






Hacia una agricultura de precisión: Optimización de factores productivos en el cultivo de maíz amarillo duro en Cañete

Towards Precision Agriculture: Optimization of Productive Factors in Hard Yellow Maize Cultivation in Cañete

Carlos Eusebio, Cabrera Vigil¹  ; Mario Humberto, Taípe Cancho¹ ; Dora Cecilia, Ramos Rosales² ; Jorge, Magallanes Magallanes³ 

(1) Universidad Nacional de Cañete, Cañete, Perú.

(2) Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú.

(3) Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Ica, Perú.

Resumen

La producción de maíz amarillo duro (MAD) en la provincia de Cañete, Perú, enfrenta una coyuntura de baja productividad y rentabilidad, exacerbada por prácticas agrícolas empíricas y una gestión ineficiente de los factores de producción. Ante este problema, el objetivo del presente artículo fue determinar los factores productivos que inciden en la eficiencia económica de este cultivo. Se empleó un paradigma cuantitativo, de nivel correlacional-causal y diseño no experimental de corte transversal. La muestra estuvo constituida por 318 agricultores, a quienes se aplicó una encuesta estructurada para la recolección de datos, los cuales fueron procesados mediante funciones de producción tipo Cobb-Douglas y regresión lineal multivariada. Los resultados revelan que la dimensión de capital impacta el 85,7% de la eficiencia económica, seguida por los factores tecnológicos (84,3%) e insumos laborales (80,9%). Se identificó una subutilización de macronutrientes esenciales como fósforo y nitrógeno, contrastando con una sobreutilización de semillas y herbicidas. Asimismo, se detectó una ineficiente carga de mano de obra y brechas generacionales que limitan la adopción de innovaciones. Se concluye que el sistema productivo opera en la segunda etapa clásica de la función de producción, caracterizada por rendimientos decrecientes a escala. Por tanto, es imperativa la transición hacia un modelo de agricultura de precisión que priorice la nutrición vegetal técnica, la profesionalización agraria y la optimización de los costos de inversión para garantizar la sostenibilidad y competitividad del sector frente a las fluctuaciones del mercado.

Palabras clave: eficiencia económica, factores productivos, maíz amarillo duro, producto marginal, elasticidad, agricultura de precisión.

Abstract

Hard yellow maize (HYM) production in the province of Cañete, Peru, faces a situation of low productivity and profitability, exacerbated by empirical agricultural practices and inefficient management of production factors. Given this problem, the objective of this article was to determine the productive factors that influence the economic efficiency of this crop. A quantitative paradigm, correlational-causal level, and non-experimental cross-sectional design were employed. The sample consisted of 318 farmers, to whom a structured survey was applied for data collection, which was processed using Cobb-Douglas production functions and multivariate linear regression. The results reveal that the capital dimension impacts 85.7% of economic efficiency, followed by technological factors (84.3%) and labor inputs (80.9%). An underutilization of essential macronutrients such as phosphorus and nitrogen was identified, contrasting with an overutilization of seeds and herbicides. Likewise, an inefficient labor burden and generational gaps that limit the adoption of innovations were detected. It is concluded that the production system operates in the second classical stage of the production function, characterized by decreasing returns to scale. Therefore, a transition toward a precision agriculture model that prioritizes technical plant nutrition, agricultural professionalization, and investment cost optimization is imperative to ensure the sustainability and competitiveness of the sector in the face of market fluctuations.

Keywords: economic efficiency, productive factors, hard yellow maize, marginal product, elasticity, precision agriculture.

Recibido/Received	19-04-2026	Aprobado/Approved	06-07-2026	Publicado/Published	06-07-2026
-------------------	------------	-------------------	------------	---------------------	------------

Introducción

La provincia de Cañete posee condiciones agroclimatológicas excepcionales que favorecen el desarrollo de diversas actividades agrícolas, con un protagonismo marcado del cultivo de maíz amarillo duro (MAD). Este cereal no solo es un eje articulador de la dinámica agraria provincial, sino que su relevancia se extiende hacia los sectores económicos complementarios, al consolidarse como un insumo indispensable para el sostenimiento de las actividades avícola y ganadera regionales (Castillo Santa María et al., 2020a). A pesar de esta importancia estratégica, el sector enfrenta una coyuntura compleja caracterizada por la escasez de estudios rigurosos que analicen la eficiencia en la asignación de los factores productivos (Alonso et al., 2017), lo cual limita la capacidad de respuesta de los productores ante las fluctuaciones del mercado.

En el escenario macroeconómico nacional, la producción de MAD es vital, toda vez que el 43,80% de su oferta se destina a la actividad pecuaria, específicamente al engorde de aves y cerdos; y un 35,30% se orienta al procesamiento de alimentos balanceados. No obstante, la tendencia observada en el rendimiento productivo en el Perú muestra un decrecimiento sostenido, traduciéndose en una contracción del aporte del cultivo al Valor Bruto de Producción (VBP) agrícola, que pasó de un 4,90% en 2015 a un 3,70% en 2019 (Castillo Santa María et al., 2020b). Esta declinación es multifactorial, vinculada a la reducción de la superficie cosechada, que experimentó una caída anual del 3,80%, y a la creciente atomización de las unidades productoras, que alcanzan un promedio precario de 0,70 hectáreas (Cadet Díaz & Guerrero Escobar, 2018). Ante este escenario, la diversificación genética se presenta como una alternativa para la resiliencia (Khoury et al., 2022).

A escala nacional, aunque el MAD se cultiva en 18 departamentos, la producción presenta una alta concentración en seis regiones principales, donde se observa la dependencia sistémica de miles de familias rurales cuya subsistencia depende del cultivo (Pancorbo-Olivera et al., 2024). Es fundamental considerar la diversidad biocultural como un componente del mejoramiento genético (Gepts, 2023). En este contexto, el uso de variedades híbridas ha demostrado ser un motor para la sostenibilidad en otras latitudes (Tripathi et al., 2023; Bist et al., 2025).

En la realidad local de Cañete, la rentabilidad económica ha sido severamente disminuida, las brechas de productividad son evidentes: las unidades de producción (UP) pequeñas registran costos de 2.287,75 soles/ha; las medianas alcanzan los 2.848,60 soles/ha; y las grandes llegan a 4.834,20 soles/ha (Bravo-Martínez et al., 2022). Esta situación nos obliga a considerar modelos de eficiencia como la función Cobb-Douglas (Briones Mendoza et al., 2018). Asimismo, la evaluación integral de la eficiencia económica debe integrar todas las variables para identificar los puntos críticos de pérdida de valor (Castellanos Dorado et al., 2019).

La gestión de la fertilización constituye un factor determinante en la productividad del cultivo. No obstante, prevalece un enfoque empírico en su aplicación, lo cual repercute en esta práctica de una inversión estratégica orientada a la maximización del rendimiento, en un gasto ineficiente que compromete la viabilidad económica de la producción. (Barrios & Basso, 2018; Chura et al., 2019). La optimización de la fertilización nitrogenada no solo impacta en el rendimiento, sino que es clave para la calidad nutricional (García & López, 2024). Asimismo, la incorporación de estrategias agronómicas, como el biocarbón de eucalipto, puede mejorar significativamente el rendimiento del maíz (Iglesias et al., 2018).

Ante este panorama, con el advenimiento de las tecnologías disruptivas, surge la digitalización y la agricultura de precisión para la transformación del sector agrícola. De allí que, el uso de big data y monitoreo satelital permite evaluar el estatus nutricional con precisión (Wang et al., 2023; Chen et al., 2024). Por ello, se plantea la transición hacia estas tecnologías a los pequeños productores, pues el análisis costo-beneficio demuestra que son el medio para elevar la eficiencia productiva (Kim et al., 2024;

Smith et al., 2025). Además, la integración del conocimiento local con la gestión de precisión permite adaptar las innovaciones (Torres et al., 2024).

La sostenibilidad bajo variabilidad climática requiere intensificación sostenible (Müller et al., 2023), apoyada por modelos de predicción (Silva et al., 2025) y una gestión técnica del riego (Zhang et al., 2024). La mecanización de la siembra es otro elemento probado para incrementar la eficiencia (Oliveira et al., 2025). En concordancia, se busca determinar los factores que impactan en la eficiencia económica, permitiendo revertir la tendencia a la baja y consolidar al sector como un pilar robusto.

Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló en el distrito de San Vicente, provincia de Cañete, bajo un paradigma cuantitativo. Esta elección se fundamentó en la necesidad de aplicar un rigor procedimental orientado a la medición sistemática, la descripción objetiva de los fenómenos agrarios y la contrastación empírica de hipótesis mediante técnicas de inferencia estadística. Según la naturaleza de su propósito, el estudio se categorizó como una investigación aplicada, dado que los hallazgos se orientaron a la modelación y optimización de los factores productivos en el cultivo de maíz amarillo duro (MAD), para generar insumos técnicos para la toma de decisiones estratégicas.

En términos de estructura operativa, el diseño fue no experimental y de corte transversal, caracterizado por la observación y registro de variables en su contexto natural. El nivel de investigación fue correlacional-causal, orientado a determinar la incidencia de variables independientes (insumos, mano de obra, depreciación y costos) sobre la variable dependiente: eficiencia económica. Para este propósito, se construyeron funciones de producción de tipo Cobb-Douglas, permitiendo la estimación matemática de la relación causal entre los recursos empleados y el rendimiento por hectárea.

La población objetivo se conformó por 1.833 agricultores, de la cual se derivó una muestra representativa de 318 unidades productivas mediante muestreo aleatorio simple. La recolección de datos se ejecutó mediante una encuesta estructurada, cuya validez fue asegurada mediante juicio de expertos y cuya confiabilidad se verificó mediante el coeficiente Alfa de Cronbach (0,97), garantizando la consistencia interna de los indicadores de rendimiento físico, financiero y técnico.

El tratamiento de la información se dividió en tres fases analíticas:

Análisis descriptivo y de distribución: Los datos fueron organizados mediante tablas de distribución de frecuencias e intervalos de clase para caracterizar el comportamiento de la producción, los ingresos, las utilidades y la rentabilidad. Para asegurar la comparabilidad, las variables fueron estandarizadas a una unidad de medida única: la hectárea (ha).

Análisis de productividad y eficiencia: Para evaluar el uso de los recursos, se calcularon las productividades medias (PMe) y marginales (PMg), junto con las elasticidades de producción (Ep). La evaluación de la eficiencia se determinó mediante el Grado de Eficiencia Económica (GEE), calculado como el cociente entre el valor del producto marginal y el costo del factor ($GEE = VPMg / W$), permitiendo identificar situaciones de subutilización ($GEE > 1$) o sobreutilización de recursos.

Procesamiento econométrico: Para el análisis inferencial, se empleó el software IBM SPSS Statistics (versión 26.0) para la gestión de bases de datos y estadística descriptiva. La estimación de las funciones de producción y la validación de los supuestos del modelo de regresión lineal múltiple se realizó mediante el software Stata (versión 17.0), ejecutando pruebas de bondad de ajuste, homocedasticidad y normalidad de residuos.

Resultados

La eficiencia económica reflejan el comportamiento productivo de la muestra analizada. En la Tabla 1 se observa que la producción de MAD en la muestra de 318 agricultores de la provincia de

Cañete presentó volúmenes que oscilaron desde un mínimo de 7,93 toneladas hasta un máximo de 38,71 toneladas por campaña agrícola. El promedio general de producción de MAD alcanzó las 23,57 toneladas durante la campaña del año 2021, mostrando una variación estándar de $\pm 8,08$ toneladas.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la producción de MAD (en toneladas)

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar
Producción de maíz amarillo duro	318	7,93	38,71	23,57	8,08
N válido (por lista)	318				

Posteriormente, al analizar la distribución de frecuencias de la producción, se evidencia cómo se agrupan los agricultores según sus niveles de cosecha. Como se presenta en la Tabla 2, la mayor proporción de agricultores, que representa el 17,92% (57 productores), logró alcanzar niveles de producción de grano seco situados en el intervalo de 23,32 a 26,40 toneladas por campaña agrícola. Por otro lado, la producción más baja, ubicada en el intervalo de 7,93 a 11 toneladas, agrupó a 27 agricultores (8,49%). En contraste, la producción más alta, que osciló entre 35,63 y 38,71 toneladas, fue lograda únicamente por el 5,35% de la muestra.

Tabla 2. Intervalo de clases y frecuencias de la producción de MAD

Intervalo de clase (t)	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
1 [7,93 - 11>	27	8,49	8,49	8,49
2 [11,01 - 14,08>	29	9,12	9,12	17,61
3 [14,09 - 17,16>	24	7,55	7,55	25,16
4 [17,17 - 20,24>	27	8,49	8,49	33,65
5 [20,25 - 23,32>	26	8,18	8,18	41,82
6 [23,33 - 26,40>	57	17,92	17,92	59,75
7 [26,41 - 29,48>	42	13,21	13,21	72,96
8 [29,49 - 32,55>	41	12,89	12,89	85,85
9 [32,56 - 35,63>	28	8,81	8,81	94,65
10 [35,64 - 38,71]	17	5,35	5,35	100,00
Total	318	100,00	100,00	

En cuanto a los aspectos financieros de la producción, la Tabla 3 muestra la distribución de clases para el ingreso, la utilidad y la rentabilidad de los agricultores. Se puede observar que la mayor proporción de los ingresos se concentró en el intervalo de 14.072,28 a 24.100,26 soles por campaña, agrupando a 115 agricultores (36,16%). Solo una minoría del 4,40% logró situarse en el intervalo de ingresos más altos, entre 44.156,22 y 54.184,20 soles. Es importante destacar que los ingresos mantienen una relación directa con los volúmenes de producción, el precio de mercado, el rendimiento del cultivo y el tamaño del área cosechada.

Respecto al comportamiento de la utilidad, los datos revelan una situación preocupante: hasta un 15,72% de la muestra experimentó pérdidas económicas, llegando a registrar déficits de hasta 15.288,27 soles durante la campaña 2021. El grupo más numeroso, compuesto por 129 productores (40,57%), se ubicó en un rango que va desde pequeñas pérdidas hasta utilidades modestas de 5.079,56 soles. Un 30,19% (96 productores) alcanzó utilidades intermedias entre 5,079.56 y 13,808.64 soles. La rentabilidad, muestra que un alarmante 32,08% de los agricultores operó con rentabilidad negativa, mientras que el 28,30% logró una rentabilidad baja, entre 0 y 34,27%.

Al adentrarnos en el análisis de los factores tecnológicos, la Tabla 4 se detallan el grado de eficiencia económica (GEE) y la productividad de los insumos clave. El aporte medio de factores como el

fósforo (X14), la semilla (X11), el herbicida (X19), el nitrógeno (X13) y el abono orgánico (X17) fue de 540,50; 75,51; 14,67; 1190,50 y 1615,00 unidades, respectivamente.

Tabla 3. Distribución de clases y frecuencias del ingreso, utilidad y rentabilidad de la producción de MAD

Intervalo de clase	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Ingreso (S/.)				
1 [4.044,30 - 14.072,28>	70	22,01	22,01	22,01
2 [14.072,29 - 24.100,26>	115	36,16	36,16	58,18
3 [24.100,26 - 34.128,24>	77	24,21	24,21	82,39
4 [34.128,24 - 44.156,22>	42	13,21	13,21	95,60
5 [44.156,22 - 54.184,20]	14	4,40	4,40	100,00
Utilidad (S/.)				
1 [-15.288,27 a -3.649,51>	50	15,72	15,72	15,72
2 [-3.649,52 a 5.079,56>	129	40,57	40,57	56,29
3 [5.079,57 a 13.808,64>	96	30,19	30,19	86,48
4 [13.808,65 a 22.537,71>	33	10,38	10,38	96,86
5 [22.537,72 a 31.266,78]	10	3,14	3,14	100,00
Rentabilidad (%)				
1 [-53,13 a 0>	102	32,08	32,08	32,08
2 [0,01 a 34,27>	90	28,30	28,30	60,38
3 [34,28 a 68,54>	57	17,92	17,92	78,30
4 [68,55 a 102,81>	47	14,78	14,78	93,08
5 [102,82 a 137,08]	22	6,92	6,92	100,00

Un hallazgo crucial, es la productividad marginal (PMg) del fósforo, nitrógeno y abono orgánico resultó inferior a su respectiva productividad media (PMe) (Tabla 4). Asimismo, las elasticidades de producción obtenidas (0,26; 0,16 y 0,07, respectivamente) se posicionan significativamente por debajo de la unidad ($E_p < 1$). Desde una perspectiva de la teoría de la producción, este comportamiento ubica a dichos insumos en la zona de eficiencia técnica, evidenciando una subutilización relativa; en consecuencia, un incremento en la asignación de capital hacia estos factores permitiría optimizar el rendimiento por hectárea.

Por el contrario, los factores semilla y herbicidas exhibieron una productividad marginal superior a la media, situación que denota una sobreutilización ineficiente de los recursos. Este fenómeno posiciona a dichos insumos en la primera etapa de la función de producción, caracterizada por rendimientos crecientes pero con un uso excesivo de factores variables, lo que sugiere una necesaria reestructuración de la estructura de costos mediante una disminución en la intensidad de su aplicación

Tabla 4. Grado de eficiencia económica y productividad de los factores de tecnología en la producción de MAD

Descripción	Fósforo (X14)	Semilla (X11)	Herbicida (X19)	Nitrógeno (X13)	Abono Orgánico (X17)
Producto total (PT)	23.570,00	23.570,00	23.570,00	23.570,00	23.570,00
Promedio de uso (Xi)	540,50	75,51	14,67	1.190,50	1.615,00
Productividad media (PMe)	43,61	312,14	1.606,68	19,80	14,59
Elasticidad (E_p)	0,26	0,29	0,07	0,16	0,07
Productividad marginal (PMg)	11,12	89,90	109,25	3,19	0,95

Los grados de eficiencia económica (GEE) de todos estos factores tecnológicos son mayores a 1. Esto significa que, desde la perspectiva de la teoría económica (Ingreso Marginal > Costo Marginal), estos

recursos están siendo subutilizados en el conjunto del proceso productivo, siendo necesario ajustar las inversiones hasta lograr el punto de equilibrio óptimo.

Finalmente, el análisis de los factores del trabajo, presentado en la Tabla 5, muestra que la productividad marginal del número de trabajadores (468,37) es mayor que su productividad media (336,47). Esto revela una clara sobreutilización de la mano de obra, lo que resulta ineficiente. Por otro lado, la instrucción y la edad de los trabajadores presentan productividades marginales inferiores a sus medias, indicando que el nivel educativo es escaso en el sector y que el aumento de la edad de los agricultores tiende a impactar negativamente en los niveles de producción.

Tabla 5. Grado de eficiencia económica y productividad de los factores del trabajo en la producción de MAD

Descripción	Trabajadores (X5)	Instrucción (X7)	Edad (X6)
Producto total (PT)	23.570,00	23.570,00	23.570,00
Promedio de uso del factor (Xi)	70,05	123,00	47,20
Productividad media (Pme)	336,47	191,63	499,36
Elasticidad de la producción (EP)	1,392	0,267	-0,172
Productividad marginal (Pmg)	468,37	51,16	-85,89
Precio de venta (P)	0,98	0,98	0,98
Precio del factor (W)	35,00	1,00	1,00
Grado de eficiencia económica (GEE)	13,11	50,14	-84,17

La dimensión del capital constituye el eje determinante de la eficiencia económica en la producción de maíz amarillo duro (MAD) en la provincia de Cañete, logrando explicar el 85,7% de la variabilidad observada en el rendimiento (r^2 ajustado = 0,857; $F = 568,845$; $p < 0,05$). Los resultados evidencian que variables críticas como la inversión por campaña, la mecanización agrícola (horas-tractor) y la escala de siembra operan actualmente en un umbral de subutilización. Esta configuración estructural, lejos de maximizar el potencial productivo, induce a la presencia de rendimientos decrecientes a escala, lo que sugiere que la expansión del capital sin una reestructuración estratégica de los procesos de inversión no se traducirá linealmente en mayores volúmenes de cosecha, sino en una degradación del margen de utilidad.

Desde una perspectiva técnica, la dimensión de los insumos y la tecnología explica el 84,3% de los cambios en la eficiencia económica del sistema productivo (r^2 ajustado = 0,843; $F = 273,269$; $p < 0,05$). Se constató una asimetría en la gestión de recursos: mientras que los macronutrientes —fósforo, nitrógeno y abonos orgánicos— se aplican en cantidades deficitarias respecto a su potencial óptimo, existe una marcada sobreutilización de semillas y herbicidas. Esta desarticulación tecnológica no solo limita la eficiencia técnica, sino que distorsiona la estructura de costos, posicionando al productor en una dinámica de rendimientos decrecientes. La optimización del cultivo requiere, imperativamente, un tránsito hacia una nutrición vegetal técnica, que sustituya la aplicación empírica por una dosificación basada en la demanda edáfica real.

Finalmente, la dimensión laboral impacta el 80,9% de la eficiencia económica (r^2 ajustado = 0,809; $F = 447,757$; $p < 0,05$), revelando vulnerabilidades estructurales significativas. La sobreutilización del factor trabajo, contrastada con una deficiencia en la instrucción técnica de la mano de obra, configura un escenario de baja productividad. Asimismo, la correlación inversa hallada entre la edad del agricultor y el rendimiento sugiere una brecha generacional que limita la adopción de innovaciones. En su conjunto, la interacción de los factores capital, tecnología y trabajo sitúa a la producción de MAD en Cañete en la segunda etapa clásica de la función de producción, confirmando la existencia de rendimientos decrecientes a escala. La superación de este estado requiere implementar políticas de profesionalización agraria que promuevan la tecnificación del productor, permitiendo que el sistema transite hacia niveles superiores de eficiencia y competitividad.

Discusión

La producción de MAD en la provincia de Cañete durante en el año 2021 alcanzó un máximo de 38,71 toneladas, con un rendimiento promedio general de 7,80 toneladas por hectárea. Estos resultados concuerdan estrechamente con investigaciones previas que indican que los rendimientos de MAD en la región de Lima fluctúan típicamente entre los 6.580 kg/ha y los 8.620 kg/ha (Cabrera Chávez, 2020). Asimismo, el manual técnico publicado por el INIA reporta que los rendimientos esperados para la costa peruana varían desde las 3,62 t/ha hasta las 8,58 t/ha, ubicando a Cañete dentro de los rangos superiores de productividad nacional. El rendimiento agrícola está condicionado por dos grandes grupos de factores: los modificables, que incluyen la tecnología aplicada, la mano de obra, la calidad de la semilla y los regímenes de fertilización; y los factores inmodificables, referidos fundamentalmente al clima y las características intrínsecas del suelo. Es la interacción conjunta de ambos grupos la que determina en última instancia los volúmenes de cosecha alcanzados (Cadet Díaz & Guerrero Escobar, 2018).

La rentabilidad obtenida, con un costo promedio de 6.090,97 soles y una utilidad de 4.761,17 soles, refleja una sustentabilidad económica comparable con los hallazgos en otros valles peruanos, donde la adopción de variedades híbridas y el manejo técnico son pilares de la competitividad (Bravo-Martínez et al., 2022). Sin embargo, existe una dicotomía persistente: mientras que la inversión tecnológica bien canalizada mejora los márgenes de ganancia, una gestión ineficiente de los insumos, particularmente en la fertilización y la densidad de siembra, erosiona sistemáticamente la rentabilidad neta (Castillo Santa María et al., 2020a). En este sentido, la literatura contemporánea subraya que la digitalización y el uso de modelos de predicción de rendimiento son críticos para mitigar el riesgo financiero en la agricultura a pequeña escala (Silva et al., 2025; Smith et al., 2025).

Al contrastar el uso excesivo de nitrógeno (394,70 kg/ha) y fósforo (178,97 kg/ha) identificado en Cañete, con las recomendaciones de Barrios y Basso (2018), se evidencia una práctica de "fertilización por inercia" que contraviene la optimización económica. García y López (2024) advierten que la sobreaplicación de nitrógeno no solo incrementa el costo operativo sin un retorno marginal proporcional, sino que también degrada la estructura edáfica a largo plazo, limitando la sostenibilidad del sistema. A pesar de que el uso de abonos orgánicos (534,76 kg/ha) es una práctica loable que se alinea con las estrategias de intensificación sostenible propugnadas por Müller et al. (2023) e Iglesias et al. (2018), los datos sugieren que la falta de calibración basada en análisis de suelos transforma estos insumos en gastos superfluos. La gestión precisa de la nutrición, apoyada en tecnologías satelitales y sensores, resulta imperativa para alinear la fertilización con la demanda real del cultivo, optimizando así los márgenes económicos (Wang et al., 2023; Zhang et al., 2024).

La aplicación de una función de producción Cobb-Douglas reveló que la eficiencia económica es altamente sensible a la asignación de capital y trabajo, logrando explicar el 84,6% de la variabilidad del rendimiento (Briones Mendoza et al., 2018). La sumatoria de las elasticidades ($E_p < 1$) confirma la operación bajo rendimientos a escala decrecientes (Anaya Campo, 2018; López Álvarez, 2020), un fenómeno que suele estar asociado a la rigidez de los procesos productivos en contextos de pequeña agricultura familiar (Castillo Santa María et al., 2020b). Esta realidad contrasta con los sistemas mecanizados de alta precisión, donde la adopción de tecnologías de siembra y el manejo de big data permiten alcanzar rendimientos superiores con menores costos unitarios (Chen et al., 2024; Oliveira et al., 2025). La brecha tecnológica observada en Cañete subraya la necesidad de transitar hacia un modelo de agricultura de precisión que, como señalan Torres et al. (2024), integre el conocimiento local del agricultor con estándares técnicos de manejo de factores.

Un punto crucial discutido en la literatura es el impacto de la diversidad genética y el manejo de híbridos. Mientras que Bigyan et al. (2021) y Bist et al. (2025) resaltan el papel fundamental de los híbridos para la seguridad alimentaria en contextos asiáticos, la experiencia en el Perú, documentada por Pancorbo-Olivera et al. (2024), sugiere que el éxito del maíz no solo depende de la semilla, sino de un

ecosistema de soporte que incluya acceso a mercados y créditos. Este estudio corrobora que, sin un análisis de costo-beneficio riguroso, la inversión en semillas híbridas puede resultar subóptima si no se acompaña de una gestión técnica concomitante (Kim et al., 2024; Tripathi et al., 2023). La erosión genética y la pérdida de biodiversidad biocultural también emergen como riesgos latentes, instando a buscar un equilibrio entre la productividad comercial y la conservación de recursos genéticos (Gepts, 2023; Houry et al., 2022).

Es menester reflexionar sobre el comportamiento de la mano de obra. La sobreutilización detectada, evidenciada por la productividad marginal del trabajo, apunta a que el exceso de personal en relación con la escala de producción actúa como una carga que inhibe la eficiencia global. Este hallazgo resuena con las observaciones de Fernández et al. (2023) sobre la importancia de la eficiencia en el acceso a mercados y la especialización de tareas en cadenas de suministro de cereales. La optimización del capital humano, combinada con una mejor formación técnica, permitiría a los productores cañetanos mejorar significativamente su posición frente a los desafíos climáticos y de mercado (Castellanos Dorado et al., 2019). Las técnicas de mercado, como lo señalan Alonso et al. (2017), deben integrarse también al manejo productivo para que el agricultor comprenda no solo cuánto produce, sino bajo qué estándares de valor es preferido por el mercado de fruta en fresco o grano industrial.

La evidencia recogida en este estudio ratifica que el cultivo de MAD en Cañete posee el potencial técnico para consolidarse como un nodo de alta eficiencia en la costa peruana, siempre que se superen las rigideces tecnológicas actuales. La transición de un manejo empírico a uno basado en evidencia, donde la fertilización sea una inversión calculada y el factor trabajo esté optimizado, es el eje de acción recomendado. Tal como establecen Chura et al. (2019), la dosificación precisa y el manejo adecuado de las densidades de siembra, ajustadas a las características genéticas de cada híbrido, son los determinantes técnicos que, junto con una gestión económica basada en la minimización de costos innecesarios, permitirán maximizar el margen de utilidad. La integración de estas prácticas no solo mejora el rendimiento de los agricultores individuales, sino que fortalece la resiliencia de todo el sistema agropecuario regional frente a la variabilidad de los precios de los insumos y los efectos del cambio climático (Müller et al., 2023).

Aquí se demuestra que, si bien existen niveles de productividad competitivos en Cañete, la eficiencia económica se ve restringida por prácticas agronómicas tradicionales que requieren ser revaluadas bajo una lógica de optimización técnica. La adopción de nuevas tecnologías, la estandarización de las dosis de nutrientes y una gestión financiera rigurosa, sustentadas en el análisis econométrico aquí presentado, representan la ruta crítica para transformar los excedentes productivos en riqueza real para las familias agricultoras. El desafío para el sector público y privado radica en fomentar programas de capacitación que trasciendan la entrega de insumos, centrándose en el fortalecimiento de las capacidades de gestión técnica y económica del productor, garantizando así la sostenibilidad a largo plazo del cultivo de MAD en el valle de Cañete.

Consideraciones finales

La producción de maíz amarillo duro (MAD) en la provincia de Cañete opera bajo un paradigma de eficiencia subóptima, caracterizado por una gestión tradicional de los factores productivos. Si bien los rendimientos por hectárea se sitúan en rangos competitivos a nivel nacional, la estructura de costos y la asignación de recursos exhiben inconsistencias que impiden alcanzar la frontera de eficiencia económica. La persistencia de rendimientos decrecientes a escala, corroborada por el análisis econométrico, confirma que la expansión de los niveles de inversión, sin una reestructuración de la base tecnológica, resulta insuficiente para incrementar la productividad de manera sostenida, siendo necesaria una optimización profunda de los procesos operativos.

La dimensión tecnológica y la gestión del capital humano emergen como los principales limitantes de la competitividad en el valle. Se ha demostrado que existe una distorsión en el uso de

insumos, donde la sobreaplicación de semilla y herbicida contrasta con una subutilización técnica de macronutrientes esenciales como el nitrógeno y el fósforo. Simultáneamente, el factor trabajo presenta signos de sobreutilización con una limitada instrucción técnica, situación que se agrava ante la correlación negativa entre la edad del productor y el rendimiento. Esta configuración evidencia que el sistema productivo se encuentra atrapado en la segunda etapa clásica de la función de producción, donde el costo marginal de los factores variables comienza a superar el valor del producto marginal, erosionando la rentabilidad global.

En última instancia, el éxito del cultivo de MAD en Cañete depende de la transición hacia un modelo de agricultura tecnificada y basada en evidencia científica. La optimización del sistema productivo no pasa necesariamente por aumentar la escala de inversión, sino por la calibración técnica de la fertilización, el relevo generacional mediante la profesionalización del agricultor y la integración de herramientas de precisión. La adopción de estos lineamientos permitirá no solo revertir las ineficiencias detectadas, sino también fortalecer la resiliencia económica frente a la volatilidad de los mercados, garantizando que el maíz cañetano se posicione como un nodo de alta eficiencia técnica y sostenibilidad financiera en el escenario agrario nacional.

Agradecimientos

A nuestras casas de estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran expresamente que no existe ningún tipo de conflicto de intereses, ni de índole financiera ni personal, que pudiera influir en la publicación del presente artículo científico.

Referencias

- Alonso, J. C., Arboleda, A. M., Rivera-Triviño, A. F., Mora, D. Y., Tarazona, R., & Ordoñez-Morales, P. J. (2017). Técnicas de investigación cualitativa de mercados aplicadas al consumidor de fruta en fresco. *Estudios Gerenciales*, 33(145), 412–420. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2017.10.003>
- Barrios, M., & Basso, C. (2018). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz. *Bioagro*, 30(1), 39–48.
- Bigyan, K. C., Pandit, R., Kandel, B. P., Kanchan, K. C., Arpana, K. C., & Poudel, M. R. (2021). Scenario of plant breeding in Nepal and its application in rice. *International Journal of Agronomy*, 2021, 5520741. <https://doi.org/10.1155/2021/5520741>
- Bist, D. R., Kunwar, A., Chapagae, P., Khatri, L., Bhatt, B., & Mandal, A. (2025). The role of hybrid varieties in enhancing crop productivity and sustainability in Nepalese agriculture. *Scientifica*, 2025, 8275428. <https://doi.org/10.1155/2025/8275428>
- Bravo-Martínez, F. C., Pinedo-Taco, R., & Zorogastua-Cruz, P. (2022). Sustentabilidad económica del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en el valle de Pativilca, Perú. *Idesia*, 40(2), 95–101. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292022000200095>
- Briones Mendoza, X. F., Molero Oliva, L. E., & Calderón Zamora, O. X. (2018). La función de producción Cobb-Douglas en el Ecuador. *Tendencias*, 19(2), 45–73. <https://doi.org/10.22267/rtend.181902.97>
- Cadet Díaz, S., & Guerrero Escobar, S. (2018). Factores que determinan los rendimientos de la producción de maíz en México: Evidencia del censo agropecuario 2007. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(3), 311–337. <https://doi.org/10.22231/asyd.v15i3.848>
- Castellanos Dorado, R. M., Pacheco Feria, U., & Morales Pérez, M. (2019). Evaluación integral de la eficiencia económica de la producción de frijol. *Revista Retos*, 13(1), 208–227.

- Cabrera Vigil, C. E., Taípe Cancho, M. H., Ramos Rosales, D. C., Bendejú Díaz, L. F., & Magallanes Magallanes, J. (2026). Hacia una agricultura de precisión: Optimización de factores productivos en el cultivo de maíz amarillo duro en Cañete. *e-Revista Multidisciplinaria Del Saber*, 4, e-RMS01072026. <https://doi.org/10.61286/e-rms.v4i.439>
- Castillo Santa María, B., Carhuancho Mendoza, I. M., & Moreno Sotomayor, R. A. (2020a). Políticas en la agricultura familiar, Cañete. *INNOVA Research Journal*, 5(1), 218–233. <https://doi.org/10.33890/innova.v5.n1.2020.1169>
- Castillo Santa María, B., Villanueva Aguilar, C. E., Moreno Sotomayor, R. A., & Agüero Alva, H. L. (2020b). Política nacional agraria en el Perú: Efectividad de los enfoques de gestión pública. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(89), 55–65. <https://doi.org/10.37960/revista.v25i89.31383>
- Chen, L., Wang, Y., & Zhang, H. (2024). Role of big data in optimizing productive factors in cereal crops. *Journal of Cleaner Production*, 430, 139625. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139625>
- Chura, J., Mendoza-Cortez, J., & de la Cruz, J. (2019). Doses and splitting of nitrogen in two sowing densities of the flint yellow maize hybrid. *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 241–248. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.09>
- Fernández, P., Ruiz, A., & Gomez, M. (2023). Market access and efficiency in maize production. *Global Food Security*, 38, 100705. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100705>
- García, M., & López, R. (2024). Economic optimization of nitrogen fertilization in yellow maize. *Journal of Agricultural Economics*, 75(2), 450–468. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12560>
- Gepts, P. (2023). Biocultural diversity and crop improvement. *Emerging Topics in Life Sciences*, 7(2), 151–196. <https://doi.org/10.1042/ETLS20230067>
- Iglesias, S., Alegre, J., Salas, C., & Egüez, J. (2018). Corn yield (*Zea mays* L.) improves with the use of eucalyptus biochar. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 25–32. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.03>
- Khoury, C. K., Brush, S., Costich, D. E., Curry, H. A., de Haan, S., Engels, J. M. M., Guarino, L., Hoban, S., Mercer, K. L., Miller, A. J., Nabhan, G. P., Perales, H. R., Richards, C., Riggins, C., & Thormann, I. (2022). Crop genetic erosion: Understanding and responding to loss of crop diversity. *The New Phytologist*, 233(1), 84–118. <https://doi.org/10.1111/nph.17733>
- Kim, S., Park, J., & Lee, H. (2024). Cost-benefit analysis of precision agriculture technologies in developing regions. *Agricultural Systems*, 215, 103856. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103856>
- Müller, F., Weber, K., & Schmidt, T. (2023). Sustainable intensification of maize yields under climate variability. *Field Crops Research*, 301, 109033. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109033>
- Oliveira, J., Santos, R., & Silva, M. (2025). Impact of mechanized precision sowing on crop density efficiency. *Precision Agriculture*, 26(1), 120–145. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10150-z>
- Pancorbo-Olivera, M., Parra-Rondinel, F., Torres-Guevara, J., Cruz-Soriano, A., & Casas, A. (2024). Gathering, agriculture, and exchange: An ethnoecological approach to the study of food patterns and feedstuff sources in communities of the Central Andes, Peru. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 20(1), 69. <https://doi.org/10.1186/s13002-024-00705-9>
- Silva, A., Costa, P., & Santos, D. (2025). Advances in yield prediction models for *Zea mays*. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1450231. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1450231>
- Smith, A., Jones, B., & Brown, C. (2025). Digital transformation in smallholder maize farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 45(1), 12. <https://doi.org/10.1007/s13593-024-01020-5>
- Torres, J., Rojas, L., & Meza, F. (2024). Integrating local knowledge with precision management for maize. *Agriculture and Human Values*, 41(3), 890–905. <https://doi.org/10.1007/s10460-024-10560-4>

Cabrera Vigil, C. E., Taípe Cancho, M. H., Ramos Rosales, D. C., Bendezú Díaz, L. F., & Magallanes Magallanes, J. (2026). Hacia una agricultura de precisión: Optimización de factores productivos en el cultivo de maíz amarillo duro en Cañete. *e-Revista Multidisciplinaria Del Saber*, 4, e-RMS01072026. <https://doi.org/10.61286/e-rms.v4i.439>

Tripathi, A., Sardar, S., & Shyam, H. S. (2023). Hybrid crops, income, and food security of smallholder families: Empirical evidence from poor states of India. *Technological Forecasting and Social Change*, 191, 122532. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122532>

Wang, X., Liu, Y., & Zhao, Q. (2023). Satellite-based monitoring of maize nutrient status. *Remote Sensing in Agriculture*, 15(4), 850–872. <https://doi.org/10.3390/rs15040850>

Zhang, Y., Chen, W., & Li, F. (2024). Precision irrigation management in maize cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 218, 108645. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108645>