

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Agroindustria Alimentaria
Ingeniería en Agroindustria Alimentaria



Proyecto Especial de Graduación

**Efecto de la temperatura y humedad en dos tipos de transporte, al
recibo, sobre la viabilidad de semilla híbrida de maíz.**

Estudiante

Jose Manuel Pacheco Serrano

Asesores

Edward Moncada, Mtr.

Raúl Espinal, Ph.D.

Honduras, noviembre, 2023

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora Departamento de Agroindustria Alimentaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	5
Resumen	6
Abstract.....	7
Introducción.....	8
Materiales y Métodos.....	10
Ubicación del Estudio.....	10
Metodología.....	10
Materiales y Equipo	10
Recolección de Datos.....	11
Proceso de Pre-acondicionamiento.....	11
Recibo	11
Secado.....	11
Desgrane	12
Procedimiento de Muestreo.....	12
Prueba de Germinación	14
Prueba de Vigor	14
Diseño experimental y análisis estadístico	14
Resultados y Discusión.....	15
Comparación de Variables Ambientales de los Transportes	15
Temperatura	16
Humedad Relativa.....	17
Comparación de Resultados de Viabilidad de los Transportes.....	18

	4
Vigor	18
Germinación.....	19
Resultados de Correlación en Camión	19
Correlación de Temperatura con Vigor y Germinación	20
Correlación de Humedad con Vigor y Germinación	21
Resultados de Correlación en Contenedor	22
Correlación de Temperatura – Vigor y Germinación	23
Correlación de Humedad Relativa – Vigor y Germinación.....	23
Conclusiones	25
Recomendaciones.....	26
Referencias.....	27

Índice de Cuadros

Cuadro 1 <i>Muestreo para lotes con peso mayor a 100 kg</i>	13
Cuadro 2 <i>Prueba t para variables temperatura y humedad al recibo, en dos tipos de transporte.</i>	15
Cuadro 3 <i>Prueba t para variables vigor y germinación en dos tipos de transporte, basado en la temperatura y humedad al recibo</i>	18
Cuadro 4 <i>Correlación entre variables temperatura y humedad relativa, al recibo, con la viabilidad (vigor y germinación) de semillas transportadas en camión</i>	20
Cuadro 5 <i>Correlación entre variables temperatura y humedad relativa, al recibo, con la viabilidad (vigor y germinación) de semillas transportadas en camión</i>	23

Resumen

El uso de distintos tipos de transportes de maíz después de cosecha puede ocasionar daños en la calidad fisiológica de la semilla, generando menores rendimientos en campo, y por consiguiente pérdidas económicas. La presente investigación tiene como objetivos determinar el efecto de la temperatura y humedad relativa en dos tipos de transportes de semilla de maíz (*Zea mays*) híbrido, sobre la viabilidad, al momento de llegada a la planta de acondicionamiento de Zamorano. En el estudio se realizó la comparación de dos tipos de transportes (camión y contenedor), en los cuales se llevó a cabo una toma de temperatura y humedad relativa a la llegada. Se establecieron como métodos de evaluación, los principales factores de calidad fisiológica (% de germinación, vigor) las cuales se realizaron para cada transporte, y fueron evaluados en relación con la temperatura y humedad relativa del transporte. Se empleó un diseño de muestras independientes, un análisis de correlación y una prueba de hipótesis haciendo uso de una prueba t-student, con un nivel de significancia de 95%. No se encontró correlación en el porcentaje de vigor y germinación, de acuerdo con la temperatura y humedad relativa. No se observaron diferencias significativas entre las temperaturas, vigor y germinación de ambos transportes. Se encontró que la humedad relativa tiene diferencia significativa entre transportes.

Palabras clave: camión, contenedor, germinación, vigor,

Abstract

The use of different types of transportation for corn after harvest can cause damage to the physiological quality of the seed, generating lower yields in the field, and consequently economic losses. The objectives of this research are to determine the effect of temperature and relative humidity in two types of transportation for corn (*Zea mays*) hybrid seed upon arrival at the Zamorano conditioning plant on viability. The study compared two types of transports (truck and container), in which, temperature and relative humidity were measured upon arrival. The main physiological quality factors (% germination, and vigor) were established as evaluation methods for each transport means and were evaluated in relation to the temperature and relative humidity of the transportation, upon arrival. An independent samples design, a correlation analysis and a hypothesis test using a t-test was used, with a significance level of 95%. No correlation was found in the percentage of vigor and germination, according to temperature and relative humidity. No significant differences ($P > 0.05$) were observed between temperatures, vigor, and germination of both transportation means. Relative humidity was found to have a significant difference between transports.

Keywords: container, germination, truck, vigor.

Introducción

El maíz (*Zea Mays*) es una planta perteneciente a la familia Poaceae, es un cultivo anual que posee un sistema radicular fasciculado, proveyendo de firmeza, minerales y agua necesaria a la planta. El fruto del maíz es llamado cariósipide, consta de tres partes principales: la pared, el embrión diploide y el endospermo triploide. Siendo uno de los cultivos más importantes. El maíz es junto con el trigo y el arroz uno de los cereales más importantes del mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 1993).

El maíz tiene una gran importancia económica, como materia prima para la alimentación humana, el ganado o para su futura producción. Por lo tanto, es de suma importancia para la humanidad y utilizado por la industria como fuente principal de carbohidratos (Erazo Arévalo, 2004). El crecimiento exponencial mundial ha generado una crisis alimentaria, al producir en ambientes adversos, por lo que generar cultivos productivos y resistentes es de suma importancia.

Una alternativa utilizada para aumentar la producción son los híbridos, los cuales son consecuencia de investigación y mejoramiento por muchos años. Variedades que poseen características genéticas mejoradas, como el alto potencial de rendimiento y combinaciones de caracteres únicas para combatir las enfermedades y condiciones de cultivo adversas (MacRobert, 2015). Todo esto con el fin obtener plantas con el pico productivo más alto.

Un híbrido es la cruce de dos líneas de semilla de las cuales se extraen las características que se buscan para determinada región. Obteniendo perfiles más resistentes (vigor híbrido). Pero más allá de la adaptarse y soportar condiciones distintas, los híbridos tienen condiciones a los cuales deben ser tratadas para generar su mayor potencial.

La calidad fisiológica real de una semilla depende no solo de su herencia genética, sino también de las condiciones ambientales de producción, procesamiento y almacenamiento (Proain, 2021). Entre los puntos de importancia en calidad de semillas están la producción, cosecha, transporte y procesamiento. La preservación de las semillas durante y después de la cosecha es un desafío, ya

que varios factores pueden comprometer su calidad fisiológica. Cabe destacar que la calidad fisiológica hace referencia a mecanismos intrínsecos de la semilla que determinan su capacidad de germinación, la emergencia y el desarrollo de aquellas estructuras esenciales para producir una plántula normal bajo condiciones favorables (Lira et al., 2016).

Los principales problemas están relacionados con la temperatura, la humedad relativa del aire y el contenido de humedad de las semillas, presentándose en altos valores aumentan la intensidad del deterioro (Carvalho et al., 2019).

La exposición a altas temperaturas y humedad relativa durante el transporte por mucho tiempo afecta negativamente a las semillas reduciendo su vigor y capacidad de germinación. Por lo tanto, se recomienda que el transporte de semillas sea acondicionado (Monsanto, 2019).

El uso de distintos tipos de transportes hacia Zamorano puede causar daños en los atributos característicos de la semilla, generando pérdidas económicas. Por consiguiente menores rendimientos y calidad de semilla. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivos:

Determinar el efecto de las variables temperatura y humedad relativa en dos medios de transporte; camión y contenedor, sobre la viabilidad de semillas.

Analizar la disparidad estadística entre las variables evaluadas por camiones y contenedores.

Determinar el medio de transporte óptimo de acuerdo con los resultados finales de las variables analizadas en el estudio.

Materiales y Métodos

Ubicación del Estudio

El estudio se realizó en la Planta de Procesamiento de Semillas y en el Laboratorio de granos y semillas, de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, localizada en el km 30 carretera de Tegucigalpa a Danlí, Valle de Yeguaré, Municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Metodología

Se evaluaron lotes de maíz híbrido transportados en dos tipos de transporte en el periodo de un año, dando como total de 80 lotes evaluados de los cuales 27 fueron transportados por contenedores y 53 por camiones. Todos los lotes evaluados en los transportes eran del mismo material, maíz híbrido. Se realizó un muestreo en la recepción de los transportes, tomando temperatura y humedad relativa al momento de ser descargados. Los lotes fueron pre-acondicionados en la planta de semillas de Zamorano.

Se realizaron muestreos de los lotes pre-acondicionados, las semillas utilizadas en el estudio fueron una muestra representativa de los lotes recibidos. Se evaluó el efecto de la temperatura y humedad relativa de los transportes sobre la viabilidad, por medio de las pruebas de germinación y vigor.

Materiales y Equipo

La materia prima utilizada en el estudio fueron semillas de maíz híbrido tomadas de lotes recibidos en un periodo de un año en Zamorano. El equipo utilizado para medir la temperatura y humedad fue un termómetro infrarrojo digital e higrómetro digital respectivamente. Los materiales y equipo utilizados en el análisis de germinación y vigor fueron establecidos por el ISTA International Rules for Seed Testing Edition 2010. Chapter 5: Germination test.

Recolección de Datos

Se tomaron datos de la temperatura interna de los transportes (Camión y Contenedor) al momento de ser descargados, se separaron los transportes en tres zonas internas: inicio, medio y final del transporte, en las cuales se realizaba la toma de temperatura. En el caso de los camiones se tomó un dato de temperatura por cada zona y se promedió para obtener la temperatura final. Con los contenedores se tomaron cinco temperaturas por cada zona, promediando la temperatura por cada zona y luego sacando el promedio de las temperaturas promediadas de cada zona, obteniendo el dato final de temperatura para el contenedor. Para ambos transportes se tomó un dato de humedad relativa por zona y se promedió para obtener la humedad relativa final del transporte.

Proceso de Pre-acondicionamiento

Recibo

En la recepción de los transportes se ejecutaron diversas tareas entre las que están la medición del peso, la identificación de la procedencia del producto, número de lote, composición, cantidad de sacos, tipo de transporte, placa y fecha de ingreso, además se realizó la toma de datos de temperatura y humedad relativa aparte de los parámetros de calidad establecidos por la planta. Durante el proceso de recepción, el material se transportó utilizando cintas transportadoras para prevenir posibles daños mecánicos.

El material recibido generalmente se encuentra a una humedad entre 25 a 35% lo cual cumple con los límites críticos de humedad para recepción, al recibirse por fuera de los límites críticos establecidos se compromete la calidad fisiológica de la semilla.

Secado

La semilla ingresó a la planta de Zamorano a una humedad entre 25 a 35%, donde la cual se debe llevar a una humedad entre 11.50% y 12.50%. Con el propósito de eliminar la humedad, la planta

emplea dos tipos de secadoras: verticales que pueden procesar 38 ton/métricas de maíz en mazorca. Y las horizontales con 8 tolvas desmontables, con capacidad de 1.8 ton/métricas por tolva.

Para llevar a cabo el proceso de secado, se emplea un rango de temperatura que oscila entre 32 °C y 40 °C. Cuando la temperatura supera este rango, la calidad fisiológica de la semilla se ve afectada. Para remover la humedad hasta el rango óptimo, se requieren entre 3 a 5 días.

Desgrane

El proceso de desgrane se realizó una vez la semilla alcanzo una humedad entre 11.5% y 12.5%, esto con el objetivo de evitar daño mecánico y facilitar el desprendimiento de la semilla, y luego, tener las condiciones apropiadas para ser almacenadas sin problemas de hongos e insectos.

En la planta de semillas de Zamorano, se emplea una desgranadora que puede procesar entre 80 y 100 quintales por hora. El sistema de desgrane de eje longitudinal de esta desgranadora provoca un daño mecánico inferior al 1%. Las mazorcas son transportadas por una banda desde el secador hasta la desgranadora de manera continua hasta terminar con el lote. Las semillas son recolectadas y pesadas con la ayuda de las tolvas y el montacargas.

Procedimiento de Muestreo

Se realizaron muestreos de lotes recibidos después de pre-acondicionamiento, los cuales fueron transportados por contenedores y camiones. Un lote pre-acondicionado, fue secado y desgranado como un conjunto de transportes del mismo tipo. Se calculo el promedio de las temperaturas y humedades de los transportes del mismo tipo que entraron a pre-acondicionamiento obteniendo el dato final, de igual manera se procedió a tomar las muestras de la semilla de los lotes al desgrane de acuerdo con las Reglas Internacionales de Muestreo de Semillas o International Rules for Seed Testing 2023. Para determinar el tipo de muestreo y su intensidad se utilizaron los procedimientos establecidos en el Cuadro 1.

Cuadro 1*Muestreo para lotes con peso mayor a 100 kg*

Tamaño de lote	Número mínimo de muestras primarias a ser tomadas
Hasta 500 kg	Al menos 5 muestras primarias
501 - 3000 Kg	Una muestra primaria cada 300 kg, pero no menos de cinco
3001 - 20000 kg	Una muestra primaria cada 500 kg, pero no menos de 10
20001 - kg y mas	Una muestra primaria cada 700 kg, pero no menos de 40

Nota: Cuadro obtenido de (Sáenz Mendoza, 2018).

Se efectuó un muestreo al azar, utilizando un tamaño de muestra de acuerdo con el Cuadro 1. En cuanto al proceso de muestreo, se recogió una muestra compuesta de dos kilogramo mediante el empleo de un alveolo de doble tubo.

Al tomar la muestra, se aseguró de que tanto el equipo como el material en el que se colocaría la muestra estuvieran limpios, con el fin de prevenir la contaminación cruzada. Se insertó el dispositivo de muestreo en las semillas y se giró 180° hasta que estos quedaron dentro del dispositivo, se sacudió suavemente para eliminar el exceso de material y se transfirieron las semillas a una bolsa de plástico. Se repitió este procedimiento tantas veces como fuera necesario para alcanzar el tamaño de muestra requerido según Cuadro 1.

Se llevaron a cabo repeticiones en distintos puntos del lote, a incluir áreas tanto en la parte superior, inferior como en el medio de este. Finalmente, se etiquetaron las muestras con información que incluía el código de lote/muestra, fecha, tipo de material, lugar de origen, área de muestreo, nombre de la persona encargada del proceso, y se almacenaron en un entorno fresco y bien ventilado.

Se normalizaron las muestras mediante un homogenizador o divisor de la marca GAMET, lo que posibilitó la obtención de una muestra que representaba de manera precisa cada lote, con el propósito de prevenir cualquier error en el proceso de análisis posterior. Se extrajeron cantidades necesarias de semillas de estas muestras con el fin de llevar a cabo los análisis correspondientes de germinación y vigor.

Prueba de Germinación

Para esta prueba se realizó una siembra en arena como medio de germinación. Se realizaron cuatro repeticiones por muestra utilizando 100 semillas por repetición para obtener el promedio de germinación por lote. En cada bandeja se realizó una repetición con 100 semillas. Las repeticiones se colocaron en el cuarto de germinación durante 7 días a 25 Celsius humedeciendo cada tres días. Cada bandeja se rotulo con la respectiva información del lote de siembra y la fecha de siembra para ser identificada al momento del conteo. Se realizó la lectura de vigor al quinto día, evaluando el potencial físico de la semilla. La lectura de germinación se realizó al séptimo día realizando un recuento individual de cada repetición para registrar: número de plántulas normales (calculando así el porcentaje de germinación), plántulas anormales y semillas que no germinaron.

Prueba de Vigor

El análisis de vigor se evaluó durante la germinación, en la emergencia y crecimiento de las plántulas. Se realizó la lectura de vigor al quinto día, evaluando el potencial físico de la semilla bajo presión de arena. Se realizó un conteo de semillas germinadas y un promedio de las repeticiones, obteniendo el porcentaje de vigor.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se realizaron los análisis mediante el programa estadístico SAS® SAS© versión 9.6 (Statistical Analysis System). Se empleo un diseño de muestras independientes, mediante la prueba de hipótesis haciendo uso de la prueba T para las variables temperatura, humedad, vigor y germinación de ambos transportes, con un nivel de significancia del 95%. Luego se realizó un análisis de correlación determinando el efecto de las variables temperatura y humedad, sobre el % vigor y germinación.

Resultados y Discusión

El tiempo en que las semillas se mantienen en condiciones de estrés afecta la viabilidad, lo que se traduce en una reducción del vigor y germinación del campo. Según la literatura el potencial de almacenamiento de un lote de semillas y producción en campo está determinado por factores de estrés que afectan las semillas en los procesos e incrementos no controlados de la temperatura y la humedad relativa, que generan deterioro a través del tiempo (López, 2017). Así mismo, los componentes de viabilidad pueden ser afectados adversariamente durante la producción, beneficio, almacenamiento y transporte de las semillas (Méndez et al., 2007).

Dado el valor económico de las semillas de maíz híbrido y la escasez de información científica sobre las variables ambientales que pueden afectar las semillas en el transporte. Se buscó evaluar la pérdida de la viabilidad de las semillas de maíz cosechadas en mazorcas en función de la temperatura y humedad relativa al recibo, en dos tipos de transporte.

Comparación de Variables Ambientales de los Transportes

Los resultados presentados en el Cuadro 2, fueron analizados a través de una prueba t estudiante. Se evaluaron las variables de temperatura y humedad para ambos tipos de transporte, donde se observó una igualdad de temperaturas, y una diferencia marcada con respecto a la humedad, entre los transportes.

Cuadro 2

Prueba t para variables temperatura y humedad al recibo, en dos tipos de transporte.

Variables	Camión	Contenedor	Pr < t
	Media ± D.E.	Media ± D.E.	
Temperatura	32.56 ± 3.07	33.8 ± 3.7	0.1022
Humedad Relativa	79.42 ± 8.33	87.5 ± 4.6	<.0001

Nota. D.E = Desviación estándar, (Pr > 0.05) no hay diferencia estadística.

Temperatura

En los transporte de semillas evaluados, no se encontró diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$) de acuerdo con el valor de probabilidad de 0.1022. Esto se atribuye a que los lotes fueron transportados en horas similares de la tarde.

Como menciona Eurolog (2023) la temperatura interna de un contenedor puede ser mayor que la temperatura ambiente exterior debido al intercambio de calor a través de las paredes del contenedor. Las temperaturas dentro del contenedor pueden variar dependiendo de la temperatura exterior, la radiación solar y el color del contenedor. En general, las temperaturas dentro del contenedor pueden aumentar considerablemente, incluso en condiciones climáticas normales (Peralta, 2020).

Iloh et al. (2014) llevaron a cabo un estudio para analizar cómo diferentes niveles de temperatura afectan la germinación y la emergencia de las semillas de cereales. Sus hallazgos revelaron una reducción en el porcentaje de germinación a medida que los rangos de temperatura aumentan. Según el estudio, hubo una disminución en la germinación de las plántulas de maíz, arroz y sorgo a medida que la temperatura aumentaba.

Esto coincide con lo encontrado por Carvalho et al. (2019) quienes reportaron que la temperatura en la cual las semillas de maíz comienzan a ser afectadas es de 40 °C, dando paso a la disminución de viabilidad de forma exponencial.

Así mismo, Wahid et al. (2007) mencionan que las temperaturas altas provocan la desnaturalización de proteínas, el incremento de la fluidez de la membrana y la inactivación de enzimas claves en el proceso de la germinación.

Otro efecto asociado a la inhibición de la germinación se debe a la inducción alterada del ácido abscísico (ABA), donde se ha demostrado que una sobreproducción de este compuesto induce muerte celular en los tejidos (Essemine et al., 2010). Además, se sabe que la concentración de ácido abscísico

aumenta en el endospermo del maíz cuando se presenta sequía o altas temperaturas durante las primeras etapas del crecimiento del grano.

Al ser las temperaturas estadísticamente iguales, estas no presentan un efecto distinto una de la otra, haciendo a ambos transportes son óptimos.

En general, las altas temperaturas pueden afectar negativamente la germinación de las semillas y disminuir la velocidad de germinación. Además, las temperaturas altas pueden afectar el establecimiento de los cultivos desde la germinación de las semillas y tener efectos inmediatos sobre el vigor de las plántulas (Chaves Barrantes, 2016).

Humedad Relativa

En los transportes de semilla evaluados, se encontró diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) con un valor de $< .0001$, se encontró que el comportamiento de la humedad relativa varía dependiendo del tipo de transporte, siendo las humedades relativas más altas en los contenedores con una media de 87.5 ± 4.6 por ciento. Lo cual se atribuye a la ventilación, como se menciona en SLM Containers (2020), la alta humedad relativa dentro de los contenedores es debido a su acumulación por una baja ventilación.

El contenido de humedad de equilibrio o equilibrio higroscópico es el contenido de humedad que la semilla alcanza, cuando se almacena durante un tiempo en condiciones de temperatura y humedad relativa (Mahecha Godoy, 2011).

Cuando las condiciones ambientales presentan elevada humedad relativa y temperaturas altas, se genera una humedad de equilibrio elevada que perjudica de forma adversa la calidad fisiológica de las semillas (Bautista et al., 2020).

Uno de los preceptos en exposición de semillas a condiciones ambientes, indica que la humedad relativa es más influyente que la temperatura para la conservación de semillas a largo plazo (Magnitskiy y Guido, 2007). Los resultados obtenidos por Bautista et al. (2020) en su investigación

coinciden con lo establecido en este precepto ya que a medida que la humedad relativa aumentó, la germinación de las semillas fue menor.

Moreno Martínez (2000) observó que, en ambientes con humedades relativas y temperaturas bajas, la germinación se mantuvo a niveles altos y cuando la humedad relativa aumentó a 85% la germinación disminuyó de forma drástica a través del tiempo.

Comparación de Resultados de Viabilidad de los Transportes

Los resultados presentados en el Cuadro 3, fueron analizados a través de una prueba *t* estudiante. Se evaluaron los parámetros de germinación y vigor para ambos tipos de transporte, donde se observó una igualdad en ambos parámetros de los transportes.

Cuadro 3

Prueba t para variables vigor y germinación en dos tipos de transporte, basado en la temperatura y humedad al recibo

Análisis	Camión	Contenedor	Pr > t
	Media ± D.E.	Media ± D.E.	
Vigor	93.2264 ± 1.62	93.2593 ± 1.79	0.934
Germinación	95.66 ± 1.57	95.30 ± 1.81	0.355

Nota. D.E = Desviación estándar; Pr > 0.05 , no hay diferencia estadística.

Vigor

No se observó diferencia estadísticamente significativa ($P > 0.05$) en el porcentaje de vigor entre ambos transportes con un valor de 0.934. La media de vigor para ambos transportes fue de 93%, lo que sugiere que el estudio fue realizado de forma efectiva, en todas sus fases, obtenido un porcentaje aceptable de vigor, como menciona Chacón Rubio (2018) el porcentaje de vigor para semilla de maíz certificada debe ser mayor a 90% para considerarse que fue manejada en óptimas condiciones.

El vigor de las semillas ha sido definido como la sumatoria total de aquellas propiedades de las semillas que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de las semillas o de un lote de

semillas durante la germinación y emergencia de las plántulas (Salinas, 2001). El vigor de la semilla es un parámetro muy importante puesto que permite identificar las diferencias entre la germinación y la emergencia en campo, principalmente cuando las condiciones del campo pueden ocasionar estrés (Lira et al., 2016). Los lotes de semillas que muestran un alto vigor en laboratorio tendrán un alto desempeño para soportar condiciones de estrés (International rules for seed testing [ISTA], 2023).

Entre los factores que causan una disminución del vigor de las semillas, está la exposición excesiva a alta temperatura durante el secado (Portuguez et al., 2020). Según Lacayo Mejía (2007) el secado en la planta de semillas de Zamorano no tiene un efecto significativo en la germinación y el vigor de las semillas, cuando se usan temperaturas máximas de secado entre 35 °C a 40 °C en el proceso.

Germinación

No se observó diferencia estadísticamente significativa ($P>0.05$) en el porcentaje de germinación entre ambos transportes con un valor de 0.355. La media de germinación para ambos transportes fue de 95%. El producir semillas con un nivel aceptable de calidad cuenta con al porcentaje mínimo de germinación del 90% en el maíz, la máxima humedad de la semilla 12.5% (MacRobert, 2015). Se sustenta que se realizó de forma efectiva, las pruebas de germinación en todas sus fases.

El propósito de la prueba de germinación es determinar la tasa de germinación de un lote de semillas, que luego puede usarse para comparar la calidad de diferentes lotes y estimar el valor de la siembra en el campo (Hernández-Mendoza 2010).

Resultados de Correlación en Camión

En los resultados presentados en el Cuadro 4, se muestra la prueba de correlación de las variables temperatura y humedad, en relación con las variables respuesta de vigor y germinación por cada caso, ambos tomados para el transporte en camión. Según González et al. (2008) las condiciones ambientales y físicas a las que están expuestas las semillas son responsables de las características de germinación reducidas.

El contenido de humedad de la semilla, la temperatura y humedad relativa alta afectan especialmente la longevidad, aumentando la respiración y causando pudrición de las mismas (Aguirre, 2006). La detección del deterioro de las semillas mediante pruebas de viabilidad puede entenderse como una parte importante de la evaluación del factor de calidad y ayuda a resolver problemas de almacenamiento y otros problemas en la industria de las semillas (Salinas, 2001).

Los factores que reducen la calidad de las semillas son la demora en envíos y los ambientes de almacenamiento inadecuados a los cuales se someten las semillas (Le Coënt, 2011).

Cuadro 4

Correlación entre variables temperatura y humedad relativa, al recibo, con la viabilidad (vigor y germinación) de semillas transportadas en camión

	Camión	
	Vigor	Germinación
Temperatura	0.07279~ 0.6045*	0.06784~ 0.6293*
Humedad	0.10137~ 0.4701*	-0.0822~ 0.5584*

Nota. Nivel de significancia ($P < 0.05$)*, grado de correlación (~).

Correlación de Temperatura con Vigor y Germinación

En relación con la temperatura no presento una correlación con los resultados de las pruebas de vigor y germinación de los lotes evaluados transportados en camión, no se encontró diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$), de acuerdo con los coeficientes de probabilidad de 0.6045 y 0.6293 respectivamente, por ende, la temperatura no afecto el porcentaje de vigor y germinación de cada lote. Romero Bastidas (2016) demuestra que las temperaturas altas tienen una correlación negativa con el porcentaje de vigor y germinación de semillas, la cual aumenta conforme el material es expuesto por más tiempo.

Según Vergara et al. (2018) el efecto nocivo de la temperatura sobre la viabilidad de la semillas fue aún más drástico en semillas expuestas a temperaturas mayores de 35 °C, aun cuando los contenidos de humedad de estas eran relativamente bajos.

El rango promedio de temperatura a la que fue expuesto el material en el camión fue de 26.8 °C a 40.5 °C, con una media de 32.5 °C (32.5 ± 3.07), en este caso el maíz no presento correlación con los resultados de vigor y germinación, lo que supone ningún efecto por parte de la temperatura en relación con las variables evaluadas. Carvalho et al. (2019) menciona que la calidad fisiológica no se ve afectada por las temperaturas inferiores a 40 °C, considerando 36 h de espera antes del secado. Lo que supone una relación directa del tiempo y temperatura a la que fue expuesto el material en los camiones, en este caso el tiempo no fue suficiente para causar un daño medible, hasta el momento que fue evaluado el material, no se encontró ningún efecto por parte de la temperatura, con un tiempo promedio de transporte de tres horas.

La exposición a altas temperaturas por tiempos considerables, presentan una relación importante, ya que influyen el proceso respiratorio de los granos, diversos investigadores concluyeron que la respiración aumenta rápidamente cuando la temperatura se eleva de 30 °C a 40 °C, y a partir de este punto se produce un acentuado descenso del proceso, provocado por la destrucción de enzimas como efecto de las altas temperaturas (Leda y D'Antonio, 1993).

Correlación de Humedad con Vigor y Germinación

La humedad relativa no presento una correlación con los resultados de las pruebas de vigor y germinación de los lotes evaluados transportados en camión, no se encontró diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$), de acuerdo con los coeficientes de probabilidad de 0.4701 y 0.5584 respectivamente, por ende, la humedad no afecto el porcentaje de vigor y germinación de cada lote. Como menciona Joao y Lovato (1999) la supervivencia de las semillas se ve afectada negativamente en ambientes con una humedad relativa superior al 75%. La temperatura y la humedad dentro de la semilla juegan un papel crucial en este proceso.

El contenido de humedad afecta a las semillas al cambiar la humedad en equilibrio de la semilla con el ambiente (humedad relativa), ya que al ser mayor la humedad relativa del ambiente la semilla absorbe agua hasta llegar a la humedad en equilibrio con el ambiente, provocando problemas como: germinación prematura, respiración anaeróbica y crecimiento de hongos y bacterias lo que puede generar acumulación de productos metabólicos tóxicos y dañar el embrión (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2019).

El lapso que requiere una semilla para igualar su contenido de humedad con el ambiente varía según diversos elementos, como la especie de la semilla, la temperatura y la humedad relativa del entorno. Bautista et al. (2020) reportó el tiempo que transcurre para que un lote de semillas llegue a humedad en equilibrio es de tres días en condiciones desfavorables. En el rango de humedad relativa al cual el maíz fue expuesto en el camión fue de 57% a 90%, con una media de 79.4% ($79.4\% \pm 8.3$), el maíz no presentó correlación con los resultados de vigor y germinación. Lo que concuerda con el carente efecto de la humedad al maíz, al no ser sometido a altas humedades por más de tres horas en el transporte.

Dado el poco tiempo expuesto y el manejo óptimo de humedad de cosecha, este no presentó un efecto negativo del maíz transportado en camión, aunque la media fuese mayor a lo reportado por Dekalb (2022) que menciona que la humedad relativa debe ser no mayor a 60% con temperaturas de 18 °C para conservar la calidad de las semillas.

Resultados de Correlación en Contenedor

En los resultados presentados en el Cuadro 5, se aprecia la prueba de correlación de las variables temperatura y humedad, en relación con las variables respuesta de vigor y germinación por cada caso, ambos tomados para el transporte en contenedores.

Cuadro 5

Correlación entre variables temperatura y humedad relativa, al recibo, con la viabilidad (vigor y germinación) de semillas transportadas en camión

	Contenedor	
	Vigor	Germinación
Temperatura	-0.0749~ 0.7104*	-0.00581~ 0.9771*
Humedad Relativa	-0.03578~ 0.8594*	0.04091~ 0.8394*

Nota. Nivel de significancia ($P < 0.05$)*, grado de correlación (~).

Correlación de Temperatura – Vigor y Germinación

La temperatura no presentó una correlación con los resultados de las pruebas de vigor y germinación de los lotes evaluados. No se encontró diferencia significativa ($P > 0.05$), de acuerdo con los coeficientes de correlación de 0.7104 y 0.9771 respectivamente, por ende, la temperatura no afecta el porcentaje de vigor y germinación de cada lote.

Al igual que en el caso anterior del transporte tipo camión, el contenedor no tuvo correlación por el tiempo de transporte hacia la planta al que fue expuesto el material a las condiciones de temperatura, como menciona Carvalho et al. (2019) que el tiempo de exposición mayor a 36 horas con temperaturas de arriba de 40 °C inicia un deterioro significativo en semillas antes de ser secadas. Lo que concuerda con los resultados encontrados, los cuales no presentan un efecto, al estar expuesta la semilla durante tiempos no mayores a tres horas temperaturas en el rango de 26.6 °C y 39.6 °C con una media de 33.8 °C ($33.8 \text{ °C} \pm 3.7$).

Correlación de Humedad Relativa – Vigor y Germinación

La humedad relativa no presentó una correlación con los resultados de las pruebas de vigor y germinación de los lotes evaluados transportados en contenedores, no se encontró diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$), de acuerdo con los coeficientes de probabilidad de 0.8594 y 0.8394 respectivamente, por ende, la humedad no afecta el porcentaje de vigor y germinación de cada lote.

El contenido de humedad determina grandemente la vida de las semillas, estas son higroscópicas, es decir que su contenido de humedad está en función del vapor de agua en el ambiente que las rodea y que al estar expuestas, por un periodo prolongado de tiempo a estas condiciones su humedad alcanza un punto denominado equilibrio de humedad (Méndez et al., 2007).

Al igual que en el caso anterior del transporte tipo camión, el contenedor no tuvo correlación con el vigor y germinación por el tiempo de transporte, así como menciona Bautista et al. (2020) que el tiempo el que se presenta el equilibrio de humedad es de tres días, con influencia de altas temperaturas. De este modo, aunque el maíz fue expuesto a las condiciones de temperatura en el rango de 70% a 90% con una media de 87.5% ($87.5\% \pm 4.6$), no causo efecto en los resultados evaluados en el momento.

Conclusiones

Se determinó que la temperatura y humedad relativa de los transportes tipo camión y contenedor, al recibo, no tienen un efecto significativo sobre vigor y germinación de la semilla híbrida de maíz.

Se determinó que las humedades de los transportes, al recibo, son significativamente diferentes, y que la diferencia de humedades relativas, al recibo, no presenta influencia sobre el porcentaje de vigor y germinación al desgrane de los materiales recibidos en planta. Por el contrario, se encontró que la temperatura de los transportes, al recibo, no tiene diferencia significativa entre ellas, por lo que se concluye que son iguales.

Se encontró que el porcentaje de vigor y germinación son estadísticamente iguales para ambos transportes, por lo que, se concluye que, la temperatura y humedad relativa al recibo, de ambos métodos de transportes pueden ser apropiados durante el proceso de cosecha.

Recomendaciones

Repetir este estudio analizando los mismos parámetros de transporte sobre la calidad fisiológica del maíz tras un periodo de almacenamiento en condiciones controladas.

Estudiar el transporte de semillas, evaluando otras variables como daño físico, capacidad del transporte y eficiencia de descarga, con el fin de ampliar la información sobre la disminución de calidad fisiológica durante el transporte.

Realizar un estudio aplicando en cámaras de germinación controlada, niveles de temperatura y humedad relativa similares a los evaluados en los transportes, estimando los tiempos en los que se produciría una disminución de la calidad fisiológica.

Referencias

- Aguirre, R. (2006). Efecto de la humedad en el almacenamiento hermético a corto plazo de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Agronomía Mesoamericana*, 1, 35. <https://doi.org/10.15517/am.v1i0.25323>
- Bautista, A., Vázquez-Badillo, M. E., Reyes-Valdés, M. H., Flores-López, C., Cruz-Gutiérrez, E. J. y González-Urbe, D. U. (2020). Equilibrio higroscópico en semillas forestales de zonas áridas y su efecto en la calidad fisiológica. (*Polibotánica*), 0(50). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.5>
- Carvalho, E. R., Francischini, V. M., Avelar, S. A. G. y Costa, J. C. (2019). Temperatures and periods of drying delay and quality of corn seeds harvested on the ears. *Journal of Seed Science*, 41(3), 336–343. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n3218758>
- Chacón Rubio, M. J. (2018). *Pruebas de vigor en semillas de maíz (Zea mays L.)* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina; PE]. [repositorio.lamolina.edu.pe. https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3468](https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3468)
- Chaves Barrantes, N. F. (2016). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 255. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21904>
- Dekalb. (2022). *Almacenamiento de Semillas de Maíz* [Conservación de semillas]. Bayer S.A. <https://www.dekalb.com.co/es-co/dkcalidad/almacenamiento.html#accordion-738591-1>
- Erazo Arévalo, A. H. (2004). *Deterioro de calidad física y viabilidad de semillas de maíz (Zea mays), frijol (phaseolus vulgaris), y sorgo (Sorghum bicolor) durante su almacenamiento en zamorano* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/1985>
- Essemine, J., Ammar, S. y Bouzid, S. (2010). Impact of Heat Stress on Germination and Growth in Higher Plants: Physiological, Biochemical and Molecular Repercussions and Mechanisms of Defence. *Journal of Biological Sciences*, 10(6), 565–572. <https://doi.org/10.3923/jbs.2010.565.572>
- Eurolog, P. G. (2023). *¿Qué tan Calientes se Ponen los Contenedores de Envío?* Eurolog Packing Group. <https://epgna.com/es/que-tan-calientes-se-ponen-los-contenedores-de-envio/>
- González, G., Mendoza, J. y N, M. (2008). Rendimiento y calidad de semilla de frijol en dos épocas de siembra en la región del bajo., 34(4), 421-430. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60811120005>
- Iloh, A. C., Omatta, G., Ogbadu, G. H. y Onyenekwe, P. C. (2014). Effects of elevated temperature on seed germination and seedling growth on three cereal crops in Nigeria. *Scientific Research and Essays*, 9(18), 806–813. <https://doi.org/10.5897/SRE2014.5968>
- International rules for seed testing. (2023). *Seed Vigour Testing Seminar*. ISTA. <https://www.seedtest.org/en/useful-links-footer/ista-rules.html>
- Joao, A. y Lovato, A. (1999). Effect of seed storage temperature and relative humidity on maize (*Zea mays L.*) seed viability and vigour. *Ciencia Y Tecnología De Semillas*, 27(1), 101–114. <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getrecorddetail&idt=1895615>

Lacayo Mejía, O. J. (2007). *Evaluación de calidad de las semillas de maíz de líneas puras, cruza e híbridas, procesadas en la planta de semillas en Zamorano, Honduras* [Proyecto Especial de Graduación], Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/5391>

Le Coënt, L. (2011). *Semillas en emergencias - manual técnico*. FAO. <http://www.fao.org/3/a-i1816s.pdf>

Leda, R. y D'Antonio, F. (1993). *Los granos y su calidad*. FAO. <https://www.fao.org/3/x5027s/x5027S01.htm>

Lira, R., Garcia, J., Torres, N., Reyes, I. y Mendez, B. (2016). *Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

López, M. N. (2017). *Evaluación de tres métodos de almacenamiento y su efecto en la calidad de semilla de sorgo (Sorghum bicolor) variedad sureño* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6063>

MacRobert, J. (2015). *Manual de producción de semilla de maíz híbrido*.

Magnitskiy, S. y Guido, P. (2007). Fisiología de Semillas Recalcitrantes. *UNAL*, 25(1), 96–103. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/28508>

Mahecha Godoy, J. C. (2011). *Determinación de los parámetros para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la uchuva (physalis peruviana l.)* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7850>

Méndez, J., L. Ysavit y J. Merazo (2007). Uso de agua caliente para evaluar la calidad de la semilla de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Tecnológica ESPOL*, 20(1), 229–236. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/186/130>

Monsanto. (2019). *Manipulación de las semillas y recomendaciones de almacenamiento*. Grupo Bayer. <https://www.vegetables.bayer.com/mx/es-mx/recursos/noticias/buenas-practicas-de-semillas-y-plantas0.html>

Moreno Martínez, E. (2000). La temperatura en relación con la longevidad de semillas de maíz almacenadas con baja humedad. *Agrociencia*, 34(2), 175–180. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30234207>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1993). *El maíz en la nutrición humana. Colección FAO alimentación y nutrición: Nr. 25*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2019). *Materiales para la capacitación de semillas: Módulo 6: Almacenamiento de semillas*. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/CA1495ES>

Peralta, C. (2020). *El clima al interior de los contenedores*. Herrera DKP SRL. 1. <http://www.hdkp.pe/>

Portuguez, M. P., Rodríguez Ruiz, A. M., Porrás Martínez, C. y González Lutz, M. I. (2020). Efecto de la temperatura y la escarificación sobre la germinación de *Ischaemum rugosum* Salisb. (*Agronomía Mesoamericana*), 31(2), 491–498. <https://doi.org/10.15517/am.v31i2.38417>

Proain. (2021). *La germinación y la prueba de vigor, dos parámetros esenciales en la calidad de la semilla*. Proain Tecnología Agrícola. 1. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/prueba-de-vigor-y-germinacion-como-parametros-en-la-calidad-de-las-semillas>

Romero Bastidas, M. (2016). Acondicionamiento térmico de semillas en la germinación, emergencia, vigor y etapa vegetativa de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Nova Scientia*, 8(16). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052016000100181

Sáenz Mendoza, N. K. (2018). *Elaboración de manuales de calidad para el laboratorio de granos y semillas de la Escuela Agrícola Panamericana basado en la normativa ISTA* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6288>

Salinas, A. R. (2001). Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. *Pesq. Agropec. Bras. (Pesquisa Agropecuaria Brasileira)*, 36(2), 371–379. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000200022>

SLM Containers. (2020). *Contenedores Refrigerados: Control de temperatura y atmósferas*. <https://slmecuador.com/blog/14-contenedores-refrigerados-control-de-temperatura-y-atmosfera-2>

Vergara, R. d. O., Capilheira, A. F., Gadotti, G. I. y Villela, F. A. (2018). Intermittence periods in corn seed drying process. *Journal of Seed Science*, 40(2), 193–198. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n2187373>

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M. y Foolad, M. (2007). Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 199–223. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>