptuales, la literatura ha avanzado también en la medición experimental y en la cuantificación del nivel de aversión al riesgo (ver, para una revisión de la literatura, Harrison y Rutström, 2007). Al respecto, Holt y Laury (2002) desarrollan un método que permite medir el grado de aversión al riesgo, con incentivos hipotéticos y reales, a partir de una serie de selecciones continuas entre loterías. Por otro lado, Muriel y Gutiérrez (2015) realizan un juego experimental basado en un modelo microeconómico donde se asume una función de utilidad esperada de tipo von Neumann-Morgenstern para analizar cómo la aversión al riesgo influye en las decisiones sobre emprendimientos y contrataciones de personal bajo escenarios de incertidumbre sobre los beneficios económicos.

El marco teórico del grado de aversión al riesgo es fundamental para entender los tipos de tecnologías agrícolas que adoptan los pequeños productores. Frente a las condiciones inciertas sobre la producción y los beneficios futuros, los productores suelen ser más aversos al riesgo: eligen tecnologías con rendimientos medio-bajos por hectárea, poco variables, frente a tecnologías sostenibles que pueden generar rendimientos más altos, pero con mayor incertidumbre (Kahneman y Tversky, 1979; Feder *et al.*, 1985; Bryan *et al.*, 2010; Penson, 2018). Obrar así les permite proteger sus medios de vida, incluso sacrificando un beneficio potencial más alto.

Al respecto, Jourdain *et al.* (2020), para el caso de los productores de maíz en Laos, como también Bilal y Jaghdani (2024), para los algodóneros y trigueros de Pakistán, analizan la relación entre las preferencias de riesgo de los agricultores y sus decisiones sobre la adopción de tecnologías agrícolas, y encuentran que aquellos con mayor aversión escogen prácticas más seguras a fin de evitar pérdidas.

En el caso de Bolivia, los estudios experimentales son muy escasos. Sin embargo, los resultados disponibles sustentan lo mencionado anteriormente. Aliaga (2021) utiliza experimentos de campo para evaluar la adopción de tecnologías para la gestión hídrica, en

un contexto de incertidumbre climática. Además, el autor analiza la adopción de tecnologías de riego por parte de los agricultores en un contexto de incertidumbre hídrica, utilizando un enfoque intertemporal. Los resultados muestran que los pequeños agricultores más adversos al riesgo tienden a ser menos propensos a adoptar sistemas de riego, especialmente cuando enfrentaban una mayor variabilidad en la disponibilidad de agua para el futuro.

La mayor aversión al riesgo en la toma de decisiones de los pequeños productores suele estar relacionada con las restricciones presupuestarias, lo cual se refuerza con las limitaciones de acceso al crédito. Este escenario se agrava cuando los hogares son pobres, los ingresos del hogar son poco diversificados o incluso cuando los productores no son propietarios de las tierras que cultivan (ver, para una revisión de la literatura, Muriel *et al.*, 2025). Según Banerjee y Duflo (2011) las restricciones son una barrera central para las personas pobres a la hora de adoptar tecnologías rentables. Este aspecto es importante porque la adopción de tecnologías sostenibles requiere de inversiones iniciales altas e inseguras frente al uso de tecnologías tradicionales; además, los beneficios derivados tienen un periodo de maduración de mediano y largo plazo (Aliaga *et al.*, 2025c).

La mayor aversión al riesgo se asocia también con factores socioculturales. Rogers (2003) propone una teoría que explica el proceso de difusión (o adopción) de innovaciones. Esta teoría presenta canales de comunicación –en el tiempo– entre los miembros de un sistema social, y los adoptantes se diferencian por sus características socioeconómicas y psicológicas: hay innovadores, adoptadores tempranos, mayoría temprana, mayoría tardía y rezagados. El enfoque permite entender los ritmos de difusión y adopción de tecnologías en el ámbito agrícola, incluyendo las formas en que los agricultores perciben y responden a los riesgos asociados con la adopción. De manera complementaria, Foster y Rosenzweig (2010), a partir de una revisión de la literatura, enfatizan la necesidad de considerar las interacciones entre factores individuales, familiares, comunitarios y regionales para entender mejor los procesos de adopción tecnológica en el sector agrícola, incluyendo la forma en que los productores perciben y responden a los riesgos.

Por último, están el grado de conocimientos y la información sobre el uso de tecnologías más modernas. Esto es generalmente bajo en el caso los pequeños productores. En tal contexto, aquellos más capacitados están también más predispuestos a experimentar nuevas tecnologías y entienden mejor las relaciones económicas intertemporales. Ellos también pueden influir sobre la toma de decisiones en sus comunidades, contrarrestando la resistencia al cambio, al compartir sus conocimientos y experiencias, y al promover una mayor confianza para la adopción de innovaciones tecnológicas (ver, para una revisión de la literatura, Muriel *et al.*, 2025).

Dentro de este debate, el cambio climático se constituye como un factor que incide en la toma de decisiones de los pequeños productores, ya que aumenta la incertidumbre en los rendimientos y beneficios.

McCarthy (2014) señala que en América Latina el cambio climático representa una amenaza significativa para la producción agrícola, debido al incremento de las temperaturas, la mayor incidencia de sequías e inundaciones y la creciente variabilidad en los rendimientos agrícolas. En estos casos, los pequeños productores agrícolas perciben a la tecnología sostenible como una herramienta eficaz para mitigar los efectos del cambio climático y tienen una mayor disposición a adoptarla. Desde la perspectiva de la economía del comportamiento, esta percepción actúa como un componente cognitivo que influye directamente en la toma de decisiones bajo incertidumbre.

La teoría del comportamiento planificado de Ajzen (1991) señala que el comportamiento depende de tres factores: la actitud hacia dicho comportamiento, las normas sociales percibidas y el control conductual percibido. Así, si los productores desarrollan una actitud positiva hacia las tecnologías sostenibles, al percibirlas como costo-efectivas frente al cambio climático (Aliaga, 2025c), es más probable que manifiesten intenciones más firmes de adoptarlas. Complementariamente, bajo el modelo de utilidad esperada, si la percepción de mitigación reduce el riesgo percibido o incrementa la resiliencia productiva, la utilidad esperada de adoptar tecnologías sostenibles se incrementa, favoreciendo su adopción¹.

Finalmente, Muriel *et al.* (2025) –a partir de una revisión exhaustiva de la literatura y la información primaria– encuentran algunos resultados importantes para el caso específico de los pequeños productores de quinua del Altiplano Sur de Bolivia. En primer lugar, ellos enfrentan condiciones climáticas extremas para su producción y diversos riesgos relacionados al cambio y la variabilidad climática, además de plagas, enfermedades y fluctuaciones de precios. Todo esto se agrava aún más con el fuerte deterioro de la materia orgánica.

Bajo este contexto, los quinueros perciben ingresos agrícolas bajos, lo que incide en su toma de decisiones para implementar prácticas agrícolas sostenibles, ya que estas requieren inversiones más altas y presentan retornos no inmediatos –aunque los beneficios en términos de mejores rendimientos y sostenibilidad sean mayores en el largo plazo–. Con todo, los productores están más dispuestos a llevar a cabo inversiones frente a los riesgos

¹ Un último aspecto que explica la adopción (o no) de tecnologías sostenibles se relaciona con las ineficiencias en los mercados. Jack (2013) analiza cómo las fallas de mercado, la información asimétrica y los costos de transacción pueden limitar la adopción de tecnologías por parte de los pequeños agricultores. Por su parte, Morris *et al.* (1999) investigan cómo los sistemas de distribución y comercialización de insumos agrícolas pueden afectar la adopción de nuevas variedades de semillas en Ghana. Todo esto tiene implicaciones en términos de la percepción y gestión del riesgo por parte de los agricultores de pequeña escala.

climáticos, a pesar de que también cuentan con una serie de desafíos para acceder a un crédito (ver Aliaga et al., 2025b; y Muriel et al. 2025).

Los productores también tienen actitudes de desconfianza y resistencia para implementar nuevas tecnologías. Sin embargo, un mayor conocimiento contextualizado a la realidad del cultivo, que además incorpore los principios de sostenibilidad, podría mejorar la confianza y predisposición a emplear nuevas tecnologías.

III. Modelo de adopción de tecnologías agrícolas

Para modelar la adopción de tecnologías agrícolas, se supone que los productores buscan maximizar sus beneficios a partir de la selección de dos tipos. El primero es la tecnología tradicional, la cual es más barata y usualmente utilizada. El segundo es la tecnología sostenible, que se asocia con prácticas que permiten mejorar los rendimientos y cuidar el medio ambiente, pero que usualmente es más cara y menos conocida por los productores. Además, esta última tecnología permite mejorar los rendimientos desde una perspectiva de largo plazo (ver, para una revisión de la literatura, Aliaga et al., 2025c; Muriel et al., 2025).

La producción total (Y) está determinada a partir de una función de producción de tipo Cobb-Douglas con rendimientos constantes de escala, la cual se diferencia por el tipo de tecnología agrícola utilizada:

$$(1) \quad Y_{T,t} = A_{HN} L_t^\alpha H_t^\beta M_{T,t}^\gamma, \text{ tecnología tradicional}$$

$$(2) \quad Y_{S,t} = A_{HN} L_t^\alpha H_t^\beta (A_{S,t} M_{S,t})^\gamma, \text{ tecnología sostenible}$$

donde los subíndices T y S hacen referencia, respectivamente, a la tecnología tradicional y sostenible y t al periodo de tiempo ($t = 1, 2, \dots, n$); los factores de producción son el trabajo (L), la tierra (H) y el capital físico y operativo (M); α, β, γ ($\alpha + \beta + \gamma = 1$) son los parámetros que representan las elasticidades de los respectivos factores en relación con la producción. La tecnología Hicks-neutra (A_{HN}) es constante en el tiempo y común en ambas funciones de producción; sin embargo, la producción sostenible presenta también cambios tecnológicos sesgados al capital físico y operativo, $A_{S,t}$, que se define de la siguiente manera:

$$(3) \quad A_{S,t+1} = A_{S,t}(1 + g), A_{S,t} > 1, g \geq 0$$

donde g es la tasa de crecimiento del cambio tecnológico sesgado al capital, y muestra, *ceteris paribus*, un aumento de la producción en el tiempo como resultado de las inversiones en tecnologías sostenibles en un periodo t .

Las ecuaciones (4) y (5) presentan los rendimientos por unidad de tierra, que se especifican de acuerdo a las siguientes funciones de producción:

$$(4) \quad \frac{Y_{T,t}}{H_t} = A_{HN} \left(\frac{L_t}{H_t}\right)^\alpha \left(\frac{M_{T,t}}{H_t}\right)^\gamma, \text{ tecnología tradicional}$$

$$(5) \quad \frac{Y_{S,t}}{H_t} = A_{HN} \left(\frac{L_t}{H_t} \right)^\alpha \left(\frac{A_{S,t} M_{S,t}}{H_t} \right)^\gamma, \text{ tecnología sostenible}$$

Por otro lado, los costos totales de producción de una tecnología dada $j (= T, S)$ en el periodo t ($C_{j,t}$) son especificados como:

$$(6) \quad C_{j,t} = w_L L_t + w_H H_t + CM_{j,t}$$

donde: w_L y w_H corresponden, respectivamente, a los retornos de la mano de obra y la tierra (supuestos constantes en el tiempo), $CM_{j,t}$ es el costo del capital físico y operativo; donde $CM_{S,t} > CM_{T,t}$, de acuerdo a la evidencia empírica (ver, para una revisión de la literatura, Muriel *et al.*, 2025).

Los beneficios en el periodo t ($\pi_{j,t}$) se determinan como:

$$(7) \quad \pi_{j,t} = R_{j,t} - C_{j,t}$$

donde $R_{j,t}$ es el ingreso bruto recibido por las ventas del producto agrícola, y es igual a $PY_{j,t}$; P corresponde al precio de mercado –que no discrimina el tipo de tecnología utilizada– y es entendido bajo el supuesto de que es constante en el tiempo.

En un periodo dado t , el productor debe decidir qué tecnología utilizar. Esta se diferencia por el nivel de inversión realizada, los rendimientos presentes y futuros, la producción y los beneficios derivados. Además, los productores enfrentan usualmente escenarios de incertidumbre sobre la producción bajo la tecnología sostenible y el cambio climático.

IV. Diseño del experimento bajo incertidumbre, bajo restricciones presupuestarias y bajo el cambio climático

A partir del modelo descrito anteriormente, se ha diseñado el experimento considerando tres tratamientos. En el **Tratamiento 1**, los productores deben decidir entre la tecnología tradicional y la sostenible, evaluando no solamente diferencias en rendimientos sino también tomando decisiones bajo incertidumbre.

En este tratamiento se considera que: i) no existen afectaciones por el cambio climático ni restricciones presupuestarias al momento de invertir; ii) la tasa de crecimiento del cambio tecnológico g es igual a cero; iii) los niveles de los factores de producción son constantes en el tiempo; y iii) el uso de la tecnología sostenible presenta dos estados de la naturaleza, mientras que el uso de la tecnología tradicional genera niveles de producción y rendimientos seguros.

El supuesto de incertidumbre en la tecnología sostenible puede ser especificado como:

$$(8) \quad \frac{Y_{S,t}}{H_t} = A_{HN} \left(\frac{L_t}{H_t} \right)^\alpha \left(\frac{M_{S,t}}{H_t} \right)^\gamma e^{\varepsilon^i}$$

donde e es el logaritmo neperiano y ε^i es un factor de incertidumbre ($i = 1, 2$); además, se asumen dos posibles valores: $e^{\varepsilon^1} > 1 > e^{\varepsilon^2} > 0$.

A fin de ajustar el beneficio a la forma de análisis de los productores de quinua del Altiplano Sur de Bolivia, se supone –sin pérdida de generalidad– que ellos no internalizan la renta de la tierra, ya que son dueños de sus tierras por la reforma agraria de 1952 y porque la renta de la tierra está prohibida en esa zona. Esto implica que los beneficios por hectárea (ha), bajo análisis, pueden ser modelados como sigue:

$$(7') \quad \tilde{\pi}_{j,t} = \frac{\pi_{j,t}}{H_t} + w_H$$

Bajo este contexto, las decisiones sobre el tipo de tecnología a utilizar, para cualquier periodo t , son especificadas mediante los beneficios esperados de la siguiente manera:

$$(9) \quad E(u(\tilde{\pi}_T)) = u(\tilde{\pi}_T)$$

$$(10) \quad E(u(\tilde{\pi}_T)) = (1 - \theta)u(\tilde{\pi}_S^1) + \theta u(\tilde{\pi}_S^2)$$

donde $E(\cdot)$ es la esperanza matemática; θ es la probabilidad de obtener un beneficio alto y $(1-\theta)$ es la probabilidad de tener un beneficio bajo; los superíndices hacen referencia a los dos estados de la naturaleza asociados con $e^{\varepsilon^1}, e^{\varepsilon^2}$; el subíndice t ha sido suprimido dado que el trabajo, la tierra y el capital físico y operativo son invariables en el tiempo; $g=0$. La función $u(\cdot)$ corresponde a la utilidad de tipo Bernoulli, la cual es especificada como $u(\tilde{\pi}_T) = (\tilde{\pi}_T)^\delta$ y $u(\tilde{\pi}_S^z) = (\tilde{\pi}_S^z)^\delta$, con $(z = 1, 2)$, y donde δ es el parámetro que delimita las preferencias de una persona dada en torno al riesgo: es decir que $\delta=1$ cuando el individuo es neutro al riesgo, $\delta>1$ si es propenso al riesgo, y $\delta<1$ si es averso (ver, e.g., Mas-Colell et al., 1995).

Por último, en ausencia de preferencias intertemporales, el beneficio acumulado para n periodos puede ser modelado utilizando la función de utilidad de tipo von Neumann-Morgensten (ver, e.g., Mas-Colell et al., 1995):

$$(11) \quad U_{T,1} = nu(\tilde{\pi}_T)$$

$$(12) \quad U_{S,1} = n(1 - \theta)u(\tilde{\pi}_S^1) + \theta u(\tilde{\pi}_S^2)$$

$$(13) \quad U_{j,1} = n'u(\tilde{\pi}_T) + n''(1 - \theta)u(\tilde{\pi}_S^1) + \theta u(\tilde{\pi}_S^2)$$

donde el subíndice 1 hace referencia al Tratamiento 1 y $n' + n'' = n$. La utilidad esperada en la expresión (11) muestra el caso donde se opta solamente por la tecnología tradicional, y en (12) se escoge sólo la tecnología sostenible; mientras que en (13) se representa la combinación de ambas opciones en el tiempo. Para la implementación del tratamiento, se consideran $n=5$ periodos o rondas.

En el **Tratamiento 2** las decisiones de los productores se basan en dos diferencias importantes con relación al primer tratamiento. En primer lugar, se supone la existencia de restricciones presupuestarias, lo que en teoría impide que haya inversiones rentables a largo plazo. El propósito de este supuesto es evaluar si los pequeños productores adoptan

tecnologías sostenibles cuando enfrentan limitaciones financieras más allá de la mera aversión al riesgo, incluso siendo conscientes de que pueden tener mayores rendimientos a mediano plazo y, por lo tanto, mayores beneficios esperados.

El diseño del tratamiento permite también medir la disposición de los productores a endeudarse para sostener decisiones arriesgadas sobre beneficios futuros, simulando escenarios reales de inversión agrícola (Cassar *et al.*, 2007). Cabe notar que la disponibilidad del crédito y el costo efectivo del préstamo alteran la evaluación del costo-beneficio intertemporal.

La segunda diferencia con respecto al primer tratamiento es que la tecnología sostenible, sesgada al capital, varía a lo largo del tiempo. Suponiendo 9 periodos, la ecuación (3) puede ser re-especificada como:

$$(3') \quad \begin{aligned} A_{S,x} &= A_S \\ A_{S,x+3} &= A_S(1 + g) \\ A_{S,x+6} &= A_S(1 + g)^2 \end{aligned}$$

donde x ($= 1, 2, 3$) corresponde a las veces que se ha elegido la tecnología sostenible. Así, la estructura del tratamiento es organizada en 3 ciclos, cada uno con 3 rondas, donde la selección de la tecnología que será utilizada se determina al inicio de cada ciclo. Cabe notar que el cambio tecnológico sesgado al capital especificado en (3') corresponderá al tiempo t solamente cuando el productor siempre escoge la tecnología sostenible. Por ejemplo, un productor que seleccione la tecnología tradicional para el primer y tercer ciclo ($t= 1, 2, 3, 7, 8, 9$), y que escoja la tecnología sostenible para ($t = 4, 5, 6$), deberá tomar en cuenta la tecnología $A_{S,x}$ para los cálculos de su beneficio acumulado.

Además, las restricciones presupuestarias en este tratamiento son delimitadas, considerando que para cada periodo t los productores reciben una dotación igual a $D = \tilde{C}_T < \tilde{C}_S$, donde $\tilde{C}_j = \frac{C_j}{H} - w_H H$. Aquellos productores que deseen trabajar con la tecnología sostenible pueden acceder a un préstamo ($= \tilde{C}_S - \tilde{C}_T$) al inicio de cada periodo a una tasa de interés r constante en el tiempo, pagando el principal y el interés al final de cada periodo.

En este tratamiento, las decisiones son intertemporales y también pueden ser modeladas a partir de funciones de utilidad de tipo von Neumann-Morgensten, pero con algunas variables en relación al Tratamiento 1. En los casos donde los productores escojan solamente una tecnología en los tres periodos, se tiene:

$$(14) \quad U_{T,2} = \sum_{x=1}^3 E(u(\tilde{\pi}_{T,x})) + \sum_{x=1}^3 E(u(\tilde{\pi}_{T,x+3})) + \sum_{x=1}^3 E(u(\tilde{\pi}_{T,x+6})) = 9u(\tilde{\pi}_T)$$

$$(15) \quad U_{S,2} = \sum_{x=1}^3 E(u(\tilde{\pi}_{S,x})) + \sum_{x=1}^3 E(u(\tilde{\pi}_{S,x+3})) + \sum_{x=1}^3 E(u(\tilde{\pi}_{S,x+6})) = 3E(u(\tilde{\pi}_{S,x})) + 3E(u(\tilde{\pi}_{S,x+3})) + 3E(u(\tilde{\pi}_{S,x+6}))$$

Sin embargo, existen seis combinaciones adicionales posibles de utilidades esperadas en los casos donde los productores escojan entre ambas tecnologías –con ocho opciones posibles en total–.

Por último, el **Tratamiento 3** le agrega al segundo tratamiento las afectaciones del cambio climático, que se consideran como incidentes –solamente– en la producción basada en la tecnología tradicional. El propósito de este tratamiento es evaluar si los pequeños productores adoptan tecnologías sostenibles cuando existe un riesgo climático severo, como sequías o heladas inesperadas, también bajo un escenario de restricción presupuestaria.

En este caso, el supuesto de incertidumbre implica que:

$$(16) \quad \frac{Y_{T,t}}{H_t} = A_{HN} \left(\frac{L_t}{H_t}\right)^\alpha \left(\frac{M_{T,t}}{H_t}\right)^\gamma e^{\varepsilon^{i'}}$$

donde $\varepsilon^{i'}$ asume dos posibles valores: $0 \geq \varepsilon^1 > \varepsilon^2$, $i' = 1, 2$; y muestra que el cambio climático puede afectar a la producción por hectárea.

A partir de las nuevas especificaciones de los beneficios, la función de utilidad de tipo von Neumann-Morgensten es redefinida para la tecnología tradicional como sigue:

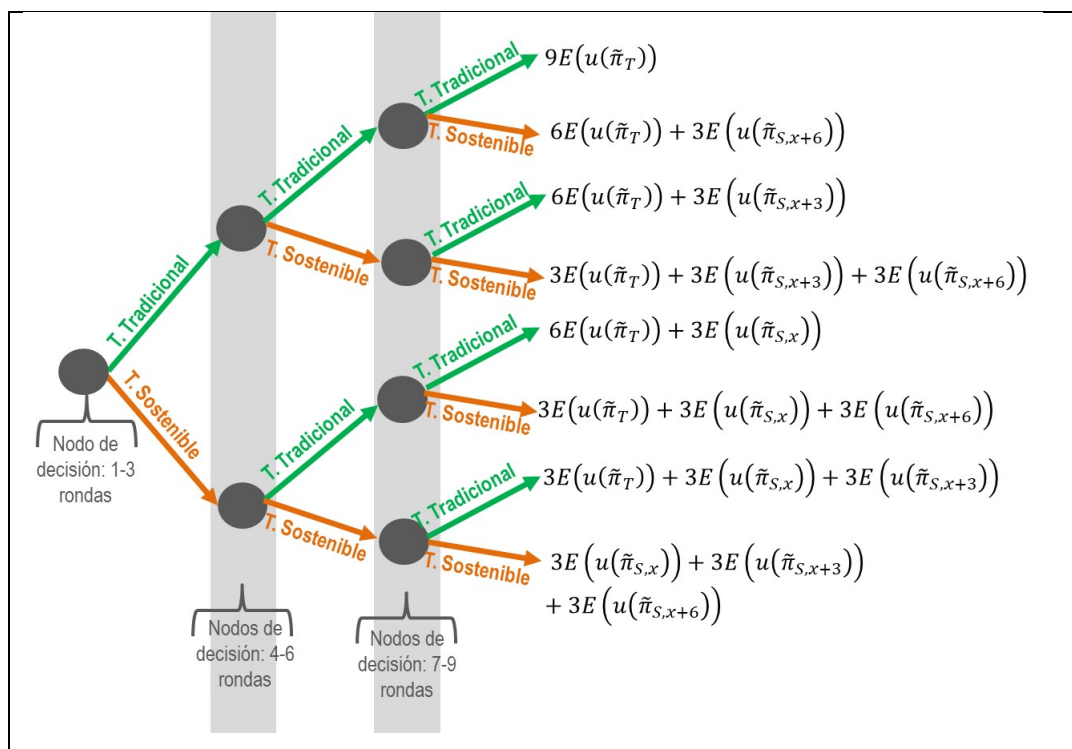
$$(17) \quad U_{T,3} = 9((1 - \rho)u(\tilde{\pi}_T^1) + \rho u(\tilde{\pi}_T^2)) = 9E(u(\tilde{\pi}_T))$$

donde ρ es la probabilidad de obtener un beneficio alto; $(1-\rho)$ es la probabilidad de obtener un beneficio bajo el shock climático.

De manera parecida al segundo tratamiento, los productores cuentan con ocho opciones posibles al momento de decidir qué tecnologías adoptar.

La Figura 1 explicita la toma de decisiones para el segundo y tercer tratamiento, tomando en cuenta que en el segundo $E(u(\tilde{\pi}_T)) = E(u(\tilde{\pi}_{T,x})) = E(u(\tilde{\pi}_{T,x+3})) = E(u(\tilde{\pi}_{T,x+6})) = u(\tilde{\pi}_T)$.

Figura 1. Árbol de decisiones y beneficios esperados



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1 presenta la calibración del experimento bajo los tres tratamientos descritos, y se aproxima con datos reales recabados de los productores de quinua en el año 2024 (Aliaga *et al.*, 2025a), fortaleciendo así la validez agronómica (Foster y Rosenzweig, 2010).

Tabla 1. Variables y parámetros del experimento

Variables y parámetros/Tecnologías	Tradicional	Sostenible
Mano de obra (jornal/ha)	30,00	35,00
Elasticidad de la mano de obra (α)	0,10	0,10
Capital físico y operativo (bs/ha)	6.900,00	9.200,00
Elasticidad del capital físico y operativo (γ)	0,70	0,70
Salario por jornal (bs)	120,00	120,00
Costo de la mano de obra (bs)	3.600,00	4.200,00
Capital físico (bs/ha)	300,00	370,00
Interés implícito del capital físico (%)	5,00%	5,00%
Capital operativo (bs/ha)	900,00	1.800,00
Tecnología Hicks-neutra (A)	1,097	1,097
Tratamiento 1		
Tecnología sesgada al capital (A_{HN})		1,010
Parámetro de distorsión a la baja		0,959
Parámetro de distorsión a la alta		1,066
Tratamiento 2⁽¹⁾		
Tecnología sesgada al capital (A_{HN}), rondas 1 a 3		1,010
Tecnología sesgada al capital (A_{HN}), rondas 4 a 6		1,020
Tecnología sesgada al capital (A_{HN}), rondas 7 a 9		1,030
Tasa de crecimiento de A_{HN} (%)		1,000
Parámetro de distorsión a la baja, rondas 1 a 3		0,959
Parámetro de distorsión a la alta, rondas 1 a 3		1,066
Parámetro de distorsión a la baja, rondas 3 a 6		0,963
Parámetro de distorsión a la alta, rondas 3 a 6		1,069
Parámetro de distorsión a la baja, rondas 7 a 9		0,967
Parámetro de distorsión a la alta, rondas 7 a 9		1,072
Tasa de interés del préstamo por ronda (%)		5,100
Tratamiento 3⁽²⁾		
Parámetro de distorsión a la baja	0,947	
Parámetro de distorsión a la media	1,000	

Fuente: Elaboración propia.

Notas: ⁽¹⁾ La tasa de interés incluye costos de formulario y transacciones de 0,1%. ⁽²⁾ Los parámetros de la tecnología sostenible son considerados iguales en los tratamientos 2 y 3.

La Tabla 2 presenta los rendimientos, ingresos, costos y beneficios del experimento bajo los tres tratamientos, además de la calibración de las variables explicitadas anteriormente.

Tabla 2. Variables de rendimiento y financieras

	Rendimiento kg/ha	Precio kg/bs	Ingresos brutos bs/ha	Costos bs/ha	Préstamo bs	Interés bs	Beneficios bs/ha	Probabi- lidad	Valor esperado E(.)
Tratamiento 1 (igual para las n=5 rondas)									
Tradicional	750,00	8,00	6.000,00	4.800,00			1.200,00	1,00	1.200,00
Sostenible (kg/ha bajo)	900,00	8,00	7.200,00	6.370,00			830,00	0,50	415,00
Sostenible (kg/ha alto)	1.000,00	8,00	8.000,00	6.370,00			1.630,00	0,50	815,00
Sostenible (E(.) total)									1.230,00
Tratamiento 2⁽¹⁾									
Rondas 1 a 3									
Sostenible (kg/ha bajo)	900,00	8,00	7.200,00	6.370,00	1.570,00	80,00	750,00	0,50	375,00
Sostenible (kg/ha alto)	1.000,00	8,00	8.000,00	6.370,00	1.570,00	80,00	1.550,00	0,50	775,00
Sostenible (E(.) total)									1.150,00
Rondas 4 a 6									
Sostenible (kg/ha bajo)	910,00	8,00	7.280,00	6.370,00	1.570,00	80,00	830,00	0,50	415,00
Sostenible (kg/ha alto)	1.010,00	8,00	8.080,00	6.370,00	1.570,00	80,00	1.630,00	0,50	815,00
Sostenible (E(.) total)									1.230,00
Rondas 7 a 9									
Sostenible (kg/ha bajo)	920,00	8,00	7.360,00	6.370,00	1.570,00	80,00	910,00	0,50	455,00
Sostenible (kg/ha alto)	1.020,00	8,00	8.160,00	6.370,00	1.570,00	80,00	1.710,00	0,50	855,00
Sostenible (E(.) total)									1.310,00
Tratamiento 3⁽²⁾									
Rondas 1 a 9									
Tradicional (kg/ha bajo)	710,00	8,00	5.680,00	4.800,00			880,00	0,50	440,00
Tradicional (kg/ha medio)	750,00	8,00	6.000,00	4.800,00			1.200,00	0,50	600,00

Fuente: Elaboración propia.

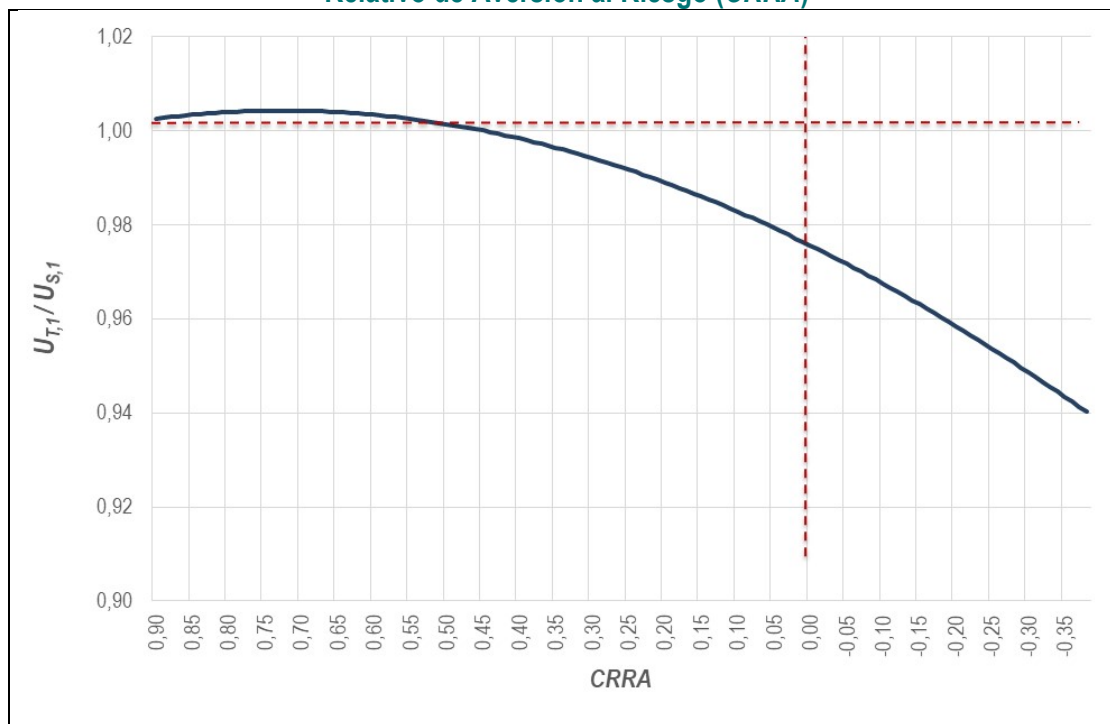
Notas: ⁽¹⁾ Los valores para la tecnología tradicional son considerados iguales en los tratamientos 1 y 2; la tasa de interés incluye costos de formulario y de transacciones y asciende a 5,10%. ⁽²⁾ Los valores para la tecnología sostenible son considerados iguales en los tratamientos 2 y 3.

A partir del modelo y su calibración, es posible encontrar el grado de aversión al riesgo. Para esto se estima el Coeficiente Relativo de Aversión al Riesgo (CRRA por sus siglas en inglés):

$$(18) \quad CRRA = -\pi_{i,j} u''(\pi_{i,j}) / u'(\pi_{i,j}) = 1 - \delta$$

El individuo es neutro al riesgo si $CRRA = 0$ ($\delta = 1$); es propenso al riesgo si $CRRA < 0$ ($\delta > 1$); y es averso al riesgo si $CRRA > 0$ ($\delta < 1$) (ver, e.g., Mas-Colell et al., 1995). La Figura 2 presenta la utilidad de la tecnología tradicional relativa a la sostenible ($U_{T,1}/U_{S,1}$) en relación a CRRA para el Tratamiento 1.

Figura 2. Tratamiento 1. Utilidades relativas esperadas relacionadas con el Coeficiente Relativo de Aversión al Riesgo (CRRA)

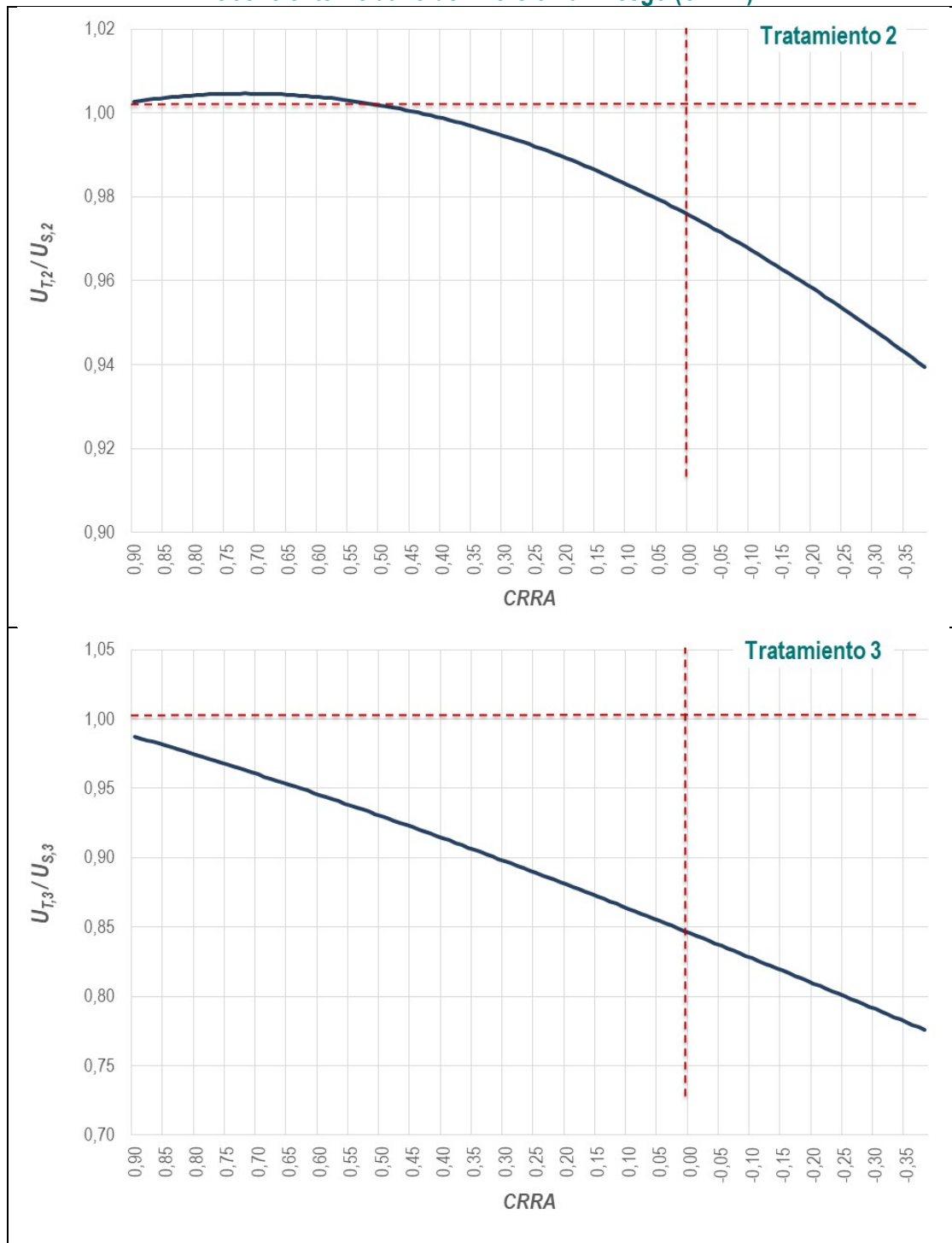


Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la Figura, el modelo es calibrado para que las personas con grado de aversión medio-alto a alto escojan la tecnología tradicional; mientras que las personas menos aversas o propensas al riesgo prefieran la tecnología sostenible. Esto permite, justamente, testear la premisa de que, frente a condiciones inciertas sobre la producción y los beneficios futuros, los pequeños productores suelen ser más aversos al riesgo y, por lo tanto, más reacios a elegir tecnologías sostenibles (ver, e.g., Gamboa *et al.*, 2020; Bryan *et al.*, 2010; Hill *et al.*, 2011; Ross *et al.*, 2012).

La Figura 3 presenta la utilidad de la tecnología tradicional relativa a la sostenible en relación a CRRA para los Tratamientos 2 y 3. En el primer caso, se observa algo parecido al Tratamiento 1: solamente las personas que tienen un nivel de aversión al riesgo entre medio-alto y alto escogen únicamente la tecnología tradicional en las nueve rondas.

Figura 2. Tratamientos 2 y 3: utilidades relativas esperadas relacionadas con el Coeficiente Relativo de Aversión al Riesgo (CRR)



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en el Tratamiento 3 solamente las personas que son extremadamente aversas al riesgo (*stay in bed*) escogerán siempre la tecnología tradicional.

V. Estrategia de implementación

Una vez formalizado el modelo teórico, definidas las estructuras de tratamiento que guían las decisiones de los agentes, y calibrado el modelo, en esta sección se detalla la forma de implementación del experimento. El propósito es someter a prueba las predicciones del modelo mediante una observación controlada del comportamiento de los participantes frente a los distintos escenarios de decisión. Todo ello constituye el puente operativo entre la teoría y la evidencia empírica, y –para el caso concreto del análisis– permite evaluar la adopción de tecnologías en condiciones de riesgo y restricciones presupuestarias.

V.1. Bases de implementación

Para asegurar la robustez de los resultados, el experimento se estructura bajo rigurosos criterios de calidad que garantizan la validez de los hallazgos obtenidos. La metodología combina un diseño entre grupos con una aleatorización estricta en todas sus etapas, permitiendo aislar efectos específicos sin contaminar las decisiones. Además, se aplican estrategias de control para mitigar sesgos cognitivos y se establecen incentivos reales que aseguran la consistencia en el comportamiento.

Diseño entre grupo. En el Tratamiento 1, los participantes se dividen en dos grupos: “con comunicación” y “sin comunicación”, lo que permite evaluar el posible efecto de la comunicación en la adopción de tecnologías agrícolas (entre grupo). Al respecto, Foster y Rosenzweig (2010) muestran que el aprendizaje propio (y de pares) puede transformar la evaluación de la rentabilidad de una nueva tecnología a lo largo del tiempo. Después de acabado este tratamiento, los participantes son nuevamente divididos de forma aleatoria en dos grupos: unos reciben solamente el Tratamiento 2 y otros reciben solamente el Tratamiento 3; es decir, se aplica nuevamente un enfoque entre grupos. Esta combinación de enfoques en el juego es diseñada para poder minimizar diversos sesgos en el experimento (véase la Tabla 3).

Tabla 3. Enfoques intragrupo e intergrupo

Aspecto	Intra grupo	Inter grupo
Unidad de comparación	Mismos individuos	Grupos distintos
Uso típico	Analizar cambios dinámicos	Evaluar tratamientos
Efecto orden (el orden de tratamientos influye en las decisiones)	Alto	Bajo
Riesgo aprendizaje (cambio de decisiones por conocimiento)	Alto	Bajo
Fatiga	Alto	Bajo
Contaminación de tratamientos futuros	Alto	Bajo
Necesidad de muestra grande	Menor	Mayor
Control de heterogeneidad	Alto	Bajo-medio
Diseño estadístico	Panel, efectos fijos	ANOVA, regresión

Fuente: Elaboración propia con base en Friedman y Sunder (1994).

Validez interna. Para mitigar los sesgos cognitivos que influyen en la toma de decisiones individuales, se identifican los siguientes sesgos potenciales y las estrategias de solución:

- Aversión a la pérdida –i.e. preferencia por evitar pérdidas más que obtener ganancias–. Se aborda con la calibración de los parámetros del modelo basados en el levantamiento de información primaria.
- Efecto de encuadre (*framing*). Se controla utilizando una redacción neutral, con conceptos conocidos por los participantes, y con estandarización en todas las instrucciones y materiales para que las decisiones no se vean influenciadas por las explicaciones.
- Sesgo de *statu quo* –i.e., tendencia a elegir lo conocido–. Se mitiga evitando presentar alguna tecnología agrícola como la opción “predeterminada” o “por defecto”, para así asegurar que todas las alternativas sean factibles y posibles en el juego bajo las reglas establecidas.
- Sesgo del conformismo social –i.e. decisiones siguiendo a la mayoría–. Se aminora garantizando la privacidad de las decisiones individuales y enfatizando que el experimento no busque comportamientos “correctos”, sino preferencias personales. Además, este se evalúa en el T1 con los dos grupos separados: con y sin comunicación.

Adicionalmente, en el Tratamiento 3 es posible tener una confusión cognitiva por “saliencia climática”; es decir, por lo preocupante que es el riesgo climático para los participantes. Esto se mitiga mediante una capacitación previa con ejemplos visuales y prácticos para facilitar la comprensión de la mecánica experimental.

Aleatorización aplicada en todas las etapas. En el Tratamiento 1, los participantes son asignados aleatoriamente en los dos grupos señalados, con y sin comunicación, y aquellos que se comunican son nuevamente aleatorizados para formar grupos pequeños para el diálogo. Al finalizar este tratamiento, los participantes son nuevamente aleatorizados para participar en uno de los siguientes tratamientos.

Diseño de juegos repetitivos. Los tres tratamientos son jugados varias veces para estudiar ajustes de expectativas y dependencia en las decisiones entre las rondas. En los Tratamientos 2 y 3 esta estrategia permite un enfoque más realista, asociado al aumento de los rendimientos en el mediano plazo bajo la adopción de la tecnología sostenible, como se explicita en el modelo teórico.

Diseño de incentivos. Con el propósito de que las decisiones de los participantes reflejen sus preferencias reales y se tenga consistencia comportamental, se otorgan pagos reales al final de cada tratamiento, los cuales están asociados al nivel de beneficios acumulados obtenidos.

Protocolo de ética. Antes de comenzar el juego experimental, los participantes reciben la explicación, de manera clara y comprensible, de los objetivos generales del estudio, la naturaleza voluntaria de la participación y los posibles riesgos o beneficios asociados. Después de esto, se invita a firmar un formulario de consentimiento informado a las personas que deseen participar, recalando que la participación en el juego es completamente voluntaria y que los datos obtenidos son confidenciales, además de garantizar el anonimato, asegurando que ningún dato personal o identificador individual será vinculado con sus decisiones experimentales, además de no ser difundido en ninguna etapa de la investigación.

Las prácticas señaladas están alineadas con los principios éticos establecidos por las normas internacionales en investigación con seres humanos, tales como la Declaración de Helsinki y las directrices éticas para la investigación en ciencias sociales y del comportamiento.

Protocolo de comportamiento durante el experimento. El aseguramiento del desarrollo del juego de manera adecuada y ordenada implica que los participantes sigan normas específicas: i) silencio durante el juego, donde no se permite hablar entre los jugadores mientras se desarrolla el juego –con excepción del primer tratamiento con comunicación–; ii) respeto mutuo en las opiniones y decisiones de los demás; iii) no interferencia en las decisiones de otros jugadores; iv) atención a las instrucciones antes de cada tratamiento.

V.2. Aplicación del experimento

El diseño, la calibración y las bases de implementación del experimento fueron establecidos en un protocolo que delimitó todo el proceso de trabajo en campo, así como el proceso de recolección de información. Todos los capacitadores y monitores fueron entrenados para la implementación del juego.

Los participantes fueron escogidos previamente bajo los siguientes criterios: mayor de edad; productor agropecuario y/o estudiante de agronomía, o ramas afines, o profesional agrónomo; con capacidad de comprensión lectora y oral; con residencia en una zona geográfica donde se produce quinua. Además, se buscó la participación activa de mujeres. Todo esto permitiría asegurar validez y comprensión técnica, otorgar un realismo contextual y promover una diversidad experimental, reflejando así distintas trayectorias de vida ligadas a decisiones productivas.

El experimento fue aplicado bajo una modalidad de taller titulado *Herramientas de evaluación económica e impacto en la agricultura*. De manera inicial, los participantes recibieron una capacitación estructurada que cubrió las características económicas y ambientales de las tecnologías agrícolas. Esto permitió reducir sesgos cognitivos, como por ejemplo la falta de comprensión económica del juego o el *framing* defectuoso (es decir, la

incidencia de terminología o de vocabulario poco comprensible o inadecuado a las características de los jugadores).

Cabe notar que la participación de personas con formación superior puede sesgar los resultados, pues eleva la propensión a comprender el experimento y tolerar decisiones intertemporales. Sin embargo, la búsqueda de una amplia participación de productores, así como la capacitación inicial, ha limitado este sesgo.

Además, en el taller se implementó una serie de medidas para limitar los sesgos mencionados: i) se tomaron en cuenta las condiciones socioculturales del Altiplano Sur de Bolivia, con el propósito de maximizar la comprensión de las tareas por parte de los participantes y asegurar la validez de los resultados; ii) se limitó la duración total de las sesiones, para evitar la sobrecarga cognitiva y el agotamiento; para ello, se empleó un lenguaje claro y adaptado al contexto cultural de los participantes, con instrucciones uniformes y sesiones de práctica previas a las decisiones experimentales, a fin de reducir posibles errores por malentendidos; iii) se explicó claramente cada tratamiento antes de jugarlo; y iv) se contemplaron espacios de descanso y alimentación.

Siguiendo el protocolo, antes de implementar el juego, se explicaron los objetivos, los alcances, los criterios éticos y las normas de comportamiento, para luego invitar a firmar el consentimiento a quienes desearan participar. Después, se les pidió a los participantes que llenaran un cuestionario para conocer sus características individuales (ver Anexo).

Tratamiento 1

Como se ya se mencionó arriba, el Tratamiento 1 se implementó en cinco rondas. En ellas, los jugadores debían elegir entre dos opciones: 1) la tecnología tradicional de bajo costo y rendimiento seguro; 2) la tecnología sostenible bajo incertidumbre, con costos más altos, pero con un mayor rendimiento esperado.

El juego comenzó con la asignación aleatoria de los jugadores en dos grupos mediante una selección de bolillos, con el fin de aproximar una división del 50% en cada caso. El Grupo 1 tomó decisiones de manera individual y sin comunicación; el Grupo 2 fue dividido nuevamente en subgrupos de alrededor de cinco miembros que podían comunicarse entre ellos libremente por algunos minutos antes de tomar decisiones en cada ronda (fueron seleccionados de acuerdo a la ubicación en la que se encontraban una vez realizada la primera aleatorización). Los grupos jugaron en diferentes salas.

Todos los participantes contaban con una hoja donde se encontraba la información financiera del juego para la toma de decisiones, así como una tabla vacía donde debían llenar sus selecciones y los beneficios obtenidos (ver Anexo). Este llenado fue monitoreado en cada ronda y revisado al final de las cinco rondas.

Los participantes que elegían la tecnología sostenible se sometían a un sorteo aleatorio con la selección de un bolillo. Los bolillos se encontraban en una bolsa que contenía 10: cinco de color verde, que representaba rendimientos altos; y cinco de color rojo, que representaba rendimientos bajos.

Al finalizar las cinco rondas, se otorgaron los premios: tarjetas pre pago para celulares de acuerdo del beneficio acumulado. La siguiente escala se usó para determinar el monto del premio obtenido:

- Beneficios mayores o iguales a BOB 7.500: tarjetas equivalentes a BOB 50 (el premio más costoso; USD 7,18).
- Beneficios entre BOB 6.500 y BOB 7.499: tarjetas equivalentes a BOB 40.
- Beneficios entre BOB 5.500 y BOB 6.499: tarjetas equivalentes a BOB 30.
- Beneficios entre BOB 4.500 y BOB 5.499: tarjetas equivalentes a BOB 20.
- Beneficios menores a BOB 4.500: una tarjeta equivalente a BOB 10 (el premio menos costoso; USD 1,44).

Además, se conocieron las percepciones de los participantes sobre el juego, los riesgos que enfrentaron ante los dos tipos de tecnologías, los arreglos sociales generados y otros factores relevantes para entender los aspectos que inciden en la toma de decisiones de los participantes.

Una vez finalizada la implementación del Tratamiento 1, los participantes fueron invitados a un breve refrigerio y/o espacio de expansión, diseñado para romper cualquier patrón cognitivo o emocional persistente del tratamiento previo, y ofrecer un espacio neutral de relajación antes de las nuevas instrucciones.

Tratamientos 2 y 3

En el Tratamiento 1, cada participante recibió un código de identificación², lo que permitió “re-aleatorizar” a los participantes nuevamente en dos grupos con un generador de números pseudoaleatorios mediante el software Excel. El primer grupo participó en el Tratamiento 2, mientras que el segundo grupo jugó el Tratamiento 3 –en diferentes salas-. En este caso, todos los participantes tomaron decisiones de manera individual y sin comunicación. Esta nueva asignación fue parte de un diseño inter grupos con relación al primer tratamiento, donde cada participante solo pudo experimentar uno de estos dos tratamientos, lo que permitió análisis limpios sin contaminación cruzada de información.

Siguiendo el diseño del experimento, los tratamientos 2 y 3 fueron jugados en tres ciclos, cada uno de tres rondas (9 en total). Nuevamente, los participantes recibieron las instrucciones y una hoja donde se encontraba la información económica-financiera del

² El código le aseguró también trazabilidad a lo largo de los tratamientos experimentales.

juego para elaborar su toma de decisiones. Además, recibieron una tabla vacía donde debían llenar sus selecciones y los beneficios obtenidos (ver Anexo). En estos casos, solamente podían elegir al comienzo de cada ciclo (primera, cuarta y séptima ronda), y después podían jugar su misma selección para las siguientes dos rondas.

A diferencia del primer tratamiento, la dotación inicial era limitada y permitía cubrir el costo de la tecnología tradicional –inferior a la sostenible–. Así, las personas que seleccionaban la tecnología sostenible activaban la restricción presupuestaria, y debían solicitar un préstamo al banco al inicio de cada ronda. Entonces recibían tarjetas equivalentes a su préstamo bancario, que eran devueltas una vez acabada la ronda y tenían colores propios de acuerdo con las veces que escogían la tecnología sostenible (1, 2 y 3). Además, bajo incertidumbre, los jugadores delimitaban el rendimiento bajo un sorteo aleatorio igual al primer tratamiento.

Por último, **el Tratamiento 3** agregó al segundo tratamiento las afectaciones del cambio climático, que se supone que inciden solamente en la producción basada en la tecnología tradicional. Así, los jugadores que escogían esta última tecnología también enfrentaban la incertidumbre sobre sus rendimientos futuros, mientras que los resultados de la tecnología sostenible eran iguales al Tratamiento 2. En este caso, todos los participantes se sometieron al sorteo aleatorio para conocer sus rendimientos y beneficios, cuyo procedimiento fue igual al de los casos anteriores.

Al finalizar las nueve rondas, se otorgaron cupones que representaban premios consistentes en dinero de acuerdo del beneficio acumulado. Los montos fueron canjeados al finalizar el taller. Para ambos tratamientos, se consideró la siguiente escala:

- Beneficios mayores o iguales a BOB 14.500: cupones equivalentes a BOB 50 (el premio más costoso; USD 7,18).
- Beneficios entre BOB 12.000 y BOB 14.499: cupones equivalentes a BOB 40.
- Beneficios entre BOB 9.500 y BOB 11.999: cupones equivalentes a BOB 30.
- Beneficios entre BOB 7.000 y BOB 9.499: cupones equivalentes a BOB 20.
- Beneficios menores a BOB 7.000: cupón equivalente a BOB 10 (el premio menos costoso; USD 1,44).

La Tabla 4 presenta una descripción comparativa de los tres tratamientos implementados, lo que permite identificar de manera clara las diferencias en los mecanismos de decisión, la forma en que se introducen los riesgos y las estructuras de incentivos asociadas a cada uno.

Tabla 4. Comparación de tratamientos

Dimensión	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Objetivo	Selección sobre tecnologías agrícolas	Adiciona restricciones de liquidez	Adiciona el riesgo climático
Diseño experimental	Intragrupos	Intergrupos	Intergrupos
Rondas y ciclos	5 rondas (1 bloque)	9 rondas (3 ciclos de 3)	9 rondas (3 ciclos de 3)
Dotación inicial	Completa, suficiente para ambas	Solo suficiente para la tecnología tradicional	Solo suficiente para la tecnología tradicional
Restricción financiera	No	Sí, requiere préstamo	Sí, requiere préstamo
Aleatoriedad	Sí, para la tecnología sostenible	Sí, para la tecnología sostenible	Sí, para ambas tecnologías
Rendimiento entre periodos	Igual	Creciente para la tecnología sostenible	Creciente para la tecnología sostenible
Riesgo climático	No	No	Sí (genera incertidumbre en el rendimiento de la tecnología tradicional)
Premios	Al final del juego	Al final del juego	Al final del juego
Contexto simulado	Decisión pura	Escenario con endeudamiento	Escenario con <i>shock</i> climático y endeudamiento

Fuente: Elaboración propia.

VI. Resultados

El experimento se realizó entre los días 21 y 23 de agosto de 2025, en instalaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias y Naturales de la Universidad Técnica de Oruro, como parte del taller *Herramientas de evaluación económica e impacto en la agricultura*. En el experimento participaron un total de 125 personas a lo largo de las tres jornadas.

La Tabla 5 muestra las características de los participantes: tienen una edad promedio de 36 años, con una relativa mayor concentración del grupo etario entre los 20 y 30 años, una relativa mayor participación de mujeres (52,8 %), y con una media de 16,7 años de escolaridad.

Tabla 5. Características sociodemográficas de los participantes

Variable	Promedio	Desviación estándar	Número de respuestas
Edad	36,47	12,93	122
Sexo (Hombre=0, Mujer=1)	0,53		125
Años de estudio	16,67	4,16	99
Joven	0,39		125
Productores	0,46		125
Han producido quinua	0,68		125
Estudiantes de agronomía o ramas afines	0,55		125
Profesionales de agronomía	0,44		125

Fuente: Elaboración propia con base en la encuesta aplicada en el *Taller de herramientas económicas para la agricultura*, 2025.

Además, según lo establecido, los participantes son estudiantes de pregrado y post grado de Agronomía y ramas afines (55%), agrónomos (44%) y/o productores (46%). Entre ellos, también un 68% había producido quinua.

Los promedios y las desviaciones estándar evidencian una composición heterogénea de la muestra. En particular, en las variables dicotómicas el promedio puede interpretarse como la **proporción** de participantes que presenta cada característica (por ejemplo, mujeres, jóvenes o productores). Esta variabilidad, junto con la aleatorización de los tratamientos, fortalece la identificación de efectos y patrones de comportamiento en los distintos escenarios de riesgo, así como las restricciones definidas en el diseño experimental.

La Tabla 6 presenta las selecciones de los participantes en el **Tratamiento 1** para las cinco rondas, de manera agregada y dividida por grupos con y sin comunicación. En todos los casos, el patrón de comportamiento es similar: los participantes inician el experimento eligiendo mayoritariamente la tecnología tradicional (Ronda 1), pero en las siguientes rondas hay una mayor preferencia a adoptar la tecnología sostenible.

Tabla 6. Selección de tecnologías: Tratamiento 1
(en participación porcentual)

Participantes	Tecnología	Ronda 1	Ronda 2	Ronda 3	Ronda 4	Ronda 5
Todos (125 personas)	Tradicional	54,4	15,2	23,2	14,4	25,6
	Sostenible	45,6	84,8	76,8	85,6	74,4
	Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Con comunicación (59 personas)	Tradicional	54,2	25,4	20,3	13,6	25,4
	Sostenible	45,8	74,6	79,7	86,4	74,6
	Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Sin comunicación (66 personas)	Tradicional	54,6	6,1	25,8	15,2	25,8
	Sostenible	45,4	93,9	74,2	84,8	75,2
	Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: Elaboración propia con base en datos del experimento, *Taller de herramientas económicas para la agricultura*, 2025.

De acuerdo con la parametrización del modelo, los resultados de la Ronda 1 sugieren que la mayoría de los participantes presentan niveles de aversión al riesgo entre medio-alto y alto. Este hallazgo es consistente con la evidencia de que los pequeños productores tienden a evitar alternativas más inciertas (Penson *et al.*, 2018). Además, desde la teoría de la prospectiva, es esperable que los participantes le otorguen un peso mayor a los escenarios con **menores beneficios relativos** (en comparación con un resultado de referencia) que a escenarios con mayores beneficios, especialmente cuando aumenta la incertidumbre (Kahneman y Tversky, 1979; Kahneman *et al.*, 1991).

Por otro lado, el cambio de preferencias entre las Rondas 2 a 5 muestra un patrón característico de efectos de aprendizaje/experimentación en juegos repetidos. Al inicio, los participantes tienen una conducta precautoria —similar al *status quo bias* y a la aversión a la pérdida— y luego, al observar sus resultados anteriores, algunos actualizan sus

creencias, lo que aumenta la proporción de adopción de la alternativa, con un mayor rendimiento esperado.

La Tabla 7 presenta las diferencias en la selección de la tecnología sostenible entre los grupos con y sin comunicación, a partir del test de diferencias de medias para proporciones –i.e. estadístico t para dos muestras independientes–. Solamente la Ronda 2 tiene una diferencia entre grupos que resulta estadísticamente significativa, donde aquel sin comunicación tiene una mayor proporción de adopción de la tecnología sostenible en comparación con el grupo con comunicación. Esto sugiere que la influencia social no ha sido un factor determinante en la selección de tecnologías.

Tabla 7. Diferencias estadísticas en la selección de la tecnología sostenible: Tratamiento 1

Grupo	Ronda 1	Ronda 2	Ronda 3	Ronda 4	Ronda 5
Sin comunicación	45,4	93,9	74,2	84,8	74,2
Con comunicación	45,8	74,6	79,7	86,4	74,6
$Pr(T > t)$	0,97	0,00	0,48	0,80	0,97

Fuente: Elaboración propia con base en datos del experimento, *Taller de herramientas económicas para la agricultura*, 2025.

Nota: 125 observaciones: 59 personas con comunicación y 66 sin comunicación.

De acuerdo a Conley y Udry (2010), la “vecindad informativa” y la credibilidad de la fuente son importantes para que el aprendizaje social cambie los comportamientos. Sin embargo, la ausencia de este efecto en un experimento puede deberse a una comunicación breve o poco informativa, o a una mayor valoración de la propia experiencia por encima del consejo de pares.

Con todo, los datos cualitativos recabados del grupo con comunicación sugieren que la información intercambiada fue, en su mayoría, heterogénea y de alcance limitado: algunos participantes defendieron la tecnología tradicional apelando a la seguridad y a la experiencia; otros manifestaron frases como “lo tradicional es lo seguro y me genera un ingreso fijo, es lo que conozco”; y los últimos sostuvieron argumentos a favor de la opción sostenible enfatizando que existen retornos de largo plazo y restauración del suelo. En general, las opiniones no constituyeron una fuente de conocimiento suficientemente homogénea, ni dieron la suficiente confianza como para modificar de manera consistente las decisiones. Además, con frecuencia, la comunicación se orientó a justificar estrategias personales –asegurar capital, alternar tecnologías por disponibilidad de insumos o gestionar riesgos– más que a transmitir evidencia empírica o señales reales que redujeran la desconfianza *ex ante*.

En resumen, en ausencia de restricciones financieras y riesgos climáticos, los participantes tendieron a elegir la tecnología sostenible no debido a la influencia social, sino una vez que adquirieron conocimiento y experiencia sobre los retornos probables –de acuerdo a la parametrización del experimento–.

El análisis anterior es reforzado con la estimación de un modelo *Probit* con datos de panel y efectos fijos, donde se analizan los factores que potencialmente pueden incidir en la selección de la tecnología sostenible a lo largo del Tratamiento 1 (ver Tabla 8). Estas variables incluyen factores propios del juego, como la progresión de las rondas y la pertenencia al grupo con comunicación, así como las características individuales observadas anteriormente (ver Tabla 5).

Tabla 8. Variables utilizadas en el modelo *Probit* con datos de panel: Tratamiento 1

Variable	Descripción
Variable dependiente	
Selección de la tecnología sostenible	1: Tecnología sostenible 0: Tecnología tradicional
Variables independientes	
<i>Ronda 1</i>	1: Ronda 1 0: Rondas 2 a 5
<i>Comunicación</i>	1: Grupo con comunicación 0: Grupo sin comunicación
<i>Género</i>	1: Mujer 0: Hombre
<i>Joven</i>	1: Menor de 30 años 0: Mayor o igual a 30 años
<i>Estudiante</i>	1: Estudiante de agronomía o ramas afines 0: Caso contrario
<i>Productor</i>	1: Productor agrícola y/o hijo de productor agrícola 0: Caso contrario
<i>Quinero</i>	1: Ha producido quinua, en el presente o pasado. 0: Caso contrario
<i>Agrónomo</i>	1: Profesional en Agronomía 0: Caso contrario

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 9 presenta los resultados del modelo estimado. Las variables muestran significancia conjunta, de acuerdo al test Wald χ^2 , explicando de manera global la probabilidad de elegir la tecnología sostenible. El coeficiente de la *Ronda 1* tiene un efecto negativo y estadísticamente significativo, y corrobora la premisa de que, al inicio del experimento, los participantes fueron más propensos a optar por la tecnología tradicional exponiendo una aversión al riesgo media-alta a alta.

Los coeficientes de las variables *Quinero* y *Agrónomo* son los esperados teóricamente. Aquellos participantes que han producido quinua entienden, *in situ*, los riesgos, y están más acostumbrados a adoptar tecnologías tradicionales. Por ello, reducen la probabilidad de seleccionar una tecnología sostenible. En contraste, los profesionales agrónomos aumentan dicha probabilidad, ya que ellos parecen internalizar mejor los beneficios futuros y los manejos técnicos, reduciendo su posición en torno al riesgo. Esto corrobora la importancia de la educación y la información para la adopción de tecnologías agrícolas

(Feder et al. 1985; Foster y Rosenzweig, 2010; McCarthy, 2014; Feyisa, 2020, Muriel et al., 2025).

Tabla 9. Modelo Probit, selección de la tecnología sostenible (probabilidad=1): Tratamiento 1

Variable	Coefficiente
Ronda 1	-0,988*** (0,118)
Comunicación	-0,133 (0,127)
Género	-0,155 (0,134)
Productor de quinua	-0,209* (0,137)
Agrónomo	0,345*** (0,142)
Constante	1,01*** (0,153)
Wald χ^2 (5) $p > \chi^2$	75,23 (0,000)

Fuente: Elaboración propia con base en datos del experimento, *Taller de herramientas económicas para la agricultura*, 2025.

Notas: i) 625 observaciones; ii) modelo estimado con efectos fijos, con errores estándar robustos y "clusterizados" por participante; iii) entre paréntesis están los errores estándar; iv) nivel de significancia *** $p < 0,05$, ** $p < 0,1$ y * $p < 0,15$.

Como se mostró anteriormente, la pertenencia o no al grupo con comunicación no presenta efectos estadísticamente significativos sobre la probabilidad de elegir la tecnología sostenible. De la misma manera, la condición del género tampoco influye en las decisiones de adopción tecnológica. Las restantes características individuales son excluidas de la estimación final al no ser significativas.

La Tabla 10 presenta las selecciones de los participantes en el **Tratamiento 2**, que incluye restricciones presupuestarias.

Tabla 10: Selección de tecnologías: Tratamiento 2 (en participación porcentual)

Tecnología	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Tradicional	44,2	17,3	19,2
Sostenible	55,8	82,7	80,8
Total	100,0	100,0	100,0

Fuente: Elaboración propia con base en datos del experimento, *Taller de herramientas económicas para la agricultura*, 2025.

Nota: Número de observaciones, 52³.

³ En el Tratamiento 2 se excluyeron algunas observaciones atípicas –el 0,25% de la cola de la derecha de la distribución– correspondientes a jugadores con retornos muy altos. Con todo, los resultados con y sin esas observaciones son robustos.

De manera comparable con el primer tratamiento, un mayor porcentaje de participantes eligen la tecnología tradicional en el Ciclo 1 en relación a los restantes, con un cambio posterior en las preferencias por el riesgo. Sin embargo, en este caso, los participantes ya estaban familiarizados sobre la dinámica del experimento, por lo que las restricciones de liquidez parecen haber limitado inicialmente la adopción de la tecnología sostenible. Además, algunos participantes manifestaron tomar sus decisiones de riesgo de manera intertemporal: prefirieron asegurar una ganancia inicial y, solo después de ello, comenzar a asumir mayores niveles de riesgo en los ciclos posteriores.

El análisis es reforzado con un modelo *Probit* parecido al Tratamiento 1, pero con la particularidad de que en este caso se opta por efectos poblacionales promedio (GEE)⁴. Las variables explicativas son semejantes al primer tratamiento, con la excepción de que se incorpora el efecto de los ciclos 2 y 3 y se excluyen las variables dicotómicas relativas al primer tratamiento (ver Tabla 11).

Tabla 11. Variables adicionales utilizadas en el modelo *Probit* con datos de panel: Tratamiento 2

Variable	Descripción
Variable dependiente	
Selección de la tecnología sostenible	1: Tecnología sostenible 0: Tecnología tradicional
Variables independientes	
<i>Ciclo 2</i>	1: Adopción de la tecnología sostenible en el segundo ciclo 0: Caso contrario
<i>Ciclo 3</i>	1: Adopción de la tecnología sostenible en el tercer ciclo 0: Caso contrario

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Las restantes variables son las mismas que la Tabla 8, excluyendo *Ronda 1* y *Comunicación*.

La Tabla 12 presenta los resultados del modelo. Las variables dicotómicas correspondientes a los ciclos 2 y 3 tienen coeficientes positivos y estadísticamente significativos, lo que corrobora el hecho de que los participantes cambian sus preferencias por el riesgo en favor de una adopción de la tecnología sostenible. Esto se refuerza también con el hecho de que la utilidad esperada de la tecnología sostenible aumenta con los ciclos.

⁴ Este tipo de modelo es adecuado porque, al tratarse de decisiones repetidas dentro del mismo individuo, el enfoque GEE permite manejar la correlación intra-individuo sin imponer supuestos demasiado restrictivos sobre la heterogeneidad individual.

Tabla 12. Modelo *Probit*, selección de la tecnología sostenible (probabilidad=1): Tratamiento 2

Variable	Coefficiente
<i>Ciclo 2</i>	1,120*** (0,193)
<i>Ciclo 3</i>	0,771*** (0,225)
<i>Género</i>	0,043 (0,910)
<i>Productor</i>	-0,651** (0,661)
<i>Estudiante</i>	0,661** (0,063)
Constante	0,243
Wald χ^2 (4)	46,74
$p > \chi^2$	(0,000)

Fuente: Elaboración propia con base en datos del experimento, *Taller de herramientas económicas para la agricultura*, 2025.

Notas: i) 468 observaciones; ii) modelo estimado con GEE, con errores estándar robustos y “clusterizados” por participante; iii) entre paréntesis están los errores estándar; iv) nivel de significancia *** $p < 0,05$, ** $p < 0,1$ y * $p < 0,15$.

Al igual que en el primer tratamiento, las diferencias por género resultan no ser relevantes para explicar las preferencias por el riesgo. Por otro lado, el coeficiente de la variable “Productor” es negativo y estadísticamente significativo, lo cual muestra que la exposición a pérdidas reales en la producción agrícola implica una mayor aversión al riesgo, con una mayor preferencia por asegurar rendimientos periódicos. Además, los productores parecen tener aversión a endeudarse debido al riesgo de incumplimiento frente a *shocks* no asegurables (Dercon, 2004). En contraste el coeficiente de “Estudiante” aumenta la probabilidad de adoptar la tecnología sostenible, lo que puede asociarse con el hecho de que los estudiantes son, en su mayoría, jóvenes, usualmente con menos responsabilidades con respecto a generar ingresos para el sustento del hogar.

Por último, la Tabla 13 muestra la selección de tecnologías del **Tratamiento 3**, donde la incorporación del riesgo climático –además de la restricción presupuestaria– conduce a que los rendimientos de la tecnología tradicional sean inciertos. En el primer ciclo, la distribución entre ambas tecnologías es relativamente equilibrada. En los ciclos posteriores, la opción sostenible aumenta notablemente: el 85% de los participantes en el Ciclo 2, y el 88,3% en el Ciclo 3 opta por la tecnología sostenible. Estos resultados se encuentran en línea con lo anticipado en el diseño del juego: al introducir la incertidumbre en ambas tecnologías, los participantes reconocen la función de la tecnología sostenible como un reductor de vulnerabilidad frente a los choques climáticos (como una especie de seguro), incluso bajo la restricción presupuestaria. Este es, de hecho, un argumento central en la economía del desarrollo para priorizar en la inversión en resiliencia (Dercon, 2004).

**Tabla 13. Selección de tecnologías: Tratamiento 3
(en participación porcentual)**

Tecnología	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Tradicional	48,3	15,0	11,7
Sostenible	51,7	85,0	88,3
Total	100,0	100,0	100,0

Fuente: Elaboración propia con base en datos del experimento, *Taller de herramientas económicas para la agricultura*, 2025.

Nota: Número de observaciones, 60.

Al igual que para el Tratamiento 2, el análisis es reforzado con un modelo *Probit* por efectos poblacionales promedio (GEE), con uso del mismo conjunto de variables (ver Tabla 11). Esto se debe a que la estructura del juego es semejante, con la diferencia de que aquí se incorpora el riesgo climático.

La Tabla 14 muestra que, como en el tratamiento anterior, la probabilidad de elegir la tecnología sostenible aumenta de manera importante en los ciclos posteriores al primero, pues las variables dicotómicas del Ciclo 2 y el Ciclo 3 presentan coeficientes positivos y altamente significativos. Esto confirma que, a medida que avanzan las rondas y se evidencian los beneficios relativos al uso de la tecnología sostenible bajo riesgo climático, los participantes se inclinan por esta última opción. Así, cuando se incorpora la incertidumbre climática, la alternativa sostenible se convierte en la decisión atractiva en términos de beneficios esperados, incluso para los más aversos al riesgo. Esto se sustenta también con el hecho de que solamente los extremadamente aversos al riesgo escogen la tecnología tradicional en los 9 periodos, lo que no se observa en ningún caso.

Tabla 14. Modelo *Probit*, selección de la tecnología sostenible (probabilidad=1): Tratamiento 3

Variable	Coefficiente
<i>Ciclo 2</i>	1,545*** (0,000)
<i>Ciclo 3</i>	1,790*** (0,000)
<i>Género</i>	-0,404 (0,323)
<i>Productor</i>	-0,271 (0,567)
<i>Estudiante</i>	0,154** (0,714)
Constante	0,022*** (0,060)
Wald χ^2 (4)	83,28
$p > \chi^2$	(0,000)

Fuente: Elaboración propia con base en datos del experimento, *Taller de herramientas económicas para la agricultura*, 2025.

Notas: i) 540 observaciones; ii) modelo estimado con GEE, con errores estándar robustos y "clusterizados" por participante; iii) entre paréntesis están los errores estándar; iv) nivel de significancia *** $p < 0,05$, ** $p < 0,1$ y * $p < 0,15$.

En este caso, el coeficiente de la variable “Productor” deja de ser estadísticamente significativa, lo que muestra que los productores internalizan los riesgos climáticos y entienden que la opción sostenible es más atractiva en términos de rendimientos y beneficios económicos. Para esta situación, la señal económica es tan fuerte que prevalece ampliamente. En contraste, el coeficiente de la variable “Estudiante” se mantiene estadísticamente significativo y positivo.

V. Conclusiones

En el Tratamiento 1, los participantes inicialmente mostraron una preferencia por la tecnología tradicional, posiblemente porque tienden a evitar riesgos y porque priorizan lo seguro ante la incertidumbre. Sin embargo, a medida que los participantes adquirieron experiencia, la proporción de adopción de la tecnología sostenible aumentó significativamente, lo que evidencia un proceso de aprendizaje y experimentación que es característico de los entornos de juegos repetidos. **El aprendizaje y la acumulación de evidencia juegan un papel clave en la toma de decisiones intertemporales.**

En el Tratamiento 2, con restricciones presupuestarias, se observó que los participantes, al enfrentarse a la necesidad de recurrir a préstamos para adoptar tecnologías más costosas, inicialmente optaron por la tecnología tradicional debido a su aversión al riesgo y la necesidad de asegurar ganancias inmediatas. Sin embargo, conforme los participantes avanzaron en los ciclos y observaron rendimientos crecientes de la tecnología sostenible, la probabilidad de adopción de esta tecnología aumentó de forma significativa. Así, pues, **las restricciones financieras actúan como una barrera importante para la adopción de tecnologías sostenibles, pero también destacan el potencial del aprendizaje, que se acumula y permite modificar las percepciones de riesgo y rentabilidad.**

El Tratamiento 3 incorporó el riesgo climático; es decir, choques externos que podrían afectar la toma de decisiones sobre la adopción tecnológica. Observamos que la incertidumbre climática aumentó a la par de la propensión de los participantes hacia la tecnología sostenible. La probabilidad de adopción de dicha tecnología aumentó de manera consistente con cada ciclo, alcanzando una adopción del 88,3% en el tercero. **Cuando los participantes perciben que los rendimientos de la tecnología tradicional son inciertos debido a riesgos climáticos, la adopción de tecnologías más resilientes y con mayor estabilidad relativa, como la sostenible, se convierte en la opción racional.**

El análisis de panel aplicado a los tres tratamientos indica que hay factores como la formación académica y la experiencia en agronomía que son determinantes en la adopción de la tecnología sostenible. Los participantes con formación técnica mostraron una mayor propensión a elegir esta tecnología, lo que confirma que el capital humano juega un papel fundamental en la adopción de tecnologías. Esto destaca **la importancia de la educación y**

la capacitación como elementos esenciales para facilitar la transición hacia tecnologías sostenibles en el sector agrícola.

Las decisiones de adopción de tecnología fueron influenciadas por la naturaleza del riesgo y la incertidumbre que los participantes experimentaron a lo largo del juego. Cuando los riesgos eran previsibles o de bajo impacto, los participantes tendían a elegir la opción más segura, como ocurrió en el Tratamiento 1. Sin embargo, cuando los riesgos se incrementaron, como en el Tratamiento 3, la opción sostenible se volvió más atractiva, debido a su capacidad de mitigar la incertidumbre y los efectos de los choques externos. Por tanto, **la percepción del riesgo puede cambiar sustancialmente, dependiendo de las condiciones contextuales y de la experiencia acumulada durante el proceso de decisión.**

En conjunto, las conclusiones muestran una lógica de decisión dinámica y contextual: la preferencia tecnológica no refleja una “actitud fija” ante el riesgo, sino una actualización gradual de creencias sobre costos, beneficios y estabilidad a medida que se acumula la experiencia. Las restricciones financieras operan como fricción inicial que sesga hacia lo conocido, pero el aprendizaje (propio y social) puede revertir ese sesgo cuando la evidencia favorece a la alternativa sostenible. Cuando el entorno se vuelve más incierto por choques climáticos, la racionalidad práctica se desplaza hacia opciones más resilientes, que reducen la variabilidad de los resultados, aunque no siempre maximicen el retorno inmediato. El capital humano actúa como “acelerador” de esa actualización, al mejorar la capacidad de evaluar beneficios intertemporales y manejar complejidad. En suma, la adopción sostenible emerge de la interacción entre el aprendizaje, la liquidez y el tipo de riesgo, más que de una mera preferencia inicial.

VI. Recomendaciones y extensiones

En primer lugar, es fundamental que los gobiernos diseñen políticas que reduzcan las barreras financieras para los productores. Quizás con préstamos en condiciones favorables para la adopción de tecnologías sostenibles, precautelando no afectar la situación patrimonial. Este tipo de intervenciones podría facilitar que los agricultores adopten tecnologías que, de otro modo, serían inaccesibles debido a la falta de capital. Además, sería útil desarrollar mecanismos mixtos y seguros que protejan a los productores frente a riesgos climáticos impredecibles, lo que les permitiría tomar decisiones más informadas y menos sesgadas por el temor a las pérdidas inmediatas.

En segundo lugar, las políticas deben promover la capacitación continua de los productores agrícolas –especialmente en áreas rurales– para que estos puedan adquirir el conocimiento necesario sobre los beneficios de las tecnologías sostenibles. Dado que los participantes con formación técnica mostraron una mayor propensión a adoptar la tecnología sostenible, se debe fomentar el acceso a programas educativos que mejoren la alfabetización tecnológica de los productores y que permitan evaluar mejor los beneficios

a largo plazo de las tecnologías. En este sentido, los gobiernos y otras organizaciones deben trabajar en colaboración con universidades y centros de investigación para crear programas de formación que sean accesibles y adaptados a las necesidades locales.

Por otro lado, la experiencia adquirida durante el experimento subraya la importancia de los mecanismos de comunicación e interacción social para influir en la adopción tecnológica. Aunque no se encontraron diferencias significativas en el Tratamiento 1 entre los grupos con y sin comunicación, los efectos de las redes de información en la toma de decisiones en contextos reales no deben subestimarse. Se recomienda promover plataformas de intercambio de conocimiento entre agricultores, técnicos y expertos que permitan compartir experiencias sobre el uso de tecnologías sostenibles, lo que podría reducir la percepción de riesgo y mejorar la adopción.

En cuanto a las metodologías, es importante que los futuros estudios sigan profundizando en la comprensión de los mecanismos de adopción de tecnologías en contextos de alta incertidumbre. Se deben desarrollar experimentos que simulen condiciones más cercanas a las que enfrentan los agricultores, incluyendo factores como el acceso al crédito, los precios de los insumos y los efectos del cambio climático. Además, sería valioso incorporar una mayor diversidad en las muestras experimentales, incluyendo a agricultores con distintos niveles de educación y experiencia, para comprender así las dinámicas de adopción en poblaciones más heterogéneas.

Para futuras investigaciones, se recomienda también explorar más a fondo los efectos de la combinación de restricciones financieras y riesgos climáticos sobre la adopción tecnológica en diferentes sectores agrícolas. El tratamiento de estos factores de forma conjunta podría proporcionar una visión más precisa de las dinámicas de adopción en contextos rurales vulnerables. Además, sería útil investigar cómo la interacción entre factores varía según las características socioeconómicas y demográficas de los participantes, como el género, la edad o el tipo de actividad productiva.

Finalmente, dado el creciente impacto del cambio climático en la agricultura, los estudios futuros deben centrarse en identificar qué tecnologías sostenibles son más efectivas para mitigar los efectos de estos cambios. Específicamente, se necesitan investigaciones que evalúen el rendimiento de las tecnologías bajo diferentes condiciones climáticas extremas, al igual que investigaciones que cuestionen cómo los productores perciben estos beneficios a largo plazo. Son aspectos fundamentales para desarrollar estrategias de adaptación efectivas.

Bibliografía

- Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211.
- Aliaga, L. J. (2021). *Experimental Field Evidence of Common Pool Resources: The Water Judge in Bolivia*. Development Research Working Paper Series No. 01/2021. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo -INESAD-.
- Aliaga, L. J. y Caballero, C. A. (2024). *Evaluación del rendimiento del cultivo de la quinua ante estresores agroclimáticos con el modelo NL-CROP (No. 11/2024)*. Development Research Working Paper Series. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo -INESAD-.
- Aliaga, L. J., Garrón, V. I. y Muriel, H. B. (2025a). *Eficiencia en la producción de quinua en Bolivia: Un análisis de fronteras estocásticas (No. 8/2025)*. Development Research Working Paper Series. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo -INESAD-.
- Aliaga, L. J., Muriel, H. B. y Caballero, C. A. (2025b). *Financiamiento climático: Estudio de caso sobre los productores de quinua del Altiplano Sur de Bolivia (No. 3/2025)*. Development Research Working Paper Series. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo -INESAD-.
- Aliaga, L. J., Roca, L. y Carvajal, F. N. (2025c). *Análisis costo-efectividad en el Altiplano Sur de Bolivia: Caso del compost para la quinua (No. 2/2025)*. Development Research Working Paper Series. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo -INESAD-.
- Aliaga, L. J., Garron, I. y Lenis, C. (2025d). *Rastreado la trayectoria de los precios de la quinua en Bolivia: Quiebres estructurales y persistencia de choques (No. 8/2024)*. Development Research Working Paper Series. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo -INESAD-.
- Amare, A. y Simane, B. (2017). Determinants of Smallholder Farmers' Decision to Adopt Adaptation Options to Climate Change and Variability in the Muger Sub Basin of the Upper Blue Nile Basin of Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 6, 1-20.
- Arrow, K.J. (1965) *Aspects of the Theory of Risk Bearing*. Yrjo Jahnssonin Saatio, Helsinki.
- Banerjee, A. y Duflo, E. (2011). *Poor Economics: A Radical Rethinking of the Way to Fight Global Poverty*. Public Affairs.
- Bilal, M. y Jaghdani, T. J. (2024). Barriers to the Adoption of Multiple Agricultural Innovations: Insights from Bt Cotton, Wheat Seeds, Herbicides and No-Tillage in Pakistan. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 22(1), 2318934.
- Binswanger, H. P. (1980). Attitudes Toward Risk: Experimental Measurement in Rural India. *American Journal of Agricultural Economics*, 62(3), 395–407.

- Bleichrodt, H. y Pinto, J. L. (2000). A Parameter-Free Elicitation of the Probability Weighting Function in Medical Decision Analysis. *Management Science*, 46(11), 1485–1496.
- Bryan, E., Ringler, C., Okoba, B., Roncoli, C., Silvestri, S. y Herrero, M. (2010). *Coping with Climate Variability and Adapting to Climate Change in Kenya: Household and Community Strategies and Determinants*. Reporte tercero al Banco Mundial para el Proyecto: “Adaptation of Smallholder Agriculture to Climate Change in Kenya”.
- Camerer, C. F. (2003). *Behavioral Game Theory: Experiments in Strategic Interaction*. Princeton University Press.
- Camerer, C. F. y Ho, T. H. (1994). Violations of the Betweenness Axiom and Nonlinearity in Probability. *Journal of Risk and Uncertainty*, 8(2), 167–196.
- Cárdenas, J. C. y Carpenter, J. (2008). Behavioural Development Economics: Lessons from Field Labs in the Developing World. *Journal of Development Studies*, 44(3), 311–338.
- Cassar, A., Meier, S. y Vigna, S. (2007). Risk Attitudes and Personal Characteristics: A Field Study. *Management Science*, 53(1), 86–99.
- Castrillón, O. D. y Sarache, W. (2018). Sistema Bayesiano para analizar el comportamiento aleatorio de una lotería. *Información Tecnológica*, 29(1), 99–110.
- Challinor, A. J., Watson, J., Lobell, D. B., Howden, S. M., Smith, D. R., & Chhetri, N. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4(4), 287–291.
- Charness, G. y Gneezy, U. (2012). Strong Evidence for Gender Differences in Risk Taking. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 83(1), 50–58.
- Colque, F. O. y Muriel, H. B. (2025). *Análisis de fertilidad de suelos en parcelas de producción de quinua orgánica en comunidades del Altiplano Sur de Bolivia*. Development Research Working Paper Series. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo -INESAD-.
- Conley, T. G., & Udry, C. R. (2010). Learning about a new technology: Pineapple in Ghana. *American Economic Review*, 100(1), 35–69.
- Dercon, S. (2004). Growth and shocks: Evidence from rural Ethiopia. *Journal of Development Economics*, 74(2), 309–329.
- Doss, C. R. (2006). Analyzing Technology Adoption Using Microstudies: Limitations, Challenges and Opportunities for Improvement. *Agricultural Economics*, 34(3), 207–219.
- Duflo, E., Kremer, M. y Robinson, J. (2011). Nudging Farmers to Use Fertilizer: Theory and Experimental Evidence from Kenya. *American Economic Review*, 101(6), 2350–2390.

- Falk, A. y Heckman, J. J. (2009). Lab Experiments Are a Major Source of Knowledge in the Social Sciences. *Science*, 326(5952), 535–538.
- Feder, G., Just, R. E. y Zilberman, D. (1985). Adoption of Agricultural Innovations in Developing Countries: A survey. *Economic Development and Cultural Change*, 33(2), 255–298.
- Feyisa, B. W. (2020). Determinants of Agricultural Technology Adoption in Ethiopia: A Meta-Analysis. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1855817.
- Foster, A. D. y Rosenzweig, M. R. (2010). Microeconomics of Technology Adoption. *Annual Review of Economics*, 2, 395–424.
- Friedman, D. y Sunder, S. (1994). *Experimental Methods: A Primer for Economists*. Cambridge University Press.
- Gamboa, C., Bojacá, C. R., Schrevens, E. y Maertens, M. (2020). Sustainability of Smallholder Quinoa Production in the Peruvian Andes. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 264.
- Harrison, G. W., Lau, M. I. y Rutström, E. E. (2007). Estimating Risk Attitudes in Denmark: A Field Experiment. *Scandinavian Journal of Economics*, 109(2), 341–368.
- Harvey, C. A., Saborio-Rodríguez, M., Martínez-Rodríguez, M. R., Viguera, B., Chain-Guadarrama, A., Vignola, R. y Alpizar, F. (2018). Climate Change Impacts and Adaptation Among Smallholder Farmers in Central America. *Agriculture & Food Security*, 7(1), 1–20.
- Hill, J., Tilman, D., Balzer, C. y Befort, B.L. (2011) Global Food Demand and the Sustainable Intensification of Agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 108 (50) 20260-20264.
- Holt, C. A. y Laury, S. K. (2002). Risk Aversion and Incentive Effects. *American Economic Review*, 92(5), 1644–1655.
- Howden, S. M., Soussana, J.-F., Tubiello, F. N., Chhetri, N., Dunlop, M., & Meinke, H. (2007). Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(50), 19691–19696.
- Jack, B. K. (2013). Market Inefficiencies and the Adoption of Agricultural Technologies in Developing Countries. *American Economic Review*, 103(6), 152–157.
- Jourdain, N. C., Asay-Davis, X., Hattermann, T., Straneo, F., Seroussi, H., Little, C. M. y Nowicki, S. (2020). A Protocol for Calculating Basal Melt Rates in the ISMIP6 Antarctic Ice Sheet Projections. *The Cryosphere*, 14(9), 3111–3134.
- Kahneman, D. y Tversky, A. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision Under Risk. *Econometrica*, 47(2), 263–291.

- Kahneman, D., Knetsch, J. L., & Thaler, R. H. (1991). Anomalies: The endowment effect, loss aversion, and status quo bias. *Journal of Economic Perspectives*, 5(1), 193–206.
- Koundouri, P., Nauges, C. y Tzouvelekas, V. (2006). Technology Adoption Under Production Uncertainty: Theory and Application to Irrigation Technology. *American Journal of Agricultural Economics*, 88(3), 657–670.
- Marra, M., Pannell, D. J. y Abadi Ghadim, A. (2003). The Economics of Risk, Uncertainty and Learning in the Adoption of New Agricultural Technologies. *Agricultural Systems*, 75(2–3), 215–234.
- Mas-Colell, A., Whinston, M. D., & Green, J. R. (1995). *Microeconomic theory*. Oxford University Press.
- McCarthy, N. (2014). *Climate-Smart Agriculture in Latin America: Drawing on Research to Incorporate Technologies to Adapt to Climate Change*.
- Morris, M. L., Tripp, R. y Dankyi, A. A. (1999). *Adoption and Impacts of Improved Maize Production Technology: A Case Study of the Ghana Grains Development Project*.
- Muriel, H. B. y Gutiérrez, M. (2015). *Un juego experimental sobre emprendedurismo y políticas de protección laboral* (Development Research Working Paper Series No. 11/2015). Development Research Working Paper Series. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo -INESAD-.
- Muriel, H. B., Aliaga, L. J. y García, L. (2025). *Empleos verdes y tecnologías agrícolas sostenibles: El caso de la producción de quinua en los países andinos*. (Development Research Working Paper Series No. 4/2025). Paper Series. Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo -INESAD-.
- Pannell, D. J., Marshall, G. R., Barr, N., Curtis, A., Vanclay, F. y Wilkinson, R. (2006). Understanding and Promoting Adoption of Conservation Practices by Rural Landholders. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(11), 1407–1424.
- Penson, J. B., Jr., Capps, O., Jr., Rosson, C. P., III y Woodward, R. T. (2018). *Introduction to Agricultural Economics* (7.^a ed.). Pearson. ISBN 9780134602820
- Pratt, J. W. (1964). Risk Aversion in the Small and in the Large. *Econometrica*, 32(1–2), 122–136.
- Rabin, M. (2000). Aversión al riesgo y teoría de la utilidad esperada: Un teorema de calibración. *Econometrica*, 68 (5), 1281-1292.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5th ed.). Free Press.
- Rosenzweig, C. y Parry, M. L. (1994). Potential Impact of Climate Change on World Food Supply. *Nature*, 367(6459), 133–138.

Ross, N., Santos, P., & Capon, T. (2012). *Risk, ambiguity and the adoption of new technologies: Experimental evidence from a developing economy* [Conference paper]. International Association of Agricultural Economists (IAAE) 2012 Conference, August 18–24, Foz do Iguaçu, Brazil.

Ruhinduka, R. D., Alem, Y., Eggert, H. y Lybbert, T. (2020). Smallholder Rice Farmers' Post-Harvest Decisions: Preferences and Factors. *European Review of Agricultural Economics*, 47(4), 1587–1620.

Schoemaker, P. J. (1982). The Expected Utility Model: Its Variants, Purposes, Evidence and Limitations. *Journal of Economic Literature*, 529–563.

ANEXO

JUEGO: TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS Y ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO

Les invitamos a participar en este juego que busca conocer sus preferencias sobre la adopción de tecnologías agrícolas aplicadas a la producción de la quinua frente a escenarios de incertidumbre, a restricciones presupuestarias y al cambio climático, pues todos estos factores generan diferentes rendimientos, costos y beneficios. Esta dinámica está compuesta por dos etapas que serán implementadas a lo largo del taller con un doble propósito: i) Promover un aprendizaje activo sobre los instrumentos de evaluación económica y la toma de decisiones informadas; y ii) Contar con datos que serán utilizados para fines únicamente de investigación.

Por favor lea atentamente el consentimiento informado.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Como se señaló, un segundo propósito en el juego es contar con información primaria: datos generales (edad, género, lugar de residencia, formación académica y/o actividad productiva) y preferencias tecnológicas. Estos datos permitirán realizar análisis estadísticos para generar estrategias y políticas que puedan promocionar la adopción de tecnologías agrícolas en el país, por lo que su participación será un aporte valioso. Los resultados serán publicados en documentos técnicos difundidos por medios académicos y presentaciones.

INESAD cumple con la normativa de protección de datos personales de Bolivia y estándares éticos internacionales en investigación. En este sentido, no se publicarán nombres ni información que permita identificar a los participantes, y los datos serán almacenados en medios digitales y/o físicos protegidos, utilizados solamente por el equipo de investigación de INESAD. El facilitador explicará a detalle todos estos aspectos, y también en qué consiste el juego de manera verbal (primera y segunda etapa). Usted podrá hacer las consultas que desee para decidir si desea participar o no de manera voluntaria. También puede dejar de jugar en cualquier momento.

Si está de acuerdo con participar en el juego, por favor firme la siguiente declaración (caso contrario, puede devolver la hoja).

Declaro que he leído y he comprendido la información anterior, y que he tenido la oportunidad de hacer preguntas para aclarar mis dudas. Entiendo que mi participación es voluntaria y autorizo el uso de la información que proporcione para los fines descritos.

Nombres y apellidos (como en el C.I.) _____

Firma de consentimiento _____ Fecha _____

CUESTIONARIO

¡Gracias por participar en el juego! Por favor, complete los siguientes datos

1. Número de celular _____

2. Sexo: Hombre Mujer

3. Edad: _____

4. Años de estudio (colegio + universidad/instituto técnico): _____

5. Municipio donde vive _____

Comunidad (si aplica) _____

6. ¿Cuál es su vinculación con la producción agropecuaria?

Soy productor/a agropecuario/a de pequeña escala Sí No

Soy hijo/a de un/a productor/a y participo en actividades agrícolas Sí No

Soy estudiante de la carrera de Agronomía Sí No

Soy estudiante de un postgrado relacionado con agronomía Sí No

Soy agrónomo/a Sí No

Otro relacionado con la agronomía (especifique):

7. ¿Ha trabajado con el cultivo de la quinua?

Sí No

PRIMERA ETAPA DEL JUEGO: DECISIONES SOBRE TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS PARA LA QUINUA

Recuerde: Usted debe escoger la tecnología tradicional o sostenible de acuerdo a los datos de la tabla. En la moderna, los rendimientos medio-bajo o medio-alto se escogen al azar.	TABLA 1: INFORMACIÓN PARA LA TOMA DE DECISIONES				
	Tecnología	Producción (kg/ha)	Ingresos (bs/ha)	Costos (bs/ha)	Beneficios (bs)
	TRADICIONAL				
	Medio	750	6.000	4.800	1.200
	SOSTENIBLE				
Medio-bajo: Probabilidad 50%	900	7.200	6.370	830	
Medio-alto: Probabilidad 50%	1.000	8.000	6.370	1.630	

Nota: En ambos casos el precio es igual a 8 bs/kg.

Recuerde que usted jugará 5 rondas. Para cada una, debe escoger si prefiere la tecnología agrícola o la tecnología sostenible de acuerdo a la información proporcionada en la Tabla 1. Después de cada selección, por favor anote los beneficios obtenidos y después sume los beneficios.

TABLA 2: TOMA DE DECISIONES				Verificación de T, SA o SB (no anote nada en esta columna)
RONDA	Tecnología escogida Anote: Tradicional o sostenible	Rendimiento obtenido: Anote la producción en kg/ha (ver Tabla 1)	Beneficio Anote el beneficio (ver Tabla 1)	
1				
2				
3				
4				
5				
SUMA DE TODOS LOS BENEFICIOS				

JUEGO T2: TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS Y ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO

¡MUY BUENOS/AS DÍAS/TARDES!

Vamos a continuar con el juego anterior, donde se busca conocer sus preferencias sobre la adopción de tecnologías agrícolas aplicadas a la producción de la quinua frente a escenarios de incertidumbre que generan diferentes rendimientos, costos y beneficios. Ahora incluiremos las restricciones presupuestarias. Por favor llene los siguientes datos:

Nombres y apellidos _____

Número de celular _____

Recuerde: Usted debe escoger la tecnología tradicional o la sostenible de acuerdo a los datos de la Tabla 1. Si escoge la tecnología sostenible, debe tomar en cuenta que hay un préstamo que debe ser devuelto al final de cada ronda junto con el interés (cuya tasa al 5,1% implica bs 80, que son descontados de su beneficio). Además, en esta tecnología, los rendimientos medio-alto o medio-bajo se escogen al azar.

TABLA 1: INFORMACIÓN PARA LA TOMA DE DECISIONES							
Tecnología	Producción (kg/ha)	Ingresos (bs/ha)	Costos (bs/ha)	Dotación (bs)	Préstamo (bs)	Intereses (bs)	Beneficios (bs)
TRADICIONAL							
Tome en cuenta que estos datos son los mismos para todas las rondas y ciclos							
Medio	750	6.000	4.800	4.800	Sin préstamo		1.200
SOSTENIBLE							
Ciclo 1: Tome en cuenta estos datos si escoge la tecnología sostenible por primera vez (para tres rondas)							
Medio-bajo: Probabilidad 50%	900	7.200	6.370	4.800	1.490	80	750
Medio-alto: Probabilidad 50%	1.000	8.000	6.370	4.800	1.490	80	1.550
Ciclo 2: Tome en cuenta estos datos si escoge la tecnología sostenible por segunda vez (para tres rondas)							
Medio-bajo: Probabilidad 50%	910	7.280	6.370	4.800	1.490	80	830
Medio-alto: Probabilidad 50%	1.010	8.080	6.370	4.800	1.490	80	1.630
Ciclo 3: Tome en cuenta estos datos si escoge la tecnología sostenible por tercera vez (para tres rondas)							
Medio-bajo: Probabilidad 50%	920	7.360	6.370	4.800	1.490	80	910
Medio-alto: Probabilidad 50%	1.020	8.160	6.370	4.800	1.490	80	1.710

Nota: En ambos casos el precio es igual a 8 bs/kg.

Recuerde que usted jugará 9 rondas, y debe escoger la tecnología, tradicional o sostenible, al comienzo de la primera, cuarta y séptima ronda; de acuerdo a la información proporcionada en la Tabla 1. Al final de cada ronda debe pagar el préstamo más el interés. Después de cada selección, por favor anote los beneficios obtenidos y después súmelos.

TABLA 2: TOMA DE DECISIONES				Verificación del facilitador (no anote nada en esta columna)
RONDA	Tecnología escogida para cada 3 rondas Anote: Tradicional o sostenible	Rendimiento obtenido: Anote la producción en kg/ha (ver Tabla 1)	Beneficio Anote el beneficio (ver Tabla1)	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
SUMA DE TODOS LOS BENEFICIOS				

JUEGO T3: TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS Y ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO

¡MUY BUENOS/AS DÍAS/TARDES!

Vamos a continuar con el juego anterior, donde se busca conocer sus preferencias sobre la adopción de tecnologías agrícolas aplicadas a la producción de quinua, frente a escenarios de incertidumbre que generan diferentes rendimientos, costos y beneficios. Ahora incluiremos las restricciones presupuestarias y el cambio climático. Por favor llene los siguientes datos:

Nombres y apellidos _____

Número de celular _____

Recuerde: Usted debe escoger la tecnología tradicional o la sostenible de acuerdo a los datos de la Tabla 1. Si escoge la tecnología sostenible, debe tomar en cuenta el préstamo que debe ser devuelto al final de cada ronda junto con el interés (cuya tasa al 5,1% implica bs 80, que son descontados de su beneficio). En ambas tecnologías, los rendimientos medio-alto o medio-bajo se escogen al azar.

TABLA 1: INFORMACIÓN PARA LA TOMA DE DECISIONES							
Tecnología	Producción kg/ha	Ingresos bs/ha	Costos bs/ha	Dotación bs	Préstamo bs	Intereses bs	Beneficios bs
TRADICIONAL							
Tome en cuenta que estos datos son los mismos para todas las rondas y ciclos							
Medio-bajo: Probabilidad 50%	710	5.680	4.800	4.800	Sin préstamo		880
Medio-alto: Probabilidad 50%	750	6.000	4.800	4.800	Sin préstamo		1.200
SOSTENIBLE							
Ciclo 1: Tome en cuenta estos datos si escoge la tecnología sostenible por primera vez (para tres rondas)							
Medio-bajo: Probabilidad 50%	900	7.200	6.370	4.800	1.490	80	750
Medio-alto: Probabilidad 50%	1.000	8.000	6.370	4.800	1.490	80	1.550
Ciclo 2: Tome en cuenta estos datos si escoge la tecnología sostenible por segunda vez (para tres rondas)							
Medio-bajo: Probabilidad 50%	910	7.280	6.370	4.800	1.490	80	830
Medio-alto: Probabilidad 50%	1.010	8.080	6.370	4.800	1.490	80	1.630
Ciclo 3: Tome en cuenta estos datos si escoge la tecnología sostenible por tercera vez (para tres rondas)							
Medio-bajo: Probabilidad 50%	920	7.360	6.370	4.800	1.490	80	910
Medio-alto: Probabilidad 50%	1.020	8.160	6.370	4.800	1.490	80	1.710

Nota: En ambos casos el precio es igual a 8 bs/kg.

Recuerde que usted jugará 9 rondas, y debe escoger la tecnología, tradicional o sostenible, al comienzo de la primera, cuarta y séptima ronda, de acuerdo a la información proporcionada en la Tabla 1. Al final de cada ronda debe pagar el préstamo más el interés. Después de cada selección, por favor anote los beneficios obtenidos y después súmelos.

TABLA 2: TOMA DE DECISIONES				Verificación del facilitador (no anote nada en esta columna)
RONDA	Tecnología escogida para cada 3 rondas Anote: Tradicional o sostenible	Rendimiento obtenido: Anote la producción en kg/ha (ver Tabla 1)	Beneficio Anote el beneficio (ver Tabla 1)	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
SUMA DE TODOS LOS BENEFICIOS				