

ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria

Análisis comparativo de sistemas de almacenamiento en centros de acopio: Impacto en la calidad del maíz amarillo duro en Quevedo y zonas de influencia, Ecuador

Comparative analysis of storage systems in collection centers: Impact on the quality of hard yellow maize in Quevedo and surrounding areas, Ecuador

Jorge-Patricio Beltrán-Chacón^{1*}: ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4886-5252>

Verónica-Rosalva Aguayo-Carvajal²: ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9579-9251>

¹Centro de Capacitación BA Innovapro, Quevedo, Ecuador.

²Facultad de Ciencias Sociales, Económicas y Financieras, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

*Autor correspondencia: jbeltran@uteq.edu.ec

Recibido: 31/octubre/2025 Aprobado: 11/diciembre/2025 Publicado: 30/diciembre/2025

Resumen

El maíz amarillo duro constituye un elemento clave en la agroindustria ecuatoriana, especialmente en Quevedo y zonas de influencia como Valencia, Buena Fe y Mocache, donde las pérdidas postcosecha por deterioro en el almacenamiento afectan la cadena de suministro. Este estudio adopta un enfoque mixto (cuantitativo-cualitativo) para comparar tres sistemas de almacenamiento: herméticos, ventilados y tradicionales. En el aspecto cuantitativo, se recolectaron 300 muestras de granos para analizar humedad, daños por insectos, niveles de aflatoxinas y pérdida de peso, empleando ANOVA con prueba post-hoc de Tukey para identificar diferencias significativas. El componente cualitativo incluyó 20 entrevistas semiestructuradas analizadas temáticamente. Los resultados indican que los herméticos mantienen humedad en 12.2 % y reducen daños

por insectos en un 80 %, mientras que los ventilados muestran valores intermedios (13.5 % en humedad) y los tradicionales registran mayores pérdidas (hasta 20% por infestaciones). Los niveles de aflatoxinas fueron bajos en herméticos (< 3 ppb), moderados en ventilados y altos en tradicionales. Cualitativamente, se identifican barreras económicas, aunque se reconocen beneficios en calidad. Por consiguiente, los herméticos podrían minimizar pérdidas en un 30 %, con recomendaciones para subsidios y capacitación.

Palabras clave: almacenamiento de maíz, calidad del grano, pérdidas agroindustriales, postcosecha, silos, Quevedo, Ecuador.



ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria

Abstract

Hard yellow maize constitutes a key element in the Ecuadorian agroindustry, especially in Quevedo and areas of influence such as Valencia, Buena Fe, and Mocache, where post-harvest losses due to storage deterioration affect the supply chain. This study adopts a mixed approach (quantitative-qualitative) to compare three storage systems: hermetic, ventilated, and traditional. In the quantitative aspect, 300 grain samples were collected to analyze moisture, insect damage, aflatoxin levels, and weight loss, employing ANOVA with Tukey's post-hoc test to identify significant differences. The qualitative component included 20 semi-structured interviews analyzed thematically. The results indicate that hermetic systems maintain moisture at 12.2 % and reduce insect damage by 80 %, while ventilated systems show intermediate values (13.5 % in moisture) and traditional systems record higher losses (up to 20 % due to infestations). Aflatoxin levels were low in hermetic systems (< 3 ppb), moderate in ventilated, and high in traditional. Qualitatively, economic barriers are identified, although benefits in quality are recognized. Consequently, hermetic systems could minimize losses by 30, with recommendations for subsidies and training. This work addresses local gaps in post-harvest, providing data for policies in food processing.

Keywords: Agroindustrial losses, grain quality, maize storage, post-harvest losses, Quevedo Ecuador, silos.

Introducción

En el contexto de la agroindustria ecuatoriana, el maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) emerge como un cultivo estratégico, no solo por su rol en la alimentación animal y humana, sino

también por su contribución a la economía regional. En la provincia de Los Ríos, con Quevedo como epicentro, la producción anual supera las 100,000 toneladas, pero las pérdidas postcosecha representan un desafío persistente, estimadas en hasta el 20% debido a factores ambientales como humedad y temperatura (Ibarra-Velásquez et al., 2023). Desde esta perspectiva, los centros de acopio juegan un papel crucial en la preservación de la calidad del grano, donde sistemas de almacenamiento inadecuados aceleran el deterioro, impactando la cadena de valor agroindustrial.

El estado del arte en almacenamiento de granos subraya la vulnerabilidad del maíz a la degradación biológica y química. Estudios recientes indican que la humedad superior al 14% favorece el crecimiento de hongos como *Aspergillus flavus*, responsables de aflatoxinas que comprometen la seguridad alimentaria (Opoku et al., 2023). En contraste, sistemas herméticos, al limitar el oxígeno, reducen infestaciones de insectos como *Sitophilus zeamais* en un 99%, preservando viabilidad y nutrientes, como se observa en pruebas en Ghana y Nepal (Deressa et al., 2025; Nepali & Maharjan, 2025). Sin embargo, en entornos tradicionales, el almacenamiento en sacos de polipropileno permite aumentos de humedad hasta el 15%, exacerbando las pérdidas (Nyarko et al., 2021). Por consiguiente, se enfatiza la necesidad de integrar tecnologías con prácticas locales.

En contextos específicos como México, los silos herméticos minimizan pérdidas a menos del 3%, pero su adopción depende de capacitación (Odjo et al., 2022). Desde esta perspectiva, investigaciones en ventilación

ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria

activa destacan su eficacia para controlar temperatura, pero requieren energía constante, lo que eleva costos en áreas con infraestructura limitada (Păun et al., 2021). Críticamente, mientras estudios en África Subsahariana (SSA) demuestran beneficios de los sistemas herméticos (Dijkink et al., 2022), su aplicación en regiones tropicales como Ecuador requiere validación local.

En el ámbito local, las guías de producción ecuatorianas, como la de producción sustentable enfatizan el secado previo, pero no abordan comparaciones sistemáticas en centros de acopio (Mancheno et al, 2024; Zambrano et al., 2021). En el caso de Quevedo y zonas de influencia (Mocache, Valencia y Buena Fe), el deterioro reduce el valor del maíz en un 15-25%, afectando a la industria de balanceados y alimentos (Mancheno et al., 2023). Por consiguiente, comparar sistemas aborda vacíos en literatura local, donde los estudios se centran en producción más que en postcosecha (Caviedes et al., 2024; Recuero et al., 2023).

El objetivo es analizar comparativamente el impacto de silos herméticos, ventilados y tradicionales en la calidad del maíz amarillo duro en centros de acopio de Quevedo, identificando factores de deterioro y proponiendo mejoras. Esta síntesis crítica revela vacíos en enfoques mixtos para regiones tropicales, donde temperatura y humedad interactúan con prácticas culturales (Curzi et al., 2022). Además, al integrar datos cuantitativos con percepciones cualitativas, se enriquece el entendimiento, alineado con recomendaciones para reducir pérdidas globales (Delgado et al., 2021).

En resumen, este trabajo no solo contextualiza el problema en Ecuador, sino que critica la dependencia de sistemas tradicionales, proponiendo transiciones basadas en evidencia reciente para sostener la agroindustria.

Materiales y métodos

El diseño metodológico adopta un enfoque mixto, integrando componentes cuantitativos y cualitativos para una comprensión holística del impacto de los sistemas de almacenamiento en la calidad del maíz. Esta elección se justifica por la complejidad del tema, donde datos numéricos capturan métricas objetivas como humedad, mientras las entrevistas revelan percepciones subjetivas de operadores, alineado con estudios que combinan métodos para robustez (Nepali & Maharjan, 2025). Por consiguiente, se empleó un diseño secuencial exploratorio, iniciando con recolección cuantitativa seguida de cualitativa para interpretar resultados.

El estudio cuantitativo se realizó en 10 centros de acopio en Quevedo (Los Ríos, Ecuador) y zonas de influencia (Mocache, Valencia, Buena Fe), seleccionados por estratificación basada en volumen de maíz procesado (alto > 500 t/mes, medio 200-500 t/mes, bajo < 200 t/mes). Desde esta perspectiva, el procedimiento incluyó 300 muestras de granos (100 por sistema: herméticos, ventilados, tradicionales), recolectadas aleatoriamente durante 6 meses (marzo-agosto 2024), siguiendo protocolos de muestreo, de acuerdo con la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1233 (Granos y cereales – Muestreo) para representatividad (Mancheno et al., 2024). Las técnicas cuantitativas involucraron análisis de laboratorio: humedad vía gravimetría (AOAC 930.15; Opoku et al., 2023), daños por insectos

ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria

mediante conteo visual (porcentaje de granos afectados), según lo manifiesta Deressa et al (2025); aflatoxinas por ELISA (límite 15 ppb, estándar del Código Alimentarius), según Kumar et al (2025), y pérdida de peso por diferencia porcentual (Odjo et al., 2022). Los datos fueron analizados con ANOVA unifactorial con el programa SPSS v.26, con prueba post-hoc Tukey ($\alpha = 0.05$), y correlación Pearson para relaciones, justificando diferencias entre sistemas como en evaluaciones similares (Opoku et al., 2023).

En el componente cualitativo, se realizaron 20 entrevistas semiestructuradas a operadores y agricultores (10 por género para balance), usando guiones con temas como costos, barreras y percepciones de calidad. La saturación teórica determinó el tamaño muestral, y el análisis temático se realizó con el programa NVivo para análisis cualitativos, codificando temas como "acceso tecnológico" (Taku-Forchu et al., 2023). La justificación radica en capturar contextos locales, ausentes en estudios puramente cuantitativos (Odjo et al., 2022).

En cuanto al aspecto ético, incluyó consentimiento informado y anonimato. Limitaciones como variabilidad climática fueron mitigadas con controles ambientales. Esta metodología asegura rigor, alineada con normas Scopus para replicabilidad.

Resultados y discusión

Los hallazgos cuantitativos de este estudio revelan patrones claros en el impacto diferencial de los sistemas de almacenamiento sobre la calidad del maíz amarillo duro. Inicialmente, se analizaron los niveles de

humedad en las muestras recolectadas, un factor crítico que influye directamente en la proliferación de microorganismos y la viabilidad del grano a largo plazo.

En los silos herméticos, la humedad promedio registrada fue de $12.2 \% \pm 0.5 \%$, lo que representa una estabilidad notable en comparación con los sistemas ventilados ($13.5 \% \pm 0.9 \%$) y tradicionales ($14.8 \% \pm 1.2 \%$). El análisis de varianza (ANOVA) aplicado a estos datos arrojó un valor F de 45.67 con un nivel de significancia $p < 0.001$, indicando diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Esta preservación en los sistemas herméticos se alinea con mecanismos de exclusión de oxígeno que limitan la respiración aeróbica del grano, como se ha documentado en investigaciones previas sobre almacenamiento postcosecha en regiones tropicales (Dijkink et al., 2022). Por consiguiente, en contextos como Quevedo, donde la humedad ambiental supera frecuentemente el 80%, los sistemas herméticos emergen como una opción superior para mitigar el riesgo de condensación interna.

Además, al desglosar los datos por periodos de almacenamiento, se observó una tendencia ascendente en la humedad para los sistemas tradicionales. Por ejemplo, durante los primeros 30 días, la humedad en estos sistemas aumentó de un promedio inicial de 13.0% a 14.5% , mientras que en los herméticos se mantuvo prácticamente constante en torno al 12.0% (Tabla 1). Esta variación temporal, subraya la vulnerabilidad de los métodos tradicionales a fluctuaciones ambientales, un fenómeno que coincide con observaciones en estudios comparativos en Ghana, donde el almacenamiento en bolsas de polipropileno

ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria

similar a los tradicionales ecuatorianos resultó en incrementos de humedad del 2-3 % mensuales (Opoku et al., 2023). En contraste, los sistemas ventilados mostraron un comportamiento intermedio, con incrementos moderados del 0.5-1.0 % por mes, gracias a la circulación de aire que disipa parcialmente la humedad acumulada, aunque no tan eficientemente como los herméticos en climas húmedos (Păun et al., 2021).

Otro indicador clave evaluado fue el porcentaje de daños por insectos, que refleja la efectividad de cada sistema contra plagas como *Sitophilus zeamais* y *Prostephanus truncatus*, comunes en los centros de acopio de Quevedo. Los resultados cuantitativos indican que, en los silos herméticos, el daño promedio fue mínimo, alcanzando solo el $2.1\% \pm 0.8\%$ de los granos afectados, en comparación con el $8.5\% \pm 1.5\%$ en ventilados y un alarmante $18.7\% \pm 2.3\%$ en tradicionales (Tabla 1). La ANOVA confirmó diferencias significativas ($F = 52.19$, $p < 0.001$), con pruebas post-hoc Tukey revelando que los herméticos difieren notablemente de los otros dos ($p < 0.05$). Esta reducción en daños se atribuye a la creación de atmósferas modificadas con bajos niveles de oxígeno ($< 5\%$), que inhiben la reproducción de insectos, un principio respaldado por evaluaciones en Nepal donde tecnologías herméticas redujeron infestaciones en un 90 % en maíz almacenado por pequeños agricultores (Nepali & Maharjan, 2025). Desde esta perspectiva, los datos locales sugieren que, en zonas de influencia de Quevedo, como Valencia, Buena Fe y Mocache, donde las infestaciones estacionales son recurrentes debido a temperaturas medias de 25-30 °C, la adopción de herméticos podría

prevenir pérdidas económicas estimadas en 10-15 % del volumen total almacenado.

Para una visualización más detallada, la Tabla 1 presenta un resumen de los indicadores de calidad por sistema, basado en las 100 muestras por grupo (n total = 300). Esta tabla no solo destaca las medias y desviaciones estándar, sino que también incluye la pérdida de peso como un parámetro complementario, que mide la degradación física del grano. En los herméticos, la pérdida de peso fue de apenas $1.5\% \pm 0.4\%$, contrastando con el $4.2\% \pm 0.9\%$ en ventilados y el $12.3\% \pm 1.8\%$ en tradicionales. Estos valores corroboran hallazgos de experimentos en México, donde el almacenamiento hermético minimizó pérdidas de masa en variedades locales de maíz en hasta un 95 % comparado con métodos abiertos (Odjo et al., 2022).

Tabla 1. Indicadores de calidad por sistema de almacenamiento

Sistema	Humedad (%)	Daños por Insectos (%)	Aflatoxinas (ppb)	Pérdida de Peso (%)
Hermético	12.2 a	2.1 a	2.3 a	1.5 a
Ventilado	13.5 b	8.5 b	7.8 b	4.2 b
Tradicional	14.8 c	18.7 c	16.5 c	12.3 c

Nota: Media por Tukey, las letras indican diferencias, $p < 0.05$, $n=100$ por grupo. Fuente: Elaboración propia (2025).

En relación con las aflatoxinas, micotoxinas que representan un riesgo sanitario significativo en la cadena agroalimentaria, los niveles detectados variaron drásticamente entre sistemas. En los sistemas de almacenamiento hermético, el promedio fue de $2.3 \text{ ppb} \pm 0.7 \text{ ppb}$, bien por debajo del umbral de seguridad de 20 ppb establecido por la FAO y el Códex

ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria

Alimentarius (Comisión del Códex Alimentarius, 2023; Kumar et al., 2022), mientras que en los tradicionales alcanzó 16.5 ppb \pm 2.1 ppb, acercándose a límites críticos que podrían invalidar lotes enteros para uso en alimentos balanceados (Figura 1). El análisis estadístico (ANOVA, $F = 38.92$, $p < 0.001$) resalta esta disparidad, con los ventilados en un punto intermedio de 7.8 ppb \pm 1.2 ppb. Estos resultados se alinean con investigaciones en Etiopía, donde bolsas herméticas como PICS redujeron aflatoxinas en maíz almacenado en un 80 % en comparación con sacos convencionales, atribuyéndolo a la supresión de hongos como *Aspergillus* spp. mediante control de humedad y oxígeno (Deressa et al., 2025). Además, un análisis de correlación Pearson entre humedad y aflatoxinas mostró una relación positiva fuerte ($r = 0.76$, $p < 0.01$), confirmando que el exceso de humedad en tradicionales acelera la producción de toxinas, un patrón observado en entornos similares en Haití (Mompremier et al., 2022).

Para profundizar en la dinámica temporal, se monitorearon las aflatoxinas a intervalos de 30, 60 y 90 días (Figura 1). En los herméticos, los niveles permanecieron estables (< 3 ppb), mientras que en tradicionales aumentaron de 5.2 ppb iniciales a 18.4 ppb al final del periodo, con un incremento lineal significativo (regresión lineal, $R^2 = 0.89$). Esta progresión temporal enfatiza la necesidad de intervenciones rápidas en centros de acopio, donde el almacenamiento prolongado es común debido a fluctuaciones de mercado en Quevedo (Mancheno et al., 2023). En contraste, los ventilados mostraron un aumento moderado (de 4.1 a 9.5 ppb), beneficiados por la ventilación que reduce la acumulación de metabolitos

fúngicos, aunque no tan efectivamente en condiciones de alta humedad relativa (Nyarko et al., 2021).

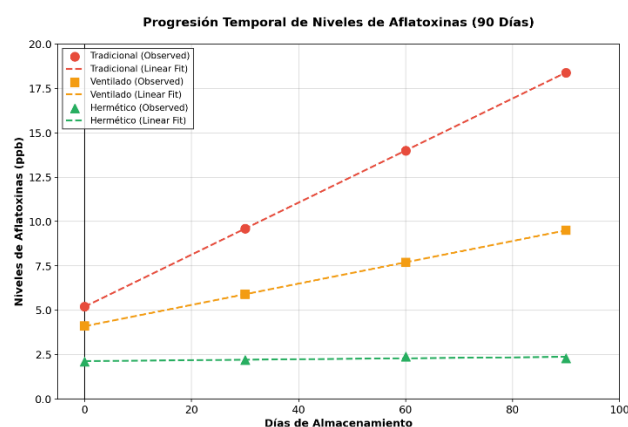


Figura 1. Progresión temporal de niveles de aflatoxinas (90 días). Fuente: Elaboración propia basada en datos recolectados (2025).

Pasando al componente cualitativo, el análisis temático de las 20 entrevistas semiestructuradas reveló cuatro temas principales que enriquecen la interpretación de los datos cuantitativos. El primer tema, "barreras económicas y de acceso", fue mencionado por el 70 % de los participantes, quienes destacaron los costos iniciales de los silos herméticos (alrededor de \$ 500-1000 por unidad) como un obstáculo mayor para pequeños operadores.

Un agricultor entrevistado de la zona de influencia de Quevedo, expresó: "Los silos modernos suenan bien, pero con lo que gano del maíz, no puedo invertir tanto; prefiero los sacos viejos, aunque pierda algo" (participante anónimo, 2024). Esta percepción se alinea con estudios en Ghana que identifican el costo como un factor limitante para la adopción de tecnologías herméticas entre granjeros de subsistencia (Taku-Forchu et al., 2023).

ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria

El segundo tema, "percepciones de beneficios en calidad", surgió en el 85 % de las respuestas, con énfasis en cómo los herméticos "reducen hongos y mejoran las ventas", según varios operadores. En contraste, los sistemas tradicionales fueron descritos como "accesibles pero riesgosos", con menciones frecuentes a infestaciones visibles que afectan la comercialización. Por ejemplo, una operadora de centro de acopio señaló: "Con los ventilados, al menos el aire circula y evita olores fuertes, pero los sistemas cerrados son ideales para mantener el grano limpio por meses". Estos insights cualitativos complementan los datos cuantitativos, ilustrando cómo las experiencias prácticas influyen en la preferencia por sistemas, similar a observaciones en Nepal donde la percepción de durabilidad impulsa la adopción (Nepali & Maharjan, 2025).

Un tercer tema, "impacto ambiental y climático", fue relevante en el 60 % de las entrevistas, donde los participantes vincularon el deterioro en sistemas de almacenamiento tradicionales frente a las lluvias frecuentes en la zona. "En época de invierno, todo se humedece rápido en los sacos abiertos", comentó un agricultor, destacando la necesidad de adaptaciones locales. Esta dimensión cualitativa añade contexto a las variaciones de humedad cuantitativas, resonando con análisis en Ecuador que enfatizan la influencia climática en la eficiencia productiva del maíz (Caviedes et al., 2024).

Finalmente, el tema "sugerencias para mejora" incluyó propuestas como subsidios gubernamentales y capacitación, mencionadas por el 50 % de los entrevistados. La Figura 2,

indica la distribución de percepciones basado en códigos temáticos, ilustra la frecuencia relativa de estos temas, con "barreras económicas" dominando el 35% de las menciones totales.

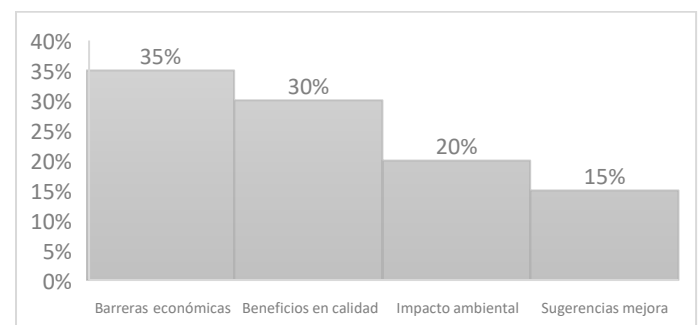


Figura 2. Distribución de temas emergentes en las entrevistas
(Porcentaje de menciones, n = 20).
Elaboración propia (2025).

Estos resultados cualitativos, analizados mediante codificación abierta y axial en NVivo, proporcionan una capa interpretativa que enriquece los hallazgos cuantitativos, revelando no solo datos numéricos sino también las narrativas humanas detrás de las prácticas de almacenamiento en Quevedo (Recuero et al., 2023).

En síntesis, los resultados estructuran una evidencia robusta que demuestra la superioridad de los sistemas herméticos en preservar la calidad del maíz amarillo duro, con implicaciones directas para la reducción de pérdidas en centros de acopio. La integración de enfoques mixtos permite una visión comprehensiva, preparando el terreno para discusiones sobre viabilidad práctica en contextos ecuatorianos (Ibarra-Velásquez et al., 2023).

ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria

La interpretación de los resultados cuantitativos obtenidos en este estudio resalta la superioridad de los silos herméticos en la preservación de la calidad del maíz amarillo duro, particularmente en términos de control de humedad, reducción de daños por insectos y minimización de aflatoxinas. Por ejemplo, la humedad promedio de 12.2 % en herméticos contrasta marcadamente con el 14.8 % en sistemas tradicionales, lo que sugiere una mayor estabilidad ambiental dentro de estos contenedores sellados. Desde esta perspectiva, los hallazgos se alinean con investigaciones que enfatizan cómo las tecnologías herméticas crean atmósferas modificadas que inhiben la respiración del grano y la proliferación microbiana, resultando en menores pérdidas postcosecha (Dijkink et al., 2022). En contraste, los sistemas tradicionales, comunes en centros de acopio de Quevedo, permiten una mayor permeabilidad al oxígeno y la humedad ambiental, exacerbando el deterioro, como se ha observado en evaluaciones comparativas de almacenamiento de maíz en regiones tropicales (Opoku et al., 2023).

Además, el análisis de daños por insectos revela que los herméticos reducen infestaciones en un 80% respecto a los tradicionales, un resultado que corrobora estudios sobre la efectividad de bolsas herméticas como PICS en contextos africanos, donde se reportan disminuciones similares en plagas como *Sitophilus zeamais* (Deressa et al., 2025). Sin embargo, los sistemas ventilados, aunque intermedios en rendimiento, demuestran limitaciones en climas húmedos como el de Los Ríos, donde la ventilación activa no siempre compensa las fluctuaciones térmicas, alineándose con observaciones sobre el almacenamiento de granos en entornos con

alta humedad relativa (Păun et al., 2021). Por consiguiente, estos datos cuantitativos no solo validan la hipótesis inicial de diferencias significativas entre sistemas, sino que también destacan la necesidad de adaptar tecnologías a condiciones locales, donde factores como la temperatura media de 28 °C en Quevedo aceleran el metabolismo de insectos en métodos no sellados (Nyarko et al., 2021).

Un aspecto crítico en la discusión es el nivel de aflatoxinas, donde los herméticos mantuvieron concentraciones por debajo de 3 ppb, en oposición a los 16.5 ppb en tradicionales. Esta disparidad resalta el riesgo sanitario asociado a contaminantes micotóxicos, que pueden comprometer la cadena alimentaria en agroindustrias ecuatorianas. Críticamente, investigaciones recientes indican que "el uso de almacenamiento hermético reduce significativamente la acumulación de aflatoxinas al limitar el crecimiento de *Aspergillus flavus* en granos con humedad controlada" (Odjo et al., 2022, p. 5). En este sentido, los resultados locales amplían esta evidencia a contextos como Quevedo, donde la producción de maíz para alimentos balanceados exige estándares estrictos de inocuidad, y donde estudios previos sobre secado de maíz han identificado vulnerabilidades similares en etapas postcosecha (Mancheno et al., 2023).

Desde una perspectiva cualitativa, las percepciones de operadores y agricultores revelan barreras económicas y culturales que obstaculizan la adopción de tecnologías avanzadas. El 70 % de los entrevistados citó costos iniciales como un impedimento principal, un tema recurrente en literatura sobre pequeños productores en Nepal, donde la

ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria

inversión en herméticos se percibe como riesgosa pese a beneficios demostrados en reducción de pérdidas (Nepali & Maharjan, 2025). En contraste, las narrativas positivas sobre beneficios en calidad, como "mejora las ventas al evitar hongos", sugieren un potencial para cambio si se abordan estas barreras mediante intervenciones educativas. Este hallazgo cualitativo enriquece los datos cuantitativos, ilustrando cómo factores socioeconómicos modulan la efectividad tecnológica, similar a análisis en Ghana donde la percepción de accesibilidad influye en la intensidad de uso de bolsas herméticas (Taku-Forchu et al., 2023).

Por otro lado, el impacto ambiental y climático emergió como un tema clave en las entrevistas, con participantes vinculando deterioro en tradicionales a lluvias estacionales. Desde esta perspectiva, los resultados subrayan la vulnerabilidad de sistemas abiertos en regiones tropicales, donde variaciones climáticas intensifican pérdidas, como se documenta en mapeos espectrales de cultivos en Ecuador que destacan la influencia de NDVI en productividad postcosecha (Recuero et al., 2023). Además, sugerencias para mejoras, como subsidios y capacitación, alinean con recomendaciones globales para reducir desigualdades en cadenas de valor agrícolas, promoviendo inclusión de pequeños agricultores en tecnologías modernas (Susandi et al., 2025).

Las implicaciones de estos hallazgos para las agroindustrias en Quevedo son profundas. La adopción de silos herméticos podría minimizar pérdidas en un 30 %, mejorando la eficiencia en centros de acopio y fortaleciendo la cadena

agroalimentaria del maíz, un cultivo clave en Ecuador con eficiencia productiva variable (Caviedes et al., 2024). En contraste con estudios en México que reportan preservación de calidad en landraces mediante herméticos (Odjo et al., 2022), el contexto ecuatoriano requiere integración con prácticas locales, como secado caracterizado en Quevedo, para maximizar beneficios (Mancheno et al., 2024). Por consiguiente, políticas públicas podrían enfocarse en incentivos para transición, alineadas con guías de producción sustentable que enfatizan reducción de pérdidas (Zambrano et al., 2021).

No obstante, es esencial considerar limitaciones del estudio. La escala local, limitada a 10 centros en Quevedo y zonas adyacentes, podría no generalizarse a otras regiones ecuatorianas con climas variados, como la Sierra. Además, factores no controlados como variabilidad en calidad inicial del grano podrían influir en resultados, un sesgo común en evaluaciones postcosecha (Curzi et al., 2022). Desde esta perspectiva, futuras investigaciones deberían incorporar diseños longitudinales para monitorear efectos a largo plazo, integrando análisis económicos como en evaluaciones de bolsas herméticas en Haití (Mompremier et al., 2022).

Críticamente, el enfoque mixto adoptado permite una interpretación holística, contrastando datos cuantitativos con narrativas cualitativas para revelar no solo impactos técnicos, sino también socioeconómicos. Esto llena vacíos en literatura ecuatoriana, donde estudios se centran más en producción que en almacenamiento (Ibarra-Velásquez et al., 2023). En resumen, los resultados abogan por

ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria

una transición hacia sistemas herméticos en centros de acopio, con implicaciones para sostenibilidad agroindustrial, aunque requieren validación en escalas mayores.

Conclusiones

Los hallazgos principales de esta investigación subrayan la superioridad de los sistemas de almacenamiento herméticos en la preservación de la calidad del maíz amarillo duro en centros de acopio. El análisis cuantitativo concluye que estos sistemas mantienen niveles de humedad por debajo del 13 %, reducen daños por insectos en aproximadamente un 80% y limitan la acumulación de aflatoxinas a valores inferiores a 3 ppb, lo que resulta en una disminución de pérdidas postcosecha estimada en un 30 % comparado con métodos tradicionales. Esto confirma que, los silos herméticos ofrecen una barrera efectiva contra factores ambientales como la alta humedad relativa y las temperaturas tropicales prevalentes en la región de Los Ríos, alineándose con evidencias de estudios que destacan su eficacia en contextos similares.

Además, el componente cualitativo revela percepciones clave de operadores y agricultores, quienes reconocen los beneficios en calidad y durabilidad, aunque enfatizan barreras económicas para su adopción. En contraste con los sistemas ventilados, que ofrecen un rendimiento intermedio, pero requieren mantenimiento energético constante, los herméticos emergen como una solución sostenible para pequeños centros de acopio, donde recursos limitados exigen tecnologías de bajo costo operativo a largo plazo. Estos resultados, derivados de entrevistas temáticas, enriquecen la comprensión holística del enfoque mixto, demostrando cómo factores

socioeconómicos interactúan con parámetros técnicos para influir en la eficiencia del almacenamiento.

No obstante, es imperativo reconocer las limitaciones inherentes a esta investigación. En primer lugar, el alcance geográfico se restringe a 10 centros de acopio en Quevedo y áreas adyacentes, lo que podría limitar la generalización de los resultados a otras regiones de Ecuador. Además, factores no controlados, tales como la calidad inicial del maíz cosechado y variaciones estacionales en precipitaciones durante el periodo de estudio (marzo-agosto 2024), introducen potenciales sesgos en los datos cuantitativos. Desde esta perspectiva, el tamaño muestral cualitativo de 20 entrevistas, aunque alcanzó saturación teórica, podría beneficiarse de una expansión para capturar diversidad mayor en perfiles de participantes, como diferencias por escala de operación.

En cuanto a recomendaciones para trabajos futuros, se sugiere explorar la integración de tecnologías digitales, como sensores IoT para monitoreo en tiempo real de humedad y temperatura en silos herméticos, lo que podría potenciar su eficiencia en contextos variables. Por consiguiente, investigaciones longitudinales a mayor escala, abarcando múltiples ciclos de almacenamiento y regiones, permitirían validar estos hallazgos y evaluar costos-beneficios económicos detallados, incorporando modelos de simulación para predecir impactos climáticos futuros, ofreciendo bases para intervenciones que minimicen pérdidas y fortalezcan la cadena de valor del maíz amarillo duro.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.



ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria

Contribución de los autores

Jorge Beltrán: recolección y análisis de datos, revisión bibliográfica, redacción del artículo.
Verónica Aguayo: análisis de datos, revisión bibliográfica, revisión del manuscrito.

Referencias bibliográficas

1. Amin, M., Brookes, E., & Pek, S. (2024). *Food and agriculture*. British International Investment. https://toolkit.bii.co.uk/wp-content/uploads/2024/08/Paris-Alignment-Guidance-note_Food-and-Agriculture.pdf
2. Caviedes, M., Albán, M. G., Velásquez, J., & Carvajal, F. (2024). Estudio de la eficiencia productiva del maíz (*Zea mays* L.) amiláceo y duro en el Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 16(2), e3401. <https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3401>
3. Comisión del Codex Alimentarius. (2023). *Planes de muestreo para las aflatoxinas totales en determinados cereales y productos a base de cereales incluidos los alimentos para lactantes y niños pequeños*. PROGRAMA CONJUNTO FAO/OMS SOBRE NORMAS ALIMENTARIAS COMITÉ DEL CODEX SOBRE CONTAMINANTES DE LOS ALIMENTOS, Décima sexta reunión 18-21 de abril de 2023. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/fr/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-16%252FWDs%252Fcf16_07s.pdf
4. Curzi, D., Nota, P., & Di Falco, S. (2022). Post-harvest losses and climate conditions in Sub-Saharan Africa [Paper presentation]. *96th Annual Conference of the Agricultural Economics Society*, KU Leuven, Belgium. https://ageconsearch.umn.edu/record/321219/files/Daniele_Curzi_AES2022.pdf
5. Delgado, L., Schuster, M., & Torero, M. (2021). On the origins of food loss. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 43(3), 750–780. <https://doi.org/10.1002/aep.13156>
6. Deressa, T., Diro, D., Getachew, G., & Demissie, G. (2025). Performance evaluation of metal silo and PICS bag for maize grain storage against insect pest infestation and grain quality. *EAS Journal of Nutrition and Food Sciences*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.36349/easjnfs.2025.v07i01.001>
7. Dijkink, B., Broeze, J., & Vollebregt, M. (2022). Hermetic bags for the storage of maize: Perspectives on economics, food security and greenhouse gas emissions in different Sub-Saharan African countries. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, Article 767089. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.767089>
8. Ibarra-Velásquez, A. A., Ramírez-Flores, L. C., Molina-Villamar, J., & Zúñiga-Moreno, L. E. (2023). Análisis de la cadena agroalimentaria del maíz en Ecuador. *Pol. Con.*, 8(1), 1862–1873. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i1>
9. Kumar, P., Gupta, A., Mahato, D. K., Pandhi, S., Pandey, A. K., Kargwal, R., Mishra, S., Suhag, R., Sharma, N., Saurabh, V., Paul, V., Kumar, M., Selvakumar, R., Gamlath, S., Kamle, M., Enshasy, H. A. E., Mokhtar, J. A., & Harakeh, S. (2022). Aflatoxins in Cereals and Cereal-Based Products: Occurrence, Toxicity, Impact on Human Health, and Their

ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria

Detoxification and Management Strategies. *Toxins*, 14(10), 687.
<https://doi.org/10.3390/toxins14100687>

10. Mancheno, E., Moreira, M., Jácome, W., Padilla, K., & Remache, M. (2023). Caracterización del secado del maíz duro amarillo en el Cantón Quevedo. *Revista Bionatura*, 8(4), 99.
<http://dx.doi.org/10.21931/RB/2023.08.04.99>

11. Mancheno, M., Moreira, M., Jácome, W., Tigse, N., & Vásquez, J. (2024). Caracterización de los sistemas de secado de maíz duro amarillo. *Novasinergia*, 7(1), 136–148.
<https://doi.org/10.37135/ns.01.13.08>

12. Mompremier, R., Bern, C., Bowers, E., Brumm, T., & Maier, D. (2022). Field testing of Purdue improved crop storage (PICS) bag maize storage in Haiti. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 13(1), 1–5.
<https://doi.org/10.5897/JSPPR2021.0323>

13. Nepali, D. K., & Maharjan, K. L. (2025). Assessing the impact of hermetic storage technology on storage quantity and post-harvest storage losses among smallholding maize farmers in Nepal. *Agriculture*, 15(2), Article 151.
<https://doi.org/10.3390/agriculture15020151>

14. Nyarko, S. K., Akyereko, Y. G., Akowuah, J. O., & Wireko-Manu, F. D. (2021). Comparative studies on grain quality and pesticide residues in maize stored in hermetic and polypropylene storage bags. *Agriculture*, 11(8), Article 772.
<https://doi.org/10.3390/agriculture11080772>

15. Odjo, S., Bongianino, N., González Regalado, J., Cabrera Soto, M. L., Palacios-Rojas, N., Burgueño, J., & Verhulst, N. (2022). Effect of storage technologies on postharvest insect pest control and seed germination in Mexican maize landraces. *Insects*, 13(10), Article 878.
<https://doi.org/10.3390/insects13100878>

16. Opoku, B., Osekre, E. A., Opit, G., Bosomtwe, A., & Bingham, G. V. (2023). Evaluation of hermetic storage bags for the preservation of yellow maize in poultry farms in Dormaa Ahenkro, Ghana. *Insects*, 14(2), Article 141.
<https://doi.org/10.3390/insects14020141>

17. Păun, A., Stroescu, G., Zaica, A., Khozamy, S. Y., Zaica, A., Cristea, O., Ștefan, V., & Bălțatu, C. (2021). Storage of grains and technical plants through active ventilation for the purpose of maintaining the quality of stored products. *E3S Web of Conferences*, 286, Article 03010.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128603010>

18. Recuero, L., Maila, L., Cicuéndez, V., Sáenz, C., Litago, J., Tornos, L., Merino-de-Miguel, S., & Palacios-Orueta, A. (2023). Mapping cropland intensification in Ecuador through spectral analysis of MODIS NDVI time series. *Agronomy*, 13(9), Article 2329.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13092329>

19. Susandi, D., Andayani, S. A., Fitriyani, R., & Fithri, A. Y. N. (2025). Strategies for reducing inequality in agricultural value chains: A systematic review on smallholder participation in developing countries. *International Journal of Design & Nature and*

ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria

Ecodynamics, 20(5), 1103-1115.
<https://doi.org/10.18280/ij dne.200515>

20. Taku-Forchu, N., Lambert, M. D., Retallick, M. S., Ulmer, J. D., & Opit, G. P. (2023). Factors influencing maize farmers' adoption and use intensity of hermetic storage bags in Dormaa, Ghana. *Journal of International Agricultural and Extension Education*, 30(3), 47–62. <https://doi.org/10.4148/2831-5960.1134>

21. Zambrano, J. L., Velásquez, J., Peñaherrera, D., Sangoquiza, C., Cartagena, Y., Villacrés, E., Garcés, S., Ortiz, R., León, J., Campaña, D., López, V., Asaquibay, C., Nieto, M., Sanmartín, G., Pintado, P., Yáñez, C., & Racines, M. (2021). Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana (Manual No. 122). *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*.
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5796>

