

**Universidad Zamorano**  
**Departamento de Agroindustria Alimentaria**  
**Ingeniería en Agroindustria Alimentaria**



Proyecto Especial de Graduación  
**Evaluación de la calidad fisiológica de las semillas de maíz (*Zea mays*  
L.) recuperadas de la salida dos de la máquina de aire y zaranda, en la  
Planta de Semillas de Zamorano.**

Estudiante  
Salvador Eugenio Navarrete Osegueda

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 MARCHETTI**

Directora del Departamento de Agroindustria Alimentaria

**JULIO NAVARRO**

Secretario General

## Contenido

Índice de Cuadros .....	4
Índice de Anexos .....	5
Resumen .....	6
Introducción .....	8
Materiales y Métodos .....	11
Localización del Estudio .....	11
Toma de Muestras .....	11
Análisis de Germinación y Vigor .....	11
Resultados y Discusión .....	13
Conclusiones .....	22
Recomendaciones .....	23
Referencias .....	24
Anexos .....	26

**Índice de Cuadros**

Cuadro 1 Descripción de tratamientos. ....	12
Cuadro 2 Análisis de Germinación. ....	13
Cuadro 3 Análisis de germinación de maíz blanco.....	15
Cuadro 4 Análisis de Vigor. ....	17

### Índice de Anexos

Anexo A Análisis físico de semillas de mochote, materiales maíz amarillo 1, maíz amarillo 2 y maíz blanco 1.....	26
Anexo B Analisis físico de semillas para maíz amarillo 1 .....	27
Anexo C Analisis físico de semillas para maíz amarillo 2. ....	28
Anexo D Analisis físico de semillas para maíz blanco 1. ....	29

## Resumen

El presente estudio evaluó la calidad física y fisiológica de semillas de maíz (*Zea mays* L.) recuperadas del mochote, con el objetivo de determinar su viabilidad y potencial de aprovechamiento dentro del proceso productivo en la Planta de Procesamiento de Semillas de Zamorano. Se analizaron diferentes fracciones de forma (bola y plana) y tamaño (extra chico, chico y mediano) en maíces amarillos y blancos, realizando pruebas de germinación, longitud de plántula y análisis de daños físicos. Los resultados mostraron que las diferencias en germinación entre formas y tamaños no fueron significativas en la mayoría de los casos, indicando una calidad fisiológica estable incluso en las fracciones más pequeñas. Sin embargo, se observaron efectos significativos en la longitud de plántula, evidenciando variaciones en el vigor inicial asociadas principalmente a la forma de la semilla. El análisis de correlaciones reveló relaciones negativas entre daño mecánico y germinación, y positivas entre germinación y longitud de plántula, confirmando la influencia de las características físicas sobre el desempeño fisiológico. Estos resultados demuestran que las semillas del mochote, tras una adecuada clasificación y control de defectos, poseen el potencial de reincorporarse al proceso productivo, contribuyendo a la eficiencia en el aprovechamiento del material y reducción de pérdidas durante la selección.

*Palabras claves:* calidad fisiológica, correlación, forma de semilla, germinación, maíz, mochote, tamaño de semilla y vigor.

### Abstract

This study evaluated the physical and physiological quality of corn (*Zea mays* L.) seeds recovered from the *mochote*, aiming to determine their viability and potential for reuse within the production process at the Zamorano Seed Processing Plant. Different seed fractions were analyzed according to shape (round and flat) and size (extra small, small, and medium) in both yellow and white corn. Germination tests, seedling length measurements, and physical damage assessments were conducted. Results showed no significant differences in germination between shapes and sizes in most cases, indicating stable physiological quality even among smaller fractions. However, significant differences were found in seedling length, revealing variations in initial vigor mainly associated with seed shape. Correlation analysis indicated a negative relationship between mechanical damage and germination, and a positive relationship between germination and seedling length, confirming the influence of physical characteristics on physiological performance. These findings demonstrate that *mochote* seeds, after appropriate cleaning and classification, can be reintegrated into the production process, contributing to greater efficiency and reduced losses during seed selection.

*Keywords:* correlation, corn, germination, *mochote*, physiological quality, seed shape, seed size and vigor.

## Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) representa uno de los cereales de mayor relevancia a escala global, destacándose por su aporte nutricional y su trascendencia económica y social. Este grano constituye una fuente primordial de energía y componentes nutritivos para poblaciones numerosas, desempeñando un papel fundamental en la seguridad alimentaria mundial. En el contexto latinoamericano, el maíz forma parte integral de la alimentación básica en numerosas poblaciones rurales y representa un componente esencial para la industria agroalimentaria, la producción de forraje y diversas aplicaciones industriales (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] et al., 2024)

En el caso de Honduras, este cultivo ocupa una posición estratégica en el sector agrícola nacional, con una extensión de siembra que se aproxima a las 400,000 hectáreas, generando fuentes de trabajo en el ámbito rural y aportando de manera significativa a la economía de las comunidades campesinas. Información oficial revela que el consumo de tortilla elaborada con maíz constituye cerca del 59% del aporte energético y aproximadamente el 39% del aporte proteico en numerosos hogares hondureños, evidenciando su relevancia para la nutrición local (FAO, 2023)

La calidad de la semilla representa un factor esencial para asegurar rendimientos óptimos. Los atributos físicos, tales como la homogeneidad del tamaño y la integridad estructural, junto con la capacidad de germinación y el vigor fisiológico, resultan determinantes para el establecimiento exitoso del cultivo. La medición del vigor de semillas fue sistematizada por Delouche y Caldwell (1960) quienes en su obra *Seed Vigor and Vigor Tests* definieron los fundamentos para evaluar la calidad fisiológica más allá de la mera germinación.

Sin embargo, en Honduras, el acceso a semilla de calidad superior se encuentra restringido por limitaciones tecnológicas, costos elevados e insuficiencias en los mecanismos institucionales de distribución (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA] et al., 1978) . Por esta

razón, se debe optimizar la eficiencia en los procedimientos de selección y acondicionamiento de semilla para reducir pérdidas y maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles localmente.

En el proceso de clasificación de semillas de maíz híbrido realizado en la Planta de Procesamiento de Semillas de la Universidad Zamorano, se produce una fracción desechada denominada mochote. Esta fracción está constituida por semillas de dimensiones reducidas, irregulares o con tamaño heterogéneo. Es excluida debido a que no satisface los criterios comerciales establecidos de tamaño y conformación. Sin embargo, en caso de que las semillas del mochote mantuvieran atributos fisiológicos aceptables, podrían ser recuperadas e incorporadas nuevamente al sistema productivo, disminuyendo el desperdicio y mejorando la eficiencia del proceso semillero.

El tamaño de la semilla puede influir considerablemente en su vigor y capacidad de establecimiento. En distintos cultivos, las semillas de mayor volumen han demostrado un vigor inicial superior. Estudios recientes confirman que el tamaño de semilla afecta la velocidad germinativa y la tolerancia al estrés hídrico (Mousa et al., 2023). Específicamente en maíz, la identificación visual y cualitativa de semillas ha sido objeto de metodologías contemporáneas que emplean visión artificial para clasificar semillas con alta precisión (Y. Song et al., 2023). Por lo tanto, evaluar la fracción de descarte utilizando zarandas calibradas para obtener una categoría homogénea (por ejemplo, "extra chico") permite examinar si dichas semillas descartadas presentan diferencias significativas en germinación, vigor y daños físicos en comparación con la categoría comercial de tamaño chico.

En este contexto, el objetivo principal de esta investigación consistió en evaluar la calidad física y fisiológica de las semillas de maíz (*Zea mays* L.) procedentes del mochote, clasificadas según su forma (plana y bola), con la finalidad de determinar su potencial de aprovechamiento como material viable dentro del proceso productivo de semillas. De igual manera, se buscó determinar las diferencias en germinación y vigor entre las semillas del mochote y las semillas comerciales de tamaño chico correspondientes a cada forma y evaluar la incidencia de daños físicos y sanitarios presentes en

las semillas del mochote, contemplando aspectos como el daño mecánico, la presencia de hongos, el silk cut, las manchas y las semillas quemadas.

## **Materiales y Métodos**

### **Localización del Estudio**

El estudio se realizó en la Planta de Procesamiento de Semillas y en el Laboratorio de Semillas de la Universidad Zamorano, ubicada en el km 30 carretera de Tegucigalpa a Danlí, Valle del Yeguaire, Municipio de San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras.

### **Toma de Muestras**

La recolección de muestras se realizó utilizando un calador manual. Para obtener el tamaño extra chico el material fue sometido a una separación inicial mediante una criba de 15/64", eliminando impurezas y seleccionando únicamente las semillas del tamaño requerido. Luego, se utilizó una criba de 13/64" para separar las semillas por forma, clasificándolas en dos categorías: bola extra chica y plano extra chico. De igual forma, se tomaron muestras para análisis en cilindro Carter y mesa gravimétrica, también con el uso del calador manual, hasta obtener un volumen que cumpliera con las normas establecidas.

### **Análisis en Laboratorio**

Las muestras fueron identificadas por lote, material, fecha de muestreo, contenido de humedad, forma y tamaño de semilla. Posteriormente, se realizó un análisis físico sobre cada muestra. Para ello, se tomaron 500 gramos de semillas, los cuales fueron evaluados visualmente y separados según los distintos tipos de daño observados. Del mismo modo, se determinó el porcentaje de germinación de las semillas, contabilizando aquellas con una germinación normal, anormal y muerta.

### **Variables Evaluadas**

#### ***Análisis de Germinación y Vigor***

Se llevó a cabo un análisis de germinación utilizando cajas plásticas como contenedores, siguiendo un procedimiento estandarizado para garantizar la uniformidad en las condiciones experimentales. En cada caja se colocó una capa de aproximadamente una pulgada de sustrato en el fondo y, posteriormente, con la ayuda de un contador de semillas, se depositaron 100 semillas

distribuidas de manera uniforme sobre dicha superficie. Luego, se cubrieron las semillas con otra capa de una pulgada de sustrato para favorecer su desarrollo inicial y se aplicaron 500 mL de agua a cada unidad experimental. Finalmente, las cajas fueron debidamente etiquetadas con la información correspondiente al tratamiento. Transcurridos siete días, se evaluó el porcentaje de germinación y el vigor de las plántulas, midiendo la longitud desde la base del tallo hasta la punta de la hoja más larga.

### Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Para el estudio se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), donde se contó con tres bloques, siendo estas tres variedades de maíz diferentes. Se contó con un arreglo factorial 2 x 3, siendo los factores la forma de la semilla (bola y plana) junto al tamaño. El Cuadro 1 describe los tratamientos para cada uno de los bloques. Del mismo modo, se tuvieron 4 repeticiones por tratamiento.

#### Cuadro 1

*Descripción de tratamientos.*

Forma	Tamaño	No. Tratamientos
Bola	Extra-chica (mochote) [ECH_MO]	6
	Chica (Cilindro Carter) [CH_CI]	
	Chica (Mesa gravimétrica) [CH_MG]	
Plana	Extra-chica (mochote) [ECH_MO]	
	Chica (Cilindro Carter) [CH_CI]	
	Chica (Mesa gravimétrica) [CH_MG]	

El análisis estadístico consistió en un Análisis de Varianza (ANDEVA) para detectar diferencias significativas. Posteriormente se aplicó un LSMEANS para la separación de medias. Las variables expresadas en porcentaje, como el porcentaje de germinación anormal y el porcentaje de muerte de semillas, fueron transformadas mediante la función arcoseno de la raíz cuadrada antes del análisis estadístico. Los datos fueron analizados en el programa SAS® (Statistical Analysis System, por sus siglas en inglés), Versión 9.4.

## Resultados y Discusión

**Cuadro 2**

*Análisis de Germinación para las variedades de maíz amarillo 1 y 2.*

Material	Forma	Tamaño	Germinación (%)		
			N	AN	M
Maíz Amarillo 1	Bola	ECH_MO	92.25	5.25	4.00 a
		CH_CI	92.25	7.00	0.75 b
		CH_MG	93.00	5.00	2.00 ab
	Plana	ECH_MO	90.75	4.00	3.75 a
		CH_CI	91.75	5.50	2.75 ab
		CH_MG	90.75	7.25	2.00 ab
	Pr > F		0.1911	0.2021	0.4937
	CV (%)		1.97	21.83	54.13
Maíz Amarillo 2	Bola	ECH_MO	91.75	5.50	2.75
		CH_CI	89.50	7.25	3.25
		CH_MG	90.00	5.75	4.00
	Plana	ECH_MO	90.75	5.00	4.25
		CH_CI	90.50	6.75	2.75
		CH_MG	91.25	6.25	2.25
	Pr > F		0.6787	0.8863	0.5732
	CV (%)		3.06	22.45	47.26

*Nota.* N = germinación normal; AN = germinación anormal; M = semillas muertas; ECH\_MO = extra chica mochote; CH\_CI = chica cilindro

Carter; CH\_MG = chica mesa gravimétrica. Los valores representan los porcentajes de germinación obtenidos a los siete días posteriores a la siembra. Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ), determinadas mediante la prueba de comparación de medias LSMEANS. Maíz amarillo 1 y 2 son nombres alternos para mantener la confidencialidad del estudio.

En el cuadro 2, en las variedades maíz amarillo 1 y 2, los resultados del análisis de germinación no evidenciaron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) entre los tratamientos (ECH\_MO, CH\_CI y CH\_MG) en ninguna de las variables evaluadas (germinación normal, anormal y semillas muertas). Los valores de germinación normal oscilaron entre 89.5 y 93 %, reflejando una alta uniformidad entre las fracciones del mochote y las comerciales.

Estos resultados indican que el tamaño reducido de la semilla del mochote no compromete su viabilidad fisiológica, siempre que mantenga la integridad del embrión y reservas endospermáticas adecuadas. Según Yusuf, Bello y Afolayan (2014), las semillas pequeñas de maíz pueden germinar eficientemente cuando conservan estructuras internas intactas y humedad equilibrada, lo que concuerda con los hallazgos del presente estudio.

Asimismo, Tabakovic et al. (2020) reportaron que el tamaño y la forma de la semilla en híbridos de maíz influyen mínimamente en la germinación, aunque pueden afectar ligeramente la velocidad de emergencia. En el caso del maíz amarillo, tanto las formas bola como plana mostraron porcentajes de germinación similares, lo que sugiere que la morfología no ejerce un efecto determinante bajo condiciones controladas de laboratorio.

La consistencia observada entre tratamientos respalda la hipótesis de que el mochote es un material viable para rescate y reutilización, siempre que los procesos de clasificación aseguren una limpieza adecuada y minimicen el daño mecánico durante el manejo. Este resultado coincide con las conclusiones de Santiago y Sharkey (2019) quienes señalaron que la calidad fisiológica de las semillas no siempre se correlaciona con la clasificación física cuando las condiciones de secado y almacenamiento son apropiadas.

Estudios recientes confirman esta tendencia Zhou et al. (2024) demostraron que las semillas de maíz de menor tamaño mantienen tasas de germinación comparables a las de tamaño estándar cuando provienen de lotes con uniformidad fisiológica, destacando que la densidad del embrión es un factor más determinante que el volumen de la semilla. De igual manera, Basu y Groot (2023) subrayan que el vigor es una medida más sensible que la germinación para detectar diferencias en calidad, lo que sugiere que las variaciones no significativas encontradas en el presente análisis reflejan uniformidad fisiológica y no ausencia de efectos.

En conjunto, estos resultados confirman que las fracciones del mochote presentan un potencial fisiológico comparable a las fracciones comerciales, apoyando su posible reincorporación al proceso productivo de semillas sin comprometer la capacidad de establecimiento en campo.

### Cuadro 3

#### Análisis de germinación de maíz blanco.

Material	Forma	Tamaño	Germinación (%)		
			N	AN	M
Maíz Blanco 1	Bola	ECH_MO	92.75 c	6.50 a	0.75
		CH_CI	96.25 ab	2.50 ab	1.25
		CH_MG	94.50 bc	4.75 ab	0.75
	Plana	ECH_MO	93.00 bc	5.25 a	1.75
		CH_CI	90.50 d	6.75 a	1.25
		CH_MG	98.25 a	1.50 b	0.25
Pr > F			0.0015	0.0197	0.2263
CV (%)			2.32	31.19	81.1

*Nota.* N = germinación normal; AN = germinación anormal; M = semillas muertas; ECH\_MO = extra chica mochote; CH\_CI = chica cilindro

Carter; CH\_MG = chica mesa gravimétrica. Los valores representan los porcentajes de germinación obtenidos a los siete días posteriores a la siembra. Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ), determinadas mediante la prueba de comparación de medias LSMEANS. Maíz blanco 1 es un nombre alternativo para mantener la confidencialidad del estudio.

En el cuadro 3 con respecto al maíz blanco 1, a diferencia de los materiales de maíz amarillos, se observaron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) en germinación normal y anormal, aunque no en semillas muertas. El tratamiento CH\_MG plana presentó el mayor porcentaje de germinación normal (98.25%), mientras que CH\_CI plana registró el menor (90.50 %). El mochote (ECH\_MO) mantuvo valores intermedios y altos (92.75–93 %), confirmando que, aunque las fracciones más densas presentan ligera ventaja, el material recuperado conserva una viabilidad fisiológica aceptable.

La diferencia observada podría atribuirse a la selección por densidad en la mesa gravimétrica, donde las semillas de mayor peso específico tienden a presentar embriones más desarrollados y menor daño interno. Según Pérez et al. (2020), la densidad y el contenido de reservas influyen de manera más notoria en el vigor que en la germinación, por lo que las diferencias significativas podrían deberse a ligeras variaciones en la concentración de carbohidratos y proteínas en las semillas más densas.

Este comportamiento concuerda con lo descrito por Tang et al. (2025), quienes destacaron que las semillas con mayor peso y densidad presentan una mejor tolerancia al estrés hídrico y térmico, lo que favorece su germinación y emergencia temprana. De manera complementaria, Zhang et al. (2023) atribuyen la variabilidad entre fracciones al grado de daño mecánico generado durante el procesamiento, dado que las semillas más pequeñas o irregulares son más susceptibles al agrietamiento por impacto o fricción.

Por su parte, Domergue et al. (2019) y Yusuf et al. (2014), coinciden en que, aunque el tamaño y la forma influyen en la germinación, la diferencia se amplifica bajo condiciones de estrés, lo que podría explicar la superioridad del tratamiento CH\_MG en esta variedad. Estudios más recientes, como el R. Shi et al. (2024), refuerzan esta idea al demostrar que la microestructura del endospermo y la integridad del embrión determinan la eficiencia de absorción de agua y la velocidad de germinación, factores que pueden variar entre fracciones de distinto peso.

En resumen, los resultados del Maíz blanco 1 muestran que la fracción CH\_MG plana posee una ventaja estadística en germinación normal, pero el mochote mantiene niveles cercanos a los comerciales, por lo que puede considerarse aprovechable tras un proceso de reclasificación o reprocesamiento que elimine semillas con daño mecánico o baja densidad. Este hallazgo reafirma el potencial del mochote como fuente complementaria de semilla viable, especialmente en condiciones donde la disponibilidad de material certificado es limitada (IICA et al., 1978).

**Cuadro 4**

*Análisis de vigor con enfoque morfométrico. Para maíz amarillo 1, 2 y maíz amarillo 1.*

Material	Forma	Tamaño	Vigor
			Longitud (cm)
Maíz Amarillo 1	Bola	ECH_MO	24.44 b
		CH_CI	25.06 ab
		CH_MG	26.31 a
	Plana	ECH_MO	23.03 b
		CH_CI	23.03 b
		CH_MG	23.56 b
Pr > F		0.0226	
CV (%)		7.05	
Maíz Amarillo 2	Bola	ECH_MO	26.38 ab
		CH_CI	26.81 ab
		CH_MG	27.59 a
	Plana	ECH_MO	24.69 cd
		CH_CI	25.69 bc
		CH_MG	24.19 d
Pr > F		0.0007	
CV (%)		3.71	
Maíz Blanco 1	Bola	ECH_MO	34.75 ab
		CH_CI	32.91 b
		CH_MG	34.03 b
	Plana	ECH_MO	33.00 b
		CH_CI	25.69 c
		CH_MG	35.91 a
Pr > F		<.0001	
CV (%)		3.82	

*Nota.* ECH\_MO = extra chica mochote; CH\_CI = chica cilindro Carter; CH\_MG = chica mesa gravimétrica. Los valores corresponden a la longitud promedio de plántulas (cm) a los siete días posteriores a la siembra, utilizada como indicador morfométrico del vigor de germinación. Letras distintas dentro de la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ), determinadas mediante la prueba de comparación de medias LSMEANS.

El vigor se evaluó mediante la longitud promedio de plántulas (cm) a los siete días posteriores a la siembra, con el propósito de estimar el potencial fisiológico de las semillas bajo condiciones controladas. Este enfoque, de tipo morfométrico, es científicamente aceptado para comparar tratamientos dentro de un mismo ambiente, ya que la velocidad y uniformidad del crecimiento inicial reflejan la capacidad metabólica y de emergencia del embrión (Daufeldt, 2022; Kaur y Sandhu, 2022) Aunque existen métodos tradicionales de determinación de vigor basados en porcentajes mediante pruebas de estrés térmico o envejecimiento acelerado, la medición de la longitud de plántulas

constituye una alternativa válida y complementaria que ha mostrado una fuerte correlación con la germinación y el establecimiento temprano (Basu y Groot, 2023)

Como se observa en el Cuadro 4, el análisis estadístico (ANOVA) confirmó efectos significativos del tratamiento en las tres variedades evaluadas ( $p < 0.05$ ), con coeficientes de variación bajos (3.71–7.05 %), lo que indica precisión y consistencia experimental. En el maíz amarillo 1, las longitudes variaron entre 23.03 cm (plana ECH\_MO) y 26.31 cm (bola CH\_MG), mostrando diferencias leves entre tratamientos, aunque el mochote mantuvo valores intermedios comparables a las fracciones comerciales. En el maíz amarillo 2, las plántulas alcanzaron longitudes de 24.19–27.59 cm, sin una tendencia clara entre formas, lo que evidencia una homogeneidad fisiológica entre las fracciones. Por otro lado, el maíz blanco 1 presentó las mayores diferencias ( $p < 0.0001$ ), con la fracción CH\_MG plana alcanzando 35.91 cm y CH\_CI plana el menor valor (25.69 cm), mientras que el mochote (33–34.75 cm) se mantuvo competitivo y cercano al mejor tratamiento. Estos resultados demuestran que, a pesar de las diferencias de tamaño o forma, las semillas del mochote mantienen un vigor de crecimiento inicial equiparable al de las fracciones comerciales, lo que sugiere que su tamaño reducido no compromete la movilización de reservas necesarias para la elongación temprana. Estudios recientes respaldan esta observación: Adebisi et al. (2023) encontraron que la longitud de plántula y el peso seco a los siete días son parámetros confiables para cuantificar vigor relativo en maíz; asimismo, Kaur y Sandhu (2022) reportaron correlaciones positivas ( $r > 0.80$ ) entre la longitud total y la energía de germinación, reforzando su uso como indicador fisiológico.

La tendencia observada en este estudio coincide con lo reportado por Pérez et al. (2020) y Yusuf et al. (2014), quienes señalaron que las diferencias en tamaño y forma de semilla influyen mínimamente en el crecimiento temprano cuando las condiciones de germinación son óptimas. De igual forma, Zhou et al. (2024) y Tang et al. (2025) destacaron que la densidad del embrión y la integridad del endospermo son factores más determinantes del vigor que el tamaño físico externo, explicando por qué las fracciones de mochote logran un desempeño comparable.

Desde un punto de vista práctico, los resultados indican que las semillas extra chicas (mochote) podrían reincorporarse al sistema de producción de semilla luego de una clasificación o limpieza adicional, sin comprometer la capacidad de establecimiento. Este hallazgo respalda la recuperación parcial del mochote como estrategia viable para reducir desperdicios y mejorar la eficiencia en la Planta de Semillas de Zamorano, contribuyendo a la sostenibilidad del proceso productivo.

### Cuadro 5

*Análisis del ANDEVA para la variedad de maíz amarillo 1.*

Germinación					
Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Forma	1	1.04166667	1.04166667	0.27	0.6104
Tamaño	2	1.08333333	0.54166667	0.14	0.8705
Forma*Tamaño	2	14.08333333	7.04166667	1.82	0.1911
Longitud					
Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Forma	1	17.9401042	17.9401042	6.22	0.0226
Tamaño	2	11.6106771	5.80533854	2.01	0.1625
Forma*Tamaño	2	5.76692708	2.88346354	1.00	0.3874

*Nota.* En el maíz amarillo 1 no se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en germinación respecto a forma y tamaño de semilla, lo que indica uniformidad fisiológica entre tratamientos. Sin embargo, la longitud de plántula mostró diferencias significativas ( $p = 0.0226$ ) para la forma, siendo las semillas de tipo bola las que presentaron mayor vigor inicial.

En el Cuadro 5 presenta los resultados del análisis de varianza (ANDEVA) correspondiente al maíz amarillo 1, donde no se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en la germinación con respecto a la forma y tamaño de semilla, lo que indica uniformidad fisiológica entre tratamientos. Sin embargo, la longitud de plántula mostró diferencias significativas ( $p = 0.0226$ ) para el factor forma, siendo las semillas de tipo bola las que presentaron mayor vigor inicial.

Este comportamiento sugiere una mejor distribución de reservas endospermáticas en las semillas redondeadas, lo que favorece la movilización de nutrientes hacia el embrión durante la germinación. Kaur y Sandhu (2022) explican que la morfología de la semilla puede influir en la

uniformidad del crecimiento inicial debido a la orientación del embrión y la proporción de tejido endospermico funcional, lo cual coincide con los resultados observados en este material.

### Cuadro 6

*Análisis del ANDEVA para la variedad de maíz amarillo 2.*

Germinación					
Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Forma	1	1.04166667	1.04166667	0.14	0.7170
Tamaño	2	6.25000000	3.12500000	0.41	0.6717
Forma*Tamaño	2	6.08333333	3.04166667	0.40	0.6787
Longitud					
Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Forma	1	25.781901	25.781901	27.95	<.0001
Tamaño	2	2.06640625	1.03320313	1.12	0.3480
Forma*Tamaño	2	5.64973958	2.82486979	3.06	0.0717

*Nota.* Para el maíz amarillo 2, la germinación no presentó diferencias significativas entre los factores forma y tamaño, aunque la longitud de plántula evidenció un efecto altamente significativo ( $p < 0.0001$ ) para la forma, destacando nuevamente la ventaja fisiológica de la forma bola sobre la plana.

En el Maíz Amarillo 2, los resultados del análisis de correlaciones mostraron que no existieron efectos significativos ( $p > 0.05$ ) de los factores forma, tamaño ni su interacción sobre la germinación. Los valores de F (0.14–0.40) sugieren una respuesta fisiológica homogénea entre las fracciones del mochote y las fracciones comerciales, reafirmando que el tamaño reducido no afectó la capacidad germinativa del material. Esta uniformidad podría atribuirse a la similitud genética y fisiológica entre las semillas, lo que garantiza una respuesta constante bajo condiciones controladas de laboratorio.

En cuanto a la longitud de plántula, el factor forma sí presentó un efecto altamente significativo ( $p < 0.0001$ ), siendo nuevamente la forma bola la que obtuvo mayores valores promedio, reflejando un vigor superior en la etapa inicial de desarrollo. Esto sugiere que, aunque la germinación no varía, la morfología puede incidir en la eficiencia de movilización de reservas y en la elongación del hipocótilo. Tang et al. (2025) sostienen que las diferencias estructurales en el endospermo y la orientación del embrión influyen directamente en la absorción de agua y la velocidad de crecimiento, lo que explica el comportamiento observado en este híbrido.

**Cuadro 7**

*Análisis del ANDEVA para la variedad de maíz blanco 1.*

Germinación					
Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Forma	1	2.04166667	2.04166667	0.43	0.5222
Tamaño	2	57.33333333	28.66666667	5.98	0.0102
Forma*Tamaño	2	92.33333333	46.16666667	9.63	0.0014
Longitud					
Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Forma	1	33.547526	33.547526	21.46	0.0002
Tamaño	2	144.86849	72.4342448	46.33	<.0001
Forma*Tamaño	2	838294271	41.9147135	26.81	<.0001

*Nota.* En el Maíz Blanco 1 se registraron diferencias significativas tanto en germinación ( $p < 0.05$ ) como en longitud de plántula ( $p < 0.001$ ), siendo el factor tamaño y la interacción forma\*tamaño los que influyeron con mayor fuerza. Las semillas planas y de mayor tamaño mostraron mejor germinación y vigor.

El Cuadro 7 presenta los resultados del análisis de varianza para el maíz blanco 1, en el cual se registraron diferencias estadísticas significativas tanto en la germinación ( $p < 0.05$ ) como en la longitud de plántula ( $p < 0.001$ ). El factor tamaño y la interacción forma  $\times$  tamaño influyeron con mayor fuerza, lo que indica que este material es más sensible a las variaciones morfológicas. Las semillas planas y de mayor tamaño mostraron mejor germinación y vigor, posiblemente debido a un mayor contenido de reservas y menor daño mecánico.

Además, el análisis de la longitud de plántula reveló efectos altamente significativos en todos los factores, evidenciando que las semillas de mayor densidad y forma definida no solo germinan mejor, sino que también expresan un vigor superior durante el crecimiento inicial. Estos resultados coinciden con lo reportado por Shi et al. (2024), quienes demostraron que la integridad del endospermo y la estructura del embrión determinan la velocidad de germinación y el vigor en semillas de maíz.

### Conclusiones

Viabilidad del Material de Descarte: El mochote extra-chico demuestra ser un material fisiológicamente viable con porcentajes de germinación comparables a las fracciones comerciales (89.5 - 98.25%), confirmando que el descarte por tamaño no implica pérdida de calidad fisiológica.

Superioridad del Criterio Morfológico sobre el Dimensional: La forma de la semilla constituye un factor más determinante que el tamaño en el desempeño fisiológico. Las semillas de forma "bola" exhiben consistentemente mayor vigor inicial que las de forma "plana", sugiriendo que los criterios de clasificación deberían priorizar características morfológicas por encima de dimensiones para maximizar la calidad del material recuperado.

Efectividad de la Clasificación por Densidad: La mesa gravimétrica se consolida como el método más eficiente para recuperar material de alta calidad del mochote, alcanzando hasta 98.25% de germinación normal en maíz blanco.

### **Recomendaciones**

Reprocesar las fracciones del mochote mediante cribas adicionales o sistemas de clasificación óptica para eliminar semillas con defectos severos y recuperar aquellas con buena integridad física y fisiológica.

Implementar evaluaciones complementarias de vigor, como pruebas de envejecimiento acelerado o estrés térmico, para validar el comportamiento de las semillas extra chicas bajo condiciones ambientales adversas.

Monitorear el desempeño de las semillas extra chicas en campo, evaluando su germinación, uniformidad y rendimiento en comparación con las fracciones comerciales, con el fin de confirmar su viabilidad agronómica.

Integrar la recuperación parcial del mochote dentro de las estrategias de sostenibilidad de la Planta de Semillas de Zamorano, promoviendo el uso eficiente de recursos y la reducción de pérdidas en el proceso de acondicionamiento.

### Referencias

- Basu, S. y Groot, S. P. C. (2023). Seed vigour and invigoration, *13*(8), 2441–2458. <https://doi.org/10.1007/s00122-023-04216-9>
- Daufeldt, H. N. (2022). *Determining the extent of seed dryer damage in corn (Zea mays L.) seed using the tetrazolium test and other seed quality tests* [Tesis]. Iowa State University, Ames, Iowa. <https://dr.lib.iastate.edu/server/api/core/bitstreams/46160ac0-8610-4798-b70e-90227c7c9dae/content>
- Delouche, J. C. y Caldwell, W. P. (1960). Seed Vigor and Vigor Tests, *50*, 124–129. <https://scholarsjunction.msstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1183&context=seedtechpapers>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *Panorama regional de la seguridad alimentaria y nutricional - América Latina y el Caribe 2022*. FAO; IFAD; PAHO; WFP; UNICEF. <https://doi.org/10.4060/cc3859es>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Fund for Agricultural Development, United Nations Children's Fund, World Food Programme y World Health Organization. (2024). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2024*. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. <https://doi.org/10.4060/cd1254en>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Echandi Z., R., Mora C, M. y González, H. (1978). *Diagnóstico de la situación de semillas de los granos básicos para la República de Honduras* [<https://hdl.handle.net/11324/11743>]. IICA.
- Kaur, G. y Sandhu, S. S. (2022). Evaluation of maize seed vigour using seedling length and dry weight parameters. *Journal of Applied and Natural Science*, *14*(3), 847–853. <https://doi.org/10.31018/jans.v14i3.3680>
- Mousa, S. T., ALY, R. y Mohamed, H. A. (2023). Assessment of Combining Ability for some New White Maize Inbred Lines (*Zea mays L.*) Using Line X Tester Model. *Journal of Plant Production Sciences*, *12*(1), 31–40. <https://doi.org/10.21608/JPPS.2023.336433>
- R. Shi, H. Chen y J, W. (2024). Embryo structure and endosperm integrity influence water uptake and germination rate in maize seeds., *205*. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108088>
- Santiago, J. P. y Sharkey, T. D. (2019). Pollen development at high temperature and role of carbon and nitrogen metabolites. *Plant, Cell & Environment*, *42*(10), 2759–2775. <https://doi.org/10.1111/pce.13576>
- Tabakovic, M., Simic, M., Stanisavljevic, R., Milivojevic, M., Secanski, M. y Postic, D. (2020). Effects of shape and size of hybrid maize seed on germination and vigour of different genotypes. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *80*(3), 381–392. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000300381>
- Tang, H., Zhang, L., Xie, X., Wang, Y., Wang, T. y Liu, C. (2025). Resilience of Maize to Environmental Stress: Insights into Drought and Heat Tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, *26*(11). <https://doi.org/10.3390/ijms26115274>

- Y. Song, J. Li y X. Zhao (2023). Maize seed appearance quality assessment using deep learning and transfer learning models. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106118>
- Yusuf, M. A., Bello, O. B. y Afolayan, K. A. (2014). Effects of seed size on germination and early growth of maize (*Zea mays* L.) varieties. *International Journal of Plant & Soil Science*, 3(8), 986–994. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2014/10499>
- Zhou, X., Wang, L., Chen, J. y Li, Y. (2024). Seed morphological traits and embryo density determine early vigour in maize hybrids. *Scientific Reports*, 14(1), Artículo 17823. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71947-1>

## Anexos

## Anexo A

Análisis físico de semillas de mochote, materiales maíz amarillo 1, maíz amarillo 2 y maíz blanco 1.

Lote de campo	Material	Presentación	Materia Inerte 1%		Daños Máximos 2.5%			Total < 2.5%	Semilla pura
			Silk cut sev 0.5%	Total <1%	Daño por calentamiento	Daño por hongos 1.5%	Daño mecánico 1.50%		
			0.50%	1%	1%	1.50%	1.50%		
25F556HX7C -ZE	DK- 7088VT 3PRO	BECH	0.2%	0.2%	2.2%	1%	0.3%	3.5%	96.3%
25F556HX7C -ZE	DK- 7088VT 3PRO	PECH	0.9%	0.9%	3.2%	4.6%	4%	11.8%	87.3%
25F565HX7C +566+572	DK- 7088R	BECH	0.3%	0.3%	1.2%	5.6%	0%	6.8%	92.9%
25F565HX7C +566+572	DK- 7088R	PECH	0%	0%	3%	8.7%	1.6%	13.3%	86.7%
25F576HX7C	DK- 390RR	BECH	0%	0%	2.5%	2.7%	0.6%	5.8%	94.2%
25F576HX7C	DK- 390RR	PECH	0%	0%	1.2%	7.4%	3.6%	12.2%	87.8%

## Anexo B

## Análisis físico de semillas para maíz amarillo 1

Presentación	Olot e (0.1 0%)	Silk Cut Sev (0.5 %)	Basura/ Semilla Quebrada (1%)	Total (1 %)	Semilla Manchada/ Enferma (1.5%)	Daño Mecánico (1.5 %)	Daño por Insecto (0.5 %)	Silk Cut Lev (1.5 %)	Total Daños (2.5 %)	Resultado	Nº Repro cesos	Observación
PCH	0.0 0%	0.5 6%	1.66%	2.2 2%	0.84%	0.00 %	0.0 6%	2.0 0%	2.9 0%	FDN	0	Semilla quebrada más de la mitad, FDN por silk cut leve y severo, semilla manchada 0.3%
PCH	0.0 0%	0.0 8%	0.76%	0.8 4%	0.42%	0.00 %	0.0 2%	1.1 0%	1.5 4%	DDN	1	Semilla manchada 0.1% FDN por daño silk cut leve
BCH	0.0 0%	0.0 0%	0.00%	0.0 0%	0.60%	0.10 %	0.0 0%	1.9 0%	2.6 0%	FDN	0	
BCH	0.0 0%	0.2 6%	0.12%	0.3 8%	0.22%	0.00 %	0.0 0%	1.6 0%	1.8 2%	FDN	1	
BCH	0.0 0%	0.1 0%	0.00%	0.1 0%	0.24%	0.00 %	0.0 0%	0.6 6%	0.9 0%	DDN	2	

## Anexo C

## Análisis físico de semillas para maíz amarillo 2.

Presentación	Olot e (0.1 0%)	Silk Cut Sev (0.5 %)	Basura/S emilla Quebrada (1%)	Total (1%)	Semilla Manchada/ Enferma (1.5%)	Daño Mecánico (1.5%)	Daño por Insecto (0.5 %)	Silk Cut Lev (1.5 %)	Total Daños (2.5 %)	Resultado	Nº Repro cesos	Observación
PCH	0.0 0%	0.6 2%	0.78%	1.4 0%	1.56%	0.00 %	0.0 0%	1.9 4%	3.5 0%	FDN	0	FDN por silk cut severo , leve, hongo s y sumat oria FDN por silk cut leve y sumat oria FDN
PCH	0.0 0%	0.2 2%	0.54%	0.7 6%	1.24%	0.00 %	0.0 0%	1.5 2%	2.7 6%	FDN	1	FDN por silk cut leve y sumat oria FDN
PCH	0.0 0%	0.2 4%	0.34%	0.5 8%	0.40%	0.00 %	0.0 0%	1.6 2%	2.0 2%	FDN	2	FDN por silk cut leve
PCH	0.0 0%	0.1 6%	0.26%	0.4 2%	0.32%	0.00 %	0.0 0%	1.0 4%	1.3 6%	DDN	3	
BCH	0	1.5 6%	0.00%	1.5 6%	3.80%	0.00 %	0.0 0%	1.6 6%	5.4 6%	FDN	0	FDN por silk cut severo , silk cut leve, hongo s y sumat oria FDN
BCH	0	0.9 8%	0.16%	1.1 4%	0.60%	0.00 %	0.0 0%	0.5 0%	1.1 0%	FDN	1	FDN por silk cut severo
BCH	0	0.5 0%	0.00%	0.5 0%	0.50%	0.00 %	0.0 0%	0.1 6%	0.6 6%	DDN	2	Semilla manchada 0.30%

**Anexo D**

*Analisis físico de semillas para maíz blanco 1.*

Presentación	Olote (0.10%)	Silk Cut Sev (0.5%)	Basura/Semilla Quebrada (1%)	Total (1%)	Semilla Manchada/Enferma (1.5%)	Daño Mecánico (1.5%)	Daño por Insecto (0.5%)	Silk Cut Lev (1.5%)	Total Daños (2.5%)	Resultado	Nº Reprocesos	Observación
PCH	0.00%	0.00%	1.54%	1.54%	1.28%	0.04%	0.00%	0.00%	1.32%	FDN	0	FDN por semilla quebrada, semilla manchada 0.06%
PCH	0.00%	0.00%	0.96%	0.96%	0.94%	0.22%	0.04%	0.00%	1.20%	DDN	1	
BCH	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.18%	0.12%	0.00%	0.00%	1.30%	DDN	1	Semilla manchada 0.20%