



EFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD EN LA CONSERVACIÓN DE GRANOS DE MAÍZ EN SILOS METÁLICOS REFRIGERADOS

The effect of temperature and humidity on maize grains conservation in metal silos

Yaisys Blanco Valdes^{1✉}, Hauary Durañona² y Rosa Acosta Roca¹

ABSTRACT. In humid tropical regions, dominated by high temperature and relative humidity, grain and seed conservation is a big challenge. Under these ecological conditions the development of the main factors that cause losses in grain and seed is favored; so ensuring grain storage after harvest has been of great concern. From this a research was carried out in the "Rubén Martínez Villena" town old sugarmill of the same name located in Aguacate Village, Madruga, Mayabeque province, with the aim of studying the behavior of the temperature and humidity relative variables on grain corn in metal silos for storage. The experiment consisted of two containers with corn grains, one with virgin grain and other with processed grain by a dryer, this will give us the possibility to check the efficiency of the drying process for grain stored for a long time. Besides, it gives us a sense of the loss and damage that can occur in a process of long-term storage without prior preparation of the grains. Among the main results of the research in general, it was found that the treated grains of corn were at a lower temperature and relative humidity of the grain, which affected the percentage of damaged grains which decreased when grains were treated through of a pre-storage drying process that had economically impacted because had less losses on money.

Key words: *Zea mays*, storage, grains

RESUMEN. En regiones tropicales húmedas, con predominio de alta temperatura y de humedad relativa, la conservación de granos representa un gran desafío. Bajo estas condiciones ecológicas se favorece el desarrollo de los principales factores que ocasionan las pérdidas en granos y semillas; por lo que garantizar su almacenamiento después de la cosecha, ha sido de gran preocupación. A partir de esto se realizó una investigación en el poblado Rubén Martínez Villena antiguo ingenio azucarero de ese mismo nombre, ubicado en el asentamiento de Aguacate, municipio Madruga en la provincia de Mayabeque, Cuba con el objetivo de estudiar el comportamiento de las variables temperatura y humedad relativa del grano de maíz en silos metálicos durante su almacenamiento. El experimento consistió en dos recipientes con granos de maíz, uno con el grano virgen y el otro con el grano procesado por un secador, lo que permitió comprobar la eficacia del proceso de secado para los granos almacenados por largo tiempo. Además, permitió estimar las pérdidas y daños que pueden ocurrir en un proceso de almacenamiento a largo plazo, sin una previa preparación de los granos. Dentro de los principales resultados de la investigación, se obtuvo que los granos de maíz tratados poseían una menor temperatura y humedad relativa, lo que repercutió en el menor porcentaje de granos dañados al ser tratados previo al almacenamiento, repercutiendo en la menor pérdida en términos financieros en el tratamiento utilizado.

Palabras clave: *Zea mays*, almacenamiento, granos

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays*, L.) constituye uno de los principales alimentos en la dieta de la población latinoamericana. La mayor parte de la energía y proteína que se consume en estos países proviene de este cultivo. En Cuba, el maíz reviste una gran importancia y en la actualidad, las necesidades

¹ Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32 700

² Silo "Rubén Martínez Villena", Aguacate, Mayabeque, Cuba

✉ yblanco@inca.edu.cu

internas de dicho grano no se satisfacen con las producciones nacionales, por lo que es imprescindible importar grandes volúmenes para satisfacer la demanda (1). Dada la importancia que representa para la alimentación, se ha trazado una proyección estratégica para la producción de este grano con destino a la población hasta el año 2015, con el objetivo de sustituir la importación de maíz seco (2).

La conservación adecuada de los granos alimenticios básicos, dependerá esencialmente de las condiciones ecológicas de la planta, las propiedades físico-químicas y las biológicas del grano, el período de almacenamiento, así como del tipo y las características de la troja, bodega o almacén^A (3).

En regiones tropicales húmedas, con predominio de altas temperaturas y de humedad relativa, la conservación de granos representa un serio desafío, ya que bajo estas condiciones ecológicas se favorece el desarrollo de los principales factores que ocasionan las pérdidas en los granos y las semillas; por lo que garantizar el almacenamiento del grano después de la cosecha, ha sido una gran preocupación de los agricultores ya que la presencia de plagas o problemas de humedad, no solo reducen el volumen de maíz almacenado, sino que afecta la calidad del grano y por consiguiente afectará la economía, al reducir sus ventas, vender más barato, al tener que comprar más grano para la alimentación o siembra^A (4).

En algunos granos la humedad es uno de los factores principales que influyen en el rendimiento industrial. Los granos se deben guardar limpios, secos (13,5 % de humedad de recibo) y sin daño mecánico, con lo cual el riesgo de deterioro es mínimo. Para esto, se debe considerar el acondicionamiento, el almacenamiento y el control de calidad de los granos durante esta etapa (5).

La humedad y la temperatura son las dos variables que más afectan la actividad de los granos y la de los organismos que viven en el granel. A mayor temperatura y humedad, mayor actividad microbiana. El manejo del grano húmedo es un aspecto que frecuentemente constituye un problema a la hora de cosechar, y ese problema puede ser tanto económico como logístico (6).

Un sistema de secado debe permitir eliminar la humedad excesiva de los granos a corto plazo y asegurar su conservación. Por otra parte, el poder contar con un método de conservación que logre asegurar y mantener la calidad de los granos es de gran importancia, pues garantiza satisfacer los abastecimientos de alimentos a la población y los animales por periodos prolongados, lo cual se ha visto

amenazado por el incremento de la población humana que se observa en los últimos años. Por estas razones, es necesario el desarrollo de tecnologías modernas que permitan almacenar grandes volúmenes de granos y mayor innovación del potencial productivo^A.

Cuba, que no está exenta de la situación actual, se vió en la necesidad de aumentar las capacidades de almacenamiento, por lo que asumió la tarea de introducir tecnologías de conservación de grandes volúmenes de granos por largos periodos de tiempo. Dentro de estas, los silos metálicos refrigerados (SMR) son totalmente novedosos, sin embargo, se desconoce el grado de deterioro que puede ocurrir en la calidad del producto conservado en ellos (7).

Por esta razón el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros de la República de Cuba en su acuerdo No. 3937 del año 2006 establece en su apartado segundo que el Ministerio de la Industria Alimenticia es el organismo encargado de dirigir, ejecutar y controlar entre otros, la producción de los productos derivados de la harina, por lo que teniendo en cuenta que, para garantizar el eficiente desarrollo de esta actividad como parte del proceso inversionista que se lleva a cabo en el país, se han instalado en diferentes entidades, silos metálicos refrigerados para la conservación de cereales y leguminosas. El Silo Rubén Martínez Villena, fue construido para almacenar y conservar el grano de maíz (amarillo) para la reserva estatal y para el consumo humano o animal. A partir de lo expuesto anteriormente, se trazó como objetivo estudiar el comportamiento e impacto económico de las principales variables fisiológicas asociadas con la conservación de granos de maíz (*Zea mays*, L.) en silos metálicos refrigerados.

MATERIALES Y MÉTODOS

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se desarrolló en el poblado Rubén Martínez Villena (antiguo ingenio azucarero de ese mismo nombre), perteneciente al asentamiento de Aguacate municipio de Madruga en la provincia de Mayabeque, ubicado en los 22°56'9,81" de Latitud Norte y 82°2'7,49" de Longitud Oeste (8).

MATERIAL VEGETAL. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de la investigación, fueron creadas en condiciones de laboratorio, maquetas experimentales que simularon un silo metálico refrigerado (SMR); efectuándose el montaje de dos recipientes de 1 m de diámetro y 1,5 m de altura.

Para la investigación fue utilizado como material vegetal granos de maíz del tipo amarillo semiblando y dentado grado USS N° 2 (9), procedentes de USA.

^A Hidalgo, T. T. M. *Caracterización de la calidad físico-química de los granos de maíz almacenados en los silos metálicos refrigerados de la Empresa Productora de Piensos Balanceados de Cienfuegos*. Tesis de Maestría, Instituto de Ciencia Animal, 2011, La Habana, Cuba, 75 p.

Como Control fueron utilizados 46 kg de granos de maíz almacenados en el Recipiente 1. Se destaca que los mismos no fueron tratados (previos) a su almacenaje, simulando las prácticas habituales desarrolladas en el sistema de SMR por Empresa Silos y Molinos Matanzas^B.

Para el caso del tratamiento donde el grano presentó las temperaturas óptimas, fueron usados 46 kg de granos de maíz almacenados en el Recipiente 2, los cuales fueron secados en una estufa durante 30 minutos a 40 °C. Posterior a ello, los granos fueron enfriados en Carro Frío durante 20 minutos hasta una temperatura de 12 °C.

Los datos del comportamiento de las variables humedad y temperatura del grano de maíz en el momento inicial del desarrollo de la experimentación, se muestran a continuación:

Control: 46 kg de granos de maíz, a 19 °C con una humedad (*Hg*) = 20 %

Tratamiento: 46 kg de granos de maíz, a 12 °C con una humedad (*Hg*) = 13,5 %

ANÁLISIS DE LA CONSERVACIÓN DE LOS GRANOS

Posterior al almacenamiento de los granos (tanto para el control, como para el tratamiento) fueron desarrolladas evaluaciones consecutivas durante 90 días, con el fin de valorar el estado de conservación del grano para las condiciones del control y el tratamiento.

Temperatura: para la evaluación de esta variable, fueron utilizados para cada recipiente Termocoletores conectados a la pared los mismos, donde se obtuvieron datos de cinco sensores ubicados en el interior de los silos, a una distancia proporcional al diseño establecido en los SMR de gran escala.

Para determinar la temperatura diaria experimental en el control y en el tratamiento, se utilizó la ecuación elaborada a partir de FAO y FAOLEX (10):

$$T_{recp.} = (\sum [s/n])$$

donde:

T_{recp.}- Temperatura en el recipiente

S- sensores

N- número de sensores

Humedad relativa del grano: para la evaluación de esta variable, se efectuó un análisis en laboratorio, a partir de un muestreo diario donde se seleccionó 1 lb de granos de la parte media de cada recipiente (control y tratamiento). La muestra seleccionada fue medida en un medidor de humedad del grano GEHAKA-AGRI G 600, obteniéndose los valores diarios de esta variable.

Porcentaje de daños: a modo de evaluar el efecto que las variables anteriores ejercen sobre la calidad de los granos almacenados, fue estimado el porcentaje de daño de los mismos, utilizándose para ello 1 000 granos de las muestras colectadas del control y el tratamiento.

En este sentido, las mismas fueron depositadas en bolsas de nylon debidamente identificadas y se sometieron a métodos de conteo y pesaje siguiendo los siguientes pasos:

- ♦ Se esparcieron las muestras sobre el tablero de 1 000 agujeros de manera que cada agujero retenga un grano.
- ♦ Se revisaron cada uno de los granos visualmente, efectuándose una separación en dos grupos de las muestras, lográndose determinar en este sentido: los granos dañados y los granos libres de daño.
- ♦ Para el caso de los granos dañados y los granos sanos, fueron pesados mediante una Balanza analítica (Denver Instrument, máx. 600 g d=0,01 g, error 0, 001 g) y contados de manera manual.

Los resultados fueron registrados por separado mediante el uso de EXCEL, 2009, los que permitieron calcular el por ciento de daño mediante la ecuación:

$$\% \text{ daño} = [nd (ps/ns) / nd (ps/ns) + ps] \times 100$$

donde:

nd- número de granos dañados

ps- peso de granos sanos

ns- número de granos sanos

pr- peso de granos recuperables

PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos de cada evaluación se procesaron y analizaron estadísticamente. Para el caso de las variables humedad relativa del grano, temperatura y el porcentaje de granos dañados, se efectuó una comparación entre el control y el tratamiento. Dicha comparación se efectuó a partir de un análisis del Intervalo de Confianza para la media (al 95 %). Todos los análisis estadísticos realizados fueron procesados usando el paquete estadístico IBM SPSS versión 19.0 (11).

VALORACIÓN ECONÓMICA

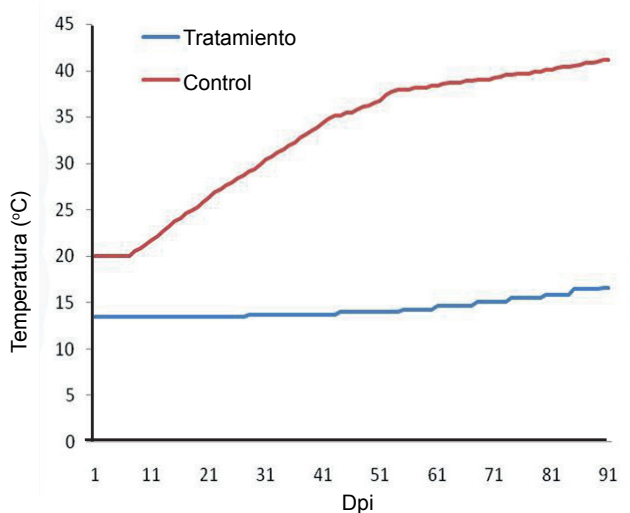
A partir del porcentaje de daño determinado para el caso del control como del tratamiento y considerando el valor de una tonelada de maíz en el mercado internacional (12) se efectuó la valoración económica del porcentaje de daño en los SMR.

^B Jiménez, Lázaro. Jefe de Producción, Empresa Silos y Molinos Matanzas. Comunicación Personal (abril, 2014)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS DE LA CONSERVACIÓN DE LOS GRANOS

Al efectuar un seguimiento en la calidad del proceso de almacenamiento del grano de maíz en el experimento, se observó una gran variación en el comportamiento de la variable temperatura. En este sentido, se hace más marcado para el caso del control con respecto al tratamiento (Figura 1).



Dpi (días a partir del inicio)

Figura 1. Comportamiento de la temperatura (°C) durante los 90 días del experimento

Esta afirmación se corrobora al efectuar un análisis Descriptivo de los datos (Tabla I), donde se observa que para el caso del control, la media de la población mostró una temperatura de 25 °C ($25 \pm 0,47$ °C), encontrándose valores mínimos y máximos de la misma de 19 y 30 °C respectivamente.

Sin embargo, para el caso del tratamiento, la media de la población mostró una temperatura de 12,7 °C ($12,68 \pm 0,07$ °C), encontrándose valores mínimos y máximos de la misma de 12 y 14,2 °C respectivamente. En este sentido, al efectuar un Análisis del Intervalo de Confianza para dicha variable (Figura 2), se observaron diferencias significativas entre el control y el tratamiento para la misma.

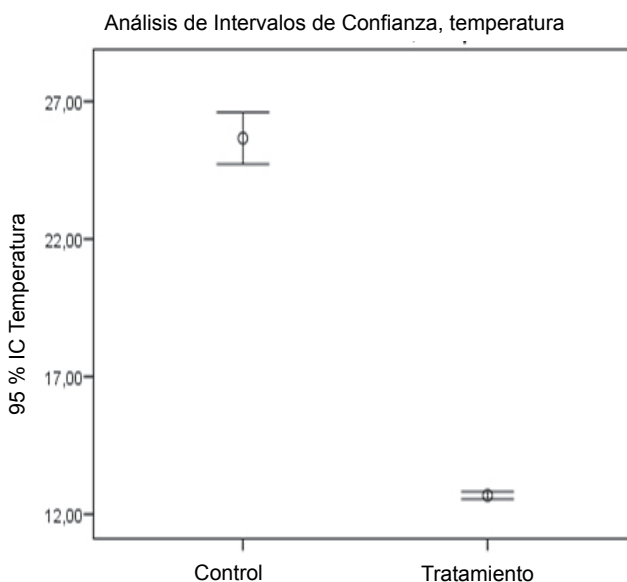


Figura 2. Representación de los intervalos de confianza de la media al 95 % para la temperatura

De manera similar, al efectuar un análisis de la humedad relativa del grano, se observó una gran variación en el comportamiento de esta variable haciéndose más marcado para el caso del control con respecto al tratamiento (Figura 3).

Tabla I. Análisis Descriptivo e Intervalo de Confianza al 95 % para la temperatura

	Tratamientos		Estadístico	Error típico	
Temperatura	Control	Media	25,6618	,47282	
		Intervalo de confianza para la media al 95 %	Límite inferior	24,7223	
			Límite superior	26,6013	
		Mínimo	19,00		
	Máximo	30,80			
	Tratamiento	Media	12,6844	,06489	
		Intervalo de confianza para la media al 95 %	Límite inferior	12,5555	
			Límite superior	12,8134	
Mínimo		12,00			
Máximo	14,20				

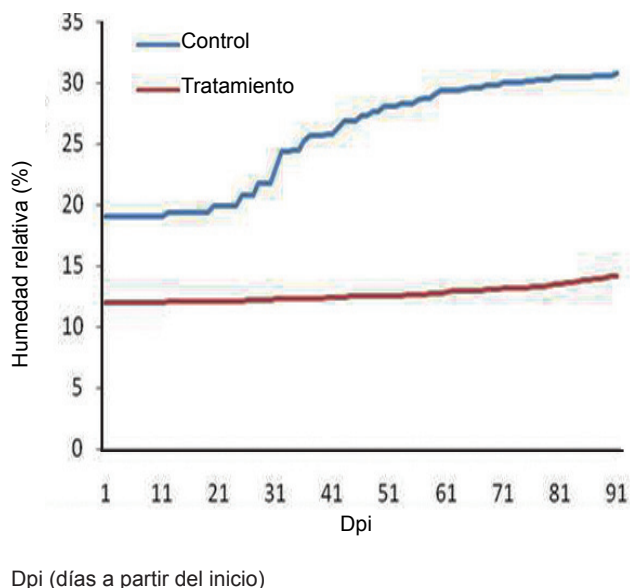


Figura 3. Comportamiento de la humedad relativa del grano (%) durante los 90 días del experimento

Al efectuar un análisis Descriptivo de los datos (Tabla II), donde se observa que para el caso del control, la media de la población mostró una humedad relativa del grano de 33,2 % (33,23 ± 0,73 %), encontrándose valores mínimos y máximos de la misma de 20 y 41,2 % respectivamente.

Sin embargo, para el caso del tratamiento, la media de la población mostró una humedad relativa del grano de 14,35 % (14,35 ± 0,1 %), encontrándose valores mínimos y máximos de la misma de 13,5 y 16,6 % respectivamente.

Por su parte, al efectuar un Análisis del Intervalo de Confianza para dicha variable (Figura 4), se observaron diferencias significativas entre el control y el tratamiento para la misma.

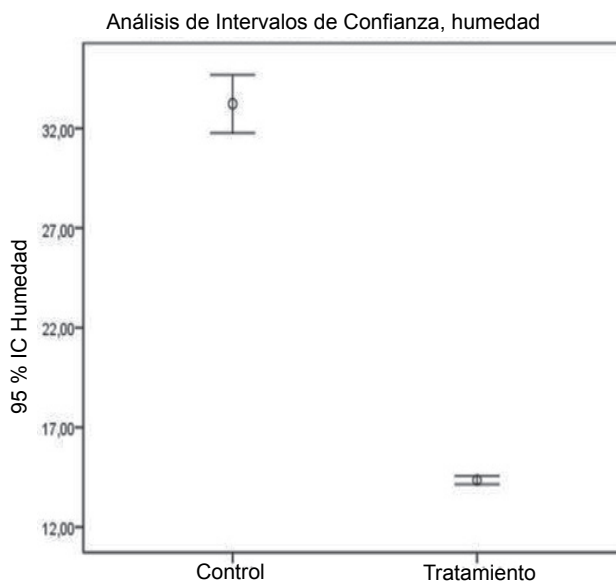


Figura 4. Representación de los Intervalos de Confianza de la media al 95 % para la humedad relativa del grano

A partir de los resultados que muestra la Figura 4 podemos ver la importancia del tratamiento aplicado a los granos de maíz antes de la entrada al silo, permitiendo que los mismos muestren una humedad del grano entre 12 y 14 %, valor reportado en la literatura como el valor óptimo de conservación de los granos para el caso del maíz (13–15).

Tabla II. Análisis descriptivo e intervalo de confianza al 95 % para la humedad relativa del grano

Tratamientos		Estadístico		Error típico
Humedad relativa del Grano	Control	Media		33,2344
		Intervalo de confianza para la media al 95 %	Límite inferior	31,7744
			Límite superior	34,6945
		Mínimo		20,00
		Máximo		41,20
	Tratamiento	Media		14,3522
Intervalo de confianza para la media al 95 %		Límite inferior	14,1484	
		Límite superior	14,5561	
Mínimo			13,50	
	Máximo		16,60	

El hecho de que el grano absorba oxígeno del aire y consuma carbohidratos de su estructura, liberando calor; provoca una respiración más rápida ya que el grano está caliente y húmedo, lo que hace que los cambios de temperatura provoquen modificaciones que intensifican las variaciones de la humedad relativa del grano. De esta manera, se modifica el equilibrio de aireación, lo que conlleva a un aumento en las posibilidades de una mayor humedad del grano (16, 17).

Por su parte, si se considera que la relación humedad-temperatura es inversamente proporcional, así como el hecho de que en condiciones de los SMR esta relación se convierte en directa debido al aumento de la humedad dentro de la masa de granos que ocurre en el SMR; esto provoca un aumento de la temperatura producto a la interacción entre los granos y el poco espacio que tienen para respirar. Por ello, la transferencia de calor de un grano a otro provoca un aumento de la temperatura, lo que en determinadas condiciones induce una afectación del SMR de forma general (18, 19).

Cuando el contenido de humedad aumenta, también lo hace el espacio de aire entre los granos almacenados, lo que contribuye a una mayor resistencia del flujo de aire a través del grano. En este sentido se ha demostrado que la migración de la humedad del grano prevalece^A (20), por lo cual se requiere de mayor tiempo para que el contenido de agua en el grano comience a estabilizarse, por el efecto del movimiento de aire intersticial.

Al considerar lo planteado por otros autores (21) de que la temperatura y la humedad dentro de un recipiente afectan el contenido de humedad de los granos, se corrobora la importancia y la necesidad de poder contar con granos secos a la entrada al silo, lo que avala el tratamiento realizado en esta investigación.

A partir de estos planteamientos, existen diversos reportes en la literatura que plantean que mientras más secos se encuentren los granos al almacenarse, menor será su índice de deterioro, aún cuando otros factores físicos sean desfavorables^C (15, 21).

En este sentido, al efectuar un análisis Descriptivo con respecto al número de granos dañados (Tabla III), donde se observa que para el caso del control, la media de la población mostró una afectación media de 54,85 granos, encontrándose valores mínimos y máximos de entre 31 y 98 granos dañados respectivamente.

Sin embargo, para el caso del tratamiento, la media de la población mostró una afectación media de 15,71 granos, encontrándose valores mínimos y máximos de entre 7 y 41 granos dañados respectivamente.

Estos resultados se observan de manera marcada al efectuar un Análisis del Intervalo de Confianza (Figura 5), encontrándose diferencias significativas entre el control y el tratamiento, lo que demuestra la efectividad de la aplicación de un secado previo al almacenaje de los granos en los SMR.

^C Castillo, A. *Diseño de un silo cilíndrico de fondo plano para almacenamiento de maíz con capacidad de 50 toneladas* [Tesis de Diploma], Universidad Politécnica Salesiana, Sedes Quito, Quito, Ecuador, 2013, p. 85.

Tabla III. Análisis descriptivo e Intervalo de Confianza al 95 % para el número de granos dañados

Número de granos dañados	Tratamientos		Estadístico	Error típico
	Control	Tratamiento		
	Media		54,8556	2,07840
	Intervalo de confianza para la media al 95 %	Límite inferior	50,7258	
		Límite superior	58,9853	
	Mínimo		31,00	
	Máximo		98,00	
	Media		15,7111	1,06120
	Intervalo de confianza para la media al 95 %	Límite inferior	13,6025	
		Límite superior	17,8197	
	Mínimo		7,00	
	Máximo		41,00	

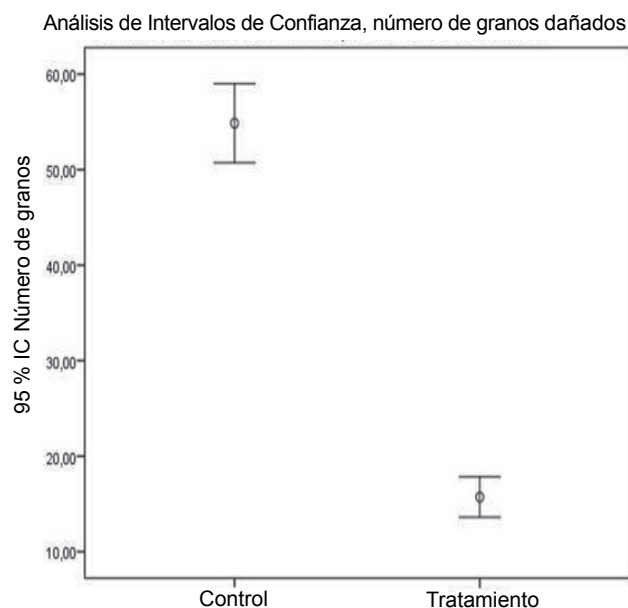


Figura 5. Representación de los Intervalos de Confianza de la media al 95 % para el número de granos dañados

Al efectuar un análisis del porcentaje de daño (Tabla IV), se observó que para el caso del tratamiento se reportaron menos daños con respecto al control, encontrándose en este último un número total de 4 937 granos dañados en todo el muestreo.

Tabla IV. Análisis descriptivo e Intervalo de Confianza al 95 % para el número de granos dañados

	Control	Tratamiento
Total de granos dañados	4 937	1 414
Porcentaje de daño	6,50	1,64

Además de los niveles de afectaciones físicas del grano, debido a un aumento de la temperatura y la humedad del mismo, el aumento de estas variables conlleva a afectaciones probables en la calidad del grano (9).

El grano de maíz tiene alto contenido energético y su aceite es rico en ácidos grasos insaturados. Al perder el grano la integridad de la cutícula protectora donde se encuentran la mayoría de los lípidos, estos se hacen disponibles, quedando expuestos a la acción de insectos, hongos y otras plagas, lo cual unido a la alta temperatura y humedad, favorece la acción enzimática de lipasas, de insectos y de hongos, durante el almacenamiento (9).

VALORACIÓN ECONÓMICA

Al efectuar una valoración económica considerando el costo de una tonelada de maíz en el mercado internacional (350,00 USD) de acuerdo a (22), se pudo determinar a partir del porcentaje de daño en las maquetas experimentales, el porcentaje de daño total del SMR (Tabla V).

Tabla V. Valoración económica y estimación del porcentaje del daño en el SMR

	Control	Tratamiento
Porcentaje de daño total SMR	288,90	72,81
Pérdida total \$ (USD)	101 114,90	25 483,77

En este sentido, a partir del porcentaje de daño encontrado para el caso del control y el tratamiento, se comprueba que en un SMR donde no se efectúe un tratamiento previo de disminución de la humedad relativa del grano y de la temperatura, se provocarán pérdidas en 2 000 t y de 101 114,90 USD; repercutiendo de manera negativa en la economía del país.

Estos datos se corroboran con lo que se plantea en el “Manual de Procedimiento Maestro para el servicio de almacenamiento, conservación y comercialización mayorista de granos importados en los SMR” del MINAZ, así como por Burgess y Burrell, citado por Hernández (9) (Figura 6), donde se muestra la permisibilidad de los valores de humedad y temperatura recomendables para el almacenamiento de los granos. Como se puede observar, una humedad por encima del 24 % trae como consecuencia la germinación y la aparición de hongos, lo cual daría al traste a la pérdida de una parte o la masa total del grano guardado en SMR.

A partir de los resultados se comprueba que un sistema de secado previo al almacenaje de los granos en los silos, permite eliminar la humedad excesiva de los granos en un corto plazo y asegurar la conservación de los granos, logrando además el control de la temperatura del granel y un enfriamiento uniforme del Silo.

Por ello, el secado produce la principal transformación del grano en la postcosecha y a su vez es el procedimiento que más atención requiere para no afectar la calidad de los granos.

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, se confirma la necesidad de contar con un sistema de disminución de la humedad del grano previo al almacenaje de los mismos en el SMR así como su enfriamiento previo y durante el período de almacenaje, como mismo plantea el “Manual de Procedimiento Maestro para el servicio de almacenamiento, conservación y comercialización mayorista de granos importados en los SMR” del MINAZ (23).

ALMACENAMIENTO

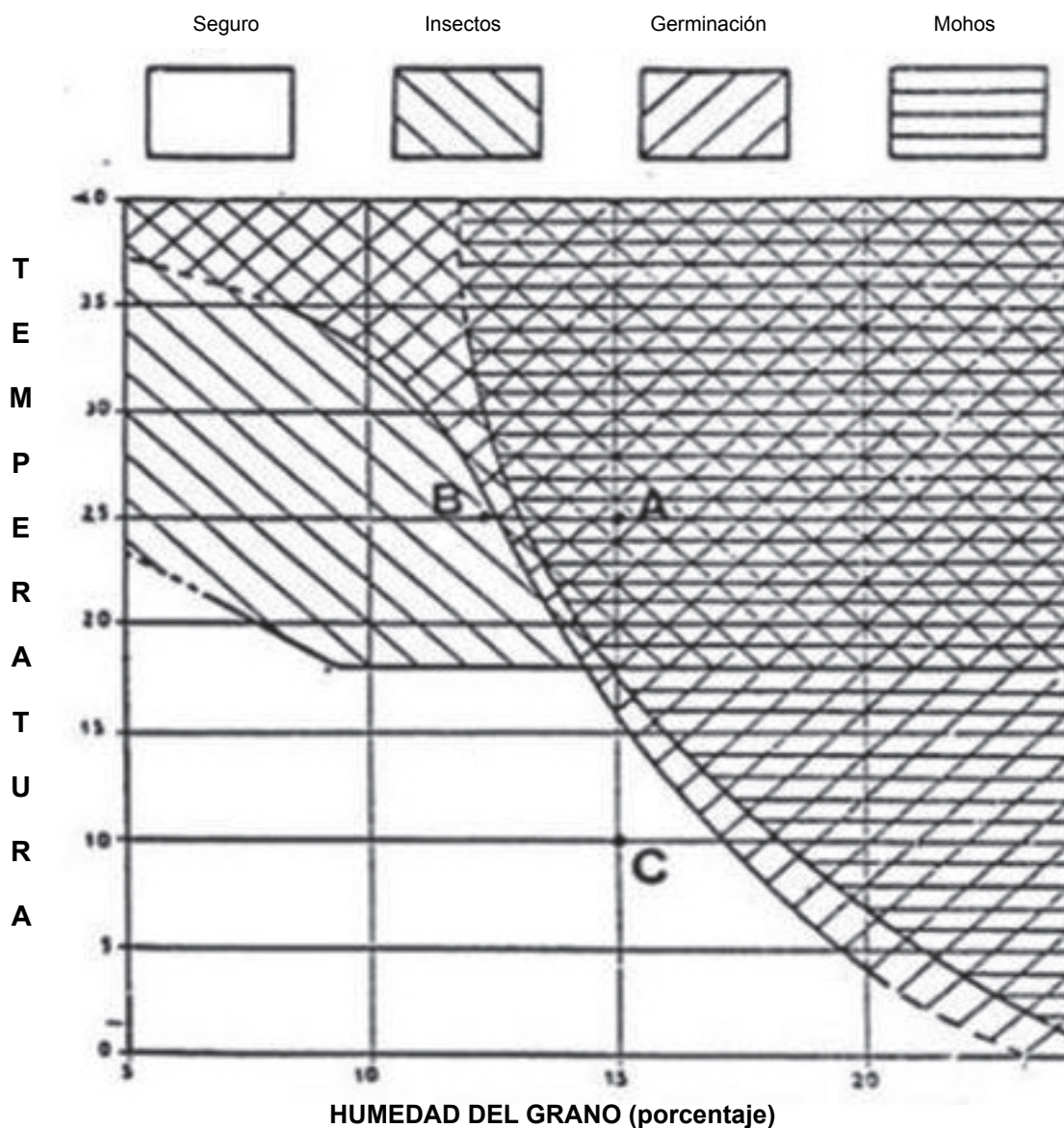


Diagrama de Almacenamiento de granos (Burguess y Burrell)

Fuente: Burgess y Burrell, citado por Hernández (9)

Figura 6. Tabla de permisibilidad para almacenaje y conservación de granos

Por todo lo comentado anteriormente, se reafirma la necesidad de contar con una temperatura de secado estable previa a la conservación de los granos en los SMR, ya que este es un sistema a contraflujo (el grano fluye hacia abajo y el aire caliente hacia arriba) y en estos sistemas la temperatura que alcanzan los granos en la parte inferior del silo es aproximadamente igual a la temperatura del aire de secado, por lo que en algunos casos (ejemplo: el trigo) no se debería secar a temperaturas superiores a los 65 °C.

Muchos de estos sistemas poseen roscas mezcladoras. Estas tienen la función de homogeneizar la humedad del grano en el interior del silo, pero son más útiles cuando la temperatura de secado es baja (solo unos grados por encima de la temperatura ambiente). En caso de sistemas que funcionen a alta temperatura (40 °C o más) es conveniente utilizar roscas extractoras que vayan "barriendo" la capa más seca de granos de la parte inferior del silo. En estos casos el sistema puede funcionar como secar-airación, ya que el grano sale caliente (40-60 °C) y debe ser enfriado en otro silo.

Esta es una tecnología de bajo costo pero es necesario tener en cuenta varios aspectos para no fracasar en la conservación de granos:

El principio básico es el de guardar los granos secos en una atmósfera modificada, con bajo oxígeno y alta concentración de anhídrido carbónico (CO₂). Con esto se logra el control de los insectos y hongos que son los mayores causantes del aumento de la temperatura de los granos.

También es necesario considerar que los granos son organismos vivos y deben estar sanos, sin daños mecánicos y limpios, para tener mayor posibilidad de mantener su calidad durante el almacenamiento.

Se puede plantear que el proceso de secado es capaz de mejorar la calidad del almacenamiento prolongado de los granos, así como mejorar la estabilidad del equilibrio higroscópico dentro del SMR.

CONCLUSIONES

- ◆ Al analizar la temperatura se demuestra que el control mostró valores de 25 °C (25 ± 0,47 °C), a diferencia del tratamiento en el que la media de la población mostró una temperatura de 12,7 °C (12,68 ± 0,07 °C).
- ◆ Al analizar la humedad relativa del grano para el caso del control, se demuestra que la media de la población estuvo alrededor de 33,2 % (33,23 ± 0,73 %), a diferencia del tratamiento, que mostró una humedad relativa del grano de 14,35 % (14,35 ± 0,1 %).
- ◆ Al efectuar un análisis con respecto al porcentaje de daño de los granos con respecto al control, se observó una disminución del mismo para el

tratamiento, lo que se asocia con una menor pérdida física y económica en el proceso de almacenamiento de los granos de maíz.

- ◆ Los análisis efectuados reafirman la importancia de efectuar un pretratamiento a los granos antes de ser almacenados en el silo metálico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Blanco, Y. y Leyva, Á. "Abundancia y diversidad de especies de arvenses en el cultivo de maíz (*Zea mays*, L.) precedido de un barbecho transitorio después de la papa (*Solanum tuberosum* L.)". *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 2, 2010, pp. 11-17, ISSN 0258-5936.
2. Hernández, C. N. y Soto, C. F. "Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivados en condiciones tropicales. Parte I. Cultivo del maíz (*Zea mays* L.)". *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 2, junio de 2012, pp. 44-49, ISSN 0258-5936.
3. Jian, F. y Jayas, D. S. "The Ecosystem Approach to Grain Storage". *Agricultural Research*, vol. 1, no. 2, 2012, pp. 148-156, ISSN 2249-720X, 2249-7218, DOI 10.1007/s40003-012-0017-7.
4. Charm, S. "Food engineering applied to accommodate food regulations, quality and testing". *Alimentos Ciencia e Ingeniería*, vol. 16, no. 1, 2007, pp. 5-8, ISSN 1390-2180.
5. Nuss, E. T. y Tanumihardjo, S. A. "Maize: A Paramount Staple Crop in the Context of Global Nutrition". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 9, no. 4, 2010, pp. 417-436, ISSN 1541-4337, DOI 10.1111/j.1541-4337.2010.00117.x.
6. Chulze, S. N. "Strategies to reduce mycotoxin levels in maize during storage: a review". *Food Additives & Contaminants: Part A*, vol. 27, no. 5, 2010, pp. 651-657, ISSN 1944-0049, DOI 10.1080/19440040903573032.
7. García, L. M. de L.; Aguirre, G. J. A.; Narro, S. J.; Cortés, B. E. y Rivera, R. J. G. "Silo hermético para el control de plagas de granos almacenados en Guanajuato, México". *Agricultura técnica en México*, vol. 33, no. 3, diciembre de 2007, pp. 231-239, ISSN 0568-2517.
8. Google. *Google Earth* [en línea]. 2008, [Consultado: 5 de septiembre de 2016], Disponible en: <<https://www.google.es/intl/es/earth/>>.
9. Hernández, C.; Rodríguez, Y.; Niño, Z. y Pérez, S. "Efecto del Almacenamiento de Granos de Maíz (*Zea mays*) sobre la Calidad del Aceite Extraído". *Información Tecnológica*, vol. 20, no. 4, 2009, pp. 21-30, ISSN 0718-0764, DOI 10.4067/S0718-07642009000400004.
10. FAO y FAOLEX. *Manual de procedimientos operativos para los silos metálicos refrigerados* [en línea]. no. 234/06, 6 de septiembre de 2006, Cuba, p. 17, [Consultado: 1 de septiembre de 2016], Disponible en: <<http://www.ecolex.org/es/details/legislation/resolucion-no-23406-manual-de-procedimientos-operativos-para-los-silos-metalicos-refrigerados-lex-faoc068470/>>.
11. Pardo, M. A. y Ruiz, M. Á. *SPSS 11: guía para el análisis de datos*. Ed. McGraw-Hill, Interamericana de España, 2002, Madrid, 714 p., ISBN 978-84-481-3750-2, OCLC: 432839379.

12. The World Bank Group. "Global Price Trends". *Food Price Watch*, vol. 4, no. 16, 2014, pp. 1-10.
13. Oyekale, K. O.; Daniel, I. O.; Ajala, M. O. y Sanni, L. O. "Potential longevity of maize seeds under storage in humid tropical seed stores". *Nature and Science*, vol. 10, no. 8, 2012, pp. 114-124, ISSN 1545-0740, ISSN 2375-7167.
14. Acosta, R. R.; Martínez, C. M.; Colomer, L. A. y Ríos, L. H. "Evaluación morfoagronómica de una población de maíz (*Zea mays*, L.) en condiciones de polinización abierta en el municipio Batabanó, provincia Mayabeque". *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 2, junio de 2013, pp. 52-60, ISSN 0258-5936.
15. Ferraz, Y.; Permuy, N. y Acosta, R. "Evaluación de accesiones de maíz (*Zea mays*, L.) en condiciones de sequía en dos zonas edafoclimáticas del municipio Gibara, provincia Holguín. Evaluación morfoagronómica y estudios de la Interacción genotipo x ambiente". *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 4, 2013, pp. 24-30, ISSN 0258-5936.
16. Lawrence, J. y Maier, D. E. "Aeration Strategy Simulations for Wheat Storage in the Sub-Tropical Region of North India". *Transactions of the ASABE*, vol. 54, no. 4, 2011, pp. 1395-1405, ISSN 2151-0040, DOI 10.13031/2013.39008.
17. Alabadan, B. A. "Temperature Changes in Bulk Stored Maize". *Assumption University: Journal of Technology*, vol. 9, no. 3, 2006, pp. 187-192, ISSN 1513-0886.
18. Neethirajan, S.; Karunakaran, C.; Jayas, D. S. y White, N. D. G. "Detection techniques for stored-product insects in grain". *Food Control*, vol. 18, no. 2, febrero de 2007, pp. 157-162, ISSN 0956-7135, DOI 10.1016/j.foodcont.2005.09.008.
19. Volenik, M.; Rozman, V.; Kalinovic, I.; Liska, A.; Kiš, D. y Šimić, B. "Influence of relative humidity and temperature on the changes in grain moisture in stored soybean and maize". *Agriculturae Conspectus Scientificus*, vol. 72, no. 3, 2007, pp. 215-219, ISSN 1331-7768, 1331-7776.
20. Socarra, G. R.; Torres, G.; Álvarez, P. H. R.; Astorga, H.; Betancourt, L.; Collazo, P.; Corzo, B.; Domínguez, M. J.; Fritzes, R.; García, Z.; Hernández, R.; Lugo, G.; Manzanedo, G.; Mederos, C.; Moral, G.; Neninger, P.; San Román, G. y Santos, R. *Manipulación y almacenamiento de alimentos*. Ed. Logicuba, 2008, La Habana, Cuba, 138 p., ISBN 959-7191-07-5.
21. Rosas, I. M.; Gil, M. A.; Ramírez, V. B.; Hernández, S. J. H. y Bellon, M. "Calidad física y fisiológica de semilla de maíz criollo almacenada en silo metálico y con métodos tradicionales en Oaxaca, México". *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 30, no. 1, 2007, pp. 69-78, ISSN 0187-7380.
22. FAO. *FAO Statistical Pocketbook 2015. World Food and Agriculture* [en línea]. Ed. FAO, 2015, Rome, Italy, 236 p., ISBN 978-92-5-108802-9, [Consultado: 5 de septiembre de 2016], Disponible en: <<http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>>.
23. Weinberg, Z. G.; Yan, Y.; Chen, Y.; Finkelman, S.; Ashbell, G. y Navarro, S. "The effect of moisture level on high-moisture maize (*Zea mays* L.) under hermetic storage conditions—*in vitro* studies". *Journal of Stored Products Research*, vol. 44, no. 2, enero de 2008, pp. 136-144, ISSN 0022-474X, DOI 10.1016/j.jspr.2007.08.006.

Recibido: 23 de julio 2014

Aceptado: 20 de noviembre de 2015

