

Impacto del uso de recursos productivos y del agua en la economía de agricultores de arroz en el norte del Perú

Impact of use of productive resources and water on the economy of rice farmers in Northern Perú

Waldemar Mercado; Heros-Aguilar, E.; Duber Chinguel Labán;
Carlos Alberto Minaya Gutiérrez; Melani Salcedo

Universidad Nacional Agraria La Molina, UNALM, Apartado postal 12-056, La Molina, Lima, Perú.

Autor correspondal: wmercado@lamolina.edu.pe (W. Mercado).

ORCID de los autores:

W. Mercado: <https://orcid.org/0000-0001-7167-9581>

D. Chinguel Labán: <https://orcid.org/0000-0002-4449-2348>

M. Salcedo: <https://orcid.org/0009-0009-5572-3971>

E. Heros-Aguilar: <https://orcid.org/0000-0002-0179-3124>

C. A. Minaya Gutiérrez: <https://orcid.org/0000-0003-1691-6585>

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el desempeño económico del uso de recursos productivos y del agua en sistemas de siembra directa e indirecta (trasplante) en el cultivo del arroz, además contrastar experimentos de asignación de agua de riego y su aplicación en parcelas de agricultores. El estudio abordó las campañas agrícolas 2019, 2020 y 2021 en la Provincia de Ferreñafe, Lambayeque-Perú y usa datos primarios de encuestas aplicadas a 272 productores, registros de experimentos con tres tipos de riego y de parcelas de productores, con ellos se calcularon costos de producción y rentabilidad del cultivo. Se evidencia que en la cosecha 2019 la siembra directa mostró menor costo de producción (1.228,6 USD/ha) que la siembra indirecta (1.734,1 USD/ha), y generó mayor utilidad económica (599,0 USD/ha) comparado con siembra indirecta (289,6 USD/ha). Para el 2021 el costo de producción fue similar al 2019, pero los rendimientos fueron superiores debido a la ausencia de plagas, el 2020 los experimentos tuvieron costos elevados. Se concluye que las políticas públicas deben promover la siembra directa pues utilizan menos agua de riego y tienen mayor rentabilidad, y para el uso del agua de riego en siembra indirecta deben aplicarse instrumentos económicos para la asignación del recurso.

Palabras clave: arroz; eficiencia hídrica; costo de producción; desempeño económico; desafíos agrícolas; rendimiento; beneficio-costo.

ABSTRACT

The aim was to evaluate the economic performance of the use of productive resources and water in direct and indirect seeding systems (transplanting) in rice cultivation, as well as to contrast experiments of irrigation water allocation and its application in farmers' plots. The paper addressed the agricultural campaigns 2019, 2020 and 2021 in the Province of Ferreñafe, Lambayeque-Peru and uses primary data from surveys applied to 272 rice farmers, records of field experiments with which costs were calculated, production and profitability of the crop. It is evident that in the 2019 harvest, direct sowing showed lower production costs (1.228,6 USD/ha) than indirect sowing (1.734,1 USD/ha) and generated greater economic profit (599,0 USD/ha) compared with indirect sowing (289,6 USD/ha). For 2021, the production cost was similar to 2019, but yields were higher due to the absence of pests. In 2020, the experiments had high costs. It is concluded that public policies should promote no-tillage because it uses less irrigation water and have greater profitability, and for the use of irrigation water in indirect sowing, economic instruments must be applied for the allocation of the resource.

Keywords: rice; water efficiency; production cost; economic performance; agricultural challenges; yield; benefit-cost.

Recibido: 19-06-2024.

Aceptado: 10-12-2024.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) tiene importancia como alimento básico para cerca de la mitad de la población mundial, su cultivo ocupa 11% de la tierra arable global (Andrade et al., 2014; Hube et al., 2021) y genera 10,5% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) agrícolas (Faostat, 2023), siendo necesario maximizar los ingresos de los agricultores y minimizar los efectos negativos sobre el ambiente (White et al., 2020). El cultivo consume la mayor cantidad de agua en el mundo (Tang et al., 2023), usa altas tasas de fertilizantes y pesticidas que generan problemas ambientales y sociales a largo plazo (Smith et al., 2018; He et al., 2024; Soltani et al., 2010; Tayefeh et al., 2018) dado la escasez de agua y degradación del suelo (Koyro, et al 2022, Zobeidi, et al 2021), y los costos que deben enfrentar los agricultores (White et al., 2020), pues muchos de ellos no tienen acceso al financiamiento formal y requieren contratar mano de obra para el trasplante (Soullier & Moustier, 2021), si bien que se espera que la tecnología pueda reducir costos de producción, aumentar los rendimientos y la sostenibilidad del cultivo (Yang et al, 2022).

Las prácticas de riego por inundación continua generan agotamiento del recurso hídrico y aumento de costos (Luo et al., 2022), siendo que las siembras directas consumen menos agua y menos mano de obra que repercute en menor costo de producción (Heros et al., 2023). Pulver (2019) señala que la aplicación integrada en la siembra, el control de plagas, la fertilización equilibrada y la eficiencia en el agua de riego permiten aumentar los rendimientos sin mayores costos de producción.

El Perú se destaca como uno de los países con mayor producción de arroz en Sudamérica, con crecimiento notable desde 1970 (Joseph et al., 2023), siendo un alimento de consumo diario en los hogares de todo nivel socioeconómico debido a su bajo precio, su capacidad de provocar saciedad y fácil manejo culinario, que se refleja en el consumo per cápita de 75,3 kg/año (FAO, 2023), pero también genera 1.791 GgCO_{2eq} de GEI que representan 6.0% de las emisiones del sector agropecuario para el 2019 (MINAM, 2023).

La producción de arroz en Perú ha sido creciente, pasando de 113 mil t en 1950 a 3.367 mil t en 2023. En el 2023 la producción se localiza en la selva y costa norte (42% del total en cada uno), en Arequipa (8%)

y otros nueve departamentos (8%) (MIDAGRI, 2024). Su expansión significó el aumento del área cosechada de 42 mil ha en 1950 a 417 mil ha en 2023, ese último año ocupa alrededor de 150 mil trabajadores y el 66% de las unidades productivas tienen menos de cinco hectáreas (MIDAGRI, 2024). La expansión del cultivo está directamente relacionada con el crecimiento de la población urbana, su bajo precio, la capacidad de proporcionar sensación de saciedad inmediata y facilidad de uso en la cocina; por lo que el producto se ha convertido en un alimento de consumo diario en hogares de todos los niveles socioeconómicos y que se refleja en el aumento del consumo per cápita en Perú, que pasó de 63,5 kg en 2011 a 75,7 kg en 2023 (MINAGRI, 2011; FAO, 2023). Sin embargo, el IV Censo Nacional de Arroz (2019) recoge el descontento de los productores debido a los bajos precios, los altos costos de producción y la presencia de plagas que lo afectan (MINAGRI, 2019). El año 2023, el Departamento de Lambayeque produjo 406 mil t, 12% del arroz nacional, con 8,6 t/ha de rendimiento, siendo el tercer departamento con mayor producción y donde existen escasas precipitaciones con media de 18 mm (MINAGRI, 2024). La mayoría de productores son minifundistas y manejan pozas inundadas con agua de riego, siendo los factores limitantes al desarrollo del cultivo el inadecuado uso de insumos que perjudican los rendimientos por ha, altos costos de producción, la baja rentabilidad, y deficiencia en el uso de agua de riego, entre otros. En ese sentido, el estudio revisa el uso de insumos productivos en el cultivo de arroz y del agua de riego, considerando los costos de producción e indicadores económicos para generar información de base, dado los desafíos productivos, económicos y ambientales que presenta el cultivo de arroz en la costa norte del Perú, y evidencia además la aplicación de tratamientos ahorradores de agua sobre las parcelas demostrativas de los agricultores locales.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el desempeño económico del uso de recursos productivos y del agua en el cultivo de arroz, considerando los sistemas de siembra que predominan en la Provincia de Ferreñafe, Lambayeque, Perú. Este estudio permite generar evidencia del uso de recursos productivos y del agua en el cultivo.

METODOLOGÍA

El estudio se realizó para las campañas agrícolas 2019, 2020 y 2021 en la Provincia de Ferreñafe, Lambayeque, que posee extensión de 1.578 km², es 11% del Departamento de Lambayeque y se localiza a 790 km al norte de la ciudad de Lima (Figura 1). Según el Censo 2017 (INEI), Ferreñafe cuenta con población de 97 mil habitantes, siendo 43% de la población rural, su economía tiene base en la actividad agropecuaria, y los distritos costeros (Ferreñafe, Pueblo Nuevo y Mesones Muro) presentan relieve llano, alternando valles, pampas y estribaciones andinas de poca elevación, los suelos son franco arcillo arenoso, arcilla, arena, etc., y las aguas para riego proceden del reservorio de Tinajones del Río Chancay, Lambayeque, su produc-

ción mayormente se orienta al mercado. Para el 2019 en Ferreñafe, el arroz tuvo 46% de superficie sembrada (14 mil ha), seguido del maíz con 34%, trigo 4,0%, camote 4%, y cultivos menores (arveja, yuca, papa, etc.) con 12% del total, la producción de arroz fue 78 mil t (32% de la producción regional) (MINAGRI, 2024). La población de agricultores fue 10.848 (INEI, 2012) con 4.165 productores de arroz de la Comisión de Usuarios del Subsector de Riego de Ferreñafe con 16 Comités de Riego, clasificados según categoría del CENAGRO (1994) en pequeño productor con predio menor a 2,9 ha con 2.705 productores (65% del total), mediano con 3,0 a 9,9 ha con 1.460 integrantes (35% del total) (Comisión de Usuarios del Subsector de Riego de Ferreñafe, 2020).

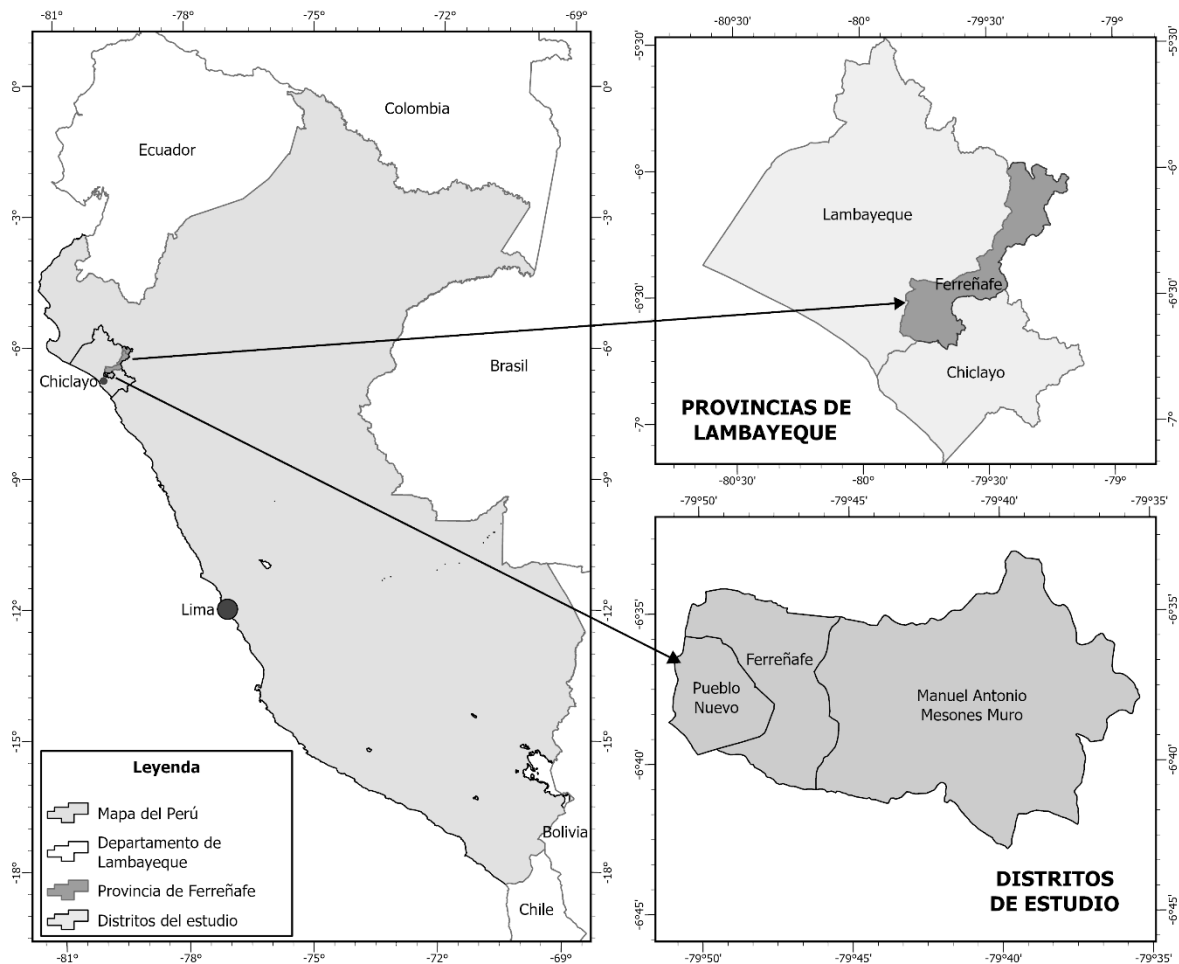


Figura 1. Mapa de la provincia de Ferreñafe y distritos en estudio.

Para aplicar los cuestionarios se obtuvo una muestra de tipo probabilística estratificada con asignación proporcional, donde cada estrato fue el distrito y tipo de productor (Tabla 1) de 12 canales de riego (L), según propuesto por Bai et al. (2013, como se citó en Wolock et al., 2024) (ver ecuación 1).

$$n = \frac{\sum_{h=1}^L W_h s_h^2}{e^2 + \frac{1}{N} \sum_{h=1}^L W_h s_h^2} \quad (1)$$

Donde n: Muestra; N: Tamaño poblacional 4.165; W_h : Coeficiente de ponderación al estrato h-ésimo; s_h : Cuasivarianza poblacional al estrato h-ésimo; L: Subpoblaciones denominadas estrato; e: 0,65; z: 1,96; d: 0,10.

Los datos primarios provienen de cuestionarios aplicados a 272 productores de arroz de la campaña 2019; registros de parcelas experimentales con tres tipos de riego en la campaña 2020; y registros de tres parcelas de productores en la campaña 2021. El cálculo de costos de producción considera: (i)

productores de arroz con siembra directa (36 encuestas) e indirecta (236 encuestas) (campaña 2019); (ii) experimentos con tres tratamientos de riego (campaña 2020), T1, alterna inundación y secado a 5 cm, que usó el piezómetro cuando el pelo de agua se encontraba a 5 cm por debajo de la superficie se repone el riego a condición de inundación; T2, alterna inundación con secado 10 cm debajo de la superficie del suelo, y T3, riego por inundación. El piezómetro es un tubo de policloruro de vinilo (PVC) que se introduce 15 cm debajo la superficie del suelo (Figura 2). Los tratamientos T1 y T2 alternan humedecimiento y secado suave (AWD siglas en inglés de *Alternate wetting and drying*) para tener el nivel de agua debajo de la superficie del suelo, menor a 15 cm y más de -10kPa de potencial hídrico (definido como un newton por m²) (Ishfaq et al., 2020); (iii) productores que aplicaron el tratamiento T1 (campaña 2021) que alterna secado más inundación y se repone agua si el acuífero se encuentra a 5 cm debajo de la superficie del suelo, y otro con manejo de inundación continua.

Tabla 1

Muestra de productores de arroz en los distritos de la provincia de Ferreñafe

Tamaño de productor	Ferreñafe	Mesones Muro	Pueblo Nuevo	Total	Porcentaje
Pequeño	45	54	72	171	62,9 %
Mediano	9	50	42	101	37,1 %
Total	54	104	114	272	100,0 %
Porcentaje	19,9 %	38,2 %	41,9 %	100,0 %	

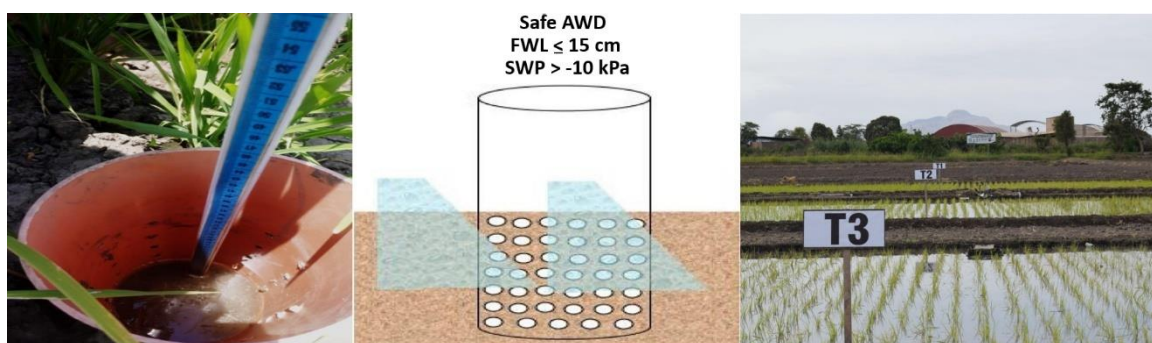


Figura 2. Tubo de PVC en que se monitoreó agua del acuífero (izquierdo). Categoría de AWD seguro caracterizado por nivel de agua debajo de la superficie del suelo menor a 15 cm y más de 10kPa de potencial hídrico (centro). Tratamientos a nivel experimental (derecho).

Nota: El experimento se realizó en la Estación Vista Florida del Instituto Nacional de Innovación Agraria, 79°46'49" longitud Oeste y 6°43'34" latitud Sur a 30 m.s.n.m del Distrito de Picsi, Chiclayo, suelo de clase textural arcillosa pH 7,56, materia orgánica media 1,78%, contenido de fósforo alto 17,9 ppm, potasio alto 425 ppm, con cultivar IR-4 semienano adaptado a condiciones de costa. Los tratamientos fueron en parcelas aisladas para evitar la influencia de filtración lateral de agua; la variable rendimiento se analizó con la prueba "*t Student*" con significancia de 5%, y con *software* RStudio e *IBM SPSS Statistics* 25.

El cálculo de costos de producción por ha usa supuestos similares para todos los casos y así evitar la distorsión del cálculo, entre ellos que, el precio al productor es 1,1 Soles/kg de arroz cáscara (promedio 2019-2020); toda la cosecha se vende a granel; se asigna costos de oportunidad a la tierra (como alquiler), a la mano de obra (pago de jornal), al agua (por mantenimiento de infraestructura), al dinero invertido (tasa de interés). Además, se utiliza la plataforma del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) para calcular los costos de producción en el cultivo de arroz (Tabla 2). Las estadísticas descriptivas permitieron caracterizar atributos productivos, económicos y sociales de los productores encuestados, además se calculó diversos indicadores de desempeño económico por ha (ver ecuaciones 2 al 7).

$$\text{Utilidad bruta} = \text{Ingreso bruto por venta} - \text{Costos de producción} \quad (2)$$

Es el resultado de deducir de los ingresos generados por las ventas menos el costo de producción del cual dependerá el desempeño del cultivo.

$$\text{Utilidad económica} = \text{Utilidad bruta} - \text{Costo de oportunidad de la tierra} \quad (3)$$

Resulta de deducir de la utilidad bruta, el costo de oportunidad de la tierra como elemento económico como necesario para continuar emprendiendo la actividad económica.

$$\text{Margen de utilidad bruta} = \frac{\text{Utilidad bruta}}{\text{Ingresos bruto de venta}} \quad (4)$$

Es el porcentaje de utilidad bruta respecto a los ingresos bruto de venta del producto.

$$\text{Margen de utilidad económica} = \frac{\text{Utilidad económica}}{\text{Ingresos bruto de venta}} \quad (5)$$

Es el porcentaje de utilidad económica respecto al ingreso bruto por venta del producto.

$$\frac{B}{C} \text{ bruto} = \frac{\text{Ingreso bruto por venta}}{\text{Costos de producción por ha}} \quad (6)$$

Determina la conveniencia de un proyecto a partir de beneficios y costos incurridos, si el $B/C > 1$ la actividad es rentable, si el $B/C < 1$ no es rentable (Aguilera, 2017).

$$\frac{B}{C} \text{ económico} = \frac{\text{Ingreso bruto por venta}}{\text{Costos de producción / ha} + \text{Costos de oportunidad de la tierra}} \quad (7)$$

Determina la conveniencia de un proyecto a partir de beneficios y costos derivados de él, deduciendo para ello el costo de oportunidad del recurso productivo (de la tierra).

Asimismo, se evaluó la estructura de costos de producción de arroz de las campañas 2019, 2020 y 2021 con diferentes tipos de siembra y riego a fin de evidenciar la rentabilidad del cultivo; se usó el estadístico *t student* para comparar medias grupales en rendimientos, costos de producción y utilidad económica, contrastado con el p-valor < 0,05. Para evaluar el aporte económico del uso de agua se usó análisis de correlación y regresión lineal.

Tabla 2

Rubros de costos de producción de arroz por actividad en la plataforma CIAT

Adecuación del terreno	Preparación y adecuación del suelo para siembra, nivelación, quema y otras prácticas para optimizar las condiciones del terreno de cultivo.
Siembra	Etapas de la plantación de semillas o plántulas en el terreno preparado.
Fertilización y manejo fitosanitario	Aplicación de nutrientes para crecimiento de plantas a fin de mejorar la fertilidad del suelo, y prácticas destinadas a prevenir, controlar y mitigar enfermedades, plagas y malezas que puedan afectar al cultivo.
Riego	Suministro controlado de agua al cultivo para su crecimiento y obtención del producto. La gestión del riego es crucial para optimizar su uso.
Cosecha y postcosecha	Recolección del cultivo en la madurez, y actividades postcosecha para preservar los productos para su comercio, incluyendo el transporte.
Indirectos	Gastos que no están directamente relacionados con una actividad específica.

Fuente: Andrade Robert et al. (2019), CIAT.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los productores de arroz

De los 272 productores encuestados de la campaña 2019, el 95% fueron hombres con edad promedio de 58 años y 5% mujeres con edad promedio de 54 años, la experiencia en el cultivo de arroz promedio es 24 años; el 35% señala ingreso mensual de un salario mínimo legal (S/ 930 soles, equivalente a USD 278), el 50% entre S/. 930 a S/. 2.000 (USD 278 a 599), y 15% ingresos mayores a S/. 2.000 (más de USD 599), predominando los productores de bajos ingresos. La tierra es un factor clave para el proceso productivo (Massiris, 2018), el 19% es propio y 81% alquilado. El tipo de siembra es indirecta (con trasplante) en 87% de casos, el 71% cosecha el mes de junio y 29% en mayo. Las variedades usadas son la IR-43 en 45% de casos, Mallares 35%, Galán 11%, Tinajones 3% y La Puntilla 2%, y 4% mezclan dos cultivares (Pompeyo + Mallares; Mallares + IR-43; Mallares + Galán; Mallares + Tinajones; y Galán + Mallares). Las maquinarias son principalmente alquiladas (Tabla 3), el financiamiento proviene de los molinos con el compromiso del prestatario de venderle la producción. El 83% de productores son casados o convivientes, el 51% hizo algún estudio de nivel secundario, y 62% participaron en capacitación sobre el cultivo los años 2018 y 2019.

Costos de producción de arroz e indicadores de desempeño

La Tabla 4 presenta los resultados de los costos de producción e indicadores económicos en el cultivo del arroz para productores de la cosecha 2019 (cuestionarios aplicados), 2020 (experimentos) y 2021 (registros de productores), por tipo de siembra (directa e indirecta), tipo de riego, tipo de productor (pequeño y mediano), entre otros.

Para la cosecha 2019 se muestra que en productores pequeños y medianos a, b, c y d (Tabla 4), la siembra directa presenta menor costo de producción que la siembra indirecta (4.103,5 soles/ha versus 5.791,9 soles/ha), como en el caso del Departamento de Lambayeque (Linares & Quiroz, 2020); y la siembra directa tiene menor rendimiento (7,1 t/ha versus 7,7 t/ha), no obstante, la utilidad bruta es mayor en siembra directa (3.712,9 versus 2.679,2 soles/ha), así como la utilidad económica, que se refleja en el margen de utilidad bruta como ganancias de 47,2%

(versus 31,5%), y margen de utilidad económica (descontando el costo de oportunidad de la tierra); ello también se refleja en el indicador beneficio/costo (B/C) bruto (1,89 versus 1,46) que significa que por cada sol invertido los resultados son positivos en 89 centavos en siembra directa versus 46 centavos por siembra indirecta, y el B/C económico positivo en 34 centavos en siembra directa y 13 centavos en siembra indirecta. Los productores pequeños y medianos de siembra directa (a y b, Tabla 4), muestran mejor desempeño económico respecto a los de siembra indirecta (c y d, Tabla 4).

Los costos de producción por ha de agricultores pequeños y medianos de siembra directa (a y b, Tabla 4) son menores a los de siembra indirecta (d y b, Tabla 4); los productores pequeños tienen menor rendimiento en siembra directa e indirecta (a y c, Tabla 4), no obstante, la utilidad bruta y utilidad económica de ellos son mayores a los de siembra indirecta (c y d, Tabla 4), que se expresan en los indicadores económicos (productores a y b versus c y d, Tabla 4), ese mejor desempeño se debe al menor costo de producción. Los gastos de los productores a y b (de siembra directa) comparados con c y d (de siembra indirecta) son el agua de riego (31,8% siembra directa y 23,5% indirecta), la fertilización y manejo fitosanitario (29% siembra directa y 32,3% indirecta), adecuación del terreno (15,2% siembra directa y 14,6% indirecta), actividades de siembra (6,5% directa y 13,9% indirecta), costos indirectos (10,4% siembra directa y 10,1% indirecta), y cosecha y postcosecha (6,9% siembra directa y 5,2% indirecta) (Tabla 4).

Sobre lo expuesto, Chiclla & Ruíz (2021), señalan que los pequeños y medianos productores de arroz, del Departamento de La Libertad, no suelen planificar un presupuesto de producción, por lo que desconocen el monto del costo total de producción. Asimismo, Linares & Quiroz (2020), sostienen que los productores del Departamento de Lambayeque tampoco consideran los riesgos asociados a la producción, por lo que es común que estos agentes obtengan recursos de prestamistas informales, lo que conlleva a que estos reciban insumos de baja calidad, enfrentando altas tasas de interés y mermando sus beneficios económicos, tanto en casos de siembra directa como indirecta.

Tabla 3

Características de productores de arroz en la Provincia de Ferreñafe (2019)

Uso de maquinarias	Propia	Alquilada	Otras fuentes de uso
Para preparación de la tierra	2 %	98 %	
Para nivelación del terreno	2 %	98 %	47 % Laser, 33 % Rufa, 11 % mula mecánica, no usa 9%
Equipos de aplicar herbicidas	18 %	42 %	37 % Manual, no usa 3%.
Equipos aplicar insecticidas	24 %	57 %	Otro 12 %, no usa 7 %.
Aspectos económicos			
Alquiler terreno (Soles/ha)			Promedio S/ 1.700
Financiamiento	Propio 47 %	Préstamo 53 %	Molino 26 %, financiera 23 %, otros 4 %.
Préstamo promedio por ha	S/ 5.112 en siembra indirecta		S/ 4.651 en siembra directa
Tasa de interés por mes	Formal: 3,0 %	Acopiador 5,0 %	Empresa financiera 2,5 %
Aspectos sociales			
Estado civil	Soltero 12 %	Viudo, div. 5%	Casados o convivientes 83 %
Nivel de instrucción (completo o incompleto)	Primaria 30 %	Secundaria 51 %	12 % estudio técnico, 9 % superior universitario.
Participa en capacitación	Sí 62%	No 38 %	Promedio 3 veces / 2 años.

Fuente: Encuestas a 272 productores de arroz en la Provincia de Ferreñafe (diciembre 2019).

Tabla 4

Resultados económicos según tipo de siembra, tipo de productor y de campos experimentales en el cultivo de arroz en Ferreñafe

Año	2019				2020			2021	
Tipo de siembra	Siembra Directa				Siembra Indirecta				
Fuente de información	Encuesta a productores ¹				Experimento controlado en parcelas ²			Registro productores ³	
Tipo de riego	Inundación continua				Con secado a 5 cm	Con secado a 10 cm	Inundación continua	Con secado a 5 cm	
Tipo de productor	Pequeño (a)	Mediano (b)	Pequeño (c)	Mediano (d)	T1 (e)	T2 (f)	T3 (g)	Productor (h)	Productor (i)
1. Rendimiento total en kg	6.650,0	7.943,3	7.700,0	7.779,0	9.244,0	7.847,0	10.175,0	11.450,0	9.705,0
2. Precio por kg (Sol/kg)	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
3. Ingresos bruto de venta (S/.) (1*2)	7.315,0	8.737,6	8.470,0	8.556,9	10.168,4	8.631,7	11.192,5	12.595,0	10.675,5
4. Costo producción (Soles/ha)	3.917,8	4.456,7	5.655,3	6.079,2	15.446,8	14.798,8	16.358,8	6.567,0	6.567,0
5. Utilidad bruta (S/.) (3-4)	3.397,2	4.280,9	2.814,7	2.477,7	-5.278,4	-6.167,1	-5.166,3	6.028,0	4.108,5
6. Costo de oportunidad de la tierra (S/./ha)	1.718,4	1.718,4	1.718,4	1.718,4	1.718,4	1.718,4	1.718,4	1.718,4	1.718,4
7. Utilidad económica (Soles) (5-6)	1.678,8	2.562,5	1.096,3	759,3	-6.996,8	-7.885,5	-6.884,7	4.309,6	2.390,1
8. Margen utilidad bruta (5/3)	46,4%	49,0%	33,2%	29,0%	-51,9%	-71,4%	-46,2%	47,8%	36,4%
9. Margen utilidad económico (7/3)	23,0%	29,3%	12,9%	8,9%	-68,8%	-91,4%	-61,5%	34,2%	19,6%
10. B/C bruto (3/4)	1,87	1,96	1,50	1,41	0,66	0,58	0,68	1,93	1,61
11. B/C económico (3/(4+6))	1,30	1,41	1,15	1,10	0,59	0,52	0,62	1,52	1,28
Rubros de costos del CIAT (%)									
A. Adecuación del terreno	15,0%	15,6%	15,6%	13,1%	20,0%	20,9%	19,1%	12,2%	12,2%
B. Siembra	6,7%	6,1%	14,2%	13,6%	3,1%	3,2%	2,9%	13,9%	13,9%
C. Fertilización y fitosanitario	31,3%	25,4%	32,7%	31,9%	59,3%	57,2%	60,8%	32,1%	32,1%
D. Riego	30,2%	34,6%	22,3%	25,8%	8,3%	9,2%	8,4%	20,2%	20,2%
E. Cosecha y postcosecha	6,8%	7,1%	4,8%	5,9%	5,4%	5,5%	5,2%	8,2%	8,2%
F. Costos indirectos	10,0%	11,2%	10,4%	9,7%	3,8%	4,0%	3,6%	13,3%	13,3%
Valores en dólares americanos USD ⁴									
Precio (USD/kg)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Ingreso bruto venta (USD/ha) (1*2)	2.192,4	2.618,8	2.538,6	2.564,7	2.909,5	2.469,8	3.202,5	3.248,7	2.753,6
Costos producción (en USD/ha)	1.174,1	1.335,8	1.695,1	1.822,0	4.419,7	4.234,3	4.680,7	1.693,9	1.693,9
Utilidad bruta (USD/ha) (3-4)	1.018,2	1.283,1	843,6	742,6	-1.510,3	-1.764,6	-1.478,2	1.554,8	1.059,7
Costo oportunidad de tierra (USD/ha)	515,0	515,0	515,0	515,0	515,0	515,0	515,0	515,0	515,0
Utilidad económica (USD/ha) (5-6)	503,2	768,0	328,6	227,6	-2.002,0	-2.256,3	-1.969,9	1.111,6	616,5

Fuente: 1/ Encuestas a 272 productores de arroz en Ferreñafe, 171 a pequeños productores (menos de 3 ha) y 101 a medianos productores (más de 3 a 10 ha) (campaña 2019). 2/ Experimentos en campo, T1: con inundación a 5 cm de la superficie; T2: con inundación a 10 cm de la superficie; T3 con inundación continua (campaña 2020). 3/ Registros de actividades y costos de tres productores pequeños con monitoreo (promedio de la campaña 2021). 4/ Promedio tipo de cambio 1 USD = 3,34 soles el 2019; 1 USD = 3,49 soles el 2020; y 1 USD = 3,88 soles el 2021, Banco Central de Reserva del Perú.

Los resultados experimentales del año 2020 (T1, inundación con secado a 5 cm debajo de la superficie del suelo; T2, inundación con secado a 10 cm; y T3, inundación continua) reflejan mayor rendimiento respecto de los productores del año 2019 (a, b, c y d, Tabla 4), pero menor desempeño en relación a los productores independientes del 2021 (h e i, Tabla 4). Los rendimientos son mayores con inundación continua (10,2 t/ha, T3 g, Tabla 4), pero muestran reducción si se alterna humedecimiento y secado a 5 cm (9,2 t/ha, T1 e, Tabla 4), y menor aún a 10 cm (7,8 t/ha, T2 f, Tabla 4), siendo que la cantidad de agua de riego afectan rendimientos del cultivo.

Sobre el impacto del uso del agua en rendimientos y costos de producción de arroz, Kaur et al. (2024), en el caso de la India, demuestran, a partir de experimentos, que retrasar el inicio de siembra y el programa de riego, en la siembra directa, no reduce significativamente el rendimiento, pero que ello contribuye a ahorrar agua, reducir costos y disminuir la huella hídrica, en línea con los resultados de este estudio.

En los tres tratamientos (T1, T2 y T3) el costo de producción es mayor a los ingresos obtenidos por venta de la cosecha, por ende, la utilidad bruta y

económica es negativa (T1 e, T2 f, T3 g, Tabla 4), así como los indicadores B/C bruto y el B/C económico (T1 e 0,59, T2 f 0,52, y T3 g 0,62, Tabla 4) que por cada sol invertido se pierde 0,41 centavos en el T1 e, 0,48 en el T2 f, y 0,38 en el T3 g; si ello fuera para un proyecto de inversión privada no se recomendaría su implementación. Los costos experimentales son altos debido a los diseños experimentales y parcelación del campo, la instalación de tratamientos, la protección biótica, los muestreos continuos para evaluar las variables agronómicas y fisiológicas, entre otros, pues estos buscan mejorar los rendimientos, los ingresos y la sustentabilidad del cultivo a largo plazo, por ello, los costos del desarrollo de una tecnología no son comparables con los costos de producción de cultivos comerciales y de agricultores en una campaña.

En los productores independientes de siembra indirecta (cosecha 2021), el costo de producción promedio es 6.567,0 soles/ha (h, Tabla 4), similar al productor mediano del año 2019 (productor d), pero el 2021 los rendimientos fueron mayores (11,45 t/ha versus 7,78 t/ha, productores h y d, Tabla 4), esto es así porque el cultivo se desarrolló en condiciones climáticas óptimas y en ausencia del ataque del virus

de la hoja blanca, y esos resultados se expresan en la utilidad bruta de 6.028,0 soles/ha, la utilidad económica de 4.309,6 soles/ha, y en el B/C bruto de 1,93 y B/C económico de 1,52. Así, el incremento en los rendimientos del año 2021 ocasionó mejor desempeño económico de estos productores sin causar presión a los costos de producción (productor h, Tabla 4).

En siembra indirecta con secado a 5 cm de la superficie del suelo, en los productores independientes (i, Tabla 4) y el tratamiento T1 (e, Tabla 4) sus rendimientos son similares (9.705 t/ha productor i y 9.244 t/ha T1, e, Tabla 4), pero menores a la inundación continúa, 15,2% menos en productores independientes (i versus h, Tabla 4) y 9,1% menos en parcelas experimentales (T1, e versus T3, h, Tabla 4). Así, para el productor i (Tabla 4) el costo de producción promedio de 6.567,0 soles/ha genera B/C bruto de 1,61 y B/C económico de 1,28, y por cada sol invertido los resultados son positivos en 61 ó 28 centavos respectivamente, dependiendo del indicador en evaluación.

En los costos de los experimentos destacan las actividades de fertilización y manejo fitosanitario, y la adecuación del terreno que en conjunto comprenden, en T1 e el 79,3% del costo total, en T2 f el 78,1%, y en T3 g el 79,9% del costo total (Tabla 4), a diferencia de los agricultores (a, b, c, d, h, i, Tabla 4) que los costos se vinculan a la fertilización y manejo fitosanitario, riego, y adecuación del terreno que son 70,5% del total.

Dendup et al. (2018) compararon 4 métodos de siembra, transplante en hileras y al azar con siembra directa mecanizada y al voleo, los resultados indican que los métodos de siembra no presentan diferencias significativas en los rendimientos que estuvieron entre 3,10 a 4,03 t/ha, sin embargo, los costos de siembra fueron superiores en condiciones de transplante, que alcanzaron USD 338 (hileras) y al azar USD 298, versus a la siembra directa que fueron USD 158 (mecanizada) y al voleo USD 197. La ventaja de costos en siembra directa fue de 53% (mecanizada), 42% (al voleo) y de 12 % en el transplante en hileras al compararlos con el transplante al azar, concluyendo que la siembra directa debe promoverse por ser más rentable y sustentable, como en el caso de Ferreñafe.

Chanda et al. (2019) analizan para Bangladesh los costos y beneficios en tres tipos de arroz. El tipo Aman de variedad local tiene costo de producción de USD 497,3 y rendimiento de 2,5 t/ha, y con variedad de alto rendimiento el costo es USD 536,9 con rendimiento de 4,2 t/ha. El tipo Boro incluyen variedades de alto rendimiento-VAR e híbridos-H con

costos de producción de USD 786,0 (VAR) y 809,6 para los híbridos-H con rendimientos de 6,0 y 6,4 t/ha respectivamente. El costo de producción en el tipo AUS para VAR es USD 529,0 y el rendimiento de 3,5 t/ha. Los tipos Boro (VAR y H) y Aman (VAR) presentaron menor costo por kilo de arroz con valor de USD 0,13, el tipo AUS (VAR) con USD 0,15 y el tipo Aman de USD 0,20, así los tipos Aman y AUS son más recomendables por usar menos agua y tener menor riesgo por inundaciones tempranas, tal como sucede para siembra directa en la zona de estudio, siendo los costos de producción de Perú más altos USD 1.323,0 (en promedio de agricultores encuestados) al comparar con las VAR (USD 536,9) en un 147%; pero se debe considerar que los rendimientos promedio de los cuatro tipos de agricultores encuestados en Perú son más altos (7,52 t/ha) alcanzando una superioridad del 79% respecto a los productores de Bangladesh.

Así, los rendimientos y costos de producción deben analizarse considerando todos los elementos que intervienen en el sistema de producción, como los factores bióticos, abióticos, nivel socio económico de los productores, y la gestión del nitrógeno en interacción con el manejo del agua para reducir el impacto negativo de la producción de arroz con un horizonte de sustentabilidad.

Las pruebas de comparación de medias muestran los resultados en la Tabla 5. Existen diferencias significativas en la media de rendimientos (en t/ha) del año 2020 y 2021 que son superiores al del 2019 ($p=0,019$), pero no hay diferencias significativas entre productores h y i del año 2021 con los experimentos e, f, g del año 2020 ($p=0,265$), y tampoco entre productores de siembra directa a y b con los de siembra indirecta c y d del 2019 ($p=0,565$). Asimismo, existen diferencias en la media de costos de producción de productores a, b, c, d, h, i respecto de los experimentos e, f, g, siendo significativamente superior en este último grupo ($p=2,56E-06$).

En el año 2019 los productores de siembra indirecta c y d tuvieron costos superiores a los de siembra directa a y b ($p=0,039$). En la utilidad económica, los productores a, b, c, d, h, i de los años 2019 y 2021 tuvieron utilidades significativamente superiores respecto a los experimentos e, f, g del año 2020 ($p=6,84E-06$). El 2021 los productores h, i tienen utilidades significativamente superiores respecto a los productores a, b, c y d del año 2019 ($p=0,093$, considerando $p<0,10$), en tanto, no se evidencian diferencias significativas entre productores de siembra directa a y b con los productores de siembra indirecta c y d del año 2019 ($p=0,128$).

Tabla 5
Pruebas de comparación de medias en el cultivo de arroz en Ferreñafe

Variable	Año	Fuente	Media	Variancia	t	p < 0.05
Rendimientos	2019	Productor a, b, c, d	7.518,1	345.183,0	-3,027	0,019 *
	2020-21	Prod. h, i, exp. e, f, g	9.684,2	1 732.111,7		
	2019-21	Productor a, b, c, d, h, i	5.540,5	1 243.711,8	-13,703	2,59E-06 *
Costos de producción	2020	Experimentos e, f, g	15.534,8	614.208,0		
	2019	Siembra directa a, b	4.187,3	145.206,6	-4,900	0,039 *
	2019	Siembra indirecta c, d	5.867,3	89.845,6		
Utilidad económica	2019	Siembra directa a, b	2.120,7	390.462,8	2,523	0,128
	2019	Siembra indirecta c, d	927,8	56.784,5		
	2019	Productores a, b, c, d	1.524,2	623.379,5	-2,188	0,093 *
	2021	Productores h, i	3.349,9	1842.240,1		
	2019-21	Productor a, b, c, d, h, i	2.132,8	1631.250,8	11,870	6,84E-06 *

2020	Experimentos e, f, g	-7.255,7	300.659,1
------	----------------------	----------	-----------

Fuente: Elaborado con cuestionarios 2019, registros de experimentos 2020 y de productores 2021.

Algunos elementos que afectan el desempeño económico de la campaña son:

(i) La rentabilidad que depende de componentes fuera del control de los productores como el clima y el mercado (Alfonse et al., 2018). La Figura 3 muestra que el 2019 hubo menor rendimiento y precio pagado al productor de arroz comparado con años anteriores y posteriores, pues la enfermedad virósica y su vector *Tagosodes orizicolus* afectó en diferentes grados rendimientos y desempeño económico.

(ii) Los productores con siembra directa el 2019 tuvieron mejor desempeño económico que los de siembra indirecta debido al menor costo de producción, esas diferencias están en la adecuación del terreno, la siembra, la fertilización y manejo fitosanitario (Figura 4).

(iii) Los productores independientes 2021 tuvieron buen desempeño económico debido al mayor

rendimiento, pero al disminuir la cantidad de agua el rendimiento es menor. Los experimentos del año 2020 (T1, T2, T3) tuvieron altos costos de producción y los rendimientos dependieron de la cantidad de agua aplicada. La Figura 5 muestra que mayores costos ocurren en la fertilización y manejo fitosanitario en todos los casos, y en los experimentos también se dan en la adecuación del terreno.

(iv) En los costos de producción, el gasto porcentual asignado a la mecanización es menor en relación a los de mano de obra e insumos, lo que reflejaría un bajo nivel de mecanización en el cultivo (Tabla 6), que solo se usa para la adecuación del terreno. En la campaña 2019, los mayores costos estuvieron del lado de los insumos, y en el 2020 y el 2021 fueron en mano de obra para manejo fitosanitario y en la adecuación del terreno.

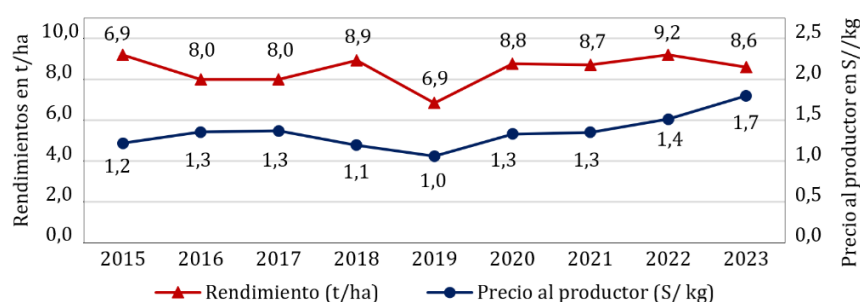


Figura 3. Rendimientos y precios al productor en el cultivo de arroz 2015-2023 en el Departamento de Lambayeque. Fuente: MIDAGRI, Boletín el Agro en Cifras (varios años).

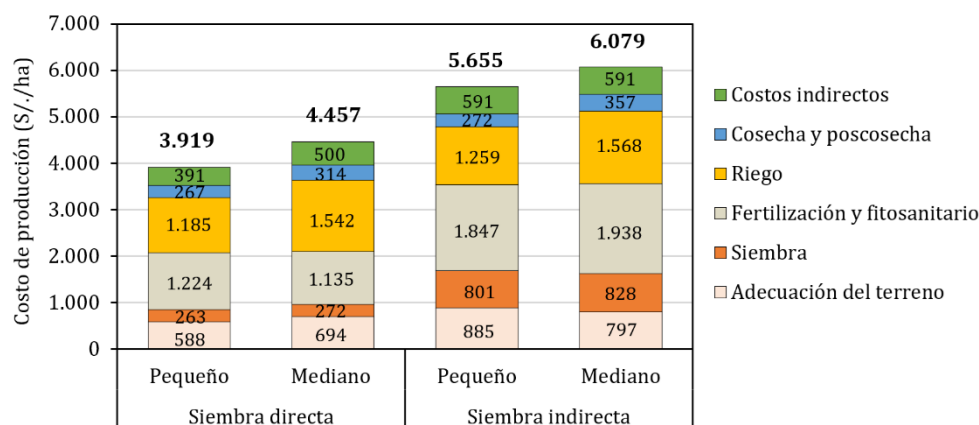


Figura 4. Costos de producción por rubros de actividad en productores de siembra directa e indirecta de la producción del año 2019.

Fuente: Encuesta a 272 productores de arroz en Ferreñafe (diciembre 2019).

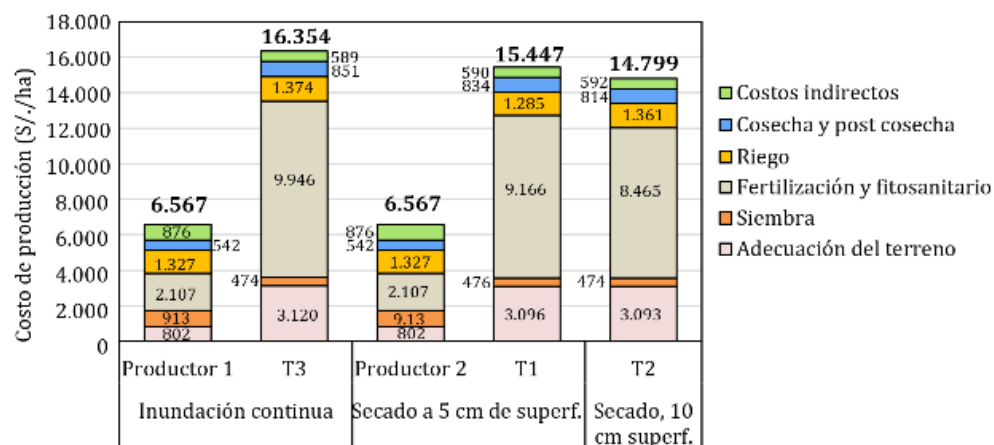


Figura 5. Costos de producción por rubros de actividad siembra indirecta para productores individuales del año 2021 y tratamientos en parcelas del año 2020. Fuente: Registro de productores 2021 y parcelas experimentales 2020 en Ferreñafe.

Tabla 6

Componentes del costo de producción en maquinaria, mano de obra e insumos (en porcentaje) en las campañas 2019 y 2020 del arroz en la provincia de Ferreñafe.

Año	2019				2020			2021	
Tipo siembra	Siembra directa				Siembra Indirecta				
Información	Encuesta a productores ¹				Experimento en parcelas ²			Registro productores ³	
Tipo de riego	Inundación continua				Secado a 5 cm de sup.	Secado a 10 cm de sup.	Inundación continua	Secado a 5 cm sup.	
Tipo de productor	Pequeño (a)	Mediano (b)	Pequeño (c)	Mediano (d)	T1 (e)	T2 (f)	T3 (g)	Productor (h)	Productor (i)
Maquinaria	5,9%	6,2%	5,1%	3,2%	1,5%	1,6%	1,7%	2,2%	2,1%
Mano de obra	30,1%	32,3%	33,7%	36,0%	55,3%	53,6%	51,3%	67,2%	70,1%
Insumos	64,0%	61,5%	61,2%	60,8%	43,2%	44,8%	47,1%	30,7%	27,8%

Fuente. 1/ Encuestas a 272 productores de arroz, 171 pequeños y 101 medianos (campaña 2019). 2/ T1 con inundación a 5 cm de la superficie; T2 con inundación a 10 cm de la superficie; T3 con inundación continua (campaña 2020). 3/ Registros de actividades y costos de productores pequeños (promedio) (campaña 2021).

(v) En el comercio del arroz, los productores abastecen a diferentes agentes, el 95% lo dirige principalmente a los molinos o a sus acopiadores; el 75% lo vende como arroz cáscara al precio del productor (1,03 S//kg el 2019), el 25% como arroz blanco (1,94 S/kg el 2019) generando estos últimos mayor rentabilidad del cultivo debido al precio. En 81% de los encuestados las ventas ocurren sin documento alguno y el 19% emite algún documento legal o no legal, siendo el comercio del arroz altamente informal.

Impacto del recurso agua en el rendimiento, los costos y la rentabilidad

La disponibilidad de agua es el principal factor limitante de la producción agrícola y que podría agravarse por el cambio climático, por ello debe evaluarse la eficiencia de su uso a fin que el recurso hídrico atienda las necesidades de agua de los cultivos en cantidad, calidad y tiempo, por ello su distribución debe utilizar criterios técnicos y económicos a fin de maximizar los rendimientos y beneficio económico para que la producción agrícola sea viable (Billib et al., 2009; Gonzáles et al., 2013; Medrano et al., 2007). Aguillo & ortero (2002), señalan que para evaluar el efecto del recurso agua en los cultivos se requieren datos de los requerimientos productivos, el desempeño económico y la

posibilidad de sustitución de cultivos. La estimación econométrica aplicada con datos transversales del arroz obtiene su mejor ajuste en el modelo lineal, y estima que el impacto del recurso agua en los rendimientos de arroz en Ferreñafe es estadísticamente nulo, lo que también se evidencia en el coeficiente de correlación entre cantidad de agua utilizada (A_g) y el rendimiento (Q) que es cercano a cero (-0,07), así como entre la rentabilidad por ha (R) y cantidad de agua utilizada (A_g) que es negativo (-0,15), en tanto, los demás coeficientes presentan los signos esperados (Tabla 7).

Por tanto, a pesar de que no existen diferencias estadísticas significativas entre el riego por inundación y riego con secado a 5 cm de la superficie en campo (g, h versus e, f, i, Tabla 4), y entre variables de consumo de agua (A_g), rendimientos (Q) y utilidades económicas (R) del cultivo en los años 2020 y 2021, sin embargo, las medias de esas variables son mayores para el cultivo en riego por inundación. La Tabla 8 evidencia que la reducción de agua de riego en 10.0% para la cosecha 2021, disminuye los rendimientos en 12,8% y las utilidades en 7,7%, es decir, propiciar la reducción del agua de riego en el cultivo requiere cierto sacrificio de utilidades, pero ello favorecería la sustentabilidad del recurso hídrico y la reducción de emisiones de GEI agrícolas.

Tabla 7

Matriz de correlaciones y de coeficientes estimados de variables asociadas al rendimiento, costos y rentabilidad en la producción de arroz

	Q	A	S	A_g	C_T	C_A	R
A_g			0,19	1		(0,13)*	(-0,34)*
C_T		0,22	0,08	0,05	1		
C_A		0,34	0,13	0,52	0,17 (0,78)*	1	
R	0,61	-0,1	-0,16	-0,15	-0,53	-0,2	1

Nota: Q: rendimiento en t/ha; A: superficie cosechada por productor; S: cantidad de semillas por ha; A_g : cantidad de agua utilizada; C_A : costo total del agua; C_T : costo total de producción; R: rentabilidad por ha. Los datos en paréntesis son coeficientes estimados por regresión lineal y significancia estadística al 5% (*). Fuente: 251 encuestas a productores de arroz en la provincia de Ferreñafe para la campaña 2019.

Tabla 8

Consumo de agua en cultivo de arroz por tipo de riego en Ferreñafe

Productores independientes	Inundación continua	Con secado a 5 cm de superficie
Consumo de agua (m ³)	16.903,5	15.213,2
Variación consumo agua (%)		10,0%
Rendimiento (kg/ha)	11,45	9,98
Variación rendimientos (%)		12,8%
Ingreso Bruto (Soles)	12.595,0	10.978,0
Costo Producción (Soles)	6.567,0	6.567,0
Utilidad bruta (Soles)	6.028,0	4.411,0
Utilidad Bruta (%)	47,9%	40,2%
Variación Utilidad Bruta (%)		7,7%

Nota: En los experimentos (2020) la reducción de agua en 10% disminuye los rendimientos en 8%.

Fuente: Reporte de los productores independientes (campaña 2021).

Ngammuangtueng et al. (2019) señalan que es previsible que los rendimientos agrícolas tiendan a disminuir debido a competencia por el recurso hídrico. Los resultados indicarían que en Ferreñafe se está sobreutilizando agua de riego, puesto que su precio no refleja la escasez relativa del recurso (este precio final de 0,39 soles/m³, el 2019, incluye una tarifa fija establecida por la Comisión de Regantes y los costos de mantenimiento e infraestructura). Asimismo, el coeficiente de regresión estimado de -0,34 en rentabilidad señala que si la cantidad de agua de riego usada para producir arroz aumenta en una unidad (1 m³), la rentabilidad descende en 0,34 soles. En la Tabla 7 se aprecia que el uso del agua (cantidad) es significativa en la variación del costo total de producción.

En el Perú el sistema de siembra de arroz con trasplante presenta mayores costos de producción debido al uso de mano de obra y alto consumo de agua, más aún si se considera el batido de suelos y las emisiones de metano que deteriora la sostenibilidad del cultivo, por ello, la opción de la siembra directa para reemplazar progresivamente al sistema de trasplante es viable (Heros et al., 2017). White et al. (2020) evaluaron ocho indicadores de desempeño económico y ambiental en el cultivo del arroz en Ferreñafe, identifican que las variables que influyen en la rentabilidad son el rendimiento por ha, el precio de mercado y los costos de producción, además de la ausencia de *tradeoff* entre la rentabilidad, rendimiento y el desempeño ambiental, los mismos que se muestran en este estudio, agregando como influyentes el tipo de siembra y las condiciones climáticas que en Ferreñafe el año 2019 disminuyó los rendimientos y la rentabilidad del cultivo.

García et al. (2007) señalan que, en Lagunera, México, el valor del agua de riego asciende a 0,65 Pesos mexicanos por m³ de agua de bombeo y 0,58 por m³ de agua de gravedad, pero los productores pagan 0,05 pesos/m³, que se traduce en subsidio implícito, así como para los productores de arroz de Ferreñafe donde el costo de agua de riego es subvaluado y su uso no sería óptimo. Lizana & Sánchez (2007) estiman que el valor de agua de riego para cultivos en Chancay-Lambayeque es 0,074 Soles/m³, pero el precio de la Comisión de Usuarios es 0,02 Soles/m³, en Ferreñafe el costo del agua de riego es 0,39 Soles/m³.

En los experimentos, el T3 (inundado) consume 12.820 m³ de agua y tiene rendimiento de 10,2 t/ha; el T2 tiene el mayor ahorro de agua que alcanza el 27%, respecto al T3 (usa 9.381 m³) pero el rendimiento es menor en 18,8% (7,9 t/ha), y el T1 tiene un ahorro de agua en 11% (11.420 m³), pero con rendimiento menor en 9,9% de 9,2 t/ha. La eficiencia de uso de agua en el T3 inundado fue 0,80 kg de arroz cáscara por m³ de agua, en el T1 es 0,81 kg por m³ de agua, y en el T2 es 0,84 kg por m³ de agua; la productividad del agua aumenta por la reducción de la lámina de 5 a 10 cm (T1 y T2), versus 30 cm del T3, que reduce la pérdida de agua por percolación, filtración lateral y evapotranspiración, como señalado por Yavad et al. 2011.

Estudios realizados por Ishfaq et al. (2020) señalan que utilizando AWD en siembra directa se reduce el consumo de agua entre 27-29%, que coincide con el ahorro del T2 (27%) al compararlo con el T3 de la presente investigación; Ceasay et al. (2006) reportan 60% de ahorro de agua. Vial (2007), Li et al. (2023) y

Chen (2024), señalan que alrededor del 60% del agua de riego en tierras inundadas del cultivo quedan fuera de su alcance en forma de infiltración profunda o de malezas que provoca la contaminación del ciclo del agua y desperdicia fertilizantes nitrogenados. Además, las pérdidas de agua en el cultivo son influenciadas por la profundidad de la napa freática, temperatura, ubicación del terreno, edad de la planta, entre otros, por lo que los resultados no pueden generalizarse, pues cada zona arrocería tiene sus propios requerimientos.

También, Champness et al. (2023) en Australia, Arouna et al. (2023) en Ghana, Xie et al. (2023) en China, Mohammed et al. (2023) en Irak; y Khuong et al. (2023) en Vietnam, comparan diferentes niveles de irrigación intermitente con inundación permanente para el cultivo de arroz, y concluyen que al penalizar un porcentaje en la reducción del rendimiento es posible aumentar la eficiencia en el uso del agua como se presentó en el tratamiento T1 y T2 del estudio a nivel experimental. Bhuiyan (1992), Tuong et al. (1994) y Tuong (1999) indican que mantener un nivel de agua alto durante todo el período de crecimiento del arroz no era necesario para obtener altos rendimientos. El crecimiento sustentable de la producción de arroz a nivel mundial es una necesidad para fortalecer la seguridad alimentaria, mantener la salud humana, además, el cultivo es sustento de millones de agricultores, y el cambio climático impone uno de los más serios desafíos para lograr el crecimiento sostenible (Wassmann & Dobermann, 2007), por lo que es imprescindible reconsiderar el manejo que utiliza grandes volúmenes de agua sin medir la producción de metano (Yusuf et al., 2012), a fin de reducir los requerimientos de agua en el cultivo y aumentar su productividad (Song et al., 2020). En la producción de arroz el exceso de agua de riego perjudica los costos debido también a la remoción de sedimentos en los canales de riego (González & Alonso, 2016), y que al ser el recurso hídrico escaso y altamente demandado por la agricultura (Aldaya et al., 2023), debe desarrollarse políticas de gestión como la tarificación de precios a fin que su asignación sea más eficiente y con menor elasticidad de su demanda (Pérez et al., 2022), aunque en los países en desarrollo se presentan pocos avances en tarificación del agua agrícola (Zhang & Oki, 2023). Aldaya et al. (2023) señalan que en España cuando se aumenta el precio de agua de riego, algunas regiones optan por cultivos de secano sustituyendo a los de regadío, y que las regiones del sur que dependen del riego son más sensibles a los incrementos del precio, donde el aumento de 0,1 EUR/m³ en el precio del agua lleva a pérdidas económicas de alrededor 400 EUR/ha.

Zhang & Oki (2023) indican que China ha logrado incrementar la eficiencia en el uso del agua a través su tarificación a "precios razonables" y "subsídios precisos e incentivos de ahorro de agua", como políticas de gestión de infraestructura y de cuotas de agua agrícola, estos mecanismos ofrecen una solución para precios ineficientes derivados de subsidios excesivos, habituales en países en desarrollo. De otro lado, para la posibilidad de compensar por menos uso de agua, Weng & Xu (2018) señalan que la participación en los mercados de carbono podría permitir la reducción de las emisiones de GEI derivadas de la agricultura en China. En ese sentido Zhang et al. (2024) demuestran que la adopción de estrategias de

reducción de agua de riego puede disminuir las emisiones de GEI en los arrozales, y generar beneficios económicos por reducir emisiones,

pudiendo el mercado de carbono ayudar a la eficiencia social y económica en la producción de arroz.

CONCLUSIONES

El desempeño económico de los productores de arroz en Ferreñafe, Perú, muestra que los agricultores que emplean siembra directa son más eficientes a los de siembra indirecta, al presentar menores costos de producción y obtener mayores beneficios económicos, pues en siembra indirecta se utiliza más mano de obra y agua para riego. En siembra indirecta existiría sobreutilización del agua de riego debido a la subvaluación del costo, lo que no fomenta el uso eficiente del agua al no tener repercusión en el costo de producción. Sin embargo, reducir el agua de riego controladamente disminuye el rendimiento y la rentabilidad promedio, pero a su vez favorece la reducción de emisiones de GEI y fomenta la sostenibilidad del recurso hídrico y del cultivo.

Para ello, las políticas públicas deben promover la siembra directa en el cultivo de arroz pues el mercado le otorga mayor rentabilidad. Para la siembra indirecta, se debe promover el menor uso de agua de

riego, a través de, sincerar el costo del agua de riego por tarifas, implementar tecnologías ahorradoras del uso de agua, desarrollar variedades mejoradas tolerantes a sequía, compensar la disminución de rentabilidad por utilizar menos agua de riego, o una combinación de todas las alternativas, a fin de lograr una asignación más eficiente y responsable del uso del recurso hídrico en el cultivo de arroz.

Los estudios futuros deben considerar las tarifas de uso del recurso hídrico que reflejen su valor real, incentivando la adopción de tecnologías sostenibles con subsidios y asistencia técnica, fomentando prácticas responsables que equilibren ambiente y economía, contemplando también la situación económica de los agricultores en sus regiones, resultados de costos por escala de producción y tecnología, y el manejo de agua en interacción con los niveles de nitrógeno para desarrollar tecnologías de producción amigables el cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la contribución del Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria por el financiamiento a los experimentos en campo (campaña 2020); al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Agraria La Molina por el financiamiento para aplicar los cuestionarios

(campaña 2019); a la Comisión de Usuarios del Sub Sector de Riego de Ferreñafe por colaborar con datos y responder a los cuestionarios; a Yelsen Camargo por su apoyo en el procesamiento de datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldaya, M., Gutiérrez-Martín, Espinosa-Tasón, Ederra, Idoia & Sánchez, Mercedes. (2023). The impact of the territorial gradient and the irrigation water price on agricultural production along the first phase of the Navarra Canal in Spain. *Agricultural Water Management*. 281. <https://10.1016/j.agwat.2023.108245>.
- Alfonse, A. A., Trejo García, J. C., & Martínez García, M. Á. (2018). Opción climática para la producción de café en México. *Ensayos. Revista de economía*, 37(2), 135-154.
- Andrade, R., Urioste, S., Marín, D., Labarta, R., & Graterol, E. (2019). Manual del Usuario - Herramienta de Costo de Producción del Arroz. CIAT-FLAR v3.3. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego (FLAR). Cali, Colombia.
- Andrade, H., Oswald, C., & Segura, M. (2014). Huella de carbono del sistema de producción de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 25-31.
- Aguillo, F., & Portero, I. (2002). *Agua y producción agrícola: Un análisis económico del caso de Murcia* (No. 1102-2016-91065, pp. 129-157).
- Aguilera Díaz, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin habana*, 11(2), 322-343.
- Arouna, A., Dzomeku, I. K., Shaibu, A.-G., & Nurudeen, A. R. (2023). Water management for sustainable irrigation in rice (*Oryza sativa* L.) production: A review. *Agronomy*, 13(6), 1522.
- Bhuiyan, S. I. (1992). Water management in relation to crop production: Case study on rice. *Outlook on Agriculture*, 21, 293-299.
- Billib, M., Bardowicks, K., & Arumí, J. L. (2009). Integrated water resources management for sustainable irrigation at the basin scale. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(SUPPL. 1), 69-80.
- Ceesay, M., Reid, W. S., Fernandes, E. C., & Uphoff, N. T. (2006). The effects of repeated soil wetting and drying on lowland rice yield with System of Rice Intensification (SRI) methods. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 4(1), 5-14.
- Champness, M., Vial, L., Ballester, C., & Hornbuckle, J. (2023). Evaluating the performance and opportunity cost of a smart-sensed automated irrigation system for water-saving rice cultivation in temperate Australia. *Agriculture*, 13(4), 903. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040903>
- Chen, M., Yang, L., Wu, G., Wu, Z., Mao, Z., Cui, Y., & Luo, Y. (2024). Optimization of paddy rice irrigation schedule considering effective utilization of rainfall. *Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 39(8), 832-837. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-8530.19.0309>
- Chiclla Solano, A. M., & Ruiz Becerra, B. L. (2021). El resultado económico de la siembra de arroz en la empresa Moliagro SF SAC de la provincia de Pacasmayo-La Libertad del período noviembre 2018 a mayo 2019.
- Comisión de Usuarios del Subsector de Riego de Ferreñafe. (2020). *Padrón de usuarios de agua de riego de la Comisión de Usuarios de Ferreñafe*. Comisión de Usuarios del Subsector de Riego de Ferreñafe, Lambayeque.
- Chanda, S. C., Ali, M. A., Haque, M. E., Abdullah, M. R. and Sarwar, A. K. M. G. (2019). Cost of production and cost benefit analysis of different rice in Sirajganj district. *Asian Journal of Crop, Soil Science and Plant Nutrition*, 01(01), 07-14. Crossref: <https://doi.org/10.18801/ajcsp.010119.02>
- Dendup, C., & Chhogyel, N. (2018). Effects of different planting methods on rice (*Oryza sativa* L.) crop performance and cost of production. *Bhutanese Journal of Agriculture*, 1(1), 13-22.
- FAO. (2023). *Rice Consumption by Country 2023*. Recuperado de <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>
- Faostat. (2023). Cambio climático: Emisiones de los sistemas agroalimentarios. Recuperado de <https://fenix.fao.org/faostat/internal/es/#data/GT/visualize>
- García S, J. A., Guzmán S, E., & Fortis H, M. (2007). Demanda y distribución del agua en la Comarca Lagunera, México. *Agrociencia*, 40(2), 269-276.
- González R., F., Herrera Puebla, J., López Seijas, T., & Cid Lazo, G. (2013). Funciones agua rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3), 5-11.
- González M., Alonso A. (2016). Tecnología para ahorrar agua en el cultivo de arroz. *Nova* 13(26) 67-82. <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v14n26/v14n26a07>
- He, X., Zhu, H., Shi, A., & Wang, X. (2024). Optimizing nitrogen fertilizer management enhances rice yield, dry matter, and nitrogen use efficiency. *Agronomy*, 14(5), 919. <https://doi.org/10.3390/agronomy14050919>
- Heros, E. C., Gómez L. R., Soplin Villacorta, H., Sosa Peralta, G., & (2017). Siembra directa: Una alternativa para mejorar la sustentabilidad del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en el Perú. *Producción*

- Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 6, 13-26.
- Heros, E. C., Lozano-Isla, F., Casas A. V. (2023). Tecnologías para la producción de arroz: Recomendaciones para el Perú basadas en investigaciones científicas. *South Sustainability*, 4(1), e069. <https://doi.org/10.21142/SS-0401-2023-e069>
- Hube S., Donoso G. N., Alfaro M. V., Becerra V., Paredes M. C. (2021). Capítulo 25. *Emisiones de gases de efecto invernadero en el cultivo del arroz en Chile*. En 100 años del cultivo de arroz en Chile en un contexto internacional 1920 – 2020 Tomo II.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (1994). III Censo Nacional Agropecuario CENAGRO.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2012). IV Censo Nacional Agropecuario, 2012. IV CENAGRO.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda.
- Ishfaq, M., Farooq, M., Zulfiqar, U., Hussain, S., Akbar, N., Nawaz, A., & Anjum, S. A. (2020). Alternate wetting and drying: A water-saving and ecofriendly rice production system. *Agricultural Water Management*, 241, 106363. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106363>
- Joseph, M., Moonsammy, S., Davis, H., Warner, D., Adams, A., & Oyedotun, T. (2023). Modelling climate variabilities and global rice production: A panel regression and time series analysis. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016%2Fj.heliyon.2023.e15480>
- Kaur, D., Singh, A., & Sindhu, V. K. (2024). Growth and productivity of direct-seeded basmati rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by sowing dates and irrigation schedules in north-western India. *Agricultural Water Management*, 302, 108994.
- Khuong, N. Q., Minh, D. P. T., Thu, L. T. M., & Thuc, L. V. (2023). The potential of bacterial strains of *Luteovulum sphaeroides* W22 and W47 for producing δ -aminolevulinic acid to improve soil quality, growth and yield of saline-irrigated rice cultivated in salt-contaminated soil. *Agronomy*, 13(5), 1409. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051409>
- Koyro, H. W., & Huchzermeyer, B. (2022). From Soil Amendments to Controlling Autophagy: Supporting Plant Metabolism under Conditions of Water Shortage and Salinity. *Plants (Basel, Switzerland)*, 11(13), 1654. <https://doi.org/10.3390/plants11131654>
- Li, W., Weng, B., Yan, D., Lai, Y., Li, M., & Wang, H. (2023). Underestimated permafrost degradation: Improving the TTOP model based on soil thermal conductivity. *Science of The Total Environment*, 854, 158564. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158564>
- Lizana, J., & Sánchez, M. (2017). *Valoración económica de uso directo del agua de riego para cultivos agrícolas del valle Chancay – Lambayeque*. Tesis para título de Economista. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Linares, A. V. E., & Quiroz, V. J. M. (2020). Costos de producción y rentabilidad del cultivo de arroz de los productores del valle Jequetepeque periodo 2019-2020.
- Luo, W., Chen, M., Kang, Y., Li, W., Li, D., Cui, Y., Khan, S., & Luo, Y. (2022). Analysis of crop water requirements and irrigation demands for rice: Implications for increasing effective rainfall. *Agricultural Water Management*, 260, 107285. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107285>
- Massiris, A. (2018). *Construcción de territorialidades y prácticas de ordenamiento territorial en América Latina*. En J. Farinos (Ed.), Territorio y Estados: Elementos para la coordinación de las políticas de ordenación del territorio en el siglo XXI (pp. 1211-1240). Tirant lo Blanch.
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, M., & Gulías, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (43), 63-84.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022). Observatorio de commodities. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3705028/Commodities%20Arroz%3A%20abr-jun%202022.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2024). *Boletín Estadístico Mensual. El agro en cifras*. Diciembre 2023.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021). *Análisis de Mercado. Arroz 2016-2020*. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/sse/informes-publicaciones/2201760-analisis-de-mercado-arroz-2016-2020>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2019). *INFORME: IV Censo nacional de arroz*. En molinos, almacenes y comercios mayoristas 2019.
- Ministerio del Ambiente (2023). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2000-2019*. Recuperado de <https://infocarbono.minam.gob.pe/annios-inventarios-nacionales-gei/ingei-2019/>
- Mohammed, M. K., Hameed, K. A., & Musa, A. J. (2023). Water savings, yield, and economic benefits of using SRI methods with deficit irrigation in water-scarce southern Iraq. *Agronomy*, 13(6), 1481. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061481>
- Ngamuanangtueng, P., Jakrawatana, N., Nilsalab, P., & Gheewala, S. H. (2019). Water, energy and food nexus in rice production in Thailand. *Sustainability*, 11(20), 5852. <https://doi.org/10.3390/su11205852>
- Pérez, M. S., Pérez, I. S., & Díaz, J. M. F. (2022). Análisis territorial y regional del valor monetario de la "Huella Hídrica" en España, en la actualidad. In *Anales de geografía de la Universidad Complutense* (Vol. 42, No. 2, pp. 575-632).
- Pulver, E. (2019). *Manejo estratégico y producción competitiva del arroz con riego en América Latina*. En Producción ecoeficiente del arroz en América Latina Tomo I (pp. 350-362). Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Soltani, A., Rajabi, M. H., Zeinali, E., & Soltani, E. (2010). Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan.
- Song, C., Sheng, Y., Zhan, S., Wang, J., Ke, L., & Liu, K. (2020). Impact of amplified evaporation due to lake expansion on the water budget across the inner Tibetan Plateau. *International Journal of Climatology*, 40(4), 2091-2105. <https://doi.org/10.1002/joc.6320>
- Soullier, G., & Moustier, P. (2021). Contract Farming as a Last-resort Option to Finance Rice Cultivation in Senegal. *The Journal of Development Studies*, 58(5), 1014-1031. <https://doi.org/10.1080/00220388.2021.2013466>
- Smith, K. A., Ball, T., Conen, F., Dobbie, K. E., Massheder, J., & Rey, A. (2018). Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European journal of soil science*, 69(1), 10-20.
- Tang, P., Li, N., Li, M., Zhang, F., Fu, Q., Xu, Y., & Liu, D. (2023). Rice irrigation water efficiency improvement: An AquaCrop-based optimization modeling approach. *European Journal of Agronomy*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126867>
- Tayefeh, M., Sadeghi, S. M., Noorhosseini, S. A., & et al. (2018). Environmental impact of rice production based on nitrogen fertilizer use. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 15885-15895. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1788-6>
- Tuong, T. P. (1999). Productive water uses in rice production: Opportunities and limitations. *Journal of Crop Production*, 2, 241-264.
- Tuong, T. P., Wopereis, M. C. S., Marquez, J. A., & Kropff, M. J. (1994). Mechanisms and Control of Percolation Losses in Irrigated Puddled Rice Fields. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 1794-1803. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800060031x>
- Vial, L. K. (2007). *Aerobic and Alternate Wet and Dry (AWD) Rice Systems*. Nuffield Australia Publishing, Griffith NSW 2680, Australia.
- Wassmann, R., Dobermann, A., & Manila, M. (2007). Climate Change Adaptation through Rice Production in Regions with High Poverty Levels.
- Wolock, C. J., Gilbert, P. B., Simon, N., & Carone, M. (2024). A framework for leveraging machine learning tools to estimate personalized survival curves. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 33(3), 1098-1108.
- White, M., Heros, E., Graterol, E., Chirinda, N., & Pittelkow, C. M. (2020). Balancing Economic and Environmental Performance for Small-Scale Rice Farmers in Peru. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.564418>
- Xie, S., Liu, H., Liu, D., Hu, H., Dong, Z., Wang, T., & Ming, G. (2023). Projection of rainfed rice yield using CMIP6 in the Lower Lancang Mekong River Basin. *Agronomy*, 13(6), 1504. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061504>
- Yang, Z., Cheng, Q., Liao, Q., Fu, H., Zhang, J., Zhu, Y., Lv, T., Sun, Y., Ma, J., & Li, N. (2022). Can reduced-input direct seeding improve resource use efficiencies and profitability of hybrid rice in China? *The Science of the Total Environment*, 155186. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155186>
- Yavad, NDM, Ahmad, K., Mostafa A., & Roya K. (2011). Postharvest evaluation of vase life, stem bending and screening of cultivars of cut gerbera (*Gerbera jamesonii* bolus ex. hook f.) flowers. *AFR J BIOTECHNOL*, 10(4), 560-566.
- Yusuf, R. O., Noor, Z. Z., Abba, A. H., Hassan, M. A. A., & Din, M. F. M. (2012). Methane emission by sectors: A comprehensive review of emission sources and mitigation methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5059-5070. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.008>
- Weng, Qingqing & He, Xu. (2019). A review of China's carbon trading market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.026>
- Zhang, C. Y., & Oki, T. (2023). Water pricing reform for sustainable water resources management in China's agricultural sector. *Agricultural Water Management*, 275, 108045. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2022.108045>
- Zhu, T. Y. (1985). Water saving effect and its theory under rice shallow wet irrigation: North China. *Journal of Hydraulic Engineering*, 11, 44-53.
- Zobeidi, T., Yaghoubi, J., & Yazdanpanah, M. (2021). Developing a paradigm model for the analysis of farmers' adaptation to water scarcity. *Environmental Development & Sustainability*, 24, 5400-5425. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01663-y>