

Análisis de la eficiencia productiva del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en el contexto del cambio climático, Ignacio Escudero-Sullana, 2018-2023

Analysis of the productive efficiency of rice (*Oryza sativa*) cultivation in the context of climate change, Ignacio Escudero -Sullana, 2018-2023

Karla Celi¹, Neicer Flores¹, Valera Paz¹, Yesenia Saavedra Navarro¹, Wilmer Moncada¹

Facultad de Ciencias Económica y Ambientales.
Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Piura, Perú

RESUMEN

Este trabajo de investigación presentó como objetivo principal: Analizar la eficiencia productiva del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en el contexto del cambio climático, en el distrito de Ignacio Escudero-Sullana, 2018 al 2023. El cual buscó aportar al conocimiento sobre el cambio climático y su efecto en la producción de arroz, dado que las investigaciones con respecto al tema son escasas. El estudio fue de tipo básico aplicativo, con un enfoque cuantitativo-cualitativo, y un diseño no experimental. Para el análisis se utilizó base de datos del SENAMHI y una entrevista a un agricultor, en los cuales se recolectó datos respecto al Costos de Producción, Temperatura del Suelo y Precipitaciones. Después de analizar dichos datos, se evidenció que las precipitaciones y la temperatura del suelo tienen una relación inversa y directa con la producción de arroz, respectivamente.

Palabras Clave: Cambio Climático, Costo de Producción, Producción de Arroz.

ABSTRACT

This research work presented as its main objective: Analyze the productive efficiency of rice (*Oryza sativa*) cultivation in the context of climate change, in the district of Ignacio Escudero-Sullana, 2018 to 2023. Which sought to contribute to the knowledge about climate change and its effect. in rice production, given that research on the subject is scarce. The study was of a basic application type, with a quantitative-qualitative approach, and a non-experimental design. For the analysis, the SENAMHI database and an interview with a farmer were used, in which data was collected regarding Production Costs, Soil Temperature and Precipitation. After analyzing these data, it was evident that precipitation and soil temperature have an inverse and direct relationship with rice production, respectively.

Keywords: Climate Change, Production Cost, Rice Production.

¹Facultad de Ciencias Económica y Ambientales, Universidad Nacional de Frontera. Email: 2022101015@unf.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los desafíos más urgentes y complejos que enfrenta nuestro planeta en la actualidad. Sus efectos se extienden a todos los sectores, incluida la agricultura, que se ve directamente afectada por los cambios en los patrones climáticos (Kazemi et al., 2023); siendo uno de los cultivos más afectados, el arroz. Por ende, el aumento de las temperaturas, los cambios en los patrones de lluvia y la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos como sequías e inundaciones representan desafíos significativos para la eficiencia productiva del cultivo de arroz a nivel mundial (Vaghefi et al., 2018).

Por tanto, si no solo nos enfocamos a nivel mundial y describimos este problema desde un punto de vista más local, nos podemos dar cuenta que el problema del cambio climático desde el punto de vista de Santa Sofía distrito de Ignacio Escudero de la provincia de Sullana, indica que las fuertes lluvias que se registraron en los últimos meses trajo consigo un aumento sustancial en la propagación de plagas del arroz y una pérdida en la producción de este mismo alimento, puesto que los propios agricultores comentaron que debido a esos fenómenos naturales sólo pudieron recuperar el capital invertido sin obtener ganancias de por medio. Lo cual puede ser explicado desde la teoría de la elección racional, en donde los agricultores toman decisiones basadas en la maximización de sus objetivos, maximización de ingresos, minimización de costos y gestión de riesgos (Fortún, 2019; como se citó en Ojo & Baiyegunhi, 2020) y la teoría variabilidad climática que nos permite explicar las causas de los eventos climáticos extremos en el corto y largo plazo, tales como sequías e inundaciones, las cuales podrían reconocerse como la respuesta de la naturaleza sobre la presión ejercida por la industrialización, afectando ello a la producción de arroz (Alvarado et al., 2002; como se citó en Bernal et al., 2020).

2. MÉTODOS Y MATERIALES

Dentro del marco metodológico, se ha utilizado un tipo de investigación básica aplicada para ampliar nuestro aprendizaje y utilizarla para el desarrollo de nuestros objetivos de investigación. De tal manera, que para la descripción y análisis del tema abordado se empleará un nivel explicativo, porque una vez registrada la información, se realizará un proceso para explicar lo que se investiga siendo el tema Eficiencia productiva y Cambio climático del cultivo de arroz en el centro poblado Santa Sofía distrito de Ignacio Escudero provincia de Sullana, 2018-2023. Asimismo, tiene un enfoque mixto, ya que la información recopilada proporciona datos cuantitativos ya que mediante cantidades se podrá realizar un estudio estadístico; así mismo, tiene un enfoque cualitativo dado que se recoge información de artículos científicos referidos a los temas de interés.

Para este estudio la población escogida según el objeto de investigación son 3 hectáreas, temperatura del suelo, nivel de precipitaciones y costos de producción por hectárea de arroz hasta el 2023, de esta manera se ha limitado para cumplir con los criterios establecidos. Por otro lado, la muestra para esta investigación se clasifica en una hectárea de cultivo de arroz, el promedio de la temperatura y nivel de precipitaciones vistas en cada campaña de arroz, y el costo de producción por Ha. de cultivo de arroz. Para el desarrollo del proyecto se necesitó de técnicas e instrumentos los cuales fue realizar una revisión bibliográfica y de fuentes oficiales, esta misma se encuentra dividida en cuatro fases, búsqueda, evaluación, análisis y síntesis de la información; del mismo modo se usó la técnica de una entrevista estructurada a un agricultor.

El modelo matemático utilizado está basado en la función de producción de Cobb-Douglas. En este caso, el proyecto sería la producción de arroz por campañas, las cuales tiene una duración de 6 meses. El análisis de la función de producción de Cobb-Douglas ofrece herramientas

analíticas valiosas para mejorar la eficiencia en el cultivo de arroz al permitir una gestión más eficaz de los insumos y la toma de decisiones fundamentada en datos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

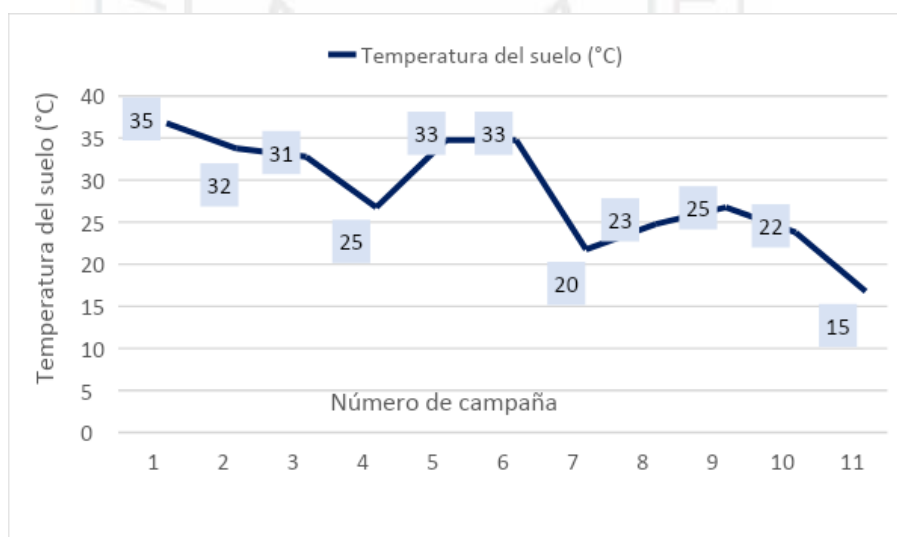
3.1. Determinación de la temperatura del suelo que influye en la efectividad de la producción del cultivo de arroz en Santa Sofía distrito de la provincia de Sullana

En la Figura 1, se muestra cómo la temperatura del suelo afecta la producción de arroz a lo largo de diferentes campañas. Se observa que temperaturas entre 30°C y 35°C favorecen un mayor rendimiento, mientras que rangos más bajos, entre 15°C y 25°C, disminuyen la producción. Esto subraya la vulnerabilidad del cultivo de arroz al cambio climático, con evidencia respaldada por el estudio de Vaghefi et al. (2018). Además, la investigación de Song & Jiang (2023) destaca la estrecha relación entre la humedad del suelo y la temperatura, resaltando la importancia de mantener condiciones óptimas para el riego y evitar sequías.

Ambos estudios subrayan la necesidad de comprender y gestionar la temperatura del suelo para asegurar rendimientos adecuados, especialmente frente al cambio climático, siendo esencial para la seguridad alimentaria y para guiar estrategias agrícolas y de adaptación. Se ilustra la variación de la temperatura del suelo (°C) a lo largo de 11 campañas. Se observa un patrón donde la producción del cultivo de arroz tiende a ser mayor cuando la temperatura oscila entre 30°C y 35°C. Por el contrario, se registra una disminución en la producción del arroz cuando la temperatura del suelo se sitúa entre 15°C y 25°C.

Figura 1

Temperatura del suelo (°C) 2018 al 2023.



3.2. Determinación de la precipitación que influye en la efectividad de la producción del cultivo de arroz en Santa Sofía distrito de Ignacio Escudero de la provincia de Sullana

La Figura 2 ofrece un análisis de las precipitaciones a lo largo de 11 campañas, mostrando variaciones significativas. La campaña N° 4 registró el nivel más bajo de precipitación, mientras que la más reciente, la N° 11, alcanzó el valor más alto. Se destaca la relación inversa entre las precipitaciones y la producción de arroz: a medida que aumentan las lluvias, la producción del cultivo tiende a disminuir. Este fenómeno es respaldado por Vaghefi et al. (2018), Kazemi et

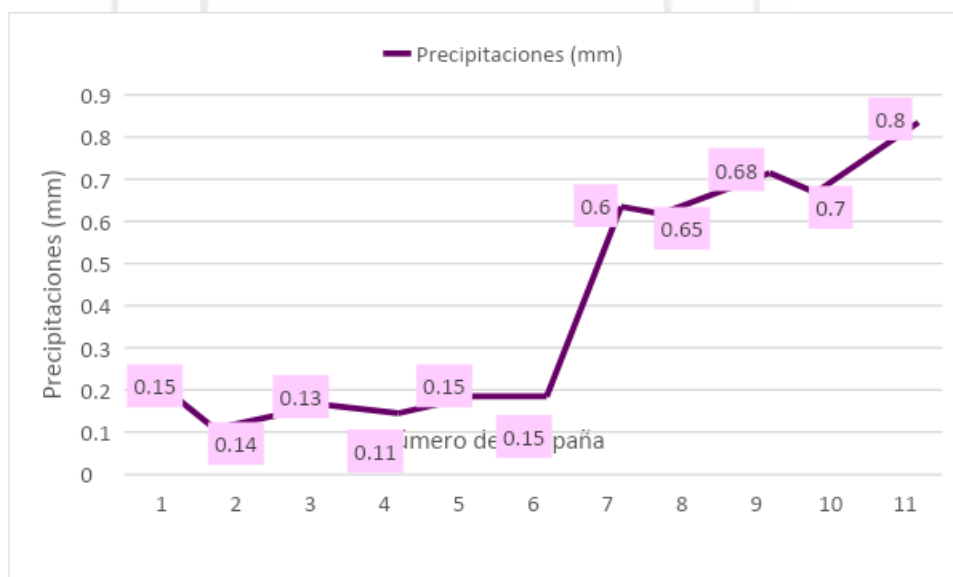
al. (2023) y Abdulrahim et al. (2021), quienes corroboran esta sensibilidad negativa del arroz ante cambios en la precipitación.

El modelo matemático propuesto por Kazemi et al. (2023) coincide con la Figura 2 al demostrar que un aumento en las precipitaciones se relaciona con una disminución en la producción de arroz. Esta relación directa entre lluvias y productividad del cultivo es fundamental y respalda la sensibilidad del arroz ante estas variaciones. Además, Abdulrahim et al. (2021) advierten sobre el impacto negativo del exceso de agua en la producción de arroz, especialmente en temporadas de lluvia intensa donde los agricultores dependen únicamente de la misma, descuidando el riego y afectando el cultivo.

El estudio de Gonzáles & Rojas (2022) resalta la importancia crucial de un control eficiente del riego para mantener un equilibrio hídrico en los cultivos de arroz. Sin embargo, la Figura 2 ilustra cómo las recientes precipitaciones han desequilibrado este proceso, impactando la producción del cultivo a pesar de contar con un sistema de riego eficaz.

Figura 2

Precipitaciones (mm) 2018 al 2019



3.3. Evaluación de estrategias económicas óptimas que maximizan la producción del arroz en Santa Sofía distrito de Ignacio Escudero de la provincia de Sullana.

La Tabla 1 revela que los Costos Directos por hectárea superan los S/ 9,623, mientras que los Costos Indirectos son considerablemente menores, alrededor de S/ 2,091.91. Dentro de los Costos Directos, la siembra y resiembra representan la mayor inversión, seguida por labores culturales y maquinaria agrícola. Los Costos Indirectos, liderados por préstamos bancarios, se suman para alcanzar un total de S/ 11,345.9.

Se sugiere reducir costos sin afectar actividades cruciales como el tratamiento, proponiendo estrategias respaldadas por expertos como Wu (2018) y Kazemi (2023), quienes abogan por medidas preventivas y modelos realistas de demanda.

Estrategias como la optimización del traslado de insumos, respaldadas por Coronado (2021), y el análisis del uso del agua en los costos, apoyado por Abdulrahim (2021), podrían ser clave para reducir gastos.

Factores como plagas, precipitaciones y otros elementos impactan los costos según estudios como los de Vaghefi (2018), mientras que la responsabilidad financiera recae mayormente en los agricultores, según Kung (2019).

Garantizar un suministro adecuado de agua es vital, como afirman Song & Jiang (2023) y González & Rojas (2022), quienes emplean modelos computacionales y matemáticos para mejorar la gestión hídrica en los cultivos.

Las estrategias de adaptación al cambio climático son esenciales para la productividad del arroz, como señalan Ojo & Baiyegunhi (2020), quienes abogan por su implementación basándose en sus resultados.

Tabla 1

Costos de Producción por Ha. De cultivo de arroz

	Actividad	Unidad de medida	Cantidad utilizada	Costo Unitario (S/)	Costo Total (S/)
I	COSTO DIRECTOS				
A	MANO DE OBRA				4 950.00
1	Preparación del terreno				600.00
	Quema	Jornal	1	60.00	60.00
	Limpieza de canales	Jornal	2	60.00	120.00
	Bordeadura	Jornal	1	60.00	60.00
	Riego de machaco	Jornal	1	60.00	60.00
	Abonamiento y dehierbo	Jornal	3	60.00	180.00
	Riego Almacigo	Jornal	1	60.00	60.00
	Remojo y despapaje de la semilla	Jornal	1	60.00	60.00
2	Siembra				1 620.00
	Siembra	Contrato		1500.00	1500.00
	Resiembra a mano	Jornal	2	60.00	120.00
3	Labores Culturales				1 470.00
	Deshierbos	Jornal	12	60.00	720.00
	Riego	Contrato		450.00	450.00
	Control fitosanitario	Jornal	2	60.00	120.00
	Aplicación de fertilizantes	Jornal	2	60.00	120.00
	Aplicación de herbicidas	Jornal	1	60.00	120.00

4	Cosecha				1 260.00
	Orillado	Jornal	1	60.00	60.00
	Guardiania	Jornal	20	60.00	1,200.00
B	MAQUINARIA AGRICOLA				1 090.00
	Ganchos o rigidos	Hora/maq.	1	70.00	70.00
	Aradura	Hora/maq.	3	70.00	210.00
	Nivelación	Hora/maq.	3	70.00	210.00
	Trillado y cosechado a maquina	Hora/maq.	3	200.00	600.00
C	MATERIA PRIMA				3 223.00
1	Semilla	Kg.	120	2.20	264.00
2	Fertilizantes				2 109.00
	Urea	Kg./ha.	450	1.66	747.00
	Fosfato Di amonico	Kg./ha.	450	1.96	882.00
	Sulfato de potasio	Kg./ha.	150	3.20	480.00
3	Pesticida				345.00
	Folicur	Lt.	1	250.00	250.00
	Cipermex	Lt.	1	95.00	95.00
4	Herbicidas				130.00
	Saturn	Kg.	25	1.28	45.00
	Machete SG	Kg.	50	1.70	85.00
5	Agua				120.00
	Agua temporal	M ³	25000	0.0048	120.00
6	Otros				60.00
	Traslado de insumos	Viaje	2	30.00	60.00
TOTAL, COSTOS DIRECTOS					9 263.00
II	COSTOS INDIRECTOS (S/.)				2 091.91
A	Imprevistos	%	5		457.15
B	Préstamos Bancarios	%	35.8	(6 meses)	1 634.76
TOTAL, DE COSTO DE PRODUCCIÓN					11 354.91

3.4. Modelamiento matemático basado en la función Cobb-Douglas

La naturaleza del modelo se centra en el análisis de series de tiempo y su estacionalidad. En este contexto, es común encontrar no estacionalidad, donde los datos empleados presentan variaciones en la media o la varianza a lo largo del tiempo.

Para abordar esta dinámica, se ha desarrollado un modelo matemático basado en la función de producción Cobb-Douglas, adaptado para examinar la efectividad productiva del cultivo de arroz en Santa Sofía, distrito de Ignacio Escudero, provincia de Sullana. Esta técnica permite estimar las elasticidades del producto con respecto al capital y trabajo, considerando supuestos de competencia perfecta (Briones et al, 2018; como se citó en Luzuriaga et al., 2021). Estas elasticidades reflejan la productividad marginal de cada factor y su contribución a la producción y rentabilidad.

La fórmula fundamental de la función de producción Cobb-Douglas es $P(L,K) = bL^{\alpha}K^{\alpha-1}$, donde P es la productividad marginal, K representa el capital y L el trabajo. Para calcular esta relación, se emplean Mínimos Cuadrados Restringidos, que determinan una recta de regresión lineal minimizando los residuos entre los valores reales y los estimados.

Una particularidad relevante es la representación logarítmica de la función de producción Cobb-Douglas, que modela la relación inversa entre las precipitaciones y la relación directa entre la temperatura del suelo y la producción. La fórmula logarítmica se expresa de la siguiente manera:

$$\log y_i = B_0 + (1 - B_3) \log \log X_{2i} + B_3 \log \log X_{3i} + \mu_i \quad (1)$$

$$= B_0 + \log \log X_{2i} + B_3 X_{3i} - \log \log X_{2i} + \mu_i \quad (2)$$

$$y_i - \log \log X_{2i} = B_0 + B_3 X_{3i} - \log \log X_{2i} + \mu_i \quad (3)$$

$$\log \log \left(\frac{y_{2i}}{X_{2i}} \right) = B_0 + B_3 \log \log \left(\frac{X_{3i}}{X_{3i}} \right) + \mu_i \quad (4)$$

Donde:

$$\left(\frac{y_{2i}}{X_{2i}} \right) = \text{Razón Producción/Precipitaciones.}$$

$$\left(\frac{y_{3i}}{X_{3i}} \right) = \text{Temperatura del suelo/Precipitaciones.}$$

La construcción del modelo matemático implica el cálculo de logaritmos de las razones entre temperatura del suelo y precipitaciones, así como producción de arroz y precipitaciones, representados en la tabla 2.

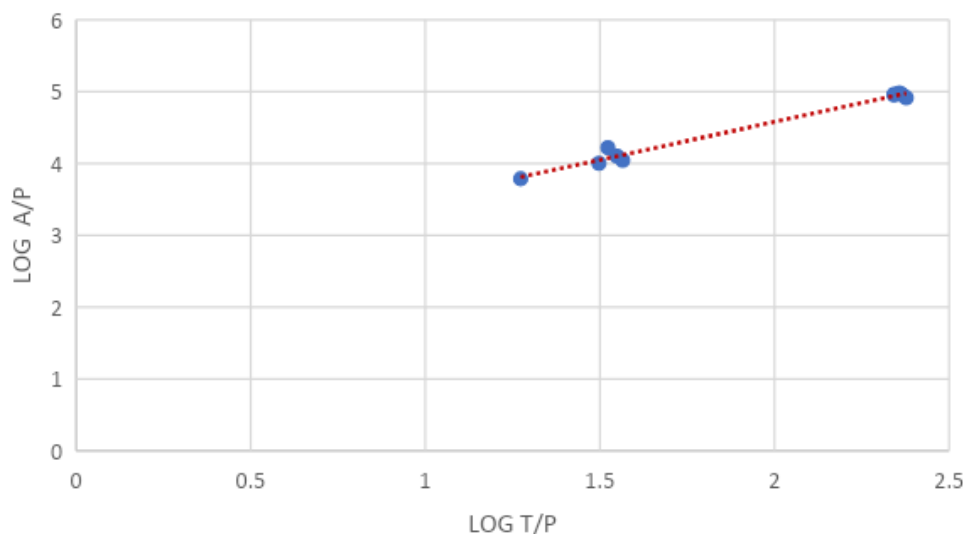
Tabla 2.

Datos analizados de producción de arroz 2018-2023.

Campañas	Producción del arroz (kg)	Temperatura del suelo (°C)	Precipitaciones (mm)	LOG(T/P)	LOG(A/P)
1	13 308	35	0.15	2.36797679	4.94802153
2	13 341	32	0.14	2.35902194	4.97906035
3	10 674	31	0.13	2.37741834	4.91438385
4	10 479	25	0.11	2.35654732	4.97892716
5	13 481	33	0.15	2.34242268	4.95363085
6	13 710	33	0.15	2.34242268	4.9609462
7	9 972	20	0.6	1.52287875	4.22063102
8	8 200	23	0.65	1.54881448	4.1009005
9	7 500	25	0.68	1.5654311	4.04255235
10	7 000	22	0.7	1.49732464	4
11	4 890	15	0.8	1.27300127	3.78621887

Figura 3.

Recta de mínimos cuadrados.



Entonces, con el coeficiente de determinación (R^2) y la ecuación de la línea de tendencia (y), igualamos el modelo lineal y la función de Cobb-Douglas para construir nuestro modelo:

Para el modelo lineal: $y = mx + B = 1.0575x + 2.463$.

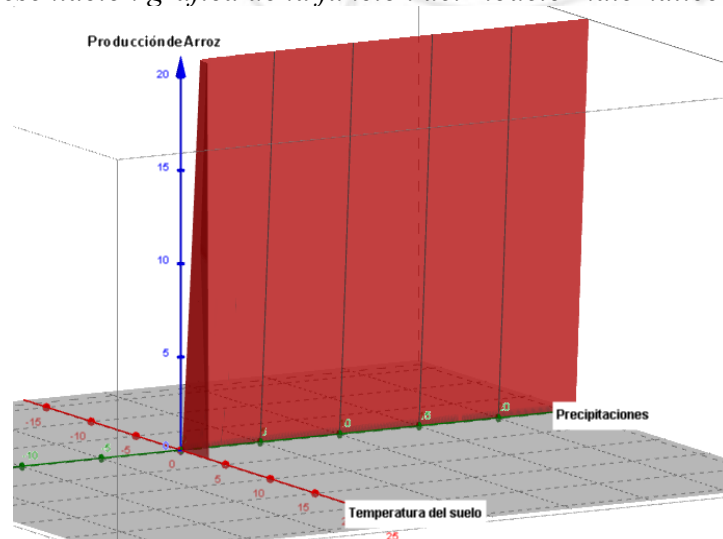
Y para la función de Cobb-Douglas: $P(L, K) = bL^\alpha K^{(\alpha - 1)}$, donde $m = \alpha = 1.0575$ y $B = \ln(b) = 2.463$

Al reemplazar los valores obtenemos: $P(L, K) = 11.74L^{1.06} K^{(1.06 - 1)}$. El modelo matemático resultante es: $A(T, P) = 11.74T^{1.06} P^{0.06}$, donde A es la producción de arroz, P son las precipitaciones y T es la temperatura del suelo.

Finalmente, utilizando el software GeoGebra, graficamos la función de nuestro modelo matemático, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4.

Representación gráfica de la función del modelo matemático



Dominio: $[0; 0.3]$

Rango: $<0; \infty>$

4. CONCLUSIONES

Con los resultados encontrados se concluye que, la producción de arroz en Santa Sofía, distrito de Ignacio Escudero, provincia de Sullana, se ve directamente influenciada por las precipitaciones. Se observa una clara relación inversa entre la producción de arroz y la cantidad de precipitación registrada durante las diferentes campañas, puesto que las campañas con precipitaciones más bajas muestran una producción de arroz más alta, mientras que las campañas con precipitaciones más altas se asocian con una disminución en la producción. Esto respalda la hipótesis de que la precipitación afecta directamente la efectividad de la producción de arroz en esta región.

Este patrón sugiere que las lluvias excesivas pueden tener un impacto negativo en la producción de arroz, posiblemente debido a inundaciones o condiciones de crecimiento desfavorables, donde recomendamos la creación de un plan de prevención de desastre naturales que tome en cuenta las necesidades y realidad de los agricultores de la zona de Santa Sofía y alrededores. De la misma manera, podemos concluir que, la hipótesis de que la temperatura del suelo influye de manera directa y determinante en la efectividad de la producción de arroz se confirma, debido a que la temperatura del suelo tiende a bajar por presencia de precipitaciones.

Por último, de los resultados encontrados podemos concluir que, se rechaza la hipótesis de la aplicación de estrategias económicas óptimas maximizan la producción del arroz en Santa Sofía distrito de Ignacio Escudero de la provincia de Sullana; ello a razón de que, si analizamos el total de costos de producción para el cultivo de arroz en una sola hectárea, podemos evidenciar que los agricultores no aplican estrategias económicas óptimas para minimizar sus gastos y maximizar la producción del cultivo de arroz, lo cual podría explicarse debido a que no cuentan con un plan estratégico que se adapta a las necesidades y recursos locales de los agricultores de Santa Sofía.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecer de manera muy especial a Joaquín Flores Morán y Andre Ruby Flores Sosa, quienes nos brindaron las facilidades de no solo poder entrevistarlos, si no también compartir el proceso de cultivo de arroz y los costos de producción.

Asimismo, queremos agradecer a la profesora Yesenia Saavedra Navarro por encargarnos elaborar este proyecto de investigación, el cual resulto ser muy enriquecedor dado que nos permitió adquirir nuevos conocimientos; así como también, a nuestro asesor Wilmer Mocada, por guiarnos en todo el proceso de creación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulrahim, A.; Shehu, M.; Yisa, E.; Ishaq, Z. (2021). Modelos matemáticos y análisis comparativo de las necesidades de agua de los cultivos de riego de arroz y soja: un estudio de caso del estado de Níger de la cuenca de Bida, Nigeria. De la sociedad Nigeriana de Ciencias Físicas, 3(4), 354-359. <https://doi.org/10.46481/jnsps.2021.149>
- Coronado, J.; Olarte, L.; Herrera, Z.; Niño, J. (2021). Modelo de programación lineal para la minimización de costos de producción en un fabricante de productos agrícolas de arroz.

- Comunicaciones en Computación y Ciencias de la Información, 1431(1), 335-346.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-86702-7_29
- Díaz-González, V., Rojas-Palma, A., & Carrasco-Benavides, M. (2022). How Does Irrigation Affect Crop Growth? A Mathematical Modeling Approach. *Mathematics*, 10(1). Scopus.
<https://doi.org/10.3390/math10010151>
- Kazemi, M.; Pagado, M.; Safaei, A. (2023). Diseño de una cadena de suministro de arroz bio objetivo considerando los impactos ambientales en condiciones de incertidumbre. *Scientia Iranica*, 30(1), 336-355. <https://doi.org/10.24200/ciencia.2021.55935.4481>
- Kung, C.; Cao, X.; Choi, Y.; Kung, S. (2019). Un análisis estocástico de la utilización de tierras de cultivo y la asignación de recursos bajo el cambio climático. *Previsión Tecnológica y Cambio Social*, 148(1), 402-7 51. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119711>
- Luzuriaga, L.; Mejia, S.; Tonon, L.; Rivera, B. (2021). La función de producción Cobb-Douglas: Caso del sector C3 de fabricación de productos minerales no metálicos. <https://observaempresa.uazuay.edu.ec/sites/observaempresa.uazuay.edu.ec/files/public/2021-10/uazuay-observatorio-empresarial-Funci%C3%B3n-Cobb-Douglas.pdf>
- Ojo, T. O., & Baiyegunhi, L. J. S. (2020). Impact of climate change adaptation strategies on rice productivity in South-west, Nigeria: An endogeneity corrected stochastic frontier model. *Science of the Total Environment*, 745. Scopus.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141151>
- SENAMHI - Piura. (s. f.). Condiciones climáticas de Piura.
<https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=piura&p=condiciones-climaticas>
- Song, Z., & Jiang, Z. (2023). A Data-driven Modeling Approach for Water Flow Dynamics in Soil. *Computer Aided Chemical Engineering*, 52, 819-824. Scopus.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15274-0.50131-1>
- Vaghefi, N.; Nasir, M.; Radam, K. (2018). Modelización del impacto del cambio climático en la producción de arroz: una visión general. *Revista de Ciencias Aplicadas*, 13(24), 5649-5660. <https://doi.org/10.3923/jas.2013.5649.5660>
- Wu, Z.; Wang, Y.; Zhou, X.; Zhou, T. (2018). Análisis de la interacción entre arroz, malezas, fertilizantes inorgánicos y un herbívoro en un ecosistema agrícola compuesto de arrozales. *Biociencias Matemáticas*, 300(1), 145-156.
<https://doi.org/10.1016/j.mbs.2018.03.023>