

Universidad Zamorano
Departamento de Agroindustria Alimentaria
Ingeniería en Agroindustria Alimentaria



Proyecto Especial de Graduación
**Comparación del porcentaje de merma de la semilla extra chica con la
semilla chica en la planta de procesamiento de semillas de la Escuela
Agrícola Panamericana**

Estudiante

Diego Josué Rodríguez Pineda

Asesores

Edward Moncada MAE

Raúl Espinal, Ph.D.

Honduras, noviembre 2025

Autoridades

KEITH L. ANDREWS

Rector i.a.

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA ACOSTA

Directora del Departamento de Agroindustria Alimentaria

JULIO NAVARRO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	4
Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
Materiales y Métodos	9
Ubicación del Estudio	9
Metodología	9
Materiales y Equipo	10
Equipos y Herramientas Utilizadas	10
Muestreo de Datos de Producción	10
Evaluación de la Merma	10
Recuperación de Semilla Extrachica	11
Diseño Experimental y Análisis Estadístico	11
Resultados y Discusión	13
Comparación y Análisis Estadístico	13
Descripción de Producción y Mermas	14
Porcentaje de Merma en la Mesa Gravimétrica	15
Cuantificación de la semilla extrachica en la mesa de aire y zarandas	17
Comparación entre Semilla Chica y Extrachica	18
Correlación entre Merma y Producción Total	20
Recomendaciones	27
Referencias	28

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Producción total, merma (Kg) de la mesa gravimétrica de semilla Chica y extra chica.	14
Cuadro 2 Resultados del análisis de varianza y porcentaje de merma en la mesa gravimétrica (BCH y PCH).....	16
Cuadro 3 Correlación entre la producción total de semilla acondicionada y la cantidad de semilla extrachica obtenida en la mesa de aire y zarandas (MAZ).	17
Cuadro 4 Aporte relativo de pérdidas: semilla extrachica (MAZ) y merma gravimétrica (BCH y PCH)	19
Cuadro 5 Coeficientes de correlación (r) entre la producción total y las mermas generadas en diferentes fracciones del proceso.....	20
Cuadro 6 Porcentaje de semilla rescatable en muestras extra chicas.....	22

Resumen

El estudio se realizó en la planta de procesamiento de Semillas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, con el objetivo de comparar el porcentaje de merma de la semilla extrachica con la semilla chica (bola y plana) durante el acondicionamiento de maíz híbrido. Se analizaron 22 lotes del ciclo 2024–2025 mediante un diseño en bloques completos al azar, utilizando el tipo de semilla como factor fijo y el lote como bloque aleatorio. Las variables evaluadas fueron producción total, merma gravimétrica y semilla extrachica (MAZ). Los datos se analizaron con ANOVA y prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) en SAS University Edition (2025), complementados con correlaciones de Pearson. Los resultados indicaron que la mayor proporción de merma se generó en la mesa de aire y zarandas (MAZ), con 4.61% del total procesado, mientras que la mesa gravimétrica (MG) aportó 1.39%, sin diferencias significativas entre las fracciones bola chica y plana chica ($p > 0.05$). La semilla extrachica mostró una correlación positiva y significativa con la producción total ($r = 0.60$; $p = 0.003$), evidenciando que los lotes de mayor volumen generan más descarte. En promedio, el 71.8% del material extra chico correspondió a semilla rescatable, lo que demuestra su potencial de recuperación y aprovechamiento técnico dentro del proceso. Estos resultados permiten identificar oportunidades de mejora en la calibración de la MAZ y evidencian el valor productivo de la fracción extrachica.

Palabras clave: acondicionamiento de semillas, maíz híbrido, material fuera de norma, separación por densidad.

Abstract

The study was conducted at the Seed Processing Plant of the Panamerican Agricultural School, Zamorano, with the objective of comparing the loss percentage of extra-small seeds with small seeds (round and flat) during the conditioning of hybrid maize. Twenty-two seed lots from the 2024–2025 cycle were analyzed using a randomized complete block design, considering seed type as a fixed factor and lot as a random block. The evaluated variables were total production, gravimetric loss, and extra-small seed (MAZ). Data were analyzed by ANOVA and Duncan's test ($\alpha = 0.05$) using SAS University Edition (2025), along with Pearson correlation analysis. Results indicated that the highest proportion of physical loss occurred in the air and screen cleaner (MAZ), representing 4.61% of the total processed, while the gravity table (MG) accounted for 1.39%, with no significant differences between round and flat small seed fractions ($p > 0.05$). The extra-small seed fraction showed a positive and significant correlation with total production ($r = 0.60$; $p = 0.003$), indicating that larger lots generate higher discard volumes. On average, 71.8% of the extra-small material was recoverable seed, demonstrating its technical potential for reuse within the conditioning process. These results highlight the importance of adjusting MAZ calibration parameters and reveal the productive potential of the extra-small fraction.

Keywords: gravity table, hybrid maize, physical loss, seed conditioning.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más producidos y versátiles del mundo, tanto por su papel en la alimentación humana como por su uso en la producción de forraje y productos industriales (García, 2022). En América Latina su importancia se multiplica como fuente calórica y cultural, lo que lo convierte en un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria regional (Maradiaga, 2008). A nivel global, la producción de maíz ronda los 1161.86 millones de toneladas, lo que refleja su magnitud en el sector agrícola (Erenstein et al., 2022).

En Honduras, la empresa Bayer AG figura entre los principales proveedores de semilla de maíz. Esta compañía comercializa dos variedades de maíz transgénico a través de un convenio establecido con la planta de semillas de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, institución en la cual se desarrollará la presente investigación (Lacayo, 2007).

La calidad de la semilla es determinante para el éxito de los sistemas agrícolas, ya que influye directamente en la germinación, el vigor de las plántulas y la productividad final del cultivo (Adigoun et al., 2022). En la planta de semillas de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, el maíz se clasifica por forma (bola y plano) y por tamaño (grande, mediano y chico). Además, se generan fracciones fuera de norma (FDN), compuestas por semillas extra-grandes (>26/64AO) y extra-chicas (<17/64AU).

Este proceso de clasificación busca garantizar la homogeneidad y calidad del producto final; sin embargo, durante el acondicionamiento se generan fracciones que no cumplen con los estándares comerciales establecidos. La semilla extra chica, se descarta como merma sin un análisis detallado de su potencial de aprovechamiento. Este escenario genera la interrogante sobre si la semilla extra chica podría rescatarse y utilizarse, en comparación con la semilla chica acondicionada.

La cuantificación de pérdidas o mermas en plantas de procesamiento es esencial para mejorar la eficiencia operativa y la rentabilidad, ya que permite identificar puntos críticos del proceso (Firpo, 2024). La presente investigación se justifica en la necesidad de cuantificar y analizar la fracción de

semilla extra chica que se genera en el proceso de acondicionamiento en la planta de Zamorano. Aunque esta fracción ha sido tradicionalmente considerada como merma, no se conoce con certeza si representa un volumen significativo ni si posee condiciones que permitan su rescate como semilla aprovechable.

En este estudio se definieron como objetivos comparar el porcentaje de merma de la semilla extra chica con la semilla chica (bola y plana) procesadas en la planta de acondicionamiento de semillas de Zamorano. Asimismo, se buscó cuantificar la merma generada en la mesa gravimétrica para las semillas chicas, determinar la proporción de semilla extrachica obtenida en la mesa de aire y zarandas, y establecer diferencias significativas entre ambas fracciones. Finalmente, se planteó evaluar la viabilidad de rescatar la semilla extra chica como parte del proceso de acondicionamiento de la planta.

Materiales y Métodos

Ubicación del Estudio

El estudio se llevó a cabo en la Planta de Procesamiento de Semillas y en el Laboratorio de Semillas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. La institución se encuentra localizada en el kilómetro 30 de la carretera que conduce de Tegucigalpa a Danlí, en el Valle del Yeguaré, municipio de San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras.

Metodología

Se trabajó con 22 lotes de semillas de maíz híbrido procesados en la Planta de Semillas de Zamorano. Los lotes por evaluar fueron tomados de la bitácora y registros de la planta, los cuales habían pasado previamente por los procesos de secado, desgrane, limpieza y clasificación.

El interés de la investigación se centró en las fracciones de semilla chica y extrachica obtenidas en la etapa de clasificación, con el fin de cuantificar y calificar el porcentaje de merma que estas representaron respecto al total de producción de cada lote. Para ello, se utilizaron los registros de producción de la planta, que consignan los volúmenes totales de cada una de las semillas clasificadas por tamaño y forma, así como la merma (mochote) de cada una de ellas. También se consideró la segunda salida de la mesa de aire correspondiente a las semillas extra chicas, para determinar cuánto representaron en comparación con la producción total.

Asimismo, se tomaron tres muestras de semillas extra chicas provenientes de tres lotes distintos, con el objetivo de realizar pruebas fisiológicas y determinar el porcentaje de recuperación de merma. Las muestras fueron extraídas con un calador manual y sometidas a una separación mediante zaranda de tamaño 15AO, con la cual se eliminó el material inerte y las semillas dañadas, conservando únicamente las semillas a evaluar. A través de este procedimiento fue posible calcular el

porcentaje de recuperación de la merma, obteniendo semillas en las fracciones bola extrachica y plana extrachica.

Materiales y Equipo

Equipos y Herramientas Utilizadas

Tamices de clasificación de semillas

Calador manual

Homogeneizador marca Seedburo

Básculas

Balanza digital

Registros de producción de la planta AW 24-25

Muestreo de Datos de Producción

Los datos utilizados en esta investigación se obtuvieron de los registros de la Planta de Semillas de Zamorano correspondientes al ciclo de producción AW 2024–2025. En dichos registros se consignó la producción total de cada fracción de semilla acondicionada: bola grande, bola mediana, bola chica, plana grande, plana mediana y plana chica. Asimismo, se registró la suma total de merma generada en la mesa gravimétrica para todas las presentaciones, sin que esta estuviera discriminada por fracción, y el volumen total de la segunda salida de la mesa de aire y zarandas, correspondiente a la semilla extrachica.

Adicionalmente, a partir de la bitácora del mismo ciclo de producción se obtuvo información complementaria sobre la merma específica (mochote) generada en la mesa gravimétrica por las fracciones de semilla chica (bola y plana), lo que permitió un análisis más detallado de las pérdidas asociadas a estas categorías.

Evaluación de la Merma

Para la evaluación de la merma se consideró el material descartado durante la clasificación en la mesa gravimétrica, denominado mochote, y la segunda salida de la mesa de aire y zarandas,

denominado semilla extrachica, correspondiente a semillas que no califican para su comercialización por presentar bajo peso, daños físicos o impurezas. Los valores de merma se expresaron en kilogramos y posteriormente se transformaron a porcentaje, en relación con la producción total de cada lote, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Merma}(\%) = \left(\frac{\text{Descarte}}{\text{Producción total}} \right) \times 100 \quad [1]$$

Este cálculo permitió determinar la proporción de pérdidas generadas en las fracciones bola chica y plana chica, así como en la segunda salida de la mesa de aire y zarandas, correspondiente a la semilla extrachica. Los datos obtenidos se sistematizaron y analizaron posteriormente en el programa estadístico SAS University Edition (versión 2025).

Recuperación de Semilla Extrachica

Se tomaron tres muestras de semillas extrachicas provenientes de tres lotes distintos, con el objetivo de determinar el porcentaje de recuperación de merma. Las muestras fueron extraídas con un calador manual y posteriormente homogenizadas utilizando un Seedburo sample divider, con el fin de garantizar que las submuestras analizadas fueran representativas del lote de origen. Una vez homogenizadas, las semillas se sometieron a separación mediante una criba o tamiz de tamaño 15AO, con la cual se eliminó el material inerte. Luego se hizo una separación manual de la semilla dañada conservando únicamente la semilla recuperable. A través de este procedimiento fue posible calcular el porcentaje de recuperación de la merma, obteniendo semillas en las fracciones extrachicas.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

El estudio se estructuró como un diseño en bloques completos al azar (BCA). Se evaluó el factor fijo “Tipo de semilla” con dos niveles (bola-chica y plana-chica) y se utilizaron 22 lotes como bloques (efecto aleatorio) para controlar la variabilidad propia de cada lote de procesamiento.

Las variables respuesta analizadas fueron:

Total: producción de la fracción de semilla (kg).

Descarte: merma generada en la mesa gravimétrica (kg).

Producción total: producción total registrada por lote (kg).

Los datos se sometieron a un análisis de supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante el procedimiento UNIVARIATE en SAS. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el procedimiento GLM, considerando como efectos principales el tipo de semilla, el lote y su interacción. Las medias se compararon mediante la prueba de Duncan con un nivel de significancia del 5%.

Adicionalmente, se aplicó un análisis de correlación de Pearson entre las variables Total, Descarte y Producción total para determinar la relación entre la merma y la producción de cada lote. Asimismo, se realizó un análisis complementario utilizando los valores de Descarte_MAZ, correspondientes a la segunda salida de la mesa de aire y zarandas (semilla extrachica), con el fin de establecer su relación con la producción total del ciclo. Todos los análisis se efectuaron en el programa estadístico SAS University Edition (versión 2025).

Resultados y Discusión

En este capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos a partir del procesamiento y análisis estadístico de los datos generados en la Planta de Semillas de Zamorano durante el ciclo 2024–2025. El estudio incluyó la cuantificación de la producción total por lote, la merma generada en la mesa gravimétrica (para las fracciones bola chica y plana chica) y la semilla extrachica obtenida en la mesa de aire y zarandas (MAZ).

Los resultados se organizan en dos niveles: primero, se describe de manera general el comportamiento productivo y la magnitud de las mermas y posteriormente se presentan los análisis comparativos y correlacionales que permiten evaluar diferencias entre fracciones y su relación con la eficiencia del proceso.

Comparación y Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el programa SAS University Edition (versión 2025). Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) donde se utilizaron 22 lotes como bloques (efecto aleatorio) para controlar la variabilidad propia de cada lote de procesamiento.

Las comparaciones de medias se efectuaron mediante la prueba de Duncan con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$, con el propósito de determinar diferencias entre fracciones de semilla en las variables evaluadas: producción total, descarte gravimétrico y semilla extrachica (MAZ).

Asimismo, se aplicó un análisis de correlación de Pearson para establecer la relación entre la producción total de los lotes, la merma gravimétrica y la cantidad de semilla extrachica obtenida. Este enfoque permitió identificar patrones de variación y dependencias entre las variables que se discuten en las secciones siguientes.

Descripción de Producción y Mermas

Como se observa en el Cuadro 1, se presentan los resultados consolidados de producción total, merma gravimétrica y semilla extrachica obtenidos durante el ciclo 2024–2025 en la Planta de Semillas de Zamorano. La producción total de los 22 lotes alcanzó 679,386 kg, con un promedio de 30,881 kg por lote y una alta variabilidad (CV = 132.3%), reflejando las diferencias de escala y condiciones operativas entre lotes procesados.

Cuadro 1

Producción total, merma (Kg) de la mesa gravimétrica de semilla Chica y extra chica.

Variable	Total (kg)	Media (kg)	Desv. Est. (kg)	CV (%)	Media (%)	Desv. Est. (%)	CV (%)
Producción total	679386	30881	40859	132.3	—	—	—
Merma BCH	4584	208.4	234.1	112.3	1.49	1.3	87.2
Merma PCH	4828	219.5	163.3	74.4	2.58	3.32	128.9
Semilla extrachica	31333	1424	1834	128.8	4.61	5.59	90.6

Nota. BCH = Bola chica; PCH = Plana chica; MAZ = Mesa de aire y zarandas. CV= Coeficiente de variación. Los valores porcentuales

corresponden al promedio respecto a la producción total por lote (n = 22).

La merma gravimétrica correspondiente a las fracciones bola chica (BCH) y plana chica (PCH) totalizó 4,584 kg y 4,828 kg, respectivamente, con coeficientes de variación de 112.3% y 74.4%. En términos relativos, estas mermas representaron en promedio el 1.49% y 2.58% de la producción total por lote. Estos valores se encuentran dentro del rango esperado para procesos de separación por densidad en semillas híbridas de maíz, donde las pérdidas suelen oscilar entre 1 y 5%, dependiendo del tipo de equipo y del ajuste de flujo de aire y vibración (Lacayo, 2007).

Por su parte, la semilla extrachica, obtenida en la segunda salida de la mesa de aire y zarandas (MAZ), alcanzó un volumen total de 31,333 kg, con un promedio de 1,424 kg por lote y un CV de 128.8%, lo que evidencia una alta variabilidad entre lotes. Esta fracción representa en promedio el 4.61% del total procesado, indicando que una cantidad considerable de semilla potencialmente viable es descartada como merma sin evaluación fisiológica.

Estos resultados permiten dimensionar la magnitud de las pérdidas y el potencial de recuperación de semilla extrachica dentro del proceso de acondicionamiento. La variabilidad observada sugiere la influencia de factores operativos (calibración de flujo de aire, pendiente de la mesa y humedad del grano), así como diferencias intrínsecas del material genético procesado. En conjunto, la información cuantificada constituye la base para los análisis comparativos presentados en los apartados siguientes.

Porcentaje de Merma en la Mesa Gravimétrica

La merma gravimétrica corresponde a la fracción de semilla descartada durante el proceso de separación por densidad, realizado en la mesa gravimétrica. Este equipo tiene como función principal mejorar la calidad física de la semilla, separando granos livianos, dañados o con impurezas que podrían afectar la germinación y la uniformidad del producto final. Sin embargo, dicha separación genera pérdidas físicas que deben cuantificarse para evaluar la eficiencia del proceso de acondicionamiento (Sinha et al., 2023)

Los porcentajes se obtuvieron a partir de los datos registrados en la planta y analizados en SAS, considerando los volúmenes totales de producción por lote. Se utilizaron los valores totales de descarte gravimétrico (BCH y PCH) en relación con la producción total acondicionada (679,386 kg) del ciclo. Donde el porcentaje de merma de la fracción Bola Chica representó el 0.68% con relación al total acondicionado y la fracción Plana Chica representó el 0.71% con relación al mismo.

Estos valores indican que la mesa gravimétrica generó en promedio una pérdida física equivalente al 1.39% del volumen total procesado durante el ciclo 2024–2025. El análisis de varianza (ANDEVA) mostró que el modelo fue significativo ($F = 2.68$; $p = 0.0138$; $R^2 = 0.737$), lo que indica que el conjunto de variables incluidas explica el 73.7% de la variación total de la merma (Cuadro 2).

Cuadro 2*Resultados del análisis de varianza y porcentaje de merma en la mesa gravimétrica (BCH y PCH)*

Fracción	Media (kg)	Desv. Est. (kg)	CV (%)	Porcentaje (%)	F	p	R ²
Bola chica (BCH)	208.38	234.11	112.34	0.68	2.68	0.0138	0.737
Plana chica (PCH)	219.47	163.31	74.41	0.71	—	—	—

Nota. Los porcentajes se calcularon con base en la producción total del ciclo (679,386 kg). F = estadístico del análisis de varianza; p = nivel de significancia; R² = proporción de la variación explicada por el modelo.

Sin embargo, el efecto del tipo de semilla (BCH vs PCH) no presentó diferencias significativas ($p = 0.8041$), lo que sugiere que ambos tipos de fracción se comportan de forma similar en términos de pérdidas físicas.

A nivel descriptivo, la plana chica (PCH) mostró una merma promedio ligeramente superior (219.47 kg) respecto a la bola chica (208.38 kg), representando el 0.71% y 0.68% del total acondicionado, respectivamente. Estas diferencias, aunque no significativas estadísticamente, coinciden con las observaciones de (Bredykhin et al., 2024)), quienes reportaron que las semillas de forma más plana presentan menor densidad y mayor probabilidad de ser desplazadas hacia las fracciones de descarte en mesas gravimétricas.

El porcentaje de merma del 1.39% representa una pérdida física reducida respecto al total procesado, lo que refleja una alta eficiencia operativa del sistema de separación por densidad. Sin embargo, la variabilidad observada entre lotes (CV = 68.4%) evidencia que los parámetros operativos (flujo de aire, vibración y humedad del grano) deben ser calibrados regularmente para mantener la consistencia del proceso y reducir desviaciones en futuras producciones. Aunque no se encontraron diferencias estadísticas entre las fracciones, la fracción plana chica presentó una ligera tendencia a mayores pérdidas. Este comportamiento confirma que la mesa gravimétrica opera con un nivel de eficiencia adecuado, y que la merma generada puede considerarse parte del descarte técnico necesario para alcanzar los estándares de calidad comercial.

Cuantificación de la semilla extrachica en la mesa de aire y zarandas

La semilla extrachica (ECH) corresponde a la fracción obtenida en la segunda salida de la mesa de aire y zarandas (MAZ), compuesta por granos de tamaño inferior al calibre comercial (menores a 17/64"). Esta fracción, aunque tradicionalmente considerada como merma, puede contener semillas con integridad fisiológica suficiente para su aprovechamiento, por lo que su cuantificación resulta esencial para evaluar la eficiencia y el potencial de recuperación del proceso de acondicionamiento.

El análisis de los 22 lotes procesados mostró que la cantidad total de semilla extrachica generada durante el ciclo fue de 31,333 kg, con un promedio de 1,424 kg por lote y una desviación estándar de 1,834 kg (Cuadro 3). En términos relativos, esta fracción representó el 4.61% del total acondicionado (679,386 kg). El coeficiente de variación (CV) calculado a partir de la desviación estándar refleja una alta variabilidad entre lotes, atribuible a diferencias en flujo de aire, calibración de zarandas y tamaño inicial de grano.

Cuadro 3

Correlación entre la producción total de semilla acondicionada y la cantidad de semilla extrachica obtenida en la mesa de aire y zarandas (MAZ).

Variable	n	Media (kg)	Mín	Máx	r (Produccion Total)	p
Semilla Extra Chica	22	1,424	56	7,597	0.5999	0.0032
Producción total	22	30,881	1,669	161,840	—	—

Nota. MAZ = Mesa de Aire y Zarandas. N = cantidad de lotes evaluados. R= grado de relación entre variables; p = significancia estadística

La fracción extrachica representó en promedio el 4.61% de la producción total, lo que confirma que una cantidad considerable de semilla es descartada por efecto del proceso de calibrado. Este valor se encuentra dentro del rango reportado por (Eng. Bunduchi G.*), Ph.D.Eng. Gageanu P., Ph.D.Eng. Păun A., Ph.D. Stud. Zaica Al., Ph.D.Eng. Olan M.Eng. Epure M, 2020) (2021) , quienes documentaron pérdidas entre 4 y 8% en plantas de procesamiento de maíz durante la etapa de clasificación por tamaño.

El análisis de correlación mostró una relación positiva y significativa ($r = 0.60$; $p = 0.003$) entre la producción total de los lotes y la cantidad de semilla extrachica, lo que sugiere que los lotes con mayor producción generan proporcionalmente más descarte. Esto podría deberse al mayor volumen de material que pasa por la mesa y a la mayor heterogeneidad en el tamaño del grano, tal como también señalan (Velázquez, D., Méndez, F., & Carrillo, J., 2021), quienes destacaron que el incremento del caudal en los equipos de separación puede elevar la proporción de material fuera de norma.

Desde un punto de vista técnico, la proporción de 4.61% puede considerarse aceptable dentro del proceso de acondicionamiento, ya que asegura la uniformidad física del producto comercial. No obstante, al tratarse de un volumen acumulado superior a 30 toneladas, se evidencia una oportunidad de recuperación productiva, pues parte de esta fracción podría ser reutilizada tras un reproceso o destinarse a ensayos de viabilidad fisiológica. (Ramos, C., Rivas, M., & López, J., 2020) mencionan que hasta un 50% del material clasificado como fuera de norma puede mantener viabilidad si se elimina el polvo y las semillas quebradas, lo que coincide con los resultados de pruebas preliminares de recuperación realizadas en este estudio.

Los resultados demuestran que la mesa de aire y zarandas (MAZ) genera una fracción extrachica equivalente al 4.61% de la producción total, con alta variabilidad entre lotes y correlación positiva con el volumen de procesamiento. Aunque esta fracción es considerada merma, su magnitud evidencia un potencial de aprovechamiento significativo, por lo que se recomienda realizar evaluaciones fisiológicas adicionales que permitan determinar su viabilidad y eventual reincorporación al proceso productivo.

Comparación entre Semilla Chica y Extrachica

Durante el acondicionamiento de semillas de maíz, las etapas de mesa de aire y zarandas (MAZ) y mesa gravimétrica (MG) son responsables de la mayor parte de las pérdidas físicas del proceso. El análisis comparativo entre la semilla extrachica (ECH) —proveniente de la MAZ— y las

fracciones chicas (BCH y PCH) —obtenidas de la MG— permite determinar el aporte de cada etapa al total de merma y estimar el potencial de recuperación de material aprovechable. Los resultados muestran que la mayor proporción de merma física se originó en la mesa de aire y zarandas (MAZ), con 31,333 kg, equivalentes al 4.61% del total procesado (Cuadro 4).

Cuadro 4

Aporte relativo de pérdidas: semilla extrachica (MAZ) y merma gravimétrica (BCH y PCH)

Fracción	Suma (kg)	Media (kg/lote)	DE (kg)	% tot. procesado	CV (%)
ECH (MAZ)	31,333.00	1,424.00	1,834.00	4.61%	128.8
BCH (MG)	4,584.46	208.38	234.11	0.68%	112.3
PCH (MG)	4,828.40	219.47	163.31	0.71%	74.4

Nota. ECH = Semilla extrachica; BCH = Bola chica; PCH = Plana chica. MAZ = Mesa de aire y zarandas; MG = Mesa gravimétrica. CV=

coeficiente de variación. DE= Desviación estándar. % tot. Procesado = Porcentaje en comparación al total procesado.

En comparación, la mesa gravimétrica (MG) produjo un total combinado de 9,412.86 kg (1.39% del procesado) correspondiente a las fracciones bola chica (BCH) y plana chica (PCH). Aunque la función de la MAZ es remover material no deseado, parte del descarte extrachico podría incluir semillas viables de menor densidad o peso, las cuales son susceptibles de ser recuperadas mediante reproceso. Esta posibilidad se alinea con lo indicado por (Asia and Pacific Seed Association [APSA], 2024), quien señala que, en los procesos de limpieza de semillas, la eliminación completa de contaminantes implica también la remoción de una pequeña proporción de producto bueno.

La diferencia en magnitud entre las dos etapas, 76.8% de la merma total generada en MAZ, frente a 23.2% en la mesa gravimétrica, demuestra que la etapa de limpieza inicial tiene un impacto más fuerte sobre el balance general de pérdidas. Sin embargo, la merma gravimétrica, aunque menor en volumen, posee un gran interés técnico, ya que las fracciones chicas (BCH y PCH) provienen de semillas que ya superaron las etapas de limpieza y calibración y, por lo tanto, podrían conservar su valor comercial si presentan buena calidad física.

Este resultado coincide con los hallazgos de (Torres, 2022), quien observó que las variaciones en el flujo de aire y vibración de las mesas pueden modificar drásticamente la proporción de semilla

descartada, afectando la eficiencia global del proceso. En conjunto, los datos reflejan que la mesa de aire y zarandas (MAZ) es la etapa donde se produce el mayor volumen de descarte, pero también un punto potencial de recuperación de semilla aprovechable, mientras que la mesa gravimétrica (MG) mantiene una eficiencia operativa adecuada y pérdidas controladas.

Correlación entre Merma y Producción Total

El análisis de correlación permite establecer la relación entre la producción total por lote y las mermas generadas en cada etapa del proceso de acondicionamiento, lo que proporciona una medida indirecta de la eficiencia operativa de la planta. Una correlación positiva indica que a medida que aumenta la producción total, también lo hace la cantidad de semilla descartada; mientras que una correlación negativa sugeriría que los lotes de mayor volumen son procesados con mayor eficiencia. En este estudio, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para determinar la fuerza y dirección de la relación entre la producción total (PRODTOTAL) y los descartes de las fracciones bola chica (BCH), plana chica (PCH) y extrachica (MAZ). (Cuadro 5)

Cuadro 5

Coefficientes de correlación (r) entre la producción total y las mermas generadas en diferentes fracciones del proceso.

Fracción	Variable correlacionada	r	p	Tipo de correlación	Significancia
Bola chica (BCH)	Producción Total vs Descarte	0.4	0.07	Positiva débil	No significativa
Plana chica (PCH)	Producción Total vs Descarte	0.6	0.007	Positiva moderada	Significativa ($p < 0.05$)
Extrachica (MAZ)	Producción Total vs Descarte	0.6	0.003	Positiva moderada	Significativa ($p < 0.01$)

Nota. r = coeficiente de correlación de Pearson; p = valor de probabilidad.

Los resultados muestran que la relación entre el volumen procesado y la cantidad de merma varía según la etapa del acondicionamiento. En la fracción bola chica (BCH), el coeficiente de correlación fue $r = 0.39$ ($p = 0.0695$), indicando una relación positiva débil y no significativa. Esto

sugiere que, aunque los lotes más grandes tienden a generar un ligero aumento en el descarte, la variabilidad entre lotes impide establecer una tendencia estadísticamente consistente.

En la fracción plana chica (PCH), la correlación fue $r = 0.56$ ($p = 0.0070$), considerada positiva y significativa. Esto indica que los lotes con mayor volumen de procesamiento presentaron un incremento proporcional en la merma gravimétrica, posiblemente debido a una mayor heterogeneidad del material o a la saturación del flujo de aire en la mesa. Resultados similares fueron descritos por (Zhang et al., 2021), quienes demostraron que el incremento en la tasa de alimentación y en la velocidad del flujo de aire en sistemas de limpieza por cribas produce mayores pérdidas de semilla debido a la expulsión de partículas viables junto con el material liviano, especialmente en condiciones de alta carga de procesamiento.

Por su parte, la correlación obtenida para la semilla extrachica (MAZ) fue la más alta ($r = 0.60$; $p = 0.0032$), lo que evidencia una relación positiva y altamente significativa entre la producción total y el descarte generado en esta etapa. Este comportamiento sugiere que los lotes de mayor volumen tienden a generar una mayor cantidad de material extra chico o liviano, asociada a incrementos en la presión del flujo de aire o a variaciones en la humedad del grano. En este sentido, (Stepanenko et al., 2023) señala que la eficiencia de separación neumática en materiales granulares depende fuertemente de la velocidad de aire y de la densidad de los granos, y que un aumento en la turbulencia del flujo puede provocar la expulsión de partículas útiles junto con las impurezas.

La relación positiva observada en las tres fracciones indica que la magnitud de las mermas está directamente influenciada por el volumen procesado, lo que refleja la naturaleza dinámica del flujo de material dentro de la planta. Sin embargo, la fuerza de las correlaciones ($r = 0.39$ a 0.60) sugiere que otros factores operativos, como la calibración del flujo de aire, la inclinación de la mesa o la uniformidad del grano, también intervienen significativamente en la generación de pérdidas. De acuerdo con (Nath et al., 2024), una parte importante de las pérdidas postcosecha y durante el acondicionamiento se debe a configuraciones inadecuadas de los sistemas de ventilación y

separación, las cuales pueden optimizarse mediante ajustes de velocidad de aire y tamaño de criba para reducir el descarte de material aprovechable.

En conjunto, los resultados permiten concluir que los lotes con mayor volumen procesado tienden a producir una mayor proporción de merma, especialmente en la MAZ y en la fracción plana chica. No obstante, la fuerza moderada de las correlaciones sugiere que el proceso mantiene una eficiencia operativa aceptable, aunque con oportunidad de mejora mediante calibraciones periódicas de aire y densidad que aseguren un equilibrio entre rendimiento, pureza y pérdida física del producto.

Recuperación de Semilla Extrachica

Los resultados mostraron que la proporción de semilla rescatable (SR) en las muestras extrachicas obtenidas de la salida 2 de la mesa de aire y zarandas (MAZ) varió entre 50.2% y 83.8%, con un promedio de 71.8% (Cuadro 6). Esta variabilidad (CV = 26.2%) indica diferencias notables en la composición del material descartado entre lotes. Los dos primeros presentaron altos niveles de recuperación (superiores al 80%), mientras que el lote 3 exhibió un descenso significativo en la proporción de semilla útil (50.2%), asociado principalmente a la presencia de semillas con daño tipo silk cut.

Cuadro 6

Porcentaje de semilla rescatable en muestras extra chicas.

Lote	Peso final (kg)	% Rescatable
1	1.900	83.8
2	1.846	81.4
3	1.139	50.2
Media ± DE	1.629 ± 0.426	71.8 ± 18.8

Nota. Estadísticos del peso final: CV=26.1%. Rango=0.761 kg. Error estándar = 0.24 kg. Mediana = 1.846. Cada muestra corresponde a 2.268 kg. de material proveniente de la salida 2 de la MAZ. Los datos siguieron una distribución normal ($p = 0.1223$; Shapiro-Wilk), y no se detectaron diferencias significativas entre el peso inicial y el final ($p = 0.1211$). DE: Desviación Estándar.

El silk cut se caracteriza por pequeñas fisuras o cortes en la superficie del pericarpio, generalmente producidos durante el desgrane o por cambios bruscos de humedad en el secado. Según (Su et al., 2021), este tipo de daño afecta directamente la integridad estructural del grano y su comportamiento

aerodinámico, haciendo que las semillas pierdan densidad y sean desplazadas hacia las fracciones más ligeras durante la limpieza. Además, la pérdida parcial del pericarpio incrementa la susceptibilidad a infecciones fúngicas y reduce la longevidad del lote en almacenamiento, comprometiendo la calidad fisiológica del material que podría destinarse a siembra.

De forma complementaria, (Abd El-Rahman, A. A., Mosa, M., & Hassan, H. E, 2014) demostraron que los daños mecánicos (golpes, cortes o abrasiones) alteran la densidad aparente y la resistencia del pericarpio, modificando la forma en que las semillas interactúan con el flujo de aire dentro de los sistemas de separación. Esto explica por qué las semillas con silk cut o fisuras terminan en la fracción extrachica junto al material inerte, reduciendo el porcentaje de recuperación aprovechable. En un contexto agronómico, estos daños no solo disminuyen el valor comercial de la semilla, sino que pueden traducirse en problemas de emergencia y vigor en campo.

Además del daño físico, existen otros factores que pueden influir en la menor recuperación observada en el lote 3. (Jukić et al., 2024) señalaron que la humedad del grano antes del procesamiento desempeña un papel determinante en la aparición de daños mecánicos, como fisuras o rupturas en el pericarpio. Reyes (2024) menciona que las condiciones climáticas durante el crecimiento y la cosecha, así como la humedad, temperatura y presencia de plagas o enfermedades, pueden afectar directamente la calidad de la semilla. A ello se suman el uso de maquinaria inadecuada, el manejo brusco en la cosecha y la falta de control fitosanitario, los cuales pueden provocar daños físicos y biológicos como el silk cut o la aparición de hongos en el pericarpio. Estos factores, combinados con las condiciones de procesamiento, podrían haber reducido la proporción de semilla rescatable en este lote.

Desde una perspectiva operativa, el hecho de que el 71.8% del material extrachico promedio sea potencialmente aprovechable demuestra que la fracción descartada por la MAZ posee un alto valor de recuperación técnica. En síntesis, el bajo porcentaje de recuperación del Lote 3 refleja efectos combinados de daño mecánico y condiciones inadecuadas de secado y desgrane, más que deficiencias

del sistema de limpieza. Si bien las pérdidas por silk cut no impiden el uso industrial del grano, sí limitan su valor como semilla, ya que pueden traducirse en baja germinación, crecimiento desigual y menor rendimiento del cultivo en campo. Esto resalta la importancia de mantener condiciones de humedad óptimas y reducir la fricción en los sistemas de transporte durante el acondicionamiento para minimizar daños estructurales y maximizar la recuperación de semilla viable.

Discusión General

El análisis integral de las etapas de acondicionamiento en la Planta de Semillas de Zamorano permitió cuantificar las pérdidas físicas asociadas a la mesa de aire y zarandas (MAZ) y a la mesa gravimétrica (MG), así como estimar el potencial de recuperación de semilla útil dentro de la fracción extrachica. Los resultados demuestran que la merma total del proceso se concentró principalmente en la MAZ, con un promedio de 4.61% del total procesado, mientras que las pérdidas en la MG representaron únicamente 1.39%, distribuidas entre las fracciones bola chica (BCH) y plana chica (PCH).

Desde una perspectiva productiva, la fracción extrachica representa una pérdida directa de materia prima, pero también una oportunidad técnica de recuperación, ya que más del 70% del material descartado en la MAZ correspondió a semillas con integridad física y potencial de aprovechamiento. Este hallazgo coincide con lo planteado por (Sinha et al., 2023), quienes señalan que durante el procesamiento y acondicionamiento de semilla es común que el material clasificado como “fuera de norma” contenga una proporción de semillas viables que, debido a diferencias mínimas en peso o tamaño, son eliminadas junto con impurezas o fragmentos, pudiendo ser recuperadas mediante una reclasificación o limpieza secundaria.

En cuanto a las diferencias entre las fracciones bola chica y plana chica, el análisis estadístico demostró que no existen diferencias significativas en la magnitud de la merma gravimétrica ($p > 0.05$). Esto indica que ambas formas de semilla se comportan de manera similar frente al flujo de aire y la

vibración de la mesa. La posibilidad de incorporar la fracción extrachica como semilla aprovechable dependerá de su calidad física y fisiológica.

Conclusiones

La semilla extrachica generó el mayor porcentaje de merma (4.61%) en comparación con la semilla chica (bola y plana, 1.39%), confirmando que la mesa de aire y zarandas constituye el principal punto de pérdida del proceso de acondicionamiento.

No se encontraron diferencias significativas entre las fracciones bola chica y plana chica, lo que indica un comportamiento similar frente a las condiciones de separación en la mesa gravimétrica.

En promedio, el 71.8% del material extra chico correspondió a semilla rescatable, lo que demuestra el potencial de recuperación de esta fracción y su posible aprovechamiento dentro del proceso de acondicionamiento.

Recomendaciones

Realizar una evaluación económica que determine la factibilidad técnica y financiera de recuperar la semilla extrachica, considerando su valor potencial tanto en planta como en campo.

Evaluar el uso de diferentes tipos de zarandas o configuraciones en la mesa de aire y zarandas (MAZ) con el fin de optimizar la separación del material extra chico. Se recomienda desarrollar estudios experimentales que comparen diferentes calibres y combinaciones de zarandas para determinar si es posible aumentar la proporción de semilla útil retenida sin comprometer la limpieza ni la calidad final del producto.

Fomentar investigaciones conjuntas entre las áreas técnicas de la Planta de Acondicionamiento y los programas académicos de Zamorano, orientadas a mejorar la eficiencia del proceso y reducir pérdidas físicas

Referencias

- Abd El-Rahman, A. A., Mosa, M., & Hassan, H. E (2014). Physical, mechanical and aerodynamic properties of some grains as related to design of mechanical separating systems. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 5(12), 1839–1849. https://jssae.journals.ekb.eg/article_49863.html
- Adigoun, R. F. R., Houdegbe, A. C., Fassinou Hotegni, N. V., Segnon, A. C., N'Danikou, S., Adjé, C. A. O., Adadja, R. P. M. y Achigan-Dako, E. G. (2022). Enabling effective maize seed system in low-income countries of West Africa: Insights from Benin. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1045629>
- Reyes, A. (2024). *Evaluación de la calidad de semilla de maíz (Zea mays) híbrido en sus tamaños menores (plano-chico, bola-chica) acondicionados en la planta de Procesamiento de semillas de Zamorano [Proyecto especial de graduación]*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/items/59e1509d-e4d2-44ff-83fd-1cd6f84eff2b>
- Asia and Pacific Seed Association. (2024). *Fundamental concepts for cleaning and upgrading seed. Asia and Pacific Seed Association (APSA)*. https://www.apsaseed.org/storage/2024/06/2_Fundamental%20Concepts%20for%20Cleaning%20and%20Upgrading%20Seed_4_237424.pdf
- Bredykhin, V., Shchur, T., Kis-Korkishchenko, L., Denisenko, S., Ivashchenko, S., Marczuk, A., Dzhidzhora, O. y Kubon, M. (2024). Determination of Ways of Improving the Process of Separation of Seed Materials on the Working Surface of the Pneumatic Sorting Table. *Agricultural Engineering*, 28(1), 51–70. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2024-0005>
- Eng. Bunduchi G.*), Ph.D.Eng. Gageanu P., Ph.D.Eng. Păun A., Ph.D. Stud. Zaica Al., Ph.D.Eng. Olan M.Eng. Epure M. (2020). *Processing of maize seeds to obtain high quality finished products in the context of the requirements for functional and commercial diversification of food products*. CABI. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20210291318>
- Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K. y Prasanna, B. M. (2022). Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food Security*, 14(5), 1295–1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
- Firpo, N. (2024). *Indicadores del procesamiento de semillas en planta: mejorando su representación y automatizando su carga [Tesis de posgrado]*. Universidad Nacional del Rosario, Argentina. <https://rehip.unr.edu.ar/server/api/core/bitstreams/4af763a8-6fb9-4948-a4e0-7e36cc9c38e6/content>
- Jukić, Ž., Mason, S., Babić, M., Vitazek, I., Pliestić, S., Srećec, S., Kovačev, I. y Habuš, M. (2024). Factors influencing maize kernel breakage – a review. *Journal of Central European Agriculture*, 25(2), 401–415. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/25.2.4250>
- Lacayo, O. (2007). *Evaluación de calidad de las semillas de maíz de líneas puras, cruzas e híbridas, procesadas en la planta de semillas en Zamorano, Honduras [Proyecto especial de graduación]*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras [Proyecto especial de graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/items/cac3f7f6-d027-4dbf-a9da-7d469db6f3e3>

- Nath, B., Chen, G., O'Sullivan, C. M. y Zare, D. (2024). Research and Technologies to Reduce Grain Postharvest Losses: A Review. *Foods*, 13(12), 1875. <https://doi.org/10.3390/foods13121875>
- Ramos, C., Rivas, M., & López, J. (2020). Evaluation of rejected seed fractions for potential recovery in seed processing plants. *Journal of Seed Technology*, 43(1), 55–64.
- Sinha, J. P., Kumar, A. y Weissmann, E. (2023). Seed Processing for Quality Upgradation. En M. Dadlani y D. K. Yadava (Eds.), *Seed Science and Technology* (pp. 213–237). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_10
- Stepanenko, S., Kotov, B. (Sin especificar), (Sin especificar), Kuzmych, A., Kalinichenko, R. y Hryshchenko, V. (2023). Research of the process of air separation of grain material in a vertical zigzag channel. *Journal of Central European Agriculture*, 24(1), 225–235. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/24.1.3732>
- Su, Y., Cui, T., Xia, G., Gao, X., Li, Y., Qiao, M. y Xu, Y. (2021). Effects of different moisture content and varieties on physico-mechanical properties of maize kernel and pedicel. *Journal of Food Process Engineering*, 44(9), Artículo e13778. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13778>
- Torres, S. (2022). Caracterización de la calidad nutricional de 10 variedades de maíz con destino forrajero en Tarapoto. *Revista De Veterinaria Y Zootecnia Amazónica*, 5(2). <https://revistas.unsm.edu.pe/index.php/revza/article/view/1150>
- Velázquez, D., Méndez, F., & Carrillo, J. (2021). Efecto del flujo de aire en la eficiencia de separación de semillas en zarandas vibratorias. *Revista Tecnología Agroindustrial*, 15(2), 87–95., 15.
- Zhang, N., Fu, J., Chen, Z., Chen, X. y Ren, L. (2021). Optimization of the Process Parameters of an Air-Screen Cleaning System for Frozen Corn Based on the Response Surface Method. *Agriculture*, 11(8), 794. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080794>