



Factores que influyen en la adopción de prácticas sostenibles en el cultivo del arroz en Costa Rica*

Factors influencing the adoption of sustainable practices in rice cultivation in Costa Rica

Luz Barrantes-Aguilar¹, David Gómez-Castillo¹, Vanessa Villalobos-Ramos¹, Rodrigo Valdés-Salazar²

* Recepción: 6 de octubre, 2023. Aceptación: 7 de diciembre, 2023. Esta investigación es parte del proyecto “Análisis de los factores que influyen en la adopción de tecnología en diferentes sistemas de producción en Costa Rica”. Proyecto C0363, inscrito en el Centro de Investigaciones en Economía Agrícola y Desarrollo Agroempresarial, Escuela de Economía Agrícola, financiado por la Universidad de Costa Rica.

¹ Universidad de Costa Rica, Escuela de Economía Agrícola y Agronegocios, Centro de Investigaciones en Economía Agrícola y Desarrollo Agroempresarial. Código postal 2060 San José, Costa Rica. luz.barrantes@ucr.ac.cr (autor para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0001-5691-6657>), david.gomez@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0001-7321-0453>), vanessa.villalobos@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-3701-517X>).

² Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Escuela de Negocios y Economía. Valparaíso, Chile. rodrigo.valdes@pucv.cl (<https://orcid.org/0000-0003-3789-3562>).

Resumen

Introducción. Las prácticas sostenibles son importantes como herramientas de mitigación y adaptación al cambio climático, por lo que es oportuno comprender qué factores influyen en las decisiones de las personas productoras del cultivo de arroz en adoptar una práctica de conservación en su sistema de producción. **Objetivo.** Determinar las relaciones causales entre las variables que permiten entender la adopción de prácticas de conservación en el cultivo del arroz por parte de las personas productoras. **Materiales y métodos.** Se realizó un estudio entre julio y septiembre del 2021 en los sistemas productivos de arroz en Costa Rica, con personas productoras de las regiones Brunca, Chorotega, Huetar y Pacífico Central, a través de un muestreo por cuotas. Se aplicó una encuesta a un total de 67 personas productoras de arroz. La investigación realizada fue cuantitativa y se identificaron grados de adopción de prácticas de conservación, se realizaron agrupaciones mediante clústeres y se utilizó un modelo probit ordenado para analizar los factores que influyen en la intensidad de adopción de tecnologías o prácticas de conservación en estos sistemas productivos. **Resultados.** Una mayor adopción de prácticas de conservación en los sistemas productivos del cultivo de arroz estuvo influenciada por el nivel de escolaridad de la persona productora, la pertenencia o afiliación a organizaciones del sector arrocero y la tenencia de la tierra. **Conclusiones.** El diseño de estrategias de prácticas de conservación en el cultivo del arroz se beneficia de una mejor comprensión de las relaciones entre las variables socioeconómicas, productivas y del entorno, que permitan aumentar la probabilidad de que una persona productora implemente y mantenga en el tiempo el uso de estas prácticas de conservación.

Palabras claves: adopción de tecnología, prácticas agrícolas, adopción de medidas de defensa contra el cambio climático, agricultura sostenible.



Abstract

Introduction. Sustainable practices are important tools for mitigating and adapting to climate change, making it essential to understand the factors influencing rice producers' decisions to adopt conservation practices in their production system. **Objective.** To determine the causal relationships between variables that explain the adoption of conservation practices by rice producers. **Materials and methods.** A study was conducted between July and September 2021 in rice production systems in Costa Rica, involving producers from the Brunca, Chorotega, Huetar, and Central Pacific regions through quota sampling. A survey was administered to a total of 67 rice producers. The research was quantitative, identifying degrees of adoption of conservation practices, performing cluster groupings, and using an ordered probit model was to analyze the factors influencing the intensity of adoption of conservation technologies or practices in these production systems. **Results.** Greater adoption of conservation practices in rice production systems was influenced by the producer's level of education, membership or affiliation with organizations in rice sector, and land ownership. **Conclusions.** The design of strategies for conservation practice in rice cultivation benefits from a better understanding of the relationships between socioeconomic, productive, and environmental variables, which can increase the likelihood that a producer will implement and maintain these conservation practices over time.

Keywords: technology adoption, agricultural practices, climate proofing, sustainability.

Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) es el tercer cereal más consumido por la población, con un pronóstico de producción de 520 millones de toneladas para el 2023 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2023). En Costa Rica, se sembraron 33 668 hectáreas de arroz en el periodo 2020-2021, lo que representó un 1,4 % del total de área del país dedicada a la producción de este grano (Corporación Arrocera Nacional [CONARROZ], 2022), lo que evidencia que es un alimento básico en el país. Este cultivo se produce tanto en secano, como por inundación y, de acuerdo con estadísticas de CONARROZ (2022), Costa Rica produce un aproximado de 152 721 t de arroz al año.

Los retos del sector arrocero nacional podrían verse afectados por los cambios constantes en el clima y por el alza mantenida en los precios de los insumos. Estos cambios en el clima tienen efectos dañinos sobre los recursos naturales y la productividad agrícola, que afectan de forma negativa el bienestar de los hogares y las comunidades (Ali et al., 2022; Awotide et al., 2016), su seguridad alimentaria (Aseres et al., 2019) y causan un mayor impacto en la agricultura de pequeña escala (Apraku et al., 2021). Por lo tanto, surge la necesidad de buscar alternativas para aumentar la producción, mitigar los efectos de los cambios en el clima, conservar los recursos naturales, mantener la productividad y rentabilidad de los sistemas productivos.

La agricultura mundial se caracteriza por el uso intensivo de insumos químicos sintéticos y labranza del suelo, que junto con prácticas convencionales como retiro y quema de rastrojos, han generado degradación, erosión física y pérdida de materia orgánica (Bopp et al., 2019). Las prácticas de conservación se presentan como una solución a los impactos ambientales de sistemas agrícolas intensivos, sin embargo, estas prácticas no han sido adoptadas por las personas productoras, a pesar del apoyo financiero estatal (Delaroche, 2020). La adopción de estas tecnologías es lenta y representa un proceso complejo donde intervienen muchas variables (Alauddin & Sarker, 2014; Belay et al., 2017; Daloğlu et al., 2014).

Las prácticas de conservación tienen importancia en la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) (Alam et al., 2019), en la fertilidad y la adaptación y mitigación al cambio climático (Chenu et al., 2019). Dentro de estas prácticas se mencionan la mínima labranza (Alarcón et al., 2018; Lu, Ranjan, et al., 2022), uso

de terraplenes (Donkoh et al., 2019) e incorporación de materia orgánica (Bongiorno et al., 2019) como prácticas importantes en la conservación del suelo. La literatura también menciona prácticas como la rotación de cultivos (Carlisle, 2016), el manejo integrado de plagas (Chen & Chen, 2022) y el uso de variedades mejoradas (Awotide et al., 2016; Kumar et al., 2021), como relevantes al hablar de prácticas de conservación.

La literatura menciona gran cantidad de variables como las más estudiadas sobre motivaciones y barreras para la adopción de tecnología. Dentro de estas variables se mencionan la edad, tamaño del grupo familiar, género de la persona a cargo de la finca, tamaño de la finca, tenencia de la tierra, servicios de extensión pública y privada, años de experiencia en las labores agrícolas y aspectos económicos (Aryal et al., 2018; Foguesatto et al., 2020; Lu, Song, et al., 2022). La adopción de tecnologías modernas en la agricultura es crucial para mejorar la productividad y el bienestar de los agricultores pobres en los países en desarrollo (Janssen & Swinnen, 2019).

Aprender más sobre la motivación para adoptar tecnología agrícola y las prácticas de conservación, es de interés para muchos actores, entre los que destacan extensionistas, formuladores de políticas y las mismas personas agricultoras (Thompson et al., 2019). Existe poca evidencia acerca de las decisiones del productor por prácticas de conservación en países en vías de desarrollo y se desconocen cuáles son las motivaciones o qué condiciones representan una barrera para la adopción de estas tecnologías. El objetivo de esta investigación fue determinar las relaciones causales entre las variables que permiten entender la adopción de prácticas de conservación en el cultivo del arroz por parte de las personas productoras.

Materiales y métodos

El estudio se realizó entre julio y septiembre del 2021, en los sistemas productivos de arroz (*Oryza sativa* L.) en Costa Rica, con personas productoras de las regiones: Brunca, Chorotega, Huetar y Pacífico Central, a través de un muestreo por cuotas. Se aplicó una encuesta a 67 personas productoras de arroz.

Muestreo y recolección de datos

La distribución de la muestra se realizó mediante cuotas, de manera que la cantidad de productores de arroz (*Oryza sativa* L.) estuviera distribuida a nivel porcentual tanto por zona, como por tamaño del área sembrada (Cuadro 1). Se diseñó una encuesta estructurada con base en la literatura sobre el tema y la colaboración de ocho técnicos expertos en el cultivo de arroz de la Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ) y de la Universidad de Costa Rica (UCR). La recopilación de esta información fue parte de una investigación más amplia denominada “Adaptación de la oferta de asistencia técnica y transferencia tecnológica de CONARROZ”, que se llevó a cabo en el 2021.

La consulta a expertos fue realizada para determinar las variables que permiten conocer las características de las personas productoras, del sistema de producción y prácticas que evidencian la adopción de tecnologías. Esta fue realizada mediante dos talleres con la técnica de grupo focal durante el mes de mayo del 2021. De julio a septiembre del 2021, se realizó la consulta a una muestra de 67 personas productoras, mediante llamada telefónica, a partir de la lista de productores a nivel nacional facilitada por la Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ).

El análisis se dividió en dos fases, en la primera se construyó una variable de grado de adopción que pondera las tecnologías según criterio de experto, en cuanto al costo económico y el esfuerzo de su implementación, para así tener una valoración más objetiva del uso de las prácticas. A partir de esta variable, se construyeron tres grupos de intensidad de adopción. Y en la fase 2 se analizaron los factores que influyeron en las decisiones de adopción, mediante un modelo probit ordenado, utilizado en investigaciones de adopción de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes (Aryal et al., 2018) y en estudios de adopción de prácticas agrícolas en el cultivo de arroz (Sunny et al., 2022; Zeng et al., 2020).

Cuadro 1. Distribución relativa de la muestra de las personas productoras que fueron parte del estudio de adopción de prácticas de conservación en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.), según la región de ubicación y tamaño del área de las fincas. Costa Rica, 2021.

Table 1. Relative distribution of the sample of producers who participated in the study on the adoption of conservation practices in rice cultivation (*Oryza sativa* L.), according to region and farm size. Costa Rica, 2021.

Tamaño según área	Región del país				Total
	Brunca	Chorotega	Huetar	Pacífico Central	
Grande	15 %	4 %	0%	13 %	-
Mediano	16 %	20 %	12 %	36 %	-
Micro	27 %	37 %	38 %	14 %	-
Pequeño	42 %	39 %	50 %	38 %	-
Total	100 %	100 %	100 %	100 %	
Porcentaje por región	18 %	51 %	12 %	19%	100%
Grande	2	2	0	2	6
Mediano	2	7	1	4	14
Micro	3	12	3	2	20
Pequeño	5	13	4	5	27
Muestra total	12	34	8	13	67

Fase 1. Intensidad de adopción de tecnologías sostenibles en arroz

Para la investigación se consideraron un total de diez prácticas sostenibles. Un primer grupo relacionadas al uso de insumos orgánicos o biológicos como la elaboración de abonos orgánicos y la aplicación de controladores biológicos. Un segundo grupo de tecnologías vinculadas a la aplicación de buenas prácticas como el manejo integrado de plagas, el análisis de suelos, uso de semilla certificada, agricultura de precisión y la implementación de otras buenas prácticas agrícolas no indicadas en otros grupos. Por último, un tercer grupo de prácticas relacionadas con la conservación del suelo, tales como uso de terrazas, taipas y mínima labranza.

Un total de seis técnicos agrónomos funcionarios de CONARROZ, bajo la categoría de personas expertas, calificaron en una escala Likert de 1 a 3 (poco, regular, mucho), el tiempo de dedicación o esfuerzo que una persona productora necesita para realizar cada una de las prácticas analizadas. Luego, estas personas evaluaron en la misma escala, el costo económico de implementar esas prácticas, con la suma estandarizada de ambas valoraciones se obtuvieron los pesos relativos por tecnología, los cuales se utilizan como ponderador para generar una media ponderada del uso de cada una de las prácticas consultadas. Para determinar el grado de adopción individual se empleó la ecuación 1.

$$GA_i = \frac{\sum_{j=1}^{10} w_j P_{ji}}{\sum_{j=1}^{10} w_j}, \text{ con: } i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, 10 \quad (1)$$

Donde GA_i corresponde al grado de adopción individual, w_j es el peso relativo de la j -ésima práctica asignada por la opinión de expertos y P_{ji} capta la respuesta de cada persona sobre el uso de dichas prácticas (variable dicotómica donde 1=la utiliza, 0=no la utiliza). La suma producto se divide entre el peso máximo de todas las tecnologías con el fin de estandarizar.

Se utilizó la variable continua grado de adopción (GA_i) para realizar un análisis de conglomerados mediante el algoritmo de agrupamiento no jerárquico k-medias (MacQueen, 1967), con el fin de clasificar las fincas según intensidad de adopción de tecnologías. Para determinar el número de conglomerado, se utilizó la matriz de distancia euclidiana y el método del codo (*total within-cluster sum of square*, en inglés) (Syakur et al., 2018; Thorndike, 1953). Para caracterizar los conglomerados se plantearon pruebas de comparación de medias, mediante la prueba de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952) y la prueba post-hoc de suma de rangos de Wilcoxon por pares (Wilcoxon, 1945), con corrección de Bonferroni³.

Para el caso de las comparaciones con variables cualitativas, se realizaron pruebas de independencia mediante tablas de contingencia y el estadístico Chi Cuadrado de Pearson (Pearson, 1900), y se analizaron las relaciones entre variables, mediante el coeficiente de contingencia V de Cramer (Cramér, 1999). Para realizar esta caracterización se emplearon variables relacionadas a la unidad productiva como el área de la finca, el rendimiento y la cantidad de ciclos. Algunas características demográficas y de perspectiva de la persona encargada como la edad, el grado de satisfacción con la actividad y el interés por las certificaciones. Además de factores externos como la valoración de la calidad de la asistencia técnica (pública y privada) y las capacitaciones recibidas.

Fase 2. Determinantes de la adopción de tecnologías sostenibles en arroz

Se empleó un modelo probit ordenado (OP) para analizar los factores que influyeron en la intensidad de adopción de tecnologías vinculadas a una producción sostenible en fincas arroceras. En este modelo el conglomerado o grupo de adopción (1= baja, 2= media, 3= alta), se empleó como la variable ordinal dependiente, y como regresoras se incluyeron: nivel de educación de la persona encargada, afiliación a organizaciones relacionadas a la actividad arroceras, asistencia técnica pública, interés por obtener alguna certificación de tipo ambiental, financiamiento, mano de obra familiar y uso de la variedad Lazarroz FL.

Dado que los coeficientes en estos modelos no se interpretan de forma directa, se estimaron los efectos marginales de un incremento en las variables independientes sobre la probabilidad de pertenecer a cada grupo. El supuesto de probabilidades proporcionales o constancia de los efectos en las categorías asumido en este tipo de modelos, se verificó mediante la prueba de Brant (Brant, 1990). Se escogió esta prueba por la robustez de los indicadores de constancia, que permite análisis comparativos entre las muestras.

Se realizaron algunas pruebas de bondad de ajuste recomendadas por Fagerland & Hosmer (2016) para modelos de regresión logística de respuesta ordinal, tales como: prueba de Lipsitz (Lipsitz et al., 1996), prueba de Hosmer-Lemeshow para modelos ordinales (Hosmer & Lemeshow, 2000), así como pruebas de Pulkstenis-Robinson (Pulkstenis & Robinson, 2004). Para la ejecución de estas pruebas y los modelos se empleó el software RStudio versión 4.2.1 (R Core Team, 2022).

Resultados

Descripción de la muestra

De las 67 fincas analizadas, un 51 % pertenecen a la Región Chorotega, 19 % son de la Región Pacífico Central, 18 % de la Región Brunca y el 12 % restante están ubicadas en la Región Huetar. El 61 % trabaja bajo el sistema de siembra de secano y las demás utilizan riego. La edad de las personas encargadas varió entre los 21 y 80 años, con un promedio y una desviación estándar de 49,4 y 13,6 años, respectivamente.

³ Se emplearon pruebas no paramétricas por la falta de normalidad de los errores.

Aplicación de prácticas sostenibles en arroz

Las tecnologías relacionadas con implementación de buenas prácticas agrícolas son las que en su mayoría se aplican en estas fincas, en contraste con las relacionadas con la conservación del suelo y prácticas sostenibles que se observan en menor proporción (Figura 1).

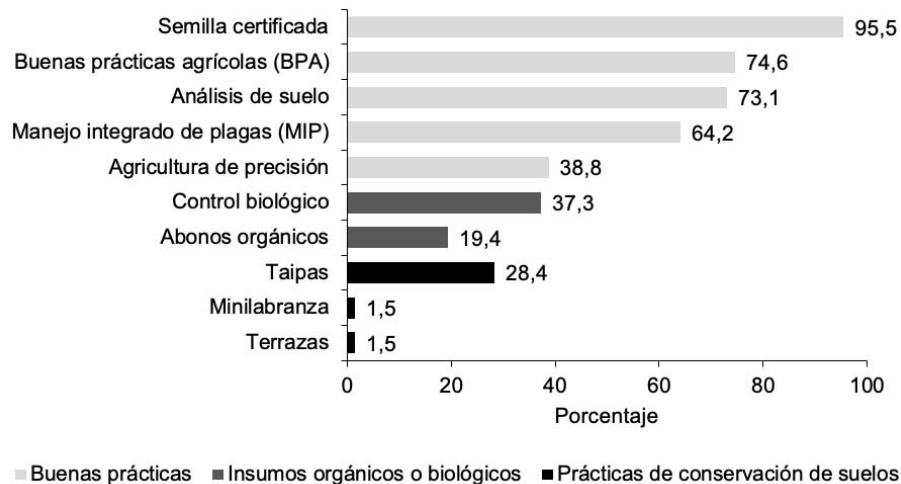


Figura 1. Porcentaje de las personas productoras que adoptaron las tecnologías consideradas en el estudio de adopción de prácticas de conservación en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). Costa Rica, 2021.

Figure 1. Percentage of producers who adopted the technologies considered in the study on the adoption of conservation practices in rice cultivation (*Oryza sativa* L.). Costa Rica, 2021.

Grado de adopción de prácticas sostenibles en arroz

Con la valoración de las seis personas expertas se obtuvieron los pesos relativos de la implementación para cada tecnología, y fue necesario considerar que algunas resultan más costosas en términos de esfuerzo o bien en términos económicos (Figura 2). Se aplicó la ecuación 1 y se obtuvo el grado de adopción individual que toma valores entre cero y uno, donde uno es cuando hay mayor grado de adopción. Esta variable mostró un amplio rango entre las fincas de la muestra, encontrándose casos en que no se implementó ninguna de las prácticas y por tanto, presentaron un valor de cero en grado de adopción, hasta un máximo de 0,8, el promedio de implementación fue de 0,4 con una desviación estándar de 0,2.

Clúster de intensidad de adopción

Con el análisis de conglomerados, se clasificaron las fincas según su intensidad de adopción en tres grupos (Figura 3). El primero, de baja intensidad, que correspondió a veintidós fincas que en promedio adoptaron dos prácticas sostenibles ($EE = 0,17$), en promedio son las fincas más pequeñas, de menor rendimiento y productividad, además, son las que menor cantidad de variedades de arroz cultivan (tienden a usar solo una). También son el grupo de personas menos satisfechas con la actividad, pero las que califican mejor la asistencia técnica y las capacitaciones que reciben.

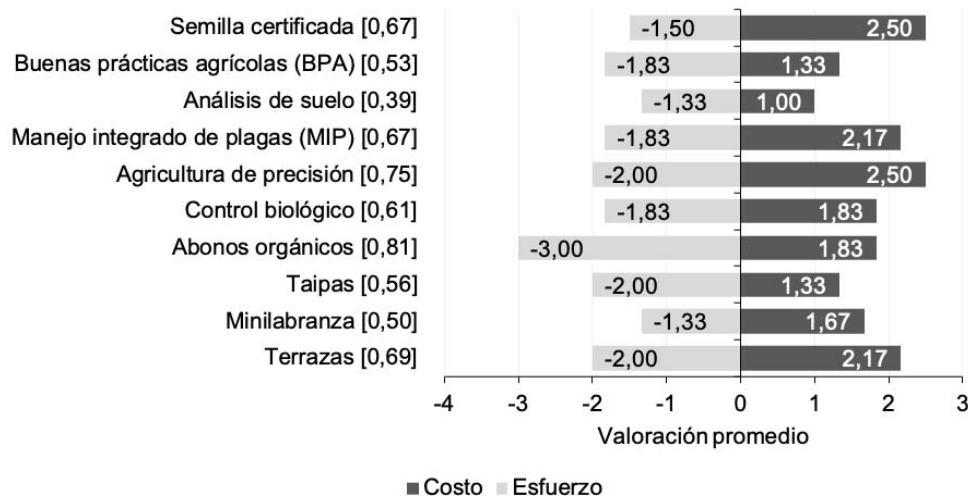


Figura 2. Valoración promedio efectuada por las personas expertas en cada tecnología de prácticas de conservación en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.), según costo y el esfuerzo de aplicarse. Costa Rica, 2021.

Las ponderaciones se muestran entre paréntesis cuadrado. La valoración de expertos se hizo mediante una escala Likert de uno a tres (poco, regular, mucho)

Figure 2. Average evaluation by experts on each conservation practice technology in rice cultivation (*Oryza sativa* L.), based on cost and implementation effort. Costa Rica, 2021.

Weights are shown in square brackets. The expert evaluation was conducted using a Likert scale from one to three (low, moderate, high).

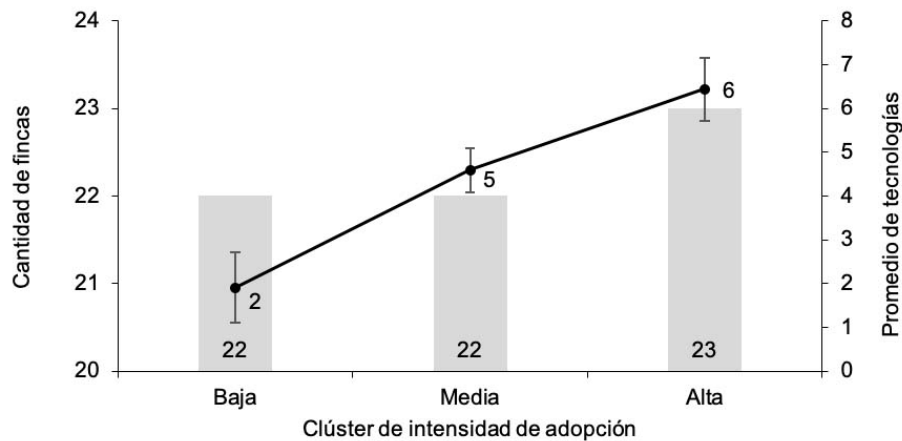


Figura 3. Cantidad de fincas y promedio de tecnologías de prácticas de conservación en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.), adoptadas por clúster. Costa Rica, 2021.

Figure 3. Number of farms and average number of conservation practice technologies in rice cultivation (*Oryza sativa* L.) adopted per cluster. Costa Rica, 2021.

Las personas productoras que integran el conglomerado de baja intensidad son las que tienen un menor interés por las certificaciones. De las ocho certificaciones o sellos de sostenibilidad que se les consultaron⁴, la gran mayoría expresó no tener interés en ninguna de ellas. Este grupo de baja intensidad mostró diferencias estadísticamente significativas con los otros dos grupos en esta variable, cantidad de certificaciones o sellos de sostenibilidad que les interesa, esto según la prueba de Kruskal-Wallis ($p = 3,87E - 04$) y la agrupación obtenida de la prueba de Wilcoxon.

El segundo grupo, de media intensidad, también estuvo conformado por veintidós fincas, pero estas tuvieron un promedio de cinco prácticas aplicadas ($EE = 0,11$), en cuanto a sus características presentaron valores intermedios en la mayoría de las variables (área, rendimiento, diversificación varietal, calificación a la asistencia técnica y las capacitaciones). Destaca como el grupo con mayor cantidad de semilla por hectárea utilizada (122 kg ha^{-1}), aunque el grupo 1 tuvo una media muy similar (121 kg ha^{-1}), además, fueron las personas que se consideraron más satisfechas con la actividad. En promedio mostraron interés por tres certificaciones o sellos de sostenibilidad y esta media fue estadísticamente igual a la del grupo 3.

El grupo 3, que integró a las fincas de alta intensidad, presentó un promedio de seis tecnologías implementadas ($EE = 0,15$). Este grupo estuvo representado por las fincas que más tecnologías ponen en práctica, son en promedio las fincas más grandes, de mayor producción, rendimiento y diversificación varietal. Tienen un mayor interés por las certificaciones o sellos de sostenibilidad y califican más bajo la asistencia técnica y las capacitaciones.

Se encontraron asociaciones altamente significativas entre los conglomerados al analizar las variables escolaridad y la pertenencia a organizaciones. Se observó que entre mayor es el nivel de adopción, mayor es la proporción de personas con un nivel técnico o superior en su formación académica ($\chi^2(2) = 7,59, p = 0,0225$). Además, a mayores niveles de adopción mayor fue la proporción de afiliación a organizaciones del sector arrocero ($\chi^2(2) = 9,26, p = 0,0097$).

Los análisis mostraron que entre mayor fue el nivel de adopción, menor fue la dependencia de la mano de obra familiar. Además, los grupos de media y alta adopción emplean en mayor proporción el sistema de producción de secano. Y en cuanto a las zonas de ubicación, la distribución es muy similar en todos los grupos, se destaca que en el conglomerado (baja intensidad) no hubo fincas de la zona Huetar. Sin embargo, estas asociaciones no fueron estadísticamente significativas.

La condición de tenencia de la tierra mostró una relación significativa al 10 % ($\chi^2(2) = 4,92, p = 0,0855$). En este caso, alrededor del 82 % de las personas tanto del grupo 1 como del 2 (baja y media intensidad), no tienen el título de propiedad del terreno en el que cultivan y en su mayoría lo alquilan. En el caso del grupo 3, que son los de alta intensidad de adopción, el porcentaje de personas que no son dueñas es de alrededor del 43 %.

Probit ordenado (OP): determinantes de la adopción

Para analizar los determinantes y la magnitud de su impacto en la adopción, se estimó un modelo probit ordenado, que utiliza como variable ordinal dependiente los conglomerados (1= baja intensidad, 2= media intensidad, 3= alta intensidad). El modelo incluye variables explicativas basadas en la teoría económica y estudios previos de adopción empírica. Dentro de los factores principales se encontraron, factores económicos y sociales asociados a la persona encargada y a la unidad productiva (Cuadro 2).

Los resultados de la estimación del modelo y sus efectos marginales se muestran en el Cuadro 3. Todas las variables muestran un efecto positivo en la intensidad de adopción y seis fueron estadísticamente significativas ($p < 0,05$). El modelo presentó un pseudo R^2 de McFadden de 0,3226, y un estadístico chi-cuadrado de la prueba de razón de verosimilitud estadísticamente significativo ($p = 0,0000$), por lo que se rechazó la prueba conjunta de

⁴ Certificación orgánica, producción libre de pesticidas, carbono neutral, bandera azul ecológica, marca país “Esencial Costa Rica”, rainforest alliance, comercio justo y denominación de origen.

Cuadro 2. Resumen de las variables explicativas empleadas en el modelo probit ordenado. Costa Rica, 2021.

Table 2. Summary of the explanatory variables used in the ordered probit model. Costa Rica, 2021.

Variable	Descripción	Porcentajes
Educación	1 = La persona encargada tiene un nivel de escolaridad técnico o superior, 0 = secundaria o menos	1 = 32,84 0 = 67,16
Organización	1 = La persona encargada pertenece a una organización del sector, 0 = caso contrario	1 = 34,33 0 = 65,67
Certificaciones	1 = Le interesan certificaciones ambientales, 0 = caso contrario	1 = 61,19 0 = 38,81
Asistencia técnica	1 = Recibe asistencia técnica pública, 0 = caso contrario	1 = 86,57 0 = 13,43
Financiamiento	1 = Usa financiamiento propio, 0 = caso contrario	1 = 74,63 0 = 25,37
Mano de obra familiar	1 = Emplea exclusivamente mano de obra familiar, 0 = caso contrario	1 = 25,37 0 = 74,63
Variedad lazarroz	1 = Utiliza la variedad lazarroz, 0 = caso contrario	1 = 73,13 0 = 26,87

Cuadro 3. Resultados del modelo Probit Ordenado (OP) y sus efectos marginales. Costa Rica, 2021.

Table 3. Results of the Ordered Probit model (OP) and its marginal effects. Costa Rica, 2021.

Variables	Coeficientes	Efectos marginales		
		P(Y=1 X)	P(Y=2 X)	P(Y=3 X)
Educación	1,0078 ** (0,4000)	-0,2998 *** (0,1072)	-0,0245 (0,0749)	0,3244 ** (0,1350)
Organización	0,9858 *** (0,3620)	-0,2972 *** (0,1008)	-0,0171 (0,0707)	0,3143 *** (0,1206)
Certificaciones	0,8942 ** (0,3587)	-0,3117 ** (0,1268)	0,0728 (0,0737)	0,2389 *** (0,0904)
Asistencia técnica	2,7070 *** (0,8779)	-0,7862 *** (0,0913)	0,4511 *** (0,1023)	0,3351 *** (0,0705)
Financiamiento	0,7693 ** (0,3709)	-0,2798 ** (0,1388)	0,0896 (0,0815)	0,1903 ** (0,0822)
Mano de obra familiar	0,6617 (0,4376)	-0,2005 * (0,1193)	-0,0144 (0,0595)	0,2149 (0,1537)
Variedad lazarroz	0,9044 ** (0,4124)	-0,3286 ** (0,1532)	0,1091 (0,0955)	0,2195 ** (0,0865)
n	67			
LR chi2(7)	47,48			
Prob > chi2	0,0000			
Log likelihood	-49,8506			
Pseudo R ²	0,3226			

Nivel de significancia: 10 % (*); 5 % (**); 1 % (***). Error estándar entre paréntesis / Significance level: 10 % (*); 5 % (**); 1 % (***). Standard error in parentheses.

todos los coeficientes de pendiente iguales a cero. Se confirmó el supuesto de probabilidades proporcionales y el modelo se ajustó bien a los datos ($p > 0,05$).

Los resultados evidenciaron que la probabilidad de adoptar mayor cantidad de tecnologías aumentó con el nivel de educación de la persona que administra la finca. Las personas que finalizaron sus estudios de educación media y alcanzaron un nivel de formación técnica o superior, tienen alrededor de un 32 % de probabilidad de formar

parte del grupo de alta intensidad. Un resultado muy similar se presentó en el caso de la afiliación a organizaciones del sector arrocero.

El compromiso por adoptar e implementar prácticas sostenibles se aproximó con el interés de la administración de la finca por certificaciones y sellos de sostenibilidad. Las personas productoras que indicaron tener interés en este tipo de diferenciación y prácticas en sus sistemas de producción, aumentaron la probabilidad de adopción de prácticas sostenibles. La asistencia técnica pública que ofrecen instituciones como CONARROZ, el Instituto de Investigación y Transferencia Agropecuaria (INTA), el Instituto de Desarrollo Rural (INDER), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Instituto Nacional de aprendizaje (INA), las universidades y las casas comerciales, tiene un efecto altamente significativo y positivo, es probable que si la persona tiene acceso a este servicio se adopten más prácticas.

Las variables relacionadas de forma directa con la unidad productiva no resultaron ser tan significativas. Si la fuente principal de financiamiento son recursos propios, se aumenta la probabilidad de estar en los grupos de mayor adopción, lo mismo sucede con el uso de la variedad Lazarroz FL, en ambos casos los efectos marginales son significativos al 5 % para los grupos de baja y alta adopción. Y aunque el uso de mano de obra familiar muestra un efecto positivo en la adopción, el coeficiente y sus efectos marginales no fueron estadísticamente significativos ($p > 0,05$).

Discusión

Los resultados de la investigación muestran que las personas productoras implementan pocas prácticas de conservación de suelo. Este comportamiento puede estar influenciado debido a la percepción sobre el esfuerzo y los beneficios que puedan recibir de estas prácticas, de forma que sean consideradas de mucho esfuerzo y alto costo. Otros estudios muestran tasas de adopción de tecnologías ecológicas bajas (Benítez-Altuna et al., 2021) y evidencian que para la implementación de estas prácticas son importantes las percepciones sobre los beneficios y costos asociados a la innovación (Rossi Borges et al., 2015), las motivaciones intrínsecas (motivación personal) y extrínsecas (recompensa externa) (Bopp et al., 2019; Jambo et al., 2019; Prokopy et al., 2019; Zeng et al., 2020).

El uso intensivo de mano de obra que requiere realizar algunas prácticas de conservación, podría influir en la decisión de adopción de estas tecnologías por parte de la persona productora. Las actividades que demandan una fuerza laboral significativa, pueden obligar a las personas productoras a suspender su uso (Etsay et al., 2019). La adopción de algunas prácticas de conservación como la mínima labranza, requiere menos uso de mano de obra y en estos casos, como mencionaron Miah et al. (2023) en pequeños productores la adopción de prácticas como mínima labranza redujo el trabajo humano hasta en un 34 %.

Los resultados indican que aquellas fincas más grandes presentaron una mayor intensidad de adopción, además de un mayor rendimiento y productividad. Esto puede estar influenciado a que fincas de mayor tamaño y rendimiento pueden tener más recursos para contratar mano de obra. Contar con mano de obra contratada favorece la adopción de tecnologías como el uso de variedades mejoradas en otros cultivos (Mugumaarhahama et al., 2021). Otros estudios evidencian la relación entre la adopción de tecnologías con el aumento de la eficiencia técnica (Abdulai et al., 2018) y que el tamaño de la finca tuvo un efecto positivo y significativo en la adopción (Alauddin & Sarker, 2014; Belay et al., 2017).

La probabilidad e intensidad de adopción se ve afectada por aspectos socioeconómicos, accesos a servicios de extensión y capacitación, entre otros factores (Aryal et al., 2018; Belay et al., 2017; Donkoh et al., 2019; Kumar et al., 2020; Oyetunde-Usman et al., 2021). Los resultados de esta investigación muestran que las personas que tenían acceso a información y servicios de extensión eran las que menos tecnologías de conservación adoptaron, a pesar de una valoración positiva de estas, es probable que estos factores no influyeron en la motivación de estas personas.

Otras motivaciones como el acceso a mercados e incentivos económicos influyen en el comportamiento sostenible de la persona productora cuando las motivaciones intrínsecas eran bajas (Bopp et al., 2019).

Los resultados permitieron identificar que las personas productoras que tenían mayor producción y mayor rendimiento en sus fincas, se ubicaron en el conglomerado de alta intensidad de adopción, comportamiento que podría estar influenciado por mayores ingresos en la explotación, que les proporciona capacidad de inversión. Algunos estudios como los realizados por Marie et al. (2020), encontraron que los ingresos de la explotación fueron determinantes y significativos en la adopción de estrategias de adaptación al cambio climático. El ingreso económico y los recursos con los que cuenta la persona productora influyen en la decisión de inversión en prácticas de conservación (Benitez-Altuna et al., 2021; Kassie et al., 2013; Oyetunde-Usman et al., 2021).

Un mayor nivel de escolaridad de la persona encargada de la finca se asocia positivamente con la adopción de tecnologías (Li et al., 2019). Los resultados de la investigación identificaron un efecto positivo en la adopción de prácticas de conservación si la persona productora alcanzó un nivel técnico o superior en su formación académica. Las investigaciones de Siyum et al. (2022) y Wainaina et al. (2016), encontraron que esta relación entre la escolaridad y la adopción de tecnología podría ser provocada porque estas personas pueden disponer de mayor poder adquisitivo y también más facilidades para la inversión.

En los resultados de esta investigación se observó que entre mayor fue el nivel de adopción de prácticas de conservación, menor fue la dependencia de la mano de obra familiar. Este comportamiento puede ser explicado por la necesidad que tienen las fincas que hacen uso de más tecnologías innovadoras de contratar más personal para la implementación y mantenimiento de estas. Estos resultados son congruentes con lo identificado por Mugumaarhahama et al. (2021), quienes indicaron que el uso de mano de obra contratada favorece la adopción de tecnologías.

La condición de tenencia de la tierra mostró una relación significativa, más del 80 % de las personas que integran los grupos de baja y media intensidad de adopción, no tienen el título de propiedad del terreno en el que cultivan y en su mayoría alquilan estas tierras. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Daloğlu et al. (2014), donde los contratos de tenencia de la tierra entre otros factores influyen en la decisión de adopción de prácticas de conservación. Esto puede estar influenciado porque la adopción de algunas tecnologías de conservación requiere inversión, por lo que la persona productora no se sentirá motivada a realizar estas inversiones si no es la persona dueña de la finca (Ranjan et al., 2022).

Luego del análisis realizado y los resultados obtenidos, no fue posible identificar una variable de mayor importancia que otra o más determinante para explicar el comportamiento de la persona productora hacia la adopción de prácticas de conservación en el cultivo de arroz. El comportamiento de la persona productora acerca de sus decisiones para la adopción de prácticas de conservación esta influenciada no solo por factores socioeconómicos, sino también por factores socio-psicológicos, que son necesarios de estudiar. En esta misma línea Delaroche (2020) determinó que ningún factor individual y de forma consistente explica las decisiones de las personas productoras en la adopción de prácticas de conservación.

Conclusiones

La sostenibilidad de los sistemas productivos estuvo relacionada con la implementación de prácticas de conservación y una gestión adecuada de los recursos naturales. Factores como tamaño de la finca, la tenencia de la tierra y la escolaridad tuvieron influencia en la adopción de prácticas de conservación en las personas productoras objeto de estudio en esta investigación. El diseño de estrategias de prácticas de conservación en el cultivo del arroz se beneficia de una mejor comprensión de las relaciones entre las variables socioeconómicas, productivas y del entorno, así en la capacitación que debe darse es más influyente el nivel educativo de las personas productoras,

la pertenencia de la tierra y contar con recursos financieros propios, los cuales son factores estructurales que se deben trabajar con planes de mediano plazo. Por ende, la política pública en esta dirección podría aumentar la efectividad si va aunada con procurar la sostenibilidad de la actividad productiva en el tiempo, promover la asociatividad, aumentar el nivel educativo de las personas productoras y la tenencia o propiedad de la tierra como recurso productivo.

Las personas productoras reciben capacitaciones y asesoría técnica, pero enfrentan dificultades al poner en práctica gran parte de la información adquirida. Es crucial tener en cuenta las características y motivaciones individuales para identificar los desafíos específicos que enfrentan, como la degradación del suelo, la escasez de agua y la presión para aumentar la producción. Este enfoque personalizado permitirá desarrollar soluciones más efectivas y adaptadas a las necesidades de las personas productoras.

Las políticas deben tener en cuenta tanto las motivaciones intrínsecas como extrínsecas para optimizar la receptividad de las personas hacia la adopción de prácticas sostenibles. Estas prácticas no solo deben favorecer al medio ambiente y al suelo, sino también alinearse con los objetivos y prioridades de los productores. La colaboración entre el gobierno, la academia, la industria y los productores resulta esencial, por tanto, es crucial fomentar la cooperación y el intercambio de conocimientos para lograr una implementación efectiva de las tecnologías sostenibles.

Motivar a las personas productoras a implementar prácticas de conservación en el cultivo del arroz puede requerir un enfoque integral que abarque aspectos económicos, ambientales y sociales. Dentro de estas estrategias debe de considerarse la capacitación y educación, con información detallada sobre los beneficios de estas prácticas en términos de rendimiento y de sostenibilidad a largo plazo. La implementación o fortalecimiento de programas de compensación por servicios ecosistémicos para recompensar a las personas por contribuir en la conservación del suelo y agua.

La adopción de tecnología sostenible debe promoverse con el uso de tecnologías inteligentes y agricultura de precisión para optimar el uso de recursos. Esta adopción puede verse favorecida por las redes de apoyo con las que cuenten las personas productoras, por lo que es importante crear estas comunidades y redes que funcionen como motivadores. Estas redes facilitan el intercambio de experiencias exitosas entre las personas productoras para aprender de otras personas.

Los resultados de esta investigación le permitirán a extensionistas e instituciones vinculadas al sector, diseñar estrategias replicables y sostenibles que favorezcan la adopción de prácticas de conservación en pequeños, medianos y grandes productores. Con la combinación de diferentes estrategias, es más probable que se logre una adopción exitosa de prácticas de conservación del cultivo del arroz. La clave es abordar las preocupaciones y necesidades específicas de las personas productoras y proporcionar soluciones prácticas y beneficios tangibles.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a las personas productoras por compartir sus experiencias e información para el cumplimiento de los objetivos del proyecto, al equipo de trabajo que colaboró en la recopilación de la información de las personas productoras y sus fincas, a los técnicos de la Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ) por su colaboración para poder localizar a las personas productoras, con la participación en los grupos focales y en la valoración del esfuerzo y costo de las tecnologías. De igual manera, se agradece a los técnicos e investigadores de la Universidad de Costa Rica que participaron en los grupos focales.

Referencias

- Abdulai, S., Zakariah, A., & Donkoh, S. A. (2018). Adoption of rice cultivation technologies and its effect on technical efficiency in Sagnarigu District of Ghana. *Cogent Food and Agriculture*, 4(1), Article 1424296. <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1424296>
- Alam, M. K., Bell, R. W., & Biswas, W. K. (2019). Increases in soil sequestered carbon under conservation agriculture cropping decrease the estimated greenhouse gas emissions of wetland rice using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 224, 72–87. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.215>
- Alarcón, R., Hernández-Plaza, E., Navarrete, L., Sánchez, M. J., Escudero, A., Hernanz, J. L., Sánchez-Giron, V., & Sánchez, A. M. (2018). Effects of no-tillage and non-inversion tillage on weed community diversity and crop yield over nine years in a Mediterranean cereal-legume cropland. *Soil and Tillage Research*, 179, 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.01.014>
- Alauddin, M., & Sarker, M. A. R. (2014). Climate change and farm-level adaptation decisions and strategies in drought-prone and groundwater-depleted areas of Bangladesh: An empirical investigation. *Ecological Economics*, 106, 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.07.025>
- Ali, H., Menza, M., Hagos, F., & Hailelassie, A. (2022). Impact of climate-smart agriculture adoption on food security and multidimensional poverty of rural farm household in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 11, Article 62. <https://doi.org/10.1186/s40066-022-00401-5>
- Apraku, A., Morton, J. F., & Apraku Gyampoh, B. (2021). Climate change and small-scale agriculture in Africa: Does indigenous knowledge matter? Insights from Kenya and South Africa. *Scientific African*, 12, Article e00821. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00821>
- Aryal, J. P., Jat, M. L., Sapkota, T. B., Khatri-Chhetri, A., Kassie, M., Rahut, D. B., & Maharjan, S. (2018). Adoption of multiple climate-smart agricultural practices in the Gangetic plains of Bihar, India. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 10(3), 407–427. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-02-2017-0025>
- Aseres, M. E., Liu, A., & Mwalupaso, G. E. (2019). Adoption of sustainable intensification practices and its effect on smallholders' food security in Ethiopia. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(3), 6681–6700. https://doi.org/10.15666/aer/1703_66816700
- Awotide, B. A., Karimov, A. A., & Diagne, A. (2016). Agricultural technology adoption, commercialization and smallholder rice farmers' welfare in rural Nigeria. *Agricultural and Food Economics*, 4(1), Article 3. <https://doi.org/10.1186/s40100-016-0047-8>
- Belay, A., Recha, J. W., Woldeamanuel, T., & Morton, J. F. (2017). Smallholder farmers' adaptation to climate change and determinants of their adaptation decisions in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Agriculture and Food Security*, 6, Article 24. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0100-1>
- Benitez-Altuna, F., Trienekens, J., Materia, V. C., & Bijman, J. (2021). Factors affecting the adoption of ecological intensification practices: A case study in vegetable production in Chile. *Agricultural Systems*, 194, Article 103283. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103283>

- Bongiorno, G., Bünenmann, E. K., Oguejiofor, C. U., Meier, J., Gort, G., Comans, R., Mäder, P., Brussaard, L., & de Goede, R. (2019). Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecological Indicators*, 99, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.008>
- Bopp, C., Engler, A., Poortvliet, P. M., & Jara-Rojas, R. (2019). The role of farmers' intrinsic motivation in the effectiveness of policy incentives to promote sustainable agricultural practices. *Journal of Environmental Management*, 244, 320–327. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.107>
- Brant, R. (1990). Assessing proportionality in the proportional odds model for ordinal logistic regression. *Biometrics*, 46(4), 1171–1178. <https://doi.org/10.2307/2532457>
- Carlisle, L. (2016). Factors influencing farmer adoption of soil health practices in the United States: a narrative review. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(6), 583–613. <https://doi.org/10.1080/21683565.2016.1156596>
- Chen, Z. -D., & Chen, F. (2022). Socio-economic factors influencing the adoption of low carbon technologies under rice production systems in China. *Carbon Balance and Management*, 17, Article 19. <https://doi.org/10.1186/s13021-022-00218-6>
- Chenu, C., Angers, D. A., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D., & Balesdent, J. (2019). Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research*, 188, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.011>
- Corporación Arrocería Nacional. (2022). *Informe anual estadístico 2020-2021*. Corporación Arrocería Nacional.
- Cramér, H. (1999). *Mathematical methods of statistics* (Vol. 9). Princeton University Press.
- Daloğlu, I., Nassauer, J. I., Riolo, R. L., & Scavia, D. (2014). Development of a farmer typology of agricultural conservation behavior in the american corn belt. *Agricultural Systems*, 129, 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.05.007>
- Delaroché, M. (2020). Adoption of conservation practices: what have we learned from two decades of social-psychological approaches? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 45, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.08.004>
- Donkoh, S. A., Azumah, S. B., & Awuni, J. A. (2019). Adoption of improved agricultural technologies among rice farmers in Ghana: a multivariate probit approach. *Ghana Journal of Development Studies*, 16(1), 46–67. <https://doi.org/10.4314/gjds.v16i1.3>
- Etsay, H., Negash, T., & Aregay, M. (2019). Factors that influence the implementation of sustainable land management practices by rural households in Tigray region, Ethiopia. *Ecological Processes*, 8, Article 14. <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0166-8>
- Fagerland, M. W., & Hosmer, D. W. (2016). Tests for goodness of fit in ordinal logistic regression models. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 86(17), 3398–3418. <https://doi.org/10.1080/00949655.2016.1156682>
- Foguesatto, C. R., Rossi Borges, J. A., & Dessimon Machado, J. A. (2020). A review and some reflections on farmers' adoption of sustainable agricultural practices worldwide. *Science of the Total Environment*, 729, Article 138831. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138831>
- Hosmer, D. W., & Lemeshow, S. (2000). *Applied logistic regression* (2nd ed). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0471722146>

- Jambo, I. J., Groot, J. C. J., Descheemaeker, K., Bekunda, M., & Tittone, P. (2019). Motivations for the use of sustainable intensification practices among smallholder farmers in Tanzania and Malawi. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 89(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100306>
- Janssen, E., & Swinnen, J. (2019). Technology adoption and value chains in developing countries: Evidence from dairy in India. *Food Policy*, 83, 327–336. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.08.005>
- Kassie, M., Jaleta, M., Shiferaw, B., Mmbando, F., & Mekuria, M. (2013). Adoption of interrelated sustainable agricultural practices in smallholder systems: Evidence from rural Tanzania. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(3), 525–540. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.08.007>
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583–621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>
- Kumar, N., Chhokar, R. S., Meena, R. P., Kharub, A. S., Gill, S. C., Tripathi, S. C., Gupta, O. P., Mangrauthia, S. K., Sundaram, R. M., Sawant, C. P., Gupta, A., Naorem, A., Kumar, M., & Singh, G. P. (2021). Challenges and opportunities in productivity and sustainability of rice cultivation system: a critical review in Indian perspective. *Cereal Research Communications*, 50, 573–601. <https://doi.org/10.1007/s42976-021-00214-5>
- Kumar, S., Raj Singh, D., Singh, A., Prakash Singh, N., & Kumar Jha, G. (2020). Does adoption of soil and water conservation practice enhance productivity and reduce risk exposure? Empirical evidence from semi-arid tropics (SAT), India. *Sustainability*, 12(17), Article 6965. <https://doi.org/10.3390/SU12176965>
- Li, Q., Zeng, F., Mei, H., Li, T., & Li, D. (2019). Roles of motivation, opportunity, ability, and trust in the willingness of farmers to adopt green fertilization techniques. *Sustainability*, 11(24), Article 6902. <https://doi.org/10.3390/su11246902>
- Lipsitz, S. R., Fitzmaurice, G. M., & Molenberghs, G. (1996). Goodness-of-fit tests for ordinal response regression models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C: Applied Statistics*, 45(2), 175–190. <https://doi.org/10.2307/2986153>
- Lu, J., Ranjan, P., Floress, K., Arbuckle, J. G., Church, S. P., Eanes, F. R., Gao, Y., Gramig, B. M., Singh, A. S., & Prokopy, L. S. (2022). A meta-analysis of agricultural conservation intentions, behaviors, and practices: Insights from 35 years of quantitative literature in the United States. *Journal of Environmental Management*, 323, Article 116240. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116240>
- Lu, Q. -q, Song, Y. -f., Pan, K. -q., Li, Y., Tang, M. -x., Zhong, G. -h., & Liu, J. (2022). Improved crop protection and biodiversity of the agroecosystem by reduced tillage in rice paddy fields in southern China. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(8), 2345–2356. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63802-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63802-9)
- MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In L. M. Le Cam, & J. Neyman (Eds.), *Proceedings of the 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistic and Probability* (pp. 281–297). Duke University Press. https://digitalassets.lib.berkeley.edu/math/ucb/text/math_s5_v1_article-17.pdf
- Marie, M., Yirga, F., Haile, M., & Tquabo, F. (2020). Farmers' choices and factors affecting adoption of climate change adaptation strategies: evidence from northwestern Ethiopia. *Heliyon*, 6(4), Article e03867. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03867>
- Miah, M. A. M., Bell, R. W., Haque, E., Rahman, W., Sarkar, A. R., & Rashid, M. A. (2023). Conservation agriculture practices improve crop productivity and farm profitability when adopted by Bangladeshi smallholders in the Eastern Gangetic Plain. *Outlook on Agriculture*, 52(1), 11–21. <https://doi.org/10.1177/00307270221150830>

- Mugumaarhahama, Y., Mondo, J. M., Cokola, M. C., Ndjadi, S. S., Mutwedu, V. B., Kazamwali, L. M., Cirezi, N. C., Chuma, G. B., Ndeko, A. B., Ayagirwe, R. B. B., Civava, R., Karume, K., & Mushagalusa, G. N. (2021). Socio-economic drivers of improved sweet potato varieties adoption among smallholder farmers in South-Kivu Province, DR Congo. *Scientific African*, 12, Article e00818. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00818>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023, julio). *Perspectivas de cosechas y situación alimentaria* (No. 2). <https://doi.org/10.4060/cc6806es>
- Oyetunde-Usman, Z., Olagunju, K. O., & Ogunpaimo, O. R. (2021). Determinants of adoption of multiple sustainable agricultural practices among smallholder farmers in Nigeria. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(2), 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.10.007>
- Pearson, K. (1900). X. On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 50(302), 157–175. <https://doi.org/10.1080/14786440009463897>
- Prokopy, L. S., Floress, K., Arbuckle, J. G., Church, S. P., Eanes, F. R., Gao, Y., Gramig, B. M., Ranjan, P., & Singh, A. S. (2019). Adoption of agricultural conservation practices in the United States: Evidence from 35 years of quantitative literature. *Journal of Soil and Water Conservation*, 74(5), 520–534. <https://doi.org/10.2489/jswc.74.5.520>
- Pulkstenis, E., & Robinson, T. J. (2004). Goodness-of-fit tests for ordinal response regression models. *Statistics in Medicine*, 23(6), 999–1014. <https://doi.org/10.1002/sim.1659>
- R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing* (4.2.1). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Ranjan, P., Gordon Arbuckle, J., Church, S. P., Eanes, F. R., Floress, K., Gao, Y., Gramig, B. M., Singh, A. S., & Prokopy, L. S. (2022). Understanding the relationship between land tenure and conservation behavior: Recommendations for social science research. *Land Use Policy*, 120, Article 106161. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106161>
- Rossi Borges, J. A., Foletto, L., & Teixeira Xavier, V. (2015). An interdisciplinary framework to study farmers decisions on adoption of innovation: Insights from Expected Utility Theory and Theory of Planned Behavior. *African Journal of Agricultural Research*, 10(29), 2814–2825. <https://doi.org/10.5897/ajar2015.9650>
- Siyum, N., Giziew, A., & Abebe, A. (2022). Factors influencing adoption of improved bread wheat technologies in Ethiopia: empirical evidence from Meket district. *Heliyon*, 8(2), Article E08876. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08876>
- Sunny, F. A., Fu, L., Rahman, S., Pemberai Karimanzira, T. T., & Zuhui, H. (2022). What influences Bangladeshi Boro rice farmers' adoption decisions of recommended fertilizer doses: A case study on Dinajpur district. *PLOS ONE*, 17(6), Article e0269611. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269611>
- Syakur, M. A., Khotimah, B. K., Rochman, E. M. S., & Satoto, B. D. (2018). Integration K-Means clustering method and elbow method for identification of the best customer profile cluster. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 336, Article 012017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/336/1/012017>
- Thompson, N. M., Bir, C., Widmar, D. A., & Mintert, J. R. (2019). Farmer perceptions of precision agriculture technology benefits. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 51(1), 142–163. <https://doi.org/10.1017/aae.2018.27>
- Thorndike, R. L. (1953). Who belongs in the family? *Psychometrika*, 18(4), 267–276. <https://doi.org/10.1007/BF02289263>

- Wainaina, P., Tongruksawattana, S., & Qaim, M. (2016). Tradeoffs and complementarities in the adoption of improved seeds, fertilizer, and natural resource management technologies in Kenya. *Agricultural Economics*, 47(3), 351–362. <https://doi.org/10.1111/agec.12235>
- Wilcoxon, F. (1945). Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), 80–83. <https://doi.org/10.2307/3001968>
- Zeng, Y., Tian, Y., He, K., & Zhang, J. (2020). Environmental conscience, external incentives and social norms in rice farmers' adoption of pro-environmental agricultural practices in rural Hubei province, China. *Environmental Technology*, 41(19), 2518–2532. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1574907>