



**IMPACTO AMBIENTAL POR USO DE PLAGUICIDAS Y  
SUSTENTABILIDAD DEL SISTEMA PRODUCTIVO DEL MAÍZ  
AMARILLO DURO EN HUAURA, PERÚ †**

**[ENVIRONMENTAL IMPACT OF PESTICIDE USE AND  
SUSTAINABILITY OF HARD YELLOW MAIZE PRODUCTION  
SYSTEM IN HUAURA, PERU]**

**Roberto Hugo Tirado-Malaver<sup>1\*</sup>, Víctor Leyva Valencia<sup>1</sup>,  
Roberto Tirado-Lara<sup>2</sup>, Lucero Castro Tena<sup>1</sup> and Nayla Fabián-Anastacio<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Escuela Profesional de Agronomía, Facultad Ingeniería Agrarias, Industria Alimentarias y Ambientales, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Av. Mercedes Indacochea N° 609. Lima, Perú. Email:*

*[hugotiradomalaver@gmail.com](mailto:hugotiradomalaver@gmail.com), [lcastro@unjfsc.eu.pe](mailto:lcastro@unjfsc.eu.pe)*

<sup>2</sup>*Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, Av. Juan XXIII N° 391, Lambayeque, Perú. E-mail: [tiradolararoberto@gmail.com](mailto:tiradolararoberto@gmail.com)*

*\*Corresponding author*

### SUMMARY

**Background:** Hard yellow maize (MAD) is one of the main crops in economic, social and environmental terms worldwide, however, it is managed through conventional agriculture which entails a high dependence on agrochemical inputs, which cause a negative impact on the agroecosystem and through this study it will be possible to identify the critical points and establish solutions for them. **Objective:** To determine the coefficient of environmental impact of pesticides in the field and find the general sustainability index of the MAD production units. **Objective:** Determine the coefficient of environmental impact of pesticides in the field and find the general sustainability index of the MAD production units. **Methodology:** The environmental impact (EI ha<sup>-1</sup>) of pesticides in the field was evaluated by calculating the environmental impact coefficient (EIQ), concentration of the active ingredient, dose and number of applications. In addition, sustainability was determined through multicriteria analysis by applying 85 questionnaires with structured questions to farmers whose main activity is MAD, with economic, social and environmental indicators standardized on a scale of 1 to 5. **Results:** The study showed that the EI ha<sup>-1</sup> of MAD was 105.11 rated as high, which generates a negative impact on the environment and a high risk for farmers who apply these pesticides. It was also found that the sustainability index of the social and economic dimensions was 3.56 and 3.18 respectively, while the environmental index (2.64) obtained a value below the minimum sustainable threshold, therefore the MAD production system in Huaura is not sustainable. The analysis found the critical points: levels and types of fertilization (2.74), incorporation of organic matter (2.33), crop residue management (1.51), living barriers (1.36), pest control method (2.49), frequency of pesticide applications (2.53), irrigation system (2.54), level of education (2.96), quality of technical assistance and training (2.8), income from other activities (2.9) and marketing channel (1.82). **Implications:** Timely intervention on critical points allows establishing solution options and improving pesticide management. **Conclusion:** The study showed that the IE ha<sup>-1</sup> of MAD was high, indicating that the pesticides used for chemical pest and disease control generate a negative impact on the environment and a high risk for farmers who apply these pesticides. Likewise, it was found that the MAD production system is not sustainable. Therefore, the identification of the critical points allows the establishment of strategies to strengthen the MAD agroecosystem in Huaura, Peru.

**Key words:** agroecosystem; environmental impact; index; pesticides; pesticides; system.

### RESUMEN

**Antecedentes:** El maíz amarillo duro (MAD) es uno de los principales cultivos en términos económicos, sociales y ambientales a nivel mundial, sin embargo, se maneja a través de una agricultura convencional el cual conlleva una alta dependencia de los insumos agroquímicos, los cuales provocan un impacto negativo en el agroecosistema

† Submitted May 29, 2024 – Accepted September 10, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5663>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Roberto Hugo Tirado-Malaver: <http://orcid.org/0000-0002-4615-5310>

y a través de este estudio se podrá identificar los puntos críticos y establecer soluciones sobre ellos. **Objetivo:** Determinar el coeficiente de impacto ambiental de los plaguicidas en campo y encontrar el índice general de sustentabilidad de las unidades productoras de MAD. **Metodología:** Se evaluó el impacto ambiental (IA ha<sup>-1</sup>) de los plaguicidas en campo mediante el cálculo del coeficiente de impacto ambiental (CIA), concentración del ingrediente activo, dosis y número de aplicaciones. Asimismo, se determinó la sustentabilidad a través del análisis multicriterio, para ello se aplicaron 85 cuestionarios con preguntas estructuradas a los agricultores cuya actividad principal es MAD, con indicadores económicos, sociales y ambientales estandarizados a una escala de 1 a 5. **Resultados:** El estudio demostró que el IA ha<sup>-1</sup> del MAD fue de 105.11 calificado como elevado, lo cual genera un impacto negativo en el medio ambiente y un riesgo alto en los agricultores que aplican estos plaguicidas. Asimismo, se encontró que el índice de sustentabilidad de la dimensión social y económica fue de 3.56 y 3.18 respectivamente, mientras que el índice ambiental (2.64) obtuvo un valor por debajo del umbral mínimo sustentable, por tanto el sistema productivo de MAD en Huaura no es sustentable. El análisis encontró los puntos críticos: niveles y tipos de fertilización (2.74), incorporación de materia orgánica (2.33), gestión residuos de cosecha (1.51), barreras vivas (1.36), método de control de plagas (2.49), frecuencia de aplicaciones de plaguicidas (2.53), sistema de riego (2.54), nivel de educación (2.96), calidad de asistencia técnica y capacitación (2.8), ingreso por otras actividades (2.9) y el canal de comercialización (1.82). **Implicaciones:** La intervención oportuna sobre los puntos críticos permite establecer opciones de solución y mejorar el manejo de plaguicidas. **Conclusión:** El estudio demostró que el IA ha<sup>-1</sup> del MAD fue elevado, indicando que los plaguicidas usados para el control químico de plagas y enfermedades genera un impacto negativo en el medio ambiente y un riesgo alto en los agricultores que aplican estos plaguicidas. Asimismo, se encontró que el sistema productivo de MAD no es sustentable. Por lo tanto, la identificación de los puntos críticos permite que se establezca estrategias para reforzar el agroecosistema de MAD en Huaura, Perú.

**Palabras clave:** agroecosistema; impacto ambiental; índice; plaguicidas; sistema.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays*) es el cereal más sembrado a nivel mundial, debido a su doble propósito, tales como el forraje y grano siendo estos productos clave en la producción agropecuaria de cada país (Yigermal *et al.*, 2024). Estos productos presentan un alto contenido de compuestos orgánicos y minerales que es clave en la alimentación animal, por lo cual se destinan en la fabricación de piensos balanceados, la razón de este hecho permite que la producción del maíz amarillo duro (en adelante "MAD") se mantenga en un incremento constante a nivel mundial (Gunjević *et al.*, 2023).

En Perú el cultivo de MAD juega un papel importante para los pequeños agricultores, ya que se siembra en sus tres regiones naturales, llegando a un aproximado de 173 860 agricultores que se dedican a este cereal y producen un total de 1.124 millones de toneladas métricas en una superficie de 250 881.5 hectáreas, dichas cifras fueron de la campaña 2022-2023 (MINADRI, 2024). No obstante, la región costera es donde se registra mayor producción, debido a sus condiciones climáticas y tecnología usadas para incrementar el rendimiento de grano (Vásquez *et al.*, 2024). Asimismo, la provincia de Huaura del departamento de Lima, según el MINADRI (2024) cuenta con 697 agricultores cuya actividad principal es el MAD.

El MAD es conducido a través de un manejo agronómico convencional y debido a la intensificación de la producción de este cereal, se presenta problemas sanitarios, tanto de plagas insectiles y enfermedades. Hecho por el cual los agricultores recurren al uso masivo y excesivo de los plaguicidas para detener el avance del ataque de estas plagas y en muchas ocasiones, la falta de criterio pone en descubierto el mal manejo de los plaguicidas y en consecuencia, producen un daño irreparable en la salud del agricultor y un impacto negativo al ambiente (Kaur *et al.*, 2024). Asimismo, el estrés provocado por el ataque de las diferentes plagas y sus respectivas aplicaciones, producen en la planta alteraciones y desequilibrios fisiológicos, para ello los agricultores recurren por un uso masivo de fertilizantes químicos y otros insumos agroquímicos con el fin de obtener altos rendimientos aunque dicha causa, ocasiona, también, contaminación del suelo y del agua, además, del aumento de los costos de producción (Tirado *et al.*, 2024).

El uso indiscriminado de agroquímicos y la falta de conocimiento del agricultor ante el impacto ambiental y a la salud del mismo, trae como consecuencia el debilitamiento y desequilibrio del agroecosistema (Jacóme *et al.*, 2024). Ante tal situación se sugiere evaluar el sistema productivo del MAD a través de la sustentabilidad, debido al uso de indicadores y subindicadores de cada dimensión que proporcionan información de mucha utilidad sobre el estado actual del cual se encuentra (Zhang *et al.*,

2023). Por otro lado, se requiere cuantificar el riesgo ambiental provocado por los plaguicidas, el cual, se lleva a cabo con el análisis del impacto ambiental (CIA: coeficiente de impacto ambiental) en campo, ya que es un indicador altamente usado a nivel mundial y proporciona información válida sobre las plagas que producen mayor ataque al cultivo, que ingredientes activos son los más usados y con qué frecuencia se aplican para su control, generando un valor que determina si el sistema productivo del cultivo presenta un efecto negativo en el ambiente y su riesgo en la salud de los agricultores aplicadores (Kniss y Coburn, 2015; Seixas *et al.*, 2022). Es así como tanto la información del índice de sustentabilidad y del CIA permitirá identificar los puntos críticos del sistema productivo, el daño al ambiente y a los agricultores para realizar la búsqueda de alternativas de solución (Tirado *et al.*, 2021; Tirado *et al.*, 2023). Ante este hecho, la presente investigación tiene como finalidad determinar el coeficiente de impacto ambiental de los plaguicidas en campo y encontrar el índice general de sustentabilidad de las unidades productoras de MAD en el valle de Huaura.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar de estudio

La investigación se realizó en la provincia de Huaura, Lima la cual se encuentra en centro-norte del Perú, con las siguientes coordenadas: 6°22'53" de Latitud Sur y 78°49'06" de Longitud Oeste y a una altitud de 2617 metros sobre el nivel del mar.

El valle de Huaura está conformado por 697 agricultores maiceros (MIDAGRI, 2024) y a través del muestreo aleatorio simple se aplicó el cuestionario a 85 agricultores quienes son responsables de la administración y el manejo de la finca agrícola siendo el MAD su principal actividad. El estudio se realizó en dos partes, la primera fue el estudio del impacto ambiental por plaguicidas en campo de acuerdo con Bravo *et al.* (2022) y segundo fue el análisis de sustentabilidad a través de la metodología multicriterio propuesto por Sarandón y Flores (2014).

### Análisis del impacto ambiental en campo (EI)

El impacto ambiental (EI) en campo para el MAD en Huaura se realizó usando los datos del ingrediente activo del plaguicida, dosis de aplicación y frecuencia de aplicación obtenida de los maiceros de la zona, el cual se multiplicó con el dato del coeficiente del impacto ambiental (CIA) del plaguicida de acuerdo con la metodología propuesta

por Kniss y Coburn (2015) a continuación se describe el procedimiento para obtener IA ha<sup>-1</sup> en campo. Cabe resaltar que el valor de CIA de los diferentes plaguicidas están determinados por Kovach *et al.* (1992) quienes lo calcularon con la siguiente formula:

$$CIA = (C [(DT*5) + (DT*P)] + (C x [(S+P)/2] * SY) + \frac{(L)}{(L)} + \frac{(F*R)}{(F*R)} + (D*[(S+P)/2]*3)+(Z*P*3)+(B*P*5))/3 \dots (1)$$

Donde:

- C = Toxicidad crónica;
- DT = Toxicidad dermal;
- P = Vida media de residuos en superficie de planta;
- S = Vida media de residuos en el suelo;
- SY = Sistemática;
- L = Potencial de lixiviación;
- F = Toxicidad en peces;
- R = Potencial de escorrentía;
- D = Toxicidad en aves;
- Z = Toxicidad en abejas;
- B = Toxicidad en artrópodos benéficos.

No obstante, Bravo *et al.* (2022) sostienen que el valor de EI ha<sup>-1</sup> en MAD solo se necesita de la ponderación de 15 tipos de plaguicidas que se usan para controlar a las cinco principales plagas en el campo. Entonces siguiendo con la fórmula propuesta de Kniss y Coburn (2015) se obtiene el CIA de campo.

$$CIA \text{ de Campo} = CIA \text{ del plaguicida} \times \text{Concentración del IA} \times \text{Dosis del pesticida (L ha}^{-1} \text{ o kg ha}^{-1}) \dots (2)$$

Donde:

- CIA= Coeficiente de impacto ambiental
- IA= Ingrediente activo del pesticida

Establecido el CIA de campo se obtuvo el EI ha<sup>-1</sup> en el MAD, el cual se obtiene calculando el CIA del campo por el número de aplicaciones, tal como se muestra en la siguiente ecuación propuesta por Ortiz y Pradel (2009).

$$IA \text{ ha}^{-1} = CIA \text{ de campo} \times NAP \dots (3)$$

Donde:

- IA= Impacto ambiental en campo
- NAP= número de aplicaciones del pesticida

El valor resultante se compara con la calificación del IA ha<sup>-1</sup> de campo según Kovach *et al.* (1992), quienes mostraron la siguiente calificación: < a 25 valor calificado como muy bajo, < a 50 como bajo, de 50 a

100 calificado como moderado, > de 100 calificado como elevado y > a 150 muy alto.

### **Análisis de sustentabilidad**

#### **Construcción de indicadores**

El análisis de la sustentabilidad fue estimado a partir del índice de sus tres dimensiones; económica, ambiental y social. Por cada dimensión se construyeron los indicadores a partir de la metodología propuesta por Sarandón y Flores (2014), y respaldado por Fernández *et al.* (2023). Asimismo, cada indicador está compuesto por subindicadores.

#### **Estandarización**

Establecido los subindicadores se estandarizaron a través de una escala del 1 a 5, el valor de sustentabilidad es: muy crítica (0 a 1.99), crítica (2 a 2.99), débil (3 a 3.99), media (4 a 4.99) y alta (igual a 5) es decir el valor 3 umbral mínimo a partir del cual todo indicador puede ser considerado sostenible y 5 valor máximo de sustentabilidad de acuerdo a Mejía *et al.* (2020).

#### **Descripción y ponderación de los indicadores elegidos**

La ponderación dependió de la importancia relativa de cada indicador con respecto a la sustentabilidad del sistema productivo (Tabla 1).

#### **Dimensión ambiental (IA)**

La dimensión ambiental se realizó a través de la siguiente relación matemática:

$$IA = [(A1+A2+A3+A4)/4 + (B1+B2+B3)/3 + (C1+C2)/2] / 3] \dots\dots\dots (4)$$

#### **Dimensión social (IS)**

La dimensión social se realizó a través de la siguiente relación matemática:

$$IS = [(A1 + A2 + A3 + A4+A5 +A6)/6 + (B1 + B2 + B3)/3 + (C1+C2+C3)/3] / 3] \dots\dots\dots (5)$$

#### **Dimensión económica (IK)**

La dimensión ambiental se realizó a través de la siguiente relación matemática:

$$IK = [(A1 + A2 + A3)/3 + (B1 + B2)/2 + (C1+C2+C3)/3] / 3] \dots\dots\dots (6)$$

#### **Índice de sustentabilidad general (ISG)**

Por último, los valores de las dimensiones IK, IA e IS se tomaron para calcular el índice de sustentabilidad general (ISG) a través de la siguiente relación matemática:

$$ISG= (IK+IA+IS)/3 \dots\dots\dots (7)$$

Cabe resaltar que el valor de cada dimensión debe ser mayor a 3, para que el sistema se considere sustentable.

#### **Análisis estadístico**

En el presente estudio se utilizó el método cualitativo y cuantitativo es decir con un enfoque mixto. Asimismo, el tipo de estudio es exploratorio. En cuanto al diseño es descriptivo y no experimental. Los datos obtenidos del IA campo y de los cuestionarios fueron procesados con el software SPSSv22 para obtener las tablas de frecuencia.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **Impacto ambiental por uso de plaguicidas en el sistema productivo de MAD**

En la Tabla 2 se observa los resultados del IA ha<sup>-1</sup> del sistema productivo del MAD, el cual reportó un valor de 105.11 que al ser comparado con la calificación de Kovach *et al.* (1992) este valor fue mayor de 100. Por tanto, es calificado como elevado, indicando que los plaguicidas usados para el control químico de organismos plagas en MAD genera un impacto negativo en el ambiente y un riesgo alto en los agricultores que aplican estos insumos. Estos resultados se asemejan a lo reportado por Bravo *et al.* (2020) quienes obtuvieron un valor de IA ha<sup>-1</sup> de 101.11 en el sistema productivo de MAD en Barranca, indicando un impacto negativo en el ambiente y en las personas.

**Tabla 1. Dimensiones, indicadores y subindicadores para el análisis de sustentabilidad de las unidades productivas de MAD en Huaura.**

Dimensión	Indicador	Subindicador	Escala	
Ambiental	A. Conservación de la vida de suelo	A1.- Rotación de cultivos	(5) Siembra MAD y descansa el terreno; (4) Siembra MAD y 1 campaña pprika; (3) Siembra MAD, paprika y MAD; (2) Siembra MAD dos campanas; (1) Siembra MAD tres campanas	
		A2.- Niveles y tipos de fertilización.	(5) Orgánico procesado; (4) Orgánico sin procesar; (3) químico y alta incorporación de MO; (2) Químico y baja incorporación de MO (1) Solo químico.	
		A3.- Incorporación de materia orgánica.	(5) > a 10.1 t ha <sup>-1</sup> (4) de 7.1 a 10 t ha <sup>-1</sup> (3) de 5.1 a 7 t ha <sup>-1</sup> ; (2) de 3.1 a 5 t ha <sup>-1</sup> ; (1) Menor a 3 t ha <sup>-1</sup> .	
		A4.- gestión residuos de cosecha	(5) Deja en parcela como cobertura (4) Procesa compost (3) Recoge para alimento de ganado (2) lo vende (1) quema.	
	B. Gestn de plagas y enfermedades.	B1.- Barreras vivas.	B1.- Barreras vivas.	(5) Tiene cercos, barreras y cultivos refugio; (4) Tiene barreras y zonas de refugio en un solo lado; (3) Siembra de barreras vivas como cortavientos; (2) Solo cuenta con cercos vivos (1) No aplica esta práctica por desconocimiento.
			B2.- Método de control de plagas.	(5) MIP (4) Labores culturales y bioplaguicidas; (3) Químico, labor cultural y bioplaguicidas; (2) Químico y algunas labores culturales; (1) Químico.
			B3.- Frecuencia de aplicaciones de plaguicidas.	5) de 1 a 5 aplicaciones; 4) de 6 a 10 aplicaciones; 3) de 11 a 15 aplicaciones; 2) de 16 a 20 aplicaciones; 1) más de 20 aplicaciones.
	C. Gestn de agua	C1.- Sistema de riego.	C1.- Sistema de riego.	(5) Fertirriego; (4) Riego por goteo (3) Riego por gravedad con regantes expertos; (2) Riego por gravedad con regantes semiexpertos (1) Riego por gravedad con regantes inexpertos.
			C2.- Calidad del agua	5) muy buena; 4) buena; 3) regular; 2) mala; 1; muy mala.
	Social	A. Necesidades básicas	A1. Nivel de educación	(5) Universitario; (4) Técnico; (3) Secundaria; (2) Primaria; (1) Ninguna
A2. Vivienda			(5) Material noble, muy buena; (4) Material noble, buena; (3) Material adobe, buena; (2) Material adobe regular ; (1) Material adobe mala	
A3. Servicios básicos de la vivienda			(5) Servicios de agua, desagüe, luz e internet; (4): Servicios de agua, desagüe, luz sin internet ; (3) Servicios de agua, ni desagüe ni luz; (2) Agua, sin desagüe y sin luz; (1) Sin ningún servicio básico	
A4. Calidad de servicios de salud			(5) Muy buena, equipamiento y servicios eficientes; (4) Buena, equipado, servicios adecuados, (3) Regular, equipado pero con servicios inadecuados; (2) Mala, muy mala, equipos obsoletos, mala calidad de servicios; (1) Muy mal: sin equipos, solo servicios de atención primaria.	
A5. Calidad de vías de acceso a su finca			(5) Muy buenas condiciones; (4); Buena; (3); Regular; (2) Mala; (1); Muy malas condiciones	
A6. Disponibilidad/estado de movilidad			5) Propia en buen estado, 4) propia regular estado; 3) propia deteriorada; 2) alquiler 1) no tiene ni alquiler	
B. Nivel de satisfacción e integración social		B1. Nivel de satisfacción del productor	B1. Nivel de satisfacción del productor	(5): Muy satisfecho; (4): satisfecho; (3): Medianamente satisfecho; (2): Muy poco satisfecho; (1): insatisfecho.
			B2. Lugar de residencia	(5) Parcela o fundo; (4) Centro poblado muy cercano a su parcela; (3) Centro poblado alejado de su parcela; (2) Ciudad muy cercana a su parcela; (1) Ciudad muy lejos de su parcela.
			B3. Integración social	(5) Excelente (4) Muy buena; (3) Buena; (2) Regular; (1) Nula.
C. Asistencia técnica/ capacitación		C1. Calidad de asistencia técnica y capacitación	C1. Calidad de asistencia técnica y capacitación	(5) Excelente; (4) Muy buena; (3) Buena; (2) Regular; (1) Nula, no le sirve.
			C2. Oferta tecnológica	(5)Muy buena, variedades/tecnologías de manejo de MAD; (4) Buena, variedades insumos; (3) Regular poca oferta de variedades y métodos de producción; (2) Mala, falta semillas de calidad, escasos métodos de producción; (1) Muy mala, poca oferta tecnológica.

Dimensión	Indicador	Subindicador	Escala
Económico	A: Rentabilidad	C3. Conocimiento y manejo de agroquímicos	(5): Muy buena, manejo excelente de uso efectividad y nivel de toxicidad (tiene estudios); (4) Buena: conoce muy bien su efectividad y nivel de toxicidad; (3): Regular, conoce bien o adecuadamente los productos (2): Mala, conoce regularmente los productos; (1) Muy mal: Conoce muy poco usa por indicaciones del técnico, asesor o vecino.
		A1. Superficie cultivada	(5) 7.01 ha a más ; (4) 5.01 a 7 ha; (3) 3.01 a 5 ha; (2) de 1,01 a 3 ha; (1) < o igual a 1 ha
		A2. Rendimiento	(5) 12751 kg/ha a más; (4) 11501 a 12750 kg/ha; (3) de 10251 a 11500 kg/ha; (2) de 9001 a 10250 kg/ha; (1) < o igual a 9000 kg/ha
	B: Ingreso económico	A3. Tenencia de tierras	(5) Propietario con título; (4) Propietario sin título; (3) Posesionario; (2) Contrato de anticresis; (1) Arrendatario
		B1. Ingreso Neto Mensual (PEN)	(5): > PEN 3946; (4): de 2941-3945 PEN; (3): de 1936-2940; (2): de 931 a 1935; (1): < o igual a 930.
		B2. Ingreso por otras actividades (PEN)	(5): > PEN 1764; (4): de 1226 a 1763 PEN; (3): de 689-1225 PEN; (2): de 151 a 688 PEN; (1): < o igual a 150 PEN.
	C: Riesgo económico	C1. Canal de comercialización	(5) 5 o más productos; (4) 4 productos; (3) 3 productos; (2) 2 productos; (1) 1 producto.
		C2. Accesibilidad y seguridad	(5) Acceso excelentes condiciones y seguro; (4) Acceso buenas condiciones, seguro; (3) Acceso buenas condiciones, poco seguro; (2) Acceso irregular, poco seguro (1) Acceso dificultoso e inseguro.
		C3. Calidad de tierras	(5) Tierras de excelente calidad física, química y biológica; (4) Tierras con buena textura, estructura y profundidad; (3) Tierras profundas medianamente fértiles; (2) Tierras poco profundas, muy arenosas (1) Tierras poco profundas, pedregosas poco fértiles.

Asimismo, se encontró que 12 ingredientes activos usados para controlar las cinco principales plagas y enfermedades más importantes o que se presentan frecuentemente en el sistema productivo de MAD y al no realizarse el control preventivo o curativo el ataque aumenta provocando la muerte de la planta. En tanto, entre las plagas insectiles con mayor frecuencia y ataque en el MAD fue el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) para el cual se utilizaron cinco ingredientes activos; clorpirifos, clorantraniliprole, cipermetrina, lufenuron y spinosad, a dosis de 0.1, 0.25, 0.2, 0.4 y 0.5 kg ha<sup>-1</sup>, aplicados por cilindro de 400 L de agua, el número de aplicaciones fue de 4, 3, 2, 2 y 2 veces por campaña respectivamente. Seguido, por gusano de tierra (*Agrotis ipsilon*, *Copitarsia turbata* y *Feltia experta*), la chinche del maíz (*Sthenaridea carmelitana*) y gusano mazorquero (*Helicoverpa zea*) para ello se utilizaron nueve ingredientes activos de los cuales algunos de ellos coincidieron con los ingredientes activos para el control del gusano cogollero. En cuanto a las cantidades de aplicación de estos ingredientes activos fueron de 0.1 a 0.5 kg/ha y de 1 a 4 aplicaciones de estos plaguicidas.

Con respecto, a las enfermedades, la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*) fue la más representativa y para su control se usaron tres ingredientes activos (carbendazim, propiconazole y tebuconazole) a dosis de 0.25 kg/ha para los tres casos, el número de aplicaciones de estos fungicidas fueron de 2, 1 y 1 veces por campaña para su control en el MAD, resultado similares fueron encontrados por Bravo *et al.* (2020).

Como se muestran en los resultados, existe un impacto negativo en el ambiente y riesgo en los agricultores aplicadores de plaguicidas, ante ello Dėdina *et al.* (2024) indican que es necesario un cambio de una agricultura convencional hacia una agricultura regenerativa en donde el uso de los insumos químicos son menores, aunque esta transición provoca caída en el rendimiento, pero al ser menos dependiente de los insumos químicos u optar por alternativas amigables con el ambiente permite un desarrollo sustentable en la agricultura, además, se logra con ello, menos contaminación ambiental y se reduce el riesgo en la salud de los agricultores.

**Tabla 2. Estudio del impacto ambiental (IE) de los plaguicidas utilizados en el sistema productivo de maíz amarillo duro en Huaura, Perú.**

Problema fitosanitario	Tipo de pesticida	IA	Concentración del IA	Concentración %	Dosis Kg - L ha <sup>-1</sup>	NA	CIA	CIA de campo	IA ha <sup>-1</sup>
Insecto plaga									
<b>Gusano de tierra</b> ( <i>Agrotis ipsilon</i> , <i>Copitarsia turbata</i> y <i>Feltia experta</i> )	Insecticida	Clorpirifos	480 g/L EC	0.48	0.5	2	26.85	6.44	12.89
		Metomil	200 g/L EC	0.2	0.2	1	30.7	1.23	1.23
		Metamidofos	600 g/L SC	0.6	0.5	1	36.8	11.04	11.04
		Lambdacialotrina	50 g/L SC	0.05	0.2	1	44.17	0.44	0.44
<b>Gusano cogollero</b> ( <i>Spodoptera frugiperda</i> )		Clorpirifos	480 g/L EC	0.48	0.1	4	26.85	1.29	5.16
		Clorantraniliprole	200 g/L SC	0.2	0.25	3	18.34	0.92	2.75
		Cipermetrina	250 g/L EC	0.25	0.2	2	27.3	1.37	2.73
		Lufenuron	50 g/L SC	0.05	0.4	2	25.33	0.51	1.01
		Spinosad	120 g/L SC	0.12	0.5	2	14.38	0.86	1.73
<b>Chinche del maíz</b> ( <i>Sthenaridea carmelitana</i> )		Dimetoato	400 g/L EC	0.4	0.5	2	74.00	14.80	29.60
		Lambdacialotrina	50 g/L SC	0.05	0.2	2	44.17	0.44	0.88
<b>Gusano mazorquero</b> ( <i>Helicoverpa zea</i> )		Clorpirifos	480 g/L EC	0.48	0.1	2	26.85	1.29	2.58
		Cipermetrina	200 g/L EC	0.2	0.25	2	27.3	1.37	2.73
		Fipronil	200 g/L SC	0.2	0.4	2	88.25	7.06	14.12
Enfermedad									
<b>Mancha de asfalto</b> ( <i>Phyllachora maydis</i> )	Fungicida	Carbendazín	500 g/L SC	0.5	0.25	2	50.5	6.31	12.63
		Propiconazole	250 g/L EC	0.25	0.2	1	31.63	1.58	1.58
		Tebuconazole	200 g/L SC	0.20	0.25	1	40.33	2.02	2.02
<b>Total</b>						<b>32</b>	<b>58.96</b>	<b>105.11</b>	

IA: Ingrediente activo, NA: Número de aplicaciones, EC: Concentrado emulsionable, SC: Suspensión concentrada.

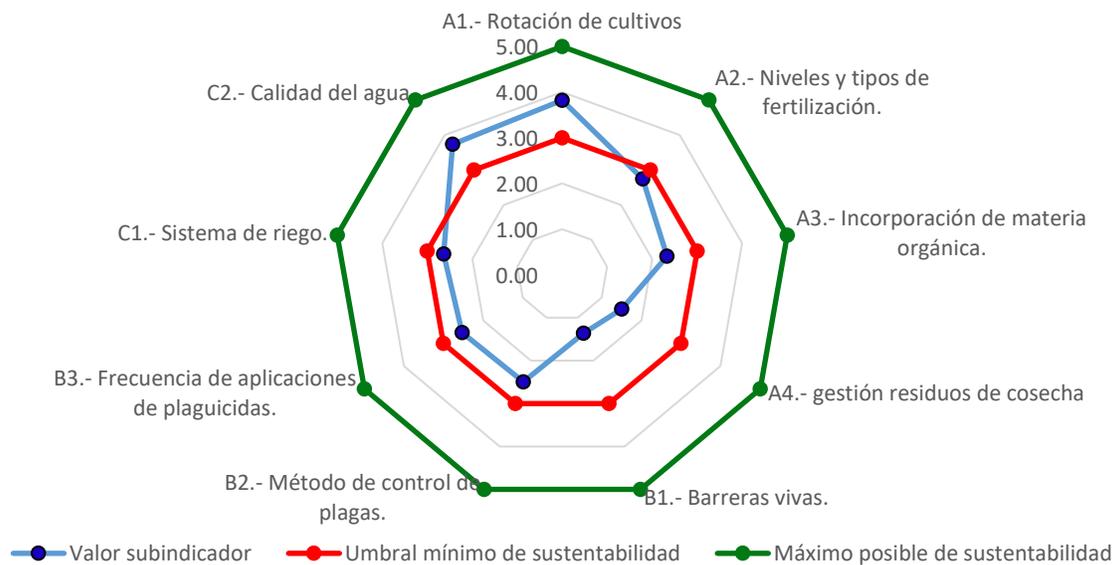
## Índice de sustentabilidad

### Dimensión ambiental

En la Figura 1 se muestra el índice de sustentabilidad ambiental de las unidades productivas de MAD en Huaura reportando un valor no sustentable (2.64) debido a que se encuentra por debajo del umbral mínimo de sustentabilidad (< a 3). Asimismo, para el indicador “conservación de la vida de suelo” se reporta que los subindicadores que presentan valores con condición crítica fueron: niveles y tipos de fertilización (A2) con 2.74, incorporación de materia orgánica (A3) con un valor de sustentabilidad de 2.33, gestión residuos de cosecha (A4) con 1.51, mientras que para el indicador “gestión de plagas y enfermedades” fueron el subindicador barreras vivas (B1) con 1.36, método de control de plagas (B2) con un valor de 2.49 y frecuencia de aplicaciones de plaguicidas (B3) con un valor de 2.53. El indicador “gestión de agua” solo reportó a su subindicador sistema de riego (C1) con 2.64. En cambio, los

subindicadores que obtuvieron valores sustentables, al ser mayor al valor crítico fueron: rotación de cultivos (A1) con un valor de 3.82 y el subindicador calidad del agua (C2) con 3.73 respectivamente.

Estos resultados se aproximan a lo reportado por Bravo *et al.* (2020) quienes encontraron en su estudio de sustentabilidad ambiental en el valle de Pativilca un nivel bajo (2.54), además, los indicadores de gestión y conservación de suelos, gestión de plagas y gestión de agua, con valores menores al umbral mínimo de sustentabilidad no contribuyen en la sustentabilidad ambiental del sistema del maíz. En este estudio los subindicadores niveles y tipos de fertilización, incorporación de materia orgánica, gestión residuos de cosecha, barreras vivas, método de control de plagas, frecuencia de aplicaciones de plaguicidas y el sistema de riego presentaron valores no sustentables, es por ello que se deben realizar estrategias en estos puntos críticos para aumentar la sustentabilidad del sistema.

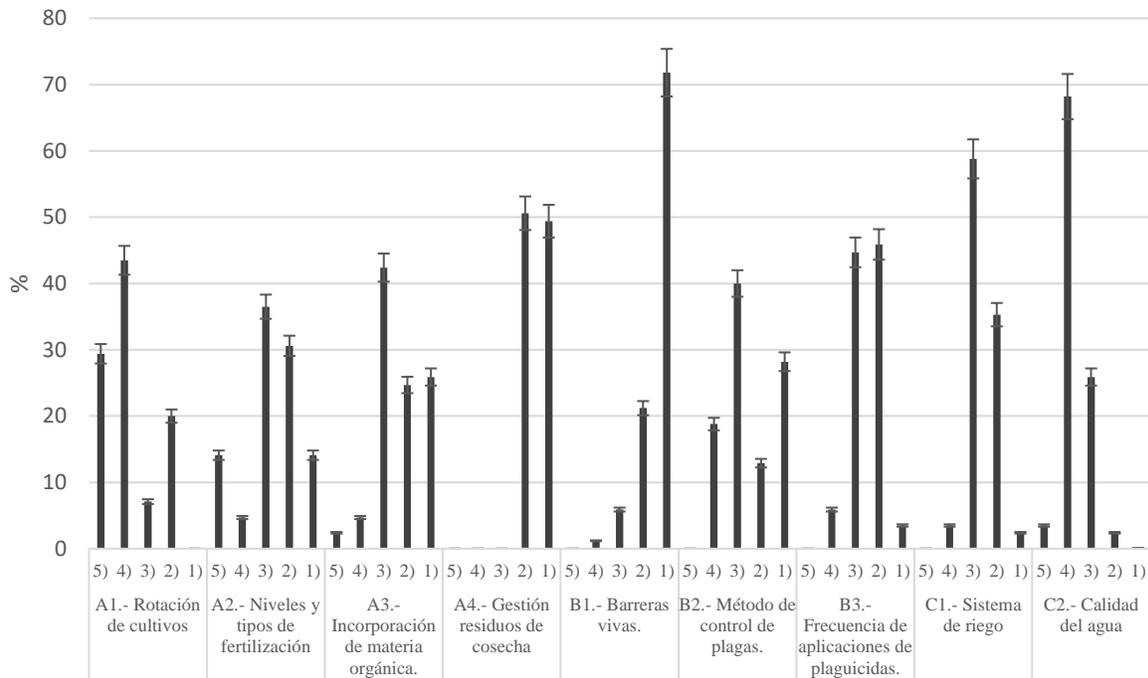


**Figura 1.** Subindicadores de sustentabilidad ambiental del sistema productivo de maíz amarillo duro

En la Figura 2 se muestra el análisis de frecuencia de los subindicadores de la dimensión ambiental del sistema productivo de MAD mostrando que los niveles y tipos de fertilización que los agricultores de maíz utilizan son fuentes y altas de fertilización química y alta incorporación de materia orgánica. Asimismo, el 42.4% de estos agricultores incorporan de 5.1 a 7 t/ha de materia orgánica (MO). En cuanto a la gestión de residuos de cosecha los agricultores de MAD mencionan que el 50.6% venden los residuos de cosecha como forraje para la ganadería local. El 71.8% de ellos no aplican barreras vivas por desconocimiento. Con respecto al método de control de plagas y enfermedades el 40% hay predominio de los agricultores de maíz por el método químico, labor cultural y la frecuencia de aplicaciones de plaguicidas corresponden a más de 20 aplicaciones de plaguicidas (45.9%). Por último, los subindicadores de la gestión de agua para el MAD presentan riego por gravedad con regantes expertos (58.8%) y con un 68.8% del total indican que el agua de riego es de buena calidad.

Estos resultados se aproximan a lo encontrado por Cieza y Vásquez (2022) quienes analizando la

productividad del MAD en condiciones de la costa norte del Perú, encontraron que la mayoría de agricultores maiceros utilizan alta dosis de fertilización química e incorporación relativamente alto de la MA, además, mencionan que el residuo de cosecha lo venden como forraje y durante la campaña agrícola utilizan más de 20 aplicaciones de plaguicidas, sin embargo, con respecto al agua de riego no indican problema alguno. Asimismo, Hasang-Morán *et al.* (2021) mencionan que el sistema productivo de maíz es ambientalmente sustentable si se utiliza productos amigables con el ambiente en la actividades de fertilización y en la gestión de plagas, minimizando cada vez el uso de fertilizantes químicos como bajar los niveles de fertilización química y combinarlo con biofertilizantes y bioestimulantes, así también reduciendo el uso de pesticidas químicos en el control de plagas con el uso de biopesticidas o productos orgánicos amigables con el ambiente. Coincidiendo con Beltrón (2022) quien indica que es necesario preservar la biodiversidad y conservación de los recursos naturales, llevando una agricultura convencional a una agricultura sustentable.

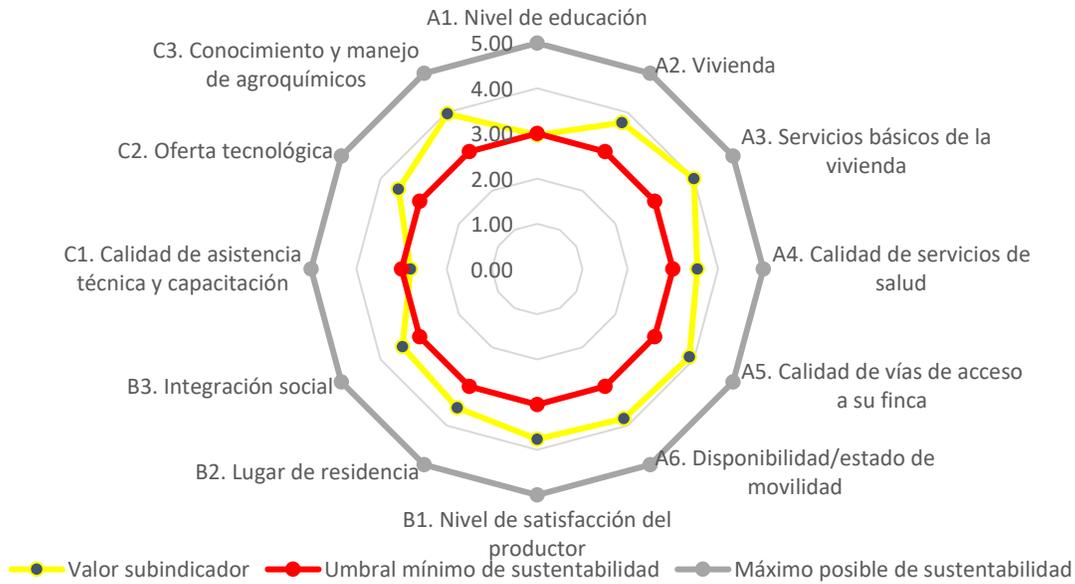


**Figura 2.** Análisis de frecuencia de los subindicadores de la dimensión ambiental del sistema productivo de MAD.

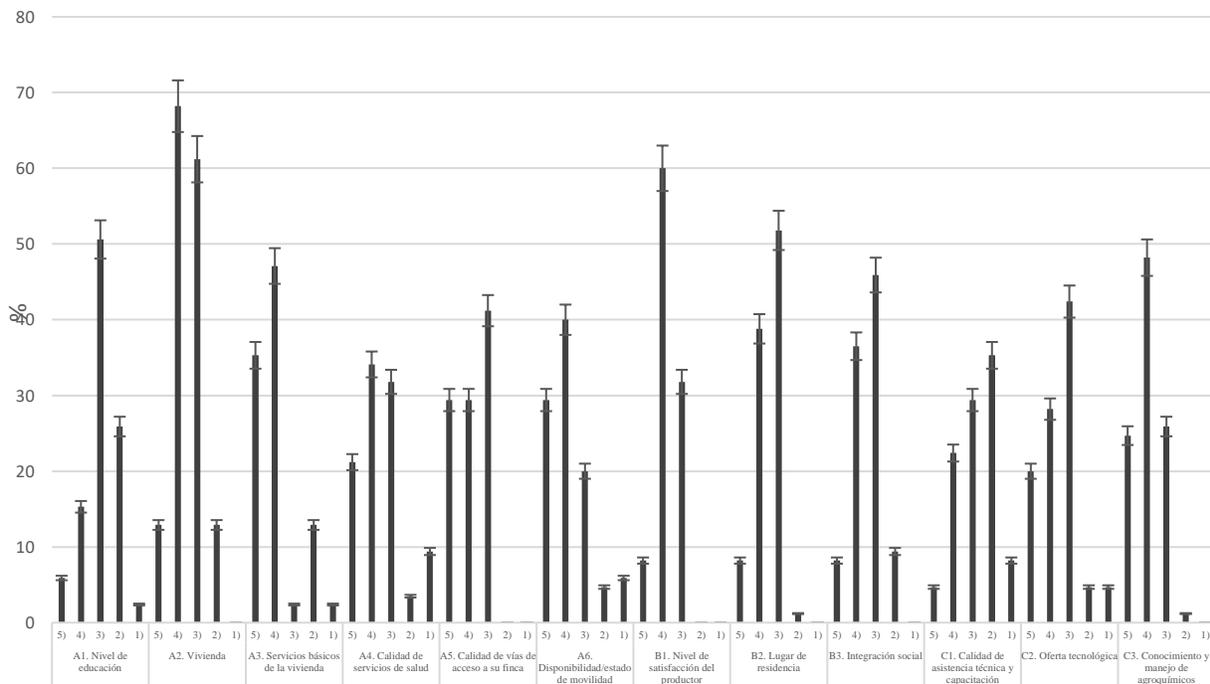
### Evaluación de la dimensión social

El índice de sustentabilidad social (Figura 3) alcanzó un valor sustentable (3.56). Sin embargo, los subindicadores A1 (2.96) y C1 (2.8) presentaron un valor por debajo del umbral mínimo de sustentabilidad. En cambio, los demás subindicadores presentaron valores que oscilan entre 3.44 a 4 ( $\geq 3$ ). Estos resultados indican que los agricultores en Huaura tienen acceso a las necesidades básicas, satisfacción e integración social y cierta parte de la asistencia técnica y capacitaciones. Nuestros resultados concuerdan con Analuisa *et al.* (2023) quienes confirman que el sistema de producción del MAD socialmente sustentable se da cuando los agricultores cuentan con acceso a la educación, salud, alimentación y bienestar, además, de contar con capacitaciones constantes sobre el uso de los insumos agrícolas y tecnologías sobre el cultivo, se mantendrá así, siempre cuando las autoridades locales apoyen constantemente estos indicadores y se mejoren las cadenas de valor del MAD.

La Figura 4 muestra el análisis de frecuencia de los subindicadores de la dimensión social, en donde se encontró, que los subindicadores de las necesidades básicas del productor de MAD mostraron que la mayoría de los agricultores cuentan con secundaria completa y un 25.9% tienen solo primaria, en cuanto a la vivienda del productor tienen viviendas de material noble. El 47.1% tienen servicios de agua, desagüe, luz y con internet limitado. La calidad de servicios médicos (34.1%) indican que es buena, equipado, servicios adecuados. En cuanto al nivel de satisfacción e integración social del agricultor de MAD, el 60% de ellos indican estar satisfechos con su actividad. Asimismo, el 51.8% de ellos mencionan que su residencia está alejada de su parcela. En cuanto a la integración social de los agricultores de MAD los resultados mostraron que el 45.9% es buena. Con respecto a la asistencia técnica y capacitación; el 35.3% indicaron que es regular, el 42.4% mostraron poca oferta de variedades y métodos de producción. Con respecto al subindicador de conocimiento y manejo de agroquímicos el 48.2% mostraron que es buena: conoce muy bien su efectividad y nivel de toxicidad.



**Figura 3.** Subindicadores de sustentabilidad ambiental del sistema productivo de maíz amarillo duro.



**Figura 4.** Análisis de frecuencia de los subindicadores de la dimensión social del sistema productivo de MAD.

Mientras que los subindicadores que presentaron una situación crítica de sustentabilidad en el nivel de educación y calidad de asistencia técnica y capacitación, esto confirmaría los resultados por Bravo *et al.* (2022) quienes encontraron que el sistema de MAD en Pativilca, Perú, es sustentable socialmente, sin embargo, presenta puntos críticos que deben ser intervenidos a través de estrategias y

así mejorar el sistema sustentable, para este caso es necesario que el gobierno o las universidades realicen capacitaciones en temas agrícolas para mejorar el rendimiento del maíz e incentivar a los niños del valle de Huaura a una educación de buena calidad e incluso estudios universitarios. Lo cual es respaldado por Jacóme *et al.* (2024) quienes sostienen que el agroecosistema de producción puede

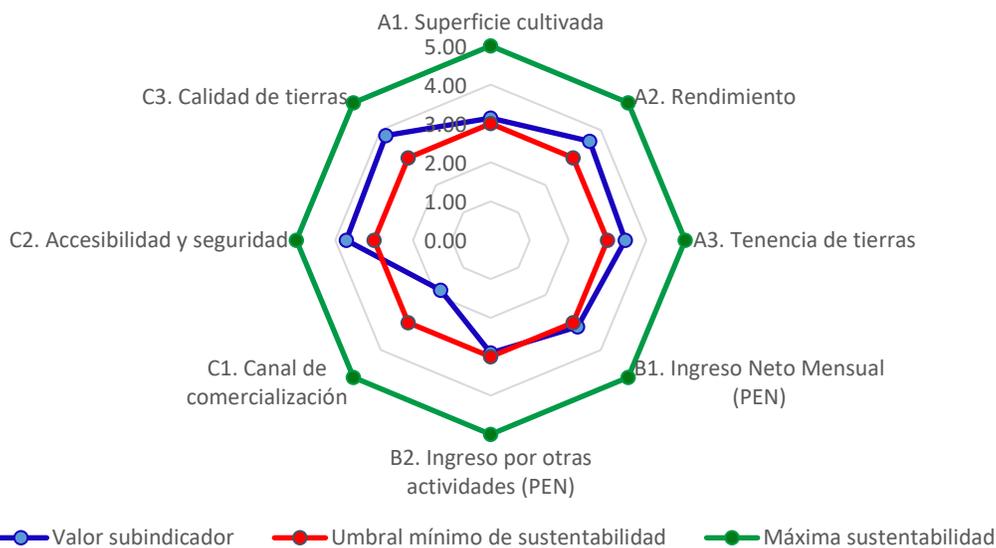
poner en riesgo la sustentabilidad sin un buen nivel de educación y de alta calidad de asistencia técnica y capacitación, ya que un agricultor con un alto nivel de educación tiene mayor facilidad comprender sobre el manejo agronómico del cultivo sin exceder del uso de los agroquímicos, además, de presentar suficiente conciencia ecológica en relación al manejo de los plaguicidas y recurrir por una buena calidad de asistencia técnica y capacitación.

### Evaluación de la dimensión económica

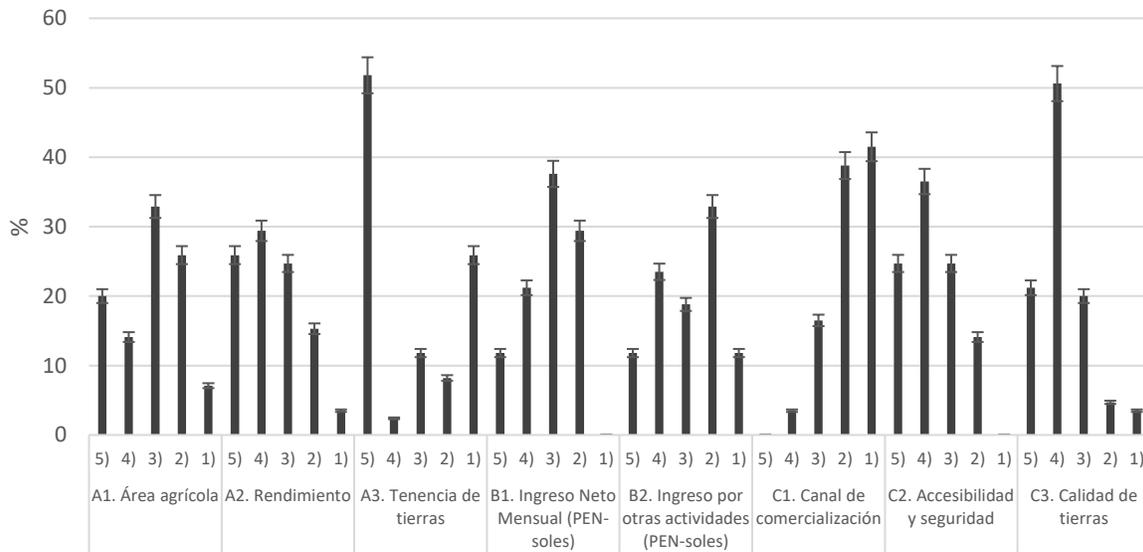
En lo referente al índice de sustentabilidad económica (Figura 5) de los agricultores de MAD obtuvo un valor sustentable (3.18). Los subindicadores que presentaron valores sustentables fueron el A1 (3.14), A2 (3.6), A3 (3.46), B1 (3.15), C2 (3.72) y C3 (3.81). En cambio los subindicadores que presentaron valores críticos por debajo del umbral mínimo de sustentabilidad siendo B2 (2.90) y C1 (1.82). Estos resultados revelaron que el agricultor de MAD no debe limitarse a un solo cultivo principal, por tanto, tienen que aumentar sus ingresos con otras actividades tanto agrícolas, pecuarias u otras, además, de aumentar los canales de comercialización del MAD aumentando así sus ingresos económicos que mantendrá la calidad de vida de su familia. De hecho según Aquino *et al.* (2021), un sistema productivo es sustentable económicamente si tiene la capacidad de autosuficiencia alimentaria, incrementar ingresos económicos por otras actividades no agrícolas, diversificar sus productos para presentar más canales de comercialización y aumentar el rendimiento del cultivo con estrategias amigables con el medio

ambiente y sin aumentar los costos de producción y con todo ello mantendrá una buena calidad de vida a su familia.

En la Figura 6 se muestra el análisis de frecuencias de los subindicadores de la dimensión económica del sistema productivo de MAD, reportando que el indicador “rentabilidad” presentó en el subindicador superficie cultivada un resultado de 32.9% donde los agricultores tienen un área agrícola de 3 a 5 ha, con un rendimiento de 11501 a 12750 kg/ha (29.4%) y más de la mitad son propietarios con título (51.8%) y 25.9% son arrendatarios. Con respecto a los subindicadores del “ingreso económico” el subindicador ingreso neto mensual (PEN-soles) muestra que el 37.6% tienen ingresos de 1936-2940 soles, el 32.9% tienen ingresos por otras actividades con 151 a 688 soles. En cuanto a los subindicadores del riesgo económico el 41.5% de los productores de MAD tienen un solo canal de comercialización y 38.8% tienen dos canales de comercialización. El 36.5% tienen acceso buenas condiciones y seguridad. En cuanto a la calidad de tierras los agricultores señalan que los suelos en Huaura tienen buenas condiciones físicas. Estos resultados son consistentes con los hallazgos por Bravo *et al.* (2022) quienes encontraron sustentabilidad económica en MAD en el valle de Pativilca, Perú, reportando que el 70% de agricultores maiceros cuentan con 3 a 5 ha de superficie agrícola, con rendimientos promedio que llegan hasta 11.5 t/ha, la mayoría tienen entre uno o dos canales de comercialización, además, la mayoría de los productores no cuentan con ingresos económicos por actividades no agrícolas.



**Figura 5.** Subindicadores de sustentabilidad ambiental de las fincas del sistema productivo de MAD.



**Figura 6.** Análisis de frecuencia de los subindicadores de la dimensión económico del sistema productivo de MAD.

Estos resultados revelaron que el sistema productivo de MAD los canales de comercialización e ingresos por otras actividades, son los subindicadores que pone en riesgo a la sustentabilidad. Este hallazgo concuerda con lo reportado por Hasang-Morán *et al.* (2021) quienes indican que la baja diversificación para la venta ocasiona que la mayoría de los productores dependan solo del maíz para la subsistencia y al existir pérdida o daño de este, no podrán compensarlo, provocando riesgo en la sustentabilidad del sistema productivo. De hecho según Analuisa *et al.* (2020) quien estudio la sustentabilidad socioeconómica de maíz y confirmó que los productores que viven en zonas urbanas tienen otros ingresos debido a que la cercanía a la ciudad tienen más oportunidades de generar otras actividades secundarias y acceso a servicios, generando mayor ingreso económico en comparación con productores rurales, que está más limitados a otras actividades debido a la lejanía con otros productores y/o personas para ejecutar actividades. Por tanto, se establece que el agricultor debe realizar más actividades para reforzar el sistema sustentable del MAD (Mejía *et al.*, 2020).

**Sustentabilidad general de las unidades productoras de MAD**

En la Tabla 3 los resultados muestran que los índices de sustentabilidad social y económico presentaron valores sustentables ( $\geq 3$ ), en cambio el índice de sustentabilidad ambiental presento un valor no sustentable ( $< 3$ ) y el índice de sustentabilidad general fue de 3.13 a pesar de ser mayor al punto crítico sustentable, el índice ambiental fue menor lo que implica que el sistema productivo de MAD en Huaura no es sustentable. Lo cual es respaldado por Sarandón y Flores (2014) quienes sostienen que si una de las dimensiones no supera el umbral mínimo de sustentabilidad el sistema productivo no es sustentable. Nuestros hallazgos confirman que este sistema productivo presenta un tipo de manejo inclusivo, ya que incluye la importancia de las tres dimensiones de la sustentabilidad. En el estudio reportado por López y Chan (2016) indican que el manejo inclusivo debe asegurar la sustentabilidad de las tres dimensiones, por lo cual se requiere de alternativas para mejorar el manejo de los recursos naturales y alcanzar el desarrollo sustentable.

**Tabla 3.** Indicadores de la sustentabilidad económica, social, ambiental y general de las fincas del sistema productivo de MAD.

Dimensiones			Índice de sustentable General (ISG)	Clasificación
Índice de sustentable social (IS)	Índice de sustentable Ambiental (IA)	Índice de sustentable Económico (IK)		
3.56	2.64	3.18	3.13	No sustentable

En esta investigación ha demostrado que las unidades productivas de MAD en el valle de Huaura no es sustentable debido a que los subindicadores de la dimensión ambiental presentaron valores por debajo del umbral mínimo de sustentabilidad, siendo estos puntos críticos: niveles y tipos de fertilización, incorporación de materia orgánica, gestión residuos de cosecha, barreras vivas, método de control de plagas, frecuencia de aplicaciones de plaguicidas y el sistema de riego, además, se encontró subindicadores que ponen en riesgo a la sustentabilidad del sistema siendo estas: nivel de educación, calidad de asistencia técnica y capacitación, ingreso por otras actividades y canal de comercialización. Tal como mencionan Zhang *et al.* (2023) el análisis de sustentabilidad permite encontrar los puntos críticos que debilitan el sistema productivo, para que se puedan tomarse acciones a través de estrategias y/o prácticas amigables con el medio ambiente para reforzar dicho sistema y alcanzar la sustentabilidad. Asimismo, López y Chan (2016) indican que es necesario el manejo técnico de los recursos naturales para reforzar la dimensión ambiental. Al respecto, Beltrón (2022) indica que el sistema productivo sustentable debe mantener la productividad y ser útil para la sociedad a largo plazo y rentable para que pueda competir con la agricultura convencional. Esta conversión permite una mejoría en el agroecosistema manteniendo los recursos naturales por mayor tiempo usando productos amigables con el medio ambiente, conservando el suelo, usando estrategias para obtener buen rendimiento (Tao *et al.*, 2023).

Este estudio encontró también que se debe realizar alternativas de solución sobre los puntos críticos de los subindicadores con valores por debajo del umbral mínimo sustentable, tales como, inicio de capacitaciones sobre el manejo de fertilizantes y nutrición mineral, aumento de incorporación de enmiendas orgánicas, manejo de la cosecha, mejorar el buen uso de los plaguicidas, uso de microorganismos benéficos con capacidad antagonista de enfermedades, mejorar en temas de sistemas de riego para aumentar la eficacia del recurso hídrico y mejorar el manejo de los recursos naturales para reforzar el sistema productivo de MAD en Huaura.

## CONCLUSIONES

La presente investigación demostró que el coeficiente del impacto ambiental del MAD fue de 105.11 calificado como elevado, esto indica que los plaguicidas usados generan un impacto negativo en el ambiente y un riesgo alto en los agricultores que los aplican.

El estudio demostró también que los índices de sustentabilidad de la dimensión social y económica son sustentables mientras que la sustentabilidad ambiental está por debajo del umbral mínimo sustentable, por tanto el sistema productivo de MAD en Huaura no es sustentable, siendo necesario el manejo inclusivo para reforzar el sistema.

Asimismo, el análisis de sustentabilidad encontró los puntos críticos del sistema productivo de MAD siendo estos: niveles y tipos de fertilización, incorporación de materia orgánica, gestión de residuos de cosecha, barreras vivas, método de control de plagas, frecuencia de aplicaciones de plaguicidas, sistema de riego, nivel de educación, calidad de asistencia técnica y capacitación, ingreso por otras actividades y el canal de comercialización requieren una pronta intervención de alternativas de solución para mejorar la sustentabilidad del sistema productivo de MAD en Huaura.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a los agricultores de MAD en Huaura por el apoyo y colaboración.

**Funding.** This research was funded by the authors.

**Conflict of interests.** The authors declare they have no conflict of interest.

**Compliance with ethical standards.** This research was carried out with the consent of the farmers of Huaura.

**Data availability.** The authors we agree that the data obtained in this study will be broadcasted.

**Author Contribution Statement (CRediT).** **R.H. Tirado-Malaver.** Conceptualization, data curation, formal analysis, methodology, validation, writing - original draft, writing - review and editing. **V. Leyva-Valencia.** Conceptualization, data curation, formal analysis, methodology, validation, writing - original draft, writing - review and editing. **R. Tirado-Lara.** Methodology, validation, writing original draf. **N. Fabián-Anastacio.** Writing - review and editing. **L. Castro-Tena.** Writing - review and editing.

## REFERENCES

- Analuisa, I.A., Jimber del Río, J.A., Fernández Gallardo, J.A. and Vergara-Romero, A., 2023. La cadena de valor del maíz amarillo duro ecuatoriano. Retos y oportunidades. *Lecturas De Economía*, 98, pp. 231-

262. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n98a347315>.
- Analuisa, I.A., Guerrero, J., Fernández, J.A. and Rodríguez, O. M., (2020). Caracterización socioeconómica del agricultor maicero en la Provincia de Manabí mediante técnicas de análisis multivariantes. *PODIUM*, (38), 1–16. <https://doi.org/10.31095/podium.2020.38.1>
- Aquino, V., Gómez, N., Porta, R. and Jiménez, J., 2021. Análisis de Correspondencia Múltiple de Sustentabilidad en Unidades Productoras de Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) en el valle del Mantaro, Perú. *IDESIA*, 40(1), pp. 15-23. <http://doi.org/10.4067/S0718-34292022000100015>
- Bravo, F., Zorogastúa, P. and Pinedo, R., 2020. Índice de sustentabilidad ambiental de unidades de producción de maíz amarillo en sistemas agrícolas del valle de Pativilca, Lima, Perú. *IDESIA*, 38(4), pp. 117-125. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v38n4/0718>
- Bravo, F., 2022. Sustentabilidad económica del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en el valle de Pativilca, Perú. *IDESIA*, 40(2), pp. 95-101. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v40n2/0718-3429-idesia-40-02-95.pdf>
- Cieza, I. and Vásquez-Rojas, T. R., 2022. Productividad de tres híbridos experimentales de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo condiciones climáticas de la costa norte del Perú. *Revista De investigación Agropecuaria*, 2(1), pp. 21–28. <https://doi.org/10.25127/riagrop.20221.781>.
- Dědina, M, Jevič, P, Čermák, P, Moudrý, J, Mukosha, C.E., Lošák, T., Hrušovský, T. and Watzlová, E., 2024. Environmental Life Cycle Assessment of Silage Maize in Relation to Regenerative Agriculture. *Sustainability*, 16(2), pp. 481. <https://doi.org/10.3390/su16020481>.
- Fernández, P., Sánchez-Castillo, M. and Jumbo-Benítez, N., 2023. Sustentabilidad de los sistemas agroforestales de café especial de altura en el sector sur oriental del cantón Loja. *Bosques Latitud Cero*, 13(2), pp. 80–90. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1887>
- Gunjević, V., Grbeša, D., Zurak, D., Kiš, G., Janječić, Z., Svečnjak, Z., Bedeković, D., Duvnjak, M., Pirgozliev, V. and Kljak, K., 2023. Effect of Maize Hybrid in Complete Feed on the Production Performance and Economic Considerations in Laying Hens. *Sustainability*, 15, pp. 15748. <https://doi.org/10.3390/su152215748>
- Hasang, E., García, S., Carrillo-Zenteno M., Durango-Cabanilla W. and Cobos-Mora F., 2021. Sustentabilidad del sistema de producción del maíz, en la provincia de Los Ríos (Ecuador), bajo la metodología multicriterio de Sarandón. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 9(1), pp. 26-40. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2021.090100026>
- Hasang, E., García, S., Carrillo, M., Durango W., Medina, R. and Lombeida, E., 2022. Evaluación de sistemas productivos de maíz, sobre la sostenibilidad económica. *Revista Sociedad Científica Paraguay*, 27(1), pp. 18-30. <https://doi.org/10.32480/rscp.2022.27.1.18>
- Jácome, E., García, V., Mogro, Y. and Ilbay, M., 2024. Sustainability of agricultural production units in the western cordillera of the ecuadorian andes. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27, pp. 038. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5122>
- Kaur, R., Choudhary, D., Bali, S., Bandral, S., Singh, V., Ahmad, M., Rani, N. and Chandrasekaran, B., 2024. Pesticides: An alarming detrimental to health and environment. *Science of The Total Environment*, 915, pp. 170113. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170113>
- Kniss, A. R. and Coburn, W., 2015. Quantitative Evaluation of the Environmental Impact Quotient (EIQ) for Comparing Herbicides. *PloS One*, 10(6), pp. e0131200. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131200>.
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J. and Tette, J., 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Llife Sciences Bulletin*, N°139: 1-8. <https://hdl.handle.net/1813/55750>
- López, L. and Chan, J., 2016. Marco conceptual del manejo de recursos naturales. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(1), pp. 27-35. URI: <https://www.itson.mx/publicaciones/rln/Docu>

[ments/v12-n1-3-marco-conceptual-del-manejo-de-recursos-naturales.pdf](#)

- Martínez, E., Luna, L., Ramos, H. and Vidal, U., 2022. Potato Farming Systems from a Social-Ecological Perspective: Identifying Key Points to Increase Resilience in a High Andean Productive Landscape. *Sustainability*, 14(5), pp. 2491. <https://doi.org/10.3390/su14052491>
- Mejía, R.L., Gómez-Pando, L. and Pinedo-Taco, R., 2020. Sostenibilidad de las unidades de producción del cultivo de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(2), pp. e2483. <http://doi.org/10.19136/era.a7n2.2483>
- MIDAGRI, 2024. *Perfil del cultivo de maíz amarillo duro campaña agosto 2022 – julio 2023*. Disponible en: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYjYwYTk5MDgtM2M0MS00NDMyLTgzNDEtMjNhNjEzYWQyOTNlIiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>
- Sarandón, S.J., 2002. *El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas*. En: Sarandón SJ (ed.). *Agroecología: El camino para una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas. La Plata, Argentina, pp. 393-414. <https://wp.ufpel.edu.br/consagro/files/2010/10/SARANDON-cap-20-Sustentabilidad.pdf>
- Sarandón, S.J. and Flores, C., 2014 *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables*. Primera Edición. Universidad Nacional de La Plata. Argentina. 466p.
- Seixas, N.L., da Silveira, F.J. and Ferrari, V.E., 2022. Assessing environmental impact of genetically modified seeds in Brazilian agriculture. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 977793. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.977793>
- Tao, T., Ma, L., Wang, X., Wu, S., Shi, Z., and Cui, X., 2023. Resilience or efficiency? Strategic options for sustainable development of agricultural systems in ecologically fragile areas of China. *Science of the Total Environment*, pp. 881, 163411. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163411>
- Tirado, R., Tirado-Malaver, R., Mayta-Huatuco, E. and Amoros-Briones, W., 2020. Identificación de clones de papa con pulpa pigmentada de alto rendimiento comercial y mejor calidad de fritura: Estabilidad y análisis multivariado de la interacción genotipo-ambiente. *Scientia Agropecuaria*, 11, pp. 323 – 334. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.04>
- Tirado, M.R., Mendoza-Sáenz, J. and Tirado L.R., 2021. Análisis multivariado para caracterizar y tipificar fincas productoras de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Cutervo, Cajamarca, Perú. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24, pp. #106. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3744>
- Tirado, R., Tirado, R., Medoza-Sáenz, J. Fabian, N., Tirado, R. and Campos, A., 2024. Sustainability index of the potato (*Solanum tuberosum* L.) production agroecosystem in Cutervo, Peru. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(1), pp. 20. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4934>
- Vásquez, H.V., Vigo, C.N., Saravia, D., Valqui, L. and Bobadilla, L. G., 2024. Agronomic performance of forage corn for cattle feeding in Amazonas, Peru. *Heliyon*, 10(9), e30790. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30790>
- Yigermal, H., Nakachew, K. and Assefa, F., 2024. The effects of seedling transplanting on growth and yield performance of maize (*Zea mays* L.) for climate change resilience in Burie District, Northwestern Ethiopia: Dataset Article. *Data in Brief*, 54, pp. 110410. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110410>
- Zhang, H.-L., Dang, Y.P. and Li, L., 2023. Farming system: A systemic solution to sustainable agricultural development. *Farming System*, 1(1), pp. 100007. <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2023.100007>