

Efecto del Almacenamiento Hermético en la Calidad del Maíz para Tortillas¹

E. Moreno*, M.M. Reyes*, Z. Nieto**, J. Ramirez*

ABSTRACT

To ascertain the effect of high moisture content on the quality of hermetically stored maize for making "tortillas," as well as its effect on the development of grain storage fungi and insects, maize with a moisture content of 17% was stored in air-tight containers during 270 days at 26°C. The grain was infested with adults of the maize weevil *Sitophilus zeamais* Motschulsky. During the storage period the composition of the atmosphere was determined, as well as the moisture content of the grain, the seed germination, the development of fungi and insects and the quality of the "tortillas" thorough rheological, organoleptic and chemical tests. From the beginning of the storage period there was a striking change in the carbon dioxide and oxygen levels. At the first sampling, 15 days, the oxygen level dropped to 1.5% and the carbon dioxide increased to 53.9%; this atmosphere was lethal to insects and also inhibited the development of storage fungi. The seeds lost their germination capacity between 30 and 90 days of storage. According to quality tests, there were not significant differences between the "tortillas" made with maize stored under a normal atmosphere and maize with a low moisture content.

COMPENDIO

Para conocer el efecto de un alto contenido de humedad sobre la calidad de grano de maíz para tortillas, almacenado herméticamente, y sobre el desarrollo de insectos y hongos de almacén, se almacenó maíz en recipientes herméticos durante 270 d a 26°C, con un contenido de humedad del 17%, e infestado con insectos *Sitophilus zeamais* Motschulsky. Durante el experimento se determinó la composición de la atmósfera de almacenamiento, el contenido de humedad del grano, el porcentaje de germinación y la incidencia de insectos y hongos de almacén; y se evaluó la calidad de las tortillas mediante pruebas reológicas, organolépticas y químicas. A los 15 d, el oxígeno de la atmósfera de almacenamiento descendió hasta 1.5%, y el bióxido de carbono se incrementó en 53.9 por ciento. Esta atmósfera fue letal para los insectos e inhibió los hongos de almacén. El grano perdió completamente su germinación entre los 30 d y 90 d de almacenamiento. Al final del periodo de almacenamiento no se observaron diferencias significativas entre la calidad de las tortillas elaboradas con maíz almacenado herméticamente y de aquellas hechas con maíz almacenado, con un contenido bajo de humedad y en una atmósfera normal.

INTRODUCCION

Las pérdidas en postproducción de los granos alimenticios se clasifican en dos categorías: cuantitativas y cualitativas. Ambos tipos se deben al manejo inadecuado de los granos desde la cosecha hasta su destino final. Una de las causas de estas pérdidas son los hongos de almacén, especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* (3), que aceleran la pérdida de viabilidad de las semillas agrícolas; algunas especies son capaces de producir micotoxinas que atentan contra la salud humana y animal (4, 8).

El combate de las especies de *Aspergillus* y *Penicillium*, que atacan a los granos almacenados destinados a la alimentación del hombre y de sus animales domésticos, actualmente sólo se logra con el almacenamiento de los granos con bajos contenidos de humedad (5). En el caso de las semillas agrícolas, el combate de estos hongos puede lograrse mediante fungicidas, los que no pueden usarse en granos alimenticios por su toxicidad para el hombre y los animales domésticos (9, 10).

En las zonas rurales, sobre todo en cálidas y húmedas, la conservación del maíz para autoconsumo es más difícil, debido a la carencia de estructuras adecuadas de almacenamiento. Esto lo que permite que la alta humedad del ambiente esté en contacto con los granos, favoreciendo la proliferación de insectos y de hongos que demeritan la calidad nutricia y sanitaria del maíz almacenado. Para estas áreas rurales se requiere el desarrollo de tecnologías simples, pero efectivas, como alternativas para la conservación de los granos que constituyen la dieta básica de millones de mexicanos.

¹ Recibido para publicación el 8 de febrero de 1990. Proyecto financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología PVT/AI/NAL/86/3623, Méx.

* Unidad de Investigación en Granos y Semillas, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), Apartado Postal No. 20, Pabellón de Arteaga, Aguascaliente, Méx.

** Facultad de Química, UNAM, Méx.

Una de esas alternativas es el almacenamiento hermético, cuyo principio se basa en la eliminación del oxígeno requerido para la vida de los insectos y hongos de almacén, mediante la respiración conjunta de los hongos, los insectos y los granos. Este método de almacenamiento ha sido utilizado desde épocas antiguas hasta la actualidad (13). En México se ha usado desde la época precortesina y, actualmente, es utilizado en las costas del Pacífico y del Golfo de México, y es en el estado de Veracruz donde se ha difundido con mayor popularidad. En estos lugares se emplea en forma empírica, desconociéndose los límites de su uso, razón por la cual se han realizado investigaciones para definir las condiciones en las cuales se puede manejar con mayores ventajas para el usuario (11).

En la práctica del almacenamiento hermético se recomienda que el grano tenga un contenido de humedad de alrededor del 12%, para evitar la proliferación de microorganismos anaerobios que pueden ocasionar olores y sabores desagradables, propios de su metabolismo de fermentación; además, se recomienda el uso de insecticidas o fumigantes para eliminar los insectos provenientes del campo.

Tomando en cuenta que el contenido de humedad influye en la intensidad de la respiración de los granos, insectos y hongos, en este trabajo se almacenó grano con un contenido de humedad del 17%, con el fin de observar el efecto de la atmósfera del almacenamiento, que se genera con ese contenido de humedad, sobre el desarrollo de insectos y de hongos, así como en la calidad de la masa de maíz para la elaboración de tortillas.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizó maíz de la variedad VS-525, cuyos contenidos de humedad y germinación fueron de 10.7% y 98%, respectivamente. El grano estaba internamente libre de hongos de almacén, lo cual se determinó sembrando granos superficialmente desinfectados, en un medio de cultivo, como más adelante se describe.

El contenido de humedad del grano se ajustó al 17% con adición de agua. El grano se almacenó en latas metálicas de 3 l de capacidad. En la tapa de la lata se colocó un tapón de hule para permitir el muestreo de la atmósfera con la jeringa del cromatógrafo de gases. La tapa y el tapón de goma se sellaron con silicón. Se utilizaron 15 latas para cinco muestreos, a los 15 d, 30 d, 90 d, 180 d y 270 d, con tres repeticiones de 2.3 kg cada una. En cada unidad experimental se colocaron 45 insectos adultos de la especie *S. zea* Motschulsky de la misma edad y sin sexar.

En cada muestreo se determinó la concentración de bióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno en la atmósfera que rodeaba a los granos; también se determinó el contenido de humedad, germinación del grano, micoflora aeróbica, población de insectos y calidad de tortillas.

La determinación del bióxido de carbono y oxígeno se llevó a cabo con cromatografía de gases, con un equipo Perkin Elmer modelo "Sigma I", provisto de un detector de conductividad térmica. Se emplearon dos columnas: la (A) empacada con porapak Q de 1 m de longitud por 3 mm de diámetro de acero inoxidable; la (B) empacada con malla molecular de 5 Å de 1 m de longitud por 3 mm de diámetro de acero inoxidable. Las condiciones de operación, para las dos columnas, fueron: temperatura de inyector: 100°C, temperatura de detector: 100°C; y temperatura del horno: 90°C. Se utilizó helio como acarreador, con un flujo de 25 ml por minuto.

Se inyectó 0.1 ml de aire de cada una de las muestras en cada una de las columnas. De la inyección en la columna A se obtuvieron los porcentajes de las áreas correspondientes a la señal de la mezcla nitrógeno-oxígeno y la de oxígeno. De la inyección en la columna B se obtuvieron los porcentajes de las áreas de las señales correspondientes a nitrógeno y oxígeno. Con esta información se calcularon los porcentajes de bióxido de carbono y oxígeno en las atmósferas de almacenamiento.

El contenido de humedad de los granos se determinó mediante el método de secado en la estufa, a 103°C por 72 h, recomendado por el USDA (14). El contenido de humedad se expresó en porcentaje, con base en el peso húmedo de la muestra. La germinación se determinó con 300 semillas de cada repetición, utilizando el método entre papel: se colocaron las semillas entre toallas de papel húmedas, las que se enrollaron y pusieron en incubadoras a 25°C durante 7 d (6). Para determinar la micoflora, presente en el interior de los granos de cada repetición, se desinfectaron 25 granos en hipoclorito de sodio al 2.0% durante 2 min; los granos desinfectados fueron sembrados en malta-agar con el 6% de cloruro de sodio (MSA 6%). La temperatura de incubación fue de 25° centígrados.

Para la elaboración de las tortillas se usaron 2 kg de maíz de cada repetición. El proceso de "nixtamalización" se llevó a cabo en forma tradicional, con una concentración del 1% en peso de cal viva con respecto del peso del grano, con una relación agua-grano de 3:1 y llevando la temperatura a ebullición hasta el cambio de color y reblandecimiento del grano.

Para la elaboración de las tortillas se siguieron las indicaciones de Alarcón *et al.* (2). Las tortillas-testigo

se elaboraron con maíz almacenado con una humedad de 10.7% y a 4°C, desde su arribo al laboratorio. Después de la cocción de las tortillas, éstas se dejaron enfriar a temperatura del laboratorio y se almacenaron en bolsas de polietileno hasta por 72 h, tiempo necesario para realizar pruebas reológicas y organolépticas que indicaran, por medio de las tortillas, la calidad de la masa. Para tal efecto se realizaron en las tortillas las pruebas de ampolla, doblez, enrollado y corte.

Estas se ejecutaron en cuatro tiempos: inmediatamente después de la cocción de las tortillas, 1 h, 24 h y 72 h después de su cocción. Para estas pruebas se utilizaron diez tortillas tomadas al azar. La ampolla que se forma durante la cocción de la tortilla, indica que su masa fue homogénea y que su textura no favorece las fracturas de la tortilla. La prueba de doblez permite verificar si hay ruptura en la cara externa del doblez, opuesta a la cara de la ampolla; para ello las tortillas fueron dobladas en dos y en cuatro partes. La prueba de enrollado es también una forma indirecta de evaluar la textura de la masa, para lo cual las tortillas se enrollan en una barra de aluminio de 15 mm de diámetro, a manera de "taco", observando si se presenta alguna ruptura en la cara externa. La prueba de corte consiste en romper la tortilla por la parte central, estirándola con ambas manos hacia afuera, con el fin de apreciar si el corte se efectúa con facilidad sin presentar resistencia por dureza.

Para la evaluación organoléptica se realizaron las pruebas dúo-trío y la prueba de escala hedónica (12). Para ambas pruebas se integró un panel de ocho jueces, con personas de ambos sexos y diferentes edades.

Para la prueba dúo-trío se colocaron en una bandeja tres tortillas codificadas: dos iguales y una diferente. A cada juez se le proporcionó un formato en el que debería señalar su apreciación sobre las diferencias o similitudes entre las tortillas de la prueba. Esta prueba se realizó conjuntamente con las pruebas reológicas. La prueba de escala hedónica es de tipo discriminatorio, que parte del agrado al desagrado del producto para el paladar. Para esta prueba, a cada juez se le proporcionaron cuatro muestras diferentes codificadas, que correspondían a tres repeticiones y a un testigo en cada período de almacenamiento. Igualmente a cada juez se le proporcionó un formato para que anotara su apreciación al agrado o desagrado de las tortillas. Los resultados de ambas pruebas fueron sometidos a un análisis de variancia ($p = 0.05$), siguiendo la metodología señalada por Larmond (7) para este tipo de pruebas organolépticas.

Además de las pruebas, señaladas, se realizó un análisis químico proximal de harina proveniente de la molienda de tortillas desecadas. En él se determinaron el porcentaje de humedad, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda, cenizas y carbohidratos totales por diferencia, de acuerdo con métodos y técnicas de la AOAC (1).

RESULTADOS Y DISCUSION

El contenido de humedad inicial del 17.1% y tuvo un incremento hasta del 1.3 por ciento. Ese aumento se debió a la respiración del grano y de los microorganismos microaerófilos y anaeróbicos, que no fueron cuantificados ni identificados.

Cuadro 1. Contenido de humedad, composición de la atmósfera de almacenamiento, población de *Sitophilus zeamais* y germinación del grano.

Período de almacenamiento (D)	Contenido de humedad (%)	Atmósfera*			Insectos		Germinación (%)
		O ₂	CO ₂ (%)	N ₂	Vivos	Muertos	
0 (testigo)	17.1	23.8	0.07	78.0	45	0	98
15	17.1	1.5	53.90	44.5	0	45	95
30	18.0	1.5	68.60	28.7	0	45	78
90	18.4	1.4	81.70	16.80	0	45	0
180	17.8	—	—	—	0	45	0
270	17.8	2.2	70.40	27.0	0	45	0

Notas: En estas condiciones de almacenamiento no se detectaron hongos de almacén en ninguno de los muestreos.

* Promedio de seis mediciones, dos por repetición

— No se determinó

Cuadro 2. Pruebas reológicas en tortillas elaboradas con maíz almacenado en condiciones herméticas, a 26°C durante cinco períodos de almacenamiento.

Período de almacenamiento (d)	Tipo de prueba*	Análisis** (%)			
		1	2	3	4
0 (testigo)	A***	90			
	E	100	100	100	100
	D	100	100	100	100
	C	100	100	100	100
15	A	100			
	E	100	100	100	100
	E	100	100	100	100
	C	100	100	100	100
30	A	99			
	E	100	100	100	100
	D	100	100	100	100
	C	100	100	100	100
90	A	99			
	E	100	100	100	100
	D	100	100	100	100
	C	100	100	100	100
180	A	96			
	E	100	100	100	100
	D	100	100	100	100
	C	100	100	100	100
270	A	94			
	E	100	100	100	100
	D	100	100	100	100
	C	100	100	100	100

Notas:

- * Base 10 tortillas. A = Prueba de ampolla; E = Prueba de enrollado; D = Prueba de doblez y C = Prueba de corte.
- ** 1 = Análisis en el momento de la elaboración de las tortillas, 2 = Una hora después; 3 = 24 h después y 4 = 72 h después de la elaboración de las tortillas.
- *** La prueba de ampolla se realiza solamente al momento de la cocción

En cuanto a la composición de la atmósfera, a los 15 d de almacenamiento se observó un fuerte cambio en la concentración de oxígeno y bióxido de carbono, registrándose niveles del 1.5% y del 53.9%, respectiva-

mente. Estos cambios en la concentración de los gases se debió a la actividad metabólica del grano y de los microorganismos. A partir de los 15 d de almacenamiento, el oxígeno fluctuó del 1.5% al 2.2% y el bióxido de carbono del 53.9% al 81.7% (Cuadro 1), condiciones que no permitieron el desarrollo de *Aspergillus* y *Penicillium*, que común y vigorosamente se desarrollan en maíz con un contenido de humedad del 17 por ciento.

Los insectos con que inicialmente se infestó el grano no sobrevivieron a los 15 d de almacenamiento, ni posteriormente se registró el desarrollo de nuevas generaciones (Cuadro 1). La germinación del grano se mantuvo alta, 78% hasta los 30 d de almacenamiento, declinando drásticamente a partir de ese muestreo.

En lo que respecta a las pruebas reológicas, se observó que la formación de la ampolla en la tortilla, durante su cocción, se presentó en las tortillas de todos los períodos de almacenamiento en un rango del 94% al 100%; las tortillas-testigo la presentaron en un 90% (Cuadro 2); por lo tanto, no hubo diferencias entre las tortillas hechas con el maíz almacenado en forma hermética y las tortillas del maíz-testigo. No hubo formación de ampolla en las pruebas a 1 h, a 24 h y a 72 h después de la cocción, lo cual es normal, ya que la tortilla sólo forma ampolla al momento de la cocción y no cuando es calentada posteriormente.

En las pruebas de enrollado, doblez y corte tampoco se apreció ninguna alteración en las tortillas, debido al

Cuadro 3. Análisis de la prueba dúo-trío en tortillas de maíz almacenado herméticamente a 26°C durante cinco períodos de almacenamiento.

Período de almacenamiento (d)	Panelistas* con diferencia (núm)		Significancia de la diferencia (P = 0.05)
	Percibida	No Percibida	
(testigo)	4	4	no significativa
15	3	5	" "
30	4	4	" "
90	3	5	" "
180	5	3	" "
270	5	3	" "

Notas:

- * Promedio de 96 panelistas (los ocho panelistas por tiempo de prueba y para cada repetición del experimento).

Cuadro 4. Composición bromatológica* de tortillas de maíz almacenado herméticamente durante 270 días a 26° centígrados.

Período de almacenamiento	Humedad (%)	Proteína total	Grasa Fibra		Cenizas	Carbohidratos totales
			cruda (%)			
0 (testigo)	14.0	7.9	3.2	1.6	1.2	72.1
15	11.6	8.0	3.3	1.6	1.2	74.3
30	11.9	7.7	3.3	1.6	1.2	74.3
90	11.8	7.9	3.1	1.6	1.3	74.3
180	10.1	7.8	3.1	1.5	1.3	76.2
270	11.0	7.8	3.1	1.7	1.2	75.2

Notas:

* Base humedad; promedio de tres repeticiones.

almacenamiento hermético del maíz. El total de las tortillas, en todos los períodos de almacenamiento, pudieron enrollarse y doblarse sin presentar fractura en su cara externa; este porcentaje se mantuvo no solamente para la prueba al momento de la cocción, sino también en la prueba a 1 h, a 24 h y a 72 h (Cuadro 2). Esto indica que la textura de la masa de maíz no fue afectada por las condiciones de almacenamiento.

En lo referente a las pruebas organolépticas, el análisis de variancia de los datos de la prueba dúo-trío señaló que el número de panelistas que detectaron diferencias no fue significativo ($p = 0.05$). El número de panelistas que percibieron diferencias entre tortillas se mantuvo entre 3 y 5, al igual que los que no detectaron diferencias (Cuadro 3).

Con esto se puede decir que el período de almacenamiento no fue lo suficientemente prolongado como para detectar los efectos de procesos fermentativos de microorganismos microaerófilos o anaeróbicos, desarrollados en esas condiciones de almacenamiento, cuya presencia sólo fue reconocida por el olor característico de una fermentación.

Por otra parte, el análisis de variancia de los datos bromatológicos de las tortillas elaboradas con maíz almacenado herméticamente y las tortillas-testigo, no mostró diferencias significativas, $p = 0.05$ (Cuadro 4). Por lo tanto, se concluye que el almacenamiento hermético no tuvo efectos nocivos detectables sobre la composición química de las tortillas, teniendo en consideración los límites del análisis químico proximal.

Es importante señalar que a partir de los 90 d de almacenamiento se observó un ennegrecimiento del

embrión de los granos. Ello no afectó la calidad de las tortillas, ya que éstas tuvieron buena aceptación por los panelistas de las pruebas organolépticas y reológicas.

Por los resultados obtenidos en este trabajo, se puede decir que el almacenamiento hermético de maíz con humedad inicial del 17%, no afecta su calidad para la elaboración de tortillas; las cuales además de presentar sus propiedades físicas y químicas normales, fueron aceptadas por el paladar de los consumidores. Sin embargo se realizaron otros estudios para evaluar el efecto de la microbiota microaerófila y anaeróbica, que se desarrolla en estas condiciones de almacenamiento, sobre la calidad de las tortillas.

Por otra parte, es importante señalar que el contenido de humedad con que se almacenó el maíz en estos estudios favorece una rápida reducción del oxígeno y, a la vez, una generación elevada de bióxido de carbono, con lo que se eliminan los insectos de almacén *S. zeamais* y hongos aerobios como *A. flavus*, que crece vigorosamente en maíz con contenidos de humedad de 17 por ciento.

LITERATURA CITADA

1. AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). 1970. Official methods of analysis 11 ed Washington, D.C., AOAC
2. ALARCON, A.; GUERRA, R L.; PEDROZA, R.; NIETO, Z.; DURAN, C. 1985. Mezclas nixtamalizadas de maíz y sorgo. Tecnol. Aliment. (Méx.) 20:6-11.
3. CHRISTENSEN, C.M.; KAUFMANN, H. 1976. Contaminación por hongos en granos almacenados. Méx., Editorial Pax. 189 p.

4. CHRISTENSEN, C.M. 1978. Storage fungi. In Food and beverage mycology. R.L. Beuchat (Ed.). Westport, Conn., Ari Pub. p. 173-190.
5. CHRISTENSEN, C.M.; SAUER, D. 1982. Microflora. In Storage of cereal grains and their products. 3 ed. C.M. Christensen (Ed.). St. Paul, Minn., American Association of Cereal Chemists. p. 219-240.
6. INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. 1976. International rules for seed testing: Rules 1976. Seed Science and Technology 4(1):177.
7. LARMOND, E. 1970. Methods for sensory evaluation of food. Ottawa, Food Research Institute, Central Exp. Farm. Publication 1284:385 p.
8. MORENO, M.E.; CHRISTENSEN, C.M. 1971. Differences among lines and varieties of maize susceptibility to damage by storage fungi. Phytopathology 81:1498-1500.
9. MORENO, M.E.; VIDAL, G. 1981. Preserving the viability of stored maize seed with fungicides. Plant Disease 65:280-281.
10. MORENO, M.E.; RAMIREZ, J. 1985. Protective effect of fungicides on corn seed stored with low and high moisture contents. Seed Science and Technology 13:285-290.
11. MORENO, M.E.; RAMIREZ, J. 1988. The influence of hermetic storage on the behavior of maize seed germination. Seed Science and Technology 16:427-434.
12. NIETO, V., DURAN, C.; LASO, F.; NUÑEZ, V. 1986. Calidad molinera de mezclas de maíz y sorgo perlado e integral. Tecnol. Aliment. (Méx.) 21:17-21.
13. SIGOUTI, F. 1980. Significance of underground storage in traditional systems of grain production. In Controlled atmosphere storage of grains. J. Shejbal (Ed.). Amsterdam, Elsevier. p. 3-13.
14. USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE). 1979. Grain equipment manual GR. 916-6. Kansas City, Mo., Federal Grain Inspection Service, Standardization Division. Richard-Geabauer AFB.