



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**“EFECTO DEL ALMACENAMIENTO HERMÉTICO EN LA
CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL GRANO DE MAÍZ”**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

BIANCA MARITZA LÓPEZ MORA

ASESOR:

DR. ERNESTO MORENO MARTÍNEZ

COASESOR:

DRA. CAROLINA MORENO RAMOS

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ABREVIATURAS	viii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN	x
CAPITULO I	1
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Maíz	1
1.1.1. Origen del maíz	2
1.1.2. Estructura del grano de maíz	3
1.1.3. Producción y consumo de maíz	5
1.1.3.1. Producción de maíz	5
1.1.3.2. Consumo de Maíz	6
1.1.4. Composición química y valor nutritivo	7
1.1.5. Calidad del maíz	11
1.2. Almacenamiento	15
1.2.1. Características y cambios del grano almacenado	16
1.2.1.2. Deterioro en el grano de maíz almacenado	17
1.2.2. Tipos de almacenamiento en maíz	18
1.2.2.1. Granel	18
1.2.2.2. Sacos	20
1.2.2.3. Silos	21
1.2.2.4. Trojes	22
1.2.3. Almacenamiento hermético	24
1.2.3.1. Silos herméticos	25
1.2.4. Factores físicos del almacenamiento	26
1.2.5. Factores bióticos del almacenamiento	28
CAPITULO II	35
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	35

2.1. Objetivo general	35
2.1.1. Objetivos particulares	35
CUADRO METODOLÓGICO	36
2.2.1 Limpieza de materia prima	37
2.2.2. Preparación de las unidades experimentales	37
2.2.2.1. Incremento de contenido de humedad a 14, 16 y 18%	37
2.3. Propiedades físicas del grano	38
2.4. Propiedades fisicoquímicas del grano de maíz	38
2.5. Composición química de maíz	40
2.5.1. Proteínas	40
2.5.2. Grasa	41
2.5.3. Cenizas	41
2.6. Número de microorganismos	42
2.7. Calidad fisiológica del grano	42
2.7.1. Germinación	42
2.8. Índice de acidez	42
2.9. Diseño experimental	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1. Limpieza de materia prima	44
3.2. Contenido de humedad	44
3.3. Determinación de oxígeno y dióxido de carbono.	45
3.4. Evaluación de las propiedades físicas del maíz	48
3.5. Propiedades fisicoquímicas del grano de maíz	52
3.5.1. pH	52
3.6. Análisis Químico Proximal	55
3.6.1. Proteína	55
3.6.2. Grasa	57
3.6.3. Cenizas	58
3.7. Cuantificación de micobiota del grano de maíz	59
3.8. Calidad fisiológica de maíz	64
3.8.1. Germinación	64

3.9. Índice de acidez	66
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución ponderal de las principales partes del grano de maíz.....	5
Tabla 2. Rango de la composición aproximada del maíz.	8
Tabla 3. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz	10
Tabla 4 límites máximos de impurezas y daños en el maíz	13
Tabla 5. Especificaciones físicas.....	13
Tabla 6. Contaminantes para maíz	14
Tabla 7. Limite microbiológico para maíz	14
Tabla 8. Contenido de Humedad.....	45
Tabla 9. Propiedades físicas del maíz.....	48
Tabla 10. Luminosidad, índice de saturación de color (croma) y tono (hue)	54
Tabla 11. Propiedades químicas del maíz	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cultivo de maíz.....	1
Figura 2. Cultivo de maíz en crecimiento.	3
Figura 3. Estructura del grano de maíz (Garcia,2013)	3
Figura 4. Principales estados productores de maíz en México, (SIAP, 2010).....	6
Figura 5. Principales países productores de maíz. (SIAP, SAGARPA 2010).....	7
Figura 6. Mazorcas, granos mezclados.....	14
Figura 7. Maíz a granel (Grupo Narro, 2012)	19
Figura 8. Almacenamiento en sacos (Bolívar Qué Barato, 2012).....	21
Figura 9. Silos, Guanajuato, México (García Leños, 2007).....	22
Figura 10. Troja para almacenar maíz tradicionalmente en Yucatán (PESA, 2007)	23
Figura 11. Troja mejorada (Evisos , 2011)	23
Figura 12. Almacenamiento de granos en silos herméticos	25
Figura 13. Ataque característico de <i>Prostephanus truncatus</i> en mazorcas (García y col, 2007).....	30
Figura 14. Ataque de <i>Sitophilus zeamais</i> a grano de maíz almacenado (García y col, 2007).....	31
Figura 15. Maíz infectado por <i>Aspergillus sp.</i> (García y col, 2007)	33
Figura 16. Grano dañado por roedores (García Lara S. y col, 2007)	34
Figura 17. Cuadro metodológico	36
Figura 18. Limpieza de maíz	44
Figura 19. Fotografía de prueba de oxígeno en botes de tratamiento con contenido de humedad de 14%.	45
Figura 20. Porcentaje de oxígeno por contenido de humedad. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).....	46
Figura 21. Porcentaje de dióxido de carbono por contenido de humedad. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).	47
Figura 22. Maíz que se midió	49
Figura 23. Peso hectolítrico de los granos de maíz almacenados y el testigo. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, 0.05)	50
Figura 24. Balanza de peso hectolítrico.	51
Figura 25. Peso de mil granos por contenido de humedad. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).	51
Figura 26. pH por contenido de humedad. . Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).	52
Figura 27. Muestra de pH de grano de maíz almacenado herméticamente.	53

Figura 28. Muestra del colorímetro del grano de maíz almacenado herméticamente.....	55
Figura 29. Prueba de proteína por Microkjeldahl.....	56
Figura 30. Prueba de grasa por Soxhelt	57
Figura 31. Prueba de ceniza en granos de maíz almacenado herméticamente....	58
Figura 32. Grafica de micobiota para el grano de maíz almacenado herméticamente y el control.	60
Figura 33. Muestra de tratamiento con contenido de humedad de 16% reconocimiento de hongo.	62
Figura 34. Cuantificación de micobiota..	63
Figura 35. Porcentaje de germinación de los tratamientos de almacenamiento hermético y el control. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, 0.05)	64
Figura 36. Fotografías de germinación del grano de maíz, a) Control, b) rollos de todos los tratamientos, c) maíz que germino, fotografías de algunos rollos de los diferentes tratamientos. d) tratamiento de contenido de humedad de 14%, e) tratamiento de contenido de humedad de 16%, f) tratamiento de contenido de humedad de 18%.	65
Figura 37. Índice de acidez por contenido de humedad. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).....	67

ABREVIATURAS

AACC American Association of Cereal Chemists

AOAC Association of Official Analytical Chemists

Ácidos grasos libres (AGL)

CH% Porcentaje contenido de humedad

CIDAP Centro de Investigación, Documentación y Asesoría Poblacional

CIMMYT Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

CO₂ Dióxido de carbono

EDMA (European Diagnostic Manufacturers Association)

EU Unidad experimental

FAO Food and Agriculture Organization

INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Kg Kilogramos

O₂ Oxígeno

PH peso hectolítrico

pH Potencial hidrógeno

PESA Programa Especial para la Seguridad Alimentaria

SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación

SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

UNIGRAS Unidad de Investigación de Granos y Semillas de la UNAM

RESUMEN

El maíz es uno de los principales cultivos de cereales en México y en el mundo gracias a su fácil adaptación con variabilidad de temperatura y con patrones de humedad muy amplios. Por ello se ha convertido en un cultivo primordial, su importancia se debe a que es la base alimentaria de muchas familias y también porque se destina al consumo animal, se vuelve necesario el aseguramiento de abastecimiento de grano de maíz y que generen la seguridad alimentaria. El almacenamiento del grano de maíz se ve afectado por factores bióticos (humedad, temperatura, etc.) y abióticos. Ya que el grano de maíz es un organismo vivo continua con su proceso fisiológico de respiración durante su etapa de almacenamiento generando calor, y humedad, favoreciendo otros organismos vivos como los hongos, esto causa daños sobre la calidad del grano de maíz. Existen muchos métodos de almacenamiento, para prolongar el tiempo y mantener los atributos de calidad del grano de maíz, como bodegas de concreto, almacenamiento en cuartos fríos, humedades controladas, y nuevas alternativas de almacenamiento hermético, el cual modifica el ambiente interno limitado el intercambio de oxígeno, generando un aumento de CO₂ debido de la respiración del grano de maíz, lo que permite mantener este cereal para conservar las características de calidad, como son daños por hongos insectos y humedad del grano. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto sobre la calidad del grano de maíz con diferentes contenido de la humedad (14,16 y 18 %) a temperatura de 25 °C por un periodo de 3 meses y un control. Se realizaron pruebas físicas, fisicoquímicas, contenido de humedad, pH y color, químicas, proteínas, grasa, cenizas; cuantificación de microorganismos, y fisiológicas, germinación para conocer la influencia del almacenamiento hermético y del contenido de humedad en la calidad del grano de maíz. El contenido de humedad se determino por medio del método general (por estufa), el análisis químico proximal se determino de acuerdo a los métodos oficiales por la AOAC (2000), germinación por medio del método entre papel. Se utilizó un diseño completamente al azar, cada tratamiento con tres repeticiones. Estos tratamientos no presentaron diferencia significativa con referencia al grano de maíz control, respecto a la calidad química, fisicoquímica. Sin embargo el contenido de humedad de 14% presento mayor porcentaje de germinación, a diferencia del contenido de humedad de 16 y 18. En ningún tratamiento se presentó desarrollo de contenido de hongos de almacén, a excepción del contenido de humedad de 16%, esto debido que la disminución de oxígeno pudo haber sido más lenta porque los botes no se llenaron completamente, y con las condiciones adecuadas de humedad, lo cual permitió suficiente tiempo para que se desarrollara el hongo. Sin embargo tampoco hubo diferencia significativa en la calidad del aceite del grano de maíz, en los tratamientos evaluados. Se demostró que la atmosfera del almacenamiento hermético permitió conservar aceptablemente el maíz hasta por tres meses. Por lo que el almacenamiento reduce las pérdidas de calidad del grano durante el almacenamiento hermético de maíz.

Palabras claves: *grano, maíz, almacenamiento – hermetico, calidad*

INTRODUCCIÓN

En México no existen estadísticas precisas sobre el nivel de pérdidas poscosecha en grano y semilla, los factores adversos a la preservación pueden ser disminuidos con tecnologías simples y adecuadas como es el caso de los silos metálicos herméticos (Moreno, 1995; Rosas. y col, 2007).

El almacenamiento adecuado permite asegurar la conservación del grano para mantener su calidad, y se pueda disponer de ella en el momento y la cantidad necesaria (FAO, 1993a). Los factores determinantes para la conservación del grano o semilla son el control de la humedad del grano, y la temperatura del ambiente (Serna-Saldivar, 1996). Sin embargo, las condiciones húmedas y las limitaciones económicas evitan un secado rápido a niveles de humedad seguros (14% o por debajo), en las zonas rurales, sobre todo en las húmedas, la conservación del maíz es difícil por la falta de estructura adecuada de almacenamiento y debido a la alta humedad proliferan los hongos y los insectos, afectando la calidad nutricional del grano (Moreno, 1990). Por otra parte, son más fáciles de procesar los granos de maíz a contenidos de humedad más altos. Por lo que, se busca una tecnología que permita el almacenamiento de maíz a contenidos de humedad mayor, garantizando su protección contra microorganismos (En torno al 18%).

Las pérdidas de poscosecha de los granos alimenticios se deben al manejo inadecuado de los granos desde la cosecha hasta su destino final, una de las causas son los hongos de almacén que aceleran la pérdida del grano y algunas especies pueden producir toxinas (Moreno, 1990; FAO, 1993b).

La mayoría de las estructuras de almacenamiento a nivel rural no cuentan con todos los elementos para proteger el grano de maíz de plagas o de efectos del clima, los cuales aceleran el deterioro del maíz. Debido al almacenamiento empleado en los medios rurales, que prácticamente no han evolucionado, las cuales facilitan el deterioro de los granos de maíz; por ello se han realizado diferentes métodos de almacenamiento e investigaciones de almacenamientos

adecuados, silos con sistemas de aireación, y la calidad del producto durante el almacenamiento que determina su conservación; bajo condiciones ambientales favorables con la finalidad de reducir el deterioro del grano de maíz.

El deterioro del grano de maíz se puede evaluar a través la observación del desarrollo de hongos, incremento de acidez, alteración de las propiedades químicas y físicas.

El maíz (*Zea mays*) es el tercer cereal de mayor importancia en la nutrición humana, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO,1993b), es considerado una fuente importante de energía por su aporte nutrimental por el gran contenido de carbohidratos representando el 75% de los constituyentes químicos, con un contenido de almidones de 72.4%, de ahí su alto valor alimenticio y por ser el cereal con que aporta un gran número de proteínas hasta del 9% (Castañeda 1990). En México es el alimento de mayor importancia, siendo una fuente energética importante en la dieta de los sectores mayoritarios de la población (González, 1995), se consume en forma de atoles, tamales, pozoles y tortillas, entre otros.

El valor alimenticio, económico e industrial de granos de maíz exige cuidados especiales en el almacén para garantizar la conservación de su calidad; los agricultores y comerciantes de granos deben encontrar formas adecuadas para mantener y llevar sus productos, desde la temporada en que son producidos, hasta el momento en que serán utilizados (Weinberg, 2008).

Con este proyecto se pretende generar conocimientos útiles para aminorar las costosas pérdidas de los granos durante almacenamiento. Estudiar la calidad física, fisiológica y química del grano almacenado herméticamente.

CAPITULO I

1. ANTECEDENTES

1.1. Maíz

El maíz (*Zea mays L*) es un alimento muy completo, aporta numerosos elementos nutritivos, energéticos y es importante fuente de vitaminas y minerales dentro de la dieta humana y animal (SIAP, SAGARPA, 2004).

El maíz, es una planta herbácea de la familia de las gramíneas, de producción mundial, se adapta fácilmente que permite su cultivo en diferentes países (FAO, 1993a) Es una planta anual, alta tiene un sistema radicular fibroso, su especie se reproduce por polinización cruzada de la flor femenina (elote) y la masculina (espiguilla). Las cuatro estructuras física fundamentales del grano de maíz son el pericarpio, que se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda endospermo, germen o embrión y cofia o pedicelo (Burge y Duensing, 1989; INTA, 2006).

La diversidad de los ambientes bajo los cuales se cultiva el maíz es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo. Se puede adaptar a ambientes desérticos hasta extremadamente húmedos (Ripusudan y Granados, 2001)

México produjo el 2.7% del maíz en el mundo (23 millones de toneladas en 2010), Figura 1, siendo el cuarto productor a nivel global, después de Estados Unidos, China y Brasil. Cada mexicano consume, en promedio, 123kg de maíz anualmente, cifra muy superior al promedio mundial (16.8 kg per cápita). (SIAP, SAGARPA, 2010).



Figura 1. Cultivo de maíz

1.1.1. Origen del maíz

El maíz es un cultivo de aproximadamente 7000 años de antigüedad, que se cultivaba por las zonas de México y América central (Ortas, 2008). Ortas (2008) señala que México fue el centro primario de su origen, domesticación y dispersión; actualmente su cultivo está muy difundido por muchos lugares del mundo, en especial en toda Europa, también en América, E.U. es otro de los países que destaca por su alta concentración en el cultivo de maíz.

El cultivo del maíz tuvo origen en América Central, en México, de donde se difundió hacia el norte y sur (FAO, 1993a; Serratos, 2009). Muchos investigadores creen que el maíz se originó en México (Ortas, 2008). El hallazgo de polen fósil y de mazorcas de maíz en cuevas en zonas arqueológicas es la evidencia más antigua del maíz como alimento humano que proviene de lugares arqueológicos en México.

Dependiendo de la región donde crezca, *Zea mays* recibe también en español nombres como oroña, zara, millo, mijo o panizo. En México, las mazorcas maduras, pero frescas son llamadas elote que viene del nombre náhuatl elotl, figura 2. El nombre náhuatl del maíz, *tlayoli*, todavía es de uso común en Oaxaca (Castañeda, 1990)

Diversos factores fueron los que favorecieron la variedad y evolución del maíz: las migraciones humanas, la selección natural, el cruzamiento entre variedades diferentes, entre otros. Se le considera un cereal de la familia de las gramíneas, que se caracterizan por su alto contenido de almidones (72.40%), de ahí su alto valor alimenticio ya sea para consumo humano como para forraje. El grano maíz, está compuesto por: grasa (4.70%), Proteína (9.60%), cenizas (1.43%), azúcares (1.94%) y fibra (9.93%) (Castañeda, 1990)



Figura 2. Cultivo de maíz en crecimiento.

1.1.2. Estructura del grano de maíz.

Las variedades cultivadas más comunes de maíz para la alimentación humana son, el maíz dulce, dentado, reventado, harinoso y el cristalino. El tipo dentado tiene endospermo duro y la parte central es blanda. El maíz harinoso tiene endospermo blando. El maíz tipo cristalino tiene endospermo grueso y duro, con centro pequeño, los maíces en esta conformación son, granulosos y amiláceos (FAO, 1993b). El maíz reventado es duro con endospermo duro, los granos son pequeños con pericarpio grueso (INTA, 2006; Ripusudan y Granados, 2001).

El grano de maíz, está formada por cuatro estructuras físicas fundamentales que son: pericarpio, endospermo, germen y cofia o pedicelo. En la Figura 3 se muestra la estructura del maíz.

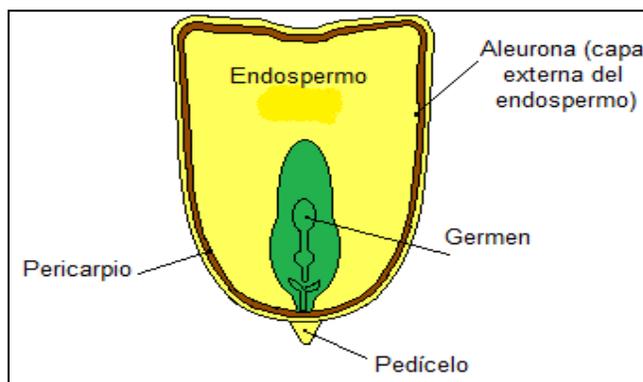


Figura 3. Estructura del grano de maíz (Garcia,2013)

Pericarpio: es la capa protectora dura y fibrosa, mide de 60-140 μ m; se conoce como testa, o cáscara; su función es de protección al embrión, evita que ingresen los hongos y bacterias; formado de varias capas como: epicarpio, mesocarpio, células cruzadas, células tubulares y la testa. Representa el 5% del peso total del grano, constituido principalmente por fibra, aproximadamente 87%, a su vez formada de celulosa (23%), en la matriz de hemicelulosa (67%), lignina (0.15%) y en menor proporción se encuentran las proteínas, pectinas, almidón, grasas, y lignina (Burger y Duensing, 1989; Martínez y col, 2001).

Endospermo: es tejido de reserva de la semilla, alimenta al embrión durante la germinación, dividido en endospermo calloso córneo y endospermo harinoso este contiene gránulos de almidón en una matriz de proteína, comprendido por zeína y glutelina. De acuerdo a Watson y Ramstad, (1987) el endospermo constituye del 80-85% del peso total del grano, está formado por un nivel elevado de almidón (87%), contiene proteína(8-9%), fibra cruda principalmente hemicelulosas (2%), grasa (1%), azúcares (0.5%), y elementos traza (0.3%).

Germen: compuesto por el embrión y escutelo; este último es un órgano nutritivo del embrión; contiene elevados porcentajes de grasas, hasta un 33% y un alto nivel de proteínas aproximado a 20% y minerales. El germen es el mejor depósito de lípidos contiene 83% del total de lípidos del grano (Watson, 1988). Situado en la parte más baja del grano, ocupa de 9 al 12% del peso total del grano, su principal función es convertirse en embrión para generar una nueva planta. Es rico en vitaminas y nutrientes esenciales, los ácidos grasos presentes son: linoléico 50-60%, oleico 25-30%, palmítico 7-10%, esteárico 3-4%, y mirístico 1-2%. (Watson, 1988). También contiene el 70% del azúcar del grano y de proteína hasta un 26% (gluteína y globulina) en el embrión, y su contribución a la proteína del grano entero es de 15% (Benítez y Pfeiffer, 2006)

Pedicelo: es la parte que une al grano de maíz con el olote, se compone básicamente de celulosa, Constituye un 0.8% del peso total del grano (Inglett, 1970; Watson, 1988). Es la punta del grano, donde se transportan los nutrientes

para el desarrollo del grano. Dentro de la punta hay células esponjosas, conectadas en la parte terminal de las ramas formando una estructura abierta que es continua con la capa de células cruzadas. Esta estructura es responsable de la absorción de líquidos del pericarpio (Jackon y Shandera 1995). En la Tabla 1 se presenta la distribución de las principales partes del grano de maíz.

Tabla 1 Distribución ponderal de las principales partes del grano de maíz.

Estructura	Distribución ponderal (%)
Pericarpio	5-6
Aleurona	2-3
Endospermo	80-85
Germen	10-12

Fuente: FAO, 2001

Existe una capa negra, se encuentra contra la base del germen y del endospermo que permite el sellado de la punta al grano y sirve de barrera para proteger al grano contra la invasión de insectos y microorganismos. La aparición de la capa negra coincide con la maduración del grano (Watson y Ramstad, 1987)

La distribución ponderal de las distintas partes del grano se indica en la tabla 1, cabe mencionar que estas partes principales del grano difieren dependiendo del tipo de grano, la distribución se resume de acuerdo a la (FAO 2001).

1.1.3. Producción y consumo de maíz

1.1.3.1. Producción de maíz

El maíz a nivel mundial representa 54% de las fuentes alimenticias de la población humana. En México es el alimento de mayor importancia, siendo una fuente energética importante en la dieta de los sectores mayoritarios de la población (González, 1995). Para la producción de maíz en México se ocupa aproximadamente la mitad de superficie destinada a la agricultura, es el cultivo de

mayor tradición social y cultural, más de una tercera parte de los agricultores se dedican a la producción de maíz.

De acuerdo a los datos de SAGARPA en el 2010 el volumen de producción fue de 23 millones 301mil 879 toneladas, los principales estados productores de maíz en México son: Sinaloa, ocupando el primer lugar de producción con 5.2 millones representando el 22.4%, seguido de Jalisco con 3.2 millones de toneladas y 14.6% de participación, seguido del estado de México con 1.4 millones de toneladas y 7% en participación, En la Figura 4 se muestra los principales estados productores de maíz en México en el 2010.

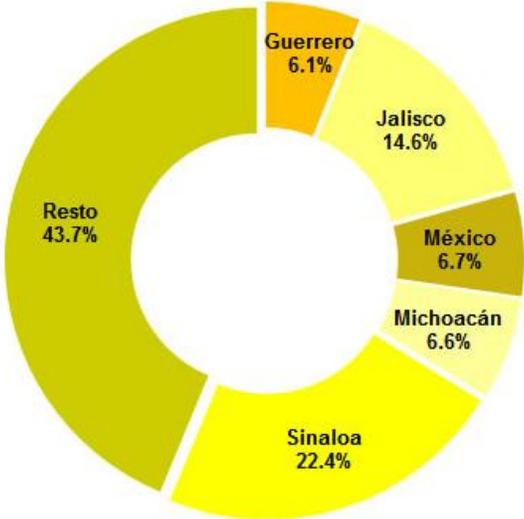


Figura 4. Principales estados productores de maíz en México, (SIAP, 2010)

1.1.3.2. Consumo de Maíz

De acuerdo a los datos de SIAP y SAGARPA el maíz es uno de los cereales más consumidos a nivel mundial, siendo estados unidos el país de mayor consumo seguido por China y Brasil, dejando a México en cuarto lugar. Sin embargo cabe resaltar que estos tres primeros países mencionados destinan el maíz para consumo animal a diferencia de México que destina menos de la mitad de este

cereal al consumo pecuario, y su principal uso es a consumo humano (SAGARPA, 2013).



Figura 5. Principales países productores de maíz. (SIAP, SAGARPA 2010)

De acuerdo a SIAP, SAGARPA, cada mexicano consume, en promedio, 123kg de maíz anualmente, cifra muy superior al promedio mundial (16.8 kg per cápita). El maíz se consume principalmente como alimentos tradicionales: atole, tamales, tortilla, pinole (harina de maíz, azúcar y agua), botanas, frituras, cereal para desayuno, gomas, bebidas alcohólicas como chichas que son fermentos de grano. Por otra parte la Secretaria de Economía (2012) comenta que el maíz también se destina a uso industrial, siendo útil para elaborar féculas y como almidón el cual es utilizado como insumo en la industria química, textil, alimentaria, entre otras. Otro uso que se le da es en la producción de alimentos para animales como insumo utilizado para alimento balanceado para mascotas y el sector pecuario.

1.1.4. Composición química y valor nutritivo

Debido a la ingesta elevada de maíz y productos derivados de este, se le considera importante fuente de energía, proporcionada por el almidón y también suministra cantidades notables de proteína y otros nutrimentos.

La composición química del grano de maíz está conformada por carbohidratos (almidón), proteínas, fibra cruda, grasa, agua, minerales y vitaminas (Inglet, 1970), lo que a su vez varía debido a las diferentes razas, tecnología del cultivo y clima (Castañeda, 1990). El pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, El endospermo, contiene un nivel elevado de almidón, con aproximadamente 8% proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo. En la tabla 2 se muestra la composición química proximal de algunas variedades en porcentaje de acuerdo a la FAO (1993b).

Tabla 2. Rango de la composición aproximada del maíz.

CARACTERÍSTICAS	AMPLITUD
Humedad (%)	7-23
Almidón (%)	61-78
Proteína (%)	6-12
Grasa (%)	3,1-5,7
Cenizas (%)	1,1-3,9
Fibra detergente neutra (%)	8,3-11,9

Fuente: White y Pollak (1995)

Los granos están constituidos por una sustancia sólida, y por cierta cantidad de agua. La materia seca está formada por proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y cenizas (FAO, 1993). El contenido de humedad varía de acuerdo al tipo de grano, a su composición, condiciones climáticas, la temperatura del ambiente (Méndez M. y col, 2005)

El contenido de humedad es importante ya que si es mayor al 15.5% durante su almacenamiento crecen hongos y producirse pérdidas importantes (Watson y Ramstad, 1987; Vázquez, 2010).

La Organización Mundial de la Salud considera que es necesaria la ingesta adecuada de carbohidratos por los beneficios otorgados, es el principal aporte energético, necesario para el funcionamiento del organismo, ayuda al funcionamiento intestinal, al desarrollo muscular y de actividad física, además de apoyar la función cerebral.

El maíz está principalmente compuesto de almidón del cual el 98% se encuentra en el endospermo, aunque también se encuentra en el embrión, el germen y la punta. Básicamente el contenido de almidón del grano entero es de 72-73% del peso seco del maíz (Inglett 1970; Watson y Ramstad, 1987; Castañeda, 1990).

El granulo de almidón contiene amilosa y amilopectina, aproximadamente un 27% de amilosa, una molécula que establece largas cadenas lineales formada aproximadamente por 1000 unidades de glucosa), y un 73% de amilopectina es una molécula ramificada que posee aproximadamente 40 000 o más unidades de glucosa (Inglett, 1970; Badui, 2006; Paredes López y col, 2008).

El valor nutritivo y calidad del maíz se define en gran medida por el contenido de sus proteínas, establecidas por el contenido de aminoácidos esenciales (Paredes López y col., 2008). Los aminoácidos esenciales no los puede sintetizar el humano por lo que deben ser incluidos en la dieta.

En las variedades comunes de maíz el contenido de proteínas está entre 8 y 11%, su mayor parte se encuentra en el endospermo (75 a 85%) (Mendoza y col, 2006), El maíz contiene cuatro tipos de proteínas que son: a) fracción de proteínas solubles en agua, constituida por albumina y globulina; b) fracción de proteína soluble en alcohol, constituida por prolaminas o zeínas que representa entre el 50 y 60 % del total de proteína del endospermo, considerada como la proteína de reserva más importante, ya que sirve como fuente de nitrógeno para la germinación de la semilla; la zeína es rica en prolina, glutamina, leucina y alanina; c) fracción de proteínas solubles en soluciones alcalinas, representa el 1% de la proteína del grano (Benítez y Pfeiffet, 2006). El principal tipo de proteínas son las prolaminas aunque estas son de calidad nutricional baja ya que son deficientes en aminoácidos esenciales lisina (1.8-2%) y triptófano (0.6-0.8%) de la proteína total respectivamente (Hoseney, 1991).

En cuanto al contenido de lípidos el grano de maíz contiene aproximadamente 5% de lípidos. El 80% de los lípidos se encuentran en el germen y una pequeña

cantidad de fosfolípidos y glucolípidos se encuentran distribuidos en el endospermo del grano (Benítez C. y Pfeiffet, 2006).

El aceite de maíz contienen ácidos grasos saturados: ácido palmico (12%) y esteárico (2%), también contiene ácidos grasos poliinsaturados, fundamentalmente ácido linoléico (50%) (Benítez C. y Pfeiffet, 2006). De acuerdo a Inglett (1970) el grano de maíz también contiene ácidos grasos en menor proporción como el oleico (27%), linolenico (0.8%) y araquidónico (0.2%).

El contenido de ácidos grasos saturados es relativamente bajo comparado con los ácidos grasos no saturados; el ácido linoleico es uno de los ácidos grasos esenciales para la nutrición del ser humano (Paredes López y col, 2008). En la tabla 3 se muestra la composición química proximal de las partes principales del grano de maíz de acuerdo a la FAO (1993).

Tabla 3. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz

Componente químico	Grano entero (%)	Pericarpio (%)	Endospermo (%)	Germen (%)
Almidón	72.4	7.3	87.6	8.3
Proteínas	9.6	3.7	8.0	18.4
Grasas	4.7	0.98	0.86	34.4
Fibre cruda	2.66	86.7	2.7	8.8
Azúcar	1.94	0.34	0.62	10.8
Cenizas	1.43	0.8	0.3	10.5

Fuente: FAO (1993a)

El porcentaje de minerales en el grano de maíz varía dependiendo del tipo de suelo, riego y fertilización entre otros, El germen es relativamente rico en minerales aporta casi el 78% de todos los minerales del grano, también se encuentra un poco en el endospermos, menos del 1% (Benítez C. y Pfeiffet, 2006). Los minerales más abundantes en el maíz son el fósforo, potasio y magnesio.

El maíz contiene dos vitaminas liposolubles, la provitamina A (caroteno) y la vitamina E; también vitaminas hidrosolubles: tiamina, riboflavina, biotina, niacina, ácido pantoténico, ácido fólico y piridoxina (Watson y Ramstad, 1987). La mayoría

de los carotenoides se encuentra en el endospermo duro del grano y en pequeñas cantidades en el germen, pero estos pueden ser destruidos durante el almacenamiento (Benítez C. y Pfeiffet, 2006) También Watson y Ramstad (1987) señala que el contenido de carotenoides es variable en el maíz y se degrada gradualmente por oxidación durante el almacenamiento.

1.1.5. Calidad del maíz

La calidad de un producto se puede definir como la aptitud que tenga ese producto para cumplir con un determinado fin (Reducción de pérdidas, 2013). La calidad del grano del maíz depende de su constitución física, determinando textura y dureza; y de su composición química, que define el valor nutricional, que a su vez las diferencias en su estructura y composición dependen de cómo se cultivó, de las prácticas de manejo, el clima, suelo, métodos de cosecha y pos cosecha. La importancia de las características dependerá del destino que se le dé al grano de maíz (Díaz Coronel, 2009; INTA, 2006)

El análisis de calidad de los granos es importante debido a que permite catalogar el grano, de acuerdo a esto determinar el valor económico del grano, definir su uso, ya sea para consumo humano, animal o uso industrial. También es importante para adoptar las medidas de su almacenamiento, ya que las condiciones de calidad del grano permiten definir como se deberá almacenar y las medidas preventivas para evitar pérdidas de calidad en el almacenamiento (CIDAP, 2011).

De acuerdo a lo descrito Bustamante (2010) define la calidad de maíz como conjunto de sus atributos que involucran cuatro factores: genéticos, físico, fisiológico y sanitario.

Calidad fisiológica. Para el grano de maíz se evalúa la germinación del grano (Rosas, y col, 2007) debido a a las condiciones de almacenamiento algunos granos pueden germinar, estos se identifican a simple vista, debido a que

presentan el germen abierto, raíces o vestigios de nueva plántula (Vásquez, 2010; García y col, 2007).

Calidad física: se refiere a su tamaño, peso, uniformidad, también la pureza, ausencia de otros granos, y sin presencia de materia extraña (Salinas y col, 2013).

Calidad sanitaria: se refiere a la ausencia de todo agente que causa infección o infestación en el grano de maíz, como hongos, bacterias, insectos, entre otros (Bustamante, 2010).

Los análisis recomendados son: análisis organolépticos o sensoriales, homogenización, contenido de humedad. Posteriormente se realiza un análisis selectivo de granos que consiste en eliminar los granos dañados y/o quebrados, y materia extraña, que afectan la calidad y el valor comercial del grano (CIDAP, 2011).

La Norma de calidad para la comercialización del grano de maíz NMX-FF-34/1-SCFI.2002, menciona que no debe presentar olores objetables, granos amohosados se considera fuera de estándar, granos dañados, quebrados y materia extraña. La tolerancia máxima de granos dañados es de 3%, para maíz amarillo 5% y para blanco hasta 8%.

Los siguientes factores que se contemplan para verificar la calidad del granos de maíz se obtuvieron según Vásquez (2010), NMX-FF-034/1-SCFI-2002, CIDAP, (2011).

Se hace un análisis organoléptico, usando la vista, el olor, oído y tacto, si se observan irregularidades como excretas de roedor, infestación de insectos, enmohecimiento, materia extraña, se debe rechazar el lote (CIDAP, 2011) El grano debe tener un olor característico al grano sano, y rechazar el que contenga olores comercialmente objetables como los producidos por contaminación de productos químicos, insecticidas, fertilizantes; rancidez, o cualquier olor que no lo haga apto. (Vásquez B, 2010 NMX-FF-034/1-SCFI-2002). El peso hectolítrico es

una medida que se relaciona con las características de calidad del grano, ya que el grano que contiene alto grado de impurezas o daños es más liviano, por tanto tiene un peso por hectolitro menor (CIDAP, 2011)

Se debe de eliminar los granos de maíz dañados, estos son los granos o fracciones de estos que son afectados por insectos, microorganismos, roedores o cualquier agente que cambie las características originales del grano (González, 1995), los daños por Insectos, en granos de maíz presentan perforaciones originadas por insectos. Por otra parte los daños por microorganismos son los granos que contengan colonias de hongos afectando al grano; los daños por roedores son granos que presentan mordeduras. Otros daños pueden ser por calor, obteniendo una coloración café en el embrión y endospermo. (Vázquez, 2010). Al igual que eliminar la materia extraña que son granos o pedazos de granos que no son de maíz u otra materia inerte, en la tabla 4 se muestra el límite máximo de impurezas de acuerdo a CIDAP (2011)

Tabla 4 límites máximos de impurezas y daños en el maíz

Producto	Impurezas (%)	Daño (%)
Maíz nacional	1.0	2.0
Maíz importado	2.0	2.0

Fuente: CIDAP (2011)

De acuerdo a la NOM-247-SSA1-2008, otras especificaciones sanitarias, físicas, se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones físicas

Determinación	Límite máximo
Humedad	15%
Materia extraña	No más de 50 Fragmentos de insectos, no más de un pelo de roedor y estar exentos de excretas, en 50 g de producto.

Fuente: NOM-247-SSA1-2008

La norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 menciona que el maíz no deberá presentar cantidades de microorganismos o sustancias generadas por ellos, que signifiquen un riesgo para la salud. Respecto a las aflatoxinas, los granos de maíz destinados al consumo humano, deben cumplir las tolerancias referentes a aflatoxinas producidas por los hongos *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus* y *A. nomius* determinadas por la Secretaría de Salud, los límites contaminantes se muestran en la tabla 6 y microbiológicos en la tabla 7.

Tabla 6. Contaminantes para maíz

Determinación	Límite máximo
Aflatoxinas	20 µg/kg

Fuente: NOM-247-SSA1-2008

Tabla 7. Limite microbiológico para maíz

Determinación	Hongos UFC/g
Harina de maíz	1000

Fuente: NOM-247-SSA1-2008

A pesar de que se han establecido características del grano, no son reconocidas por todos los países productoras de maíz en Estados Unidos una de las categorías de clasificación y calidad del grano abarca la clase de maíz, como amarillo, blanco y mezclado. Siendo que el amarillo no debe contener más de 5% de otros granos, el blanco no debe contener más del 2% de otro tipo de grano y los mezclados contienen más de 10% de otro grano, figura 6.



Figura 6. Mazorcas, granos mezclados.

1.2. Almacenamiento

Una vez que los granos son cosechados, antes de ser usados generalmente son almacenados. El almacenamiento surge de la necesidad de conservar el maíz para la siembra y para su comercialización y posterior consumo. El almacenamiento tiene el fin de concentrar la producción en lugares estratégicamente seleccionados (Molinera el globo, 2010). Por lo tanto el principal objetivo del almacenamiento es guardar el alimento con la finalidad de contar con semilla y grano para poder disponer de el posteriormente; y mantener su calidad, fisiológica, física y sanitaria con el menos daño posible hasta su entrega (Vázquez B, 2010; Valdivia, 2011).

Es de gran importancia para evitar el deterioro de la calidad del grano una cosecha limpia, acondicionar (secar) el grano, eliminar plagas y capacitar al personal a cargo del cuidado del grano, (Moreno y col, 1995). Al controlar la humedad y temperatura, para acondicionar el grano, se podrá disponer de un grano que conserve lo mejor posible sus características iniciales, de lo contrario el grano se hace propenso al ataque de insectos y hongos (Rosas I. y col, 2007).

Algunas pérdidas cualitativas por el mal almacenamiento afectan en la calidad física como es; cambios en la apariencia del grano, perdida de germinación, algunas son difíciles de detectar visualmente como la degradación nutricional (Weinberg y Yan, 2007) Las perdidas cuantitativas son un poco difíciles de estimar debido a que varían por región y por años. En México, las pérdidas cuantitativas, cerca de un 10%, se deben a la falta de un sistema eficiente de post-cosecha, ya que el origen de los problemas de post-cosecha de maíz comienza en el momento de la cosecha, al secar el grano de manera inadecuada, manejando granos con alto contenido humedad hasta de 20% en zonas tropicales (Rosas y col., 2007)

Para lograr una buena calidad final de grano es necesario a partir de una buena calidad inicial, ya que los granos alcanzan el máximo de calidad fisiológica, por lo que a partir de ese momento la calidad comienza a deteriorarse de acuerdo a las

prácticas de manejo y de almacenamiento. Es importante aclarar que el almacenamiento nunca mejora la calidad inicial de los granos, y que los parámetros utilizados para establecer la calidad de los diferentes granos deberían seleccionarse de acuerdo al uso final de los mismos (Moreno, 199; Reducción de pérdidas, 2013).

1.2.1. Características y cambios del grano almacenado

Los cambios físicos y químicos pueden comenzar antes de que se haga la cosecha, ya que los granos son materias vivas que respiran, liberan calor y agua, absorben humedad. Las condiciones adecuadas de almacenamiento pueden retardar los cambios de deterioro (Vázquez, 2010; Hernández y col., 2009).

Durante el almacenamiento, la energía y agua producida de la respiración se va acumulando, formando focos de calentamiento que son los principios que dan paso al deterioro del maíz almacenado (Hernández y col., 2009).

El oxígeno es absorbido y los compuestos orgánicos, especialmente carbohidratos y grasas son oxidados con la formación de dióxido de carbono, agua y calor, muchos investigadores suponen que los carbohidratos son el principal material consumido (Vázquez, 2010). La respiración total en la masa de grano puede provenir de la combinación de diferentes factores: como son los hongos, insectos y el grano, por lo que es difícil determinar la respiración real del grano.

El calentamiento del grano es resultado de la actividad respiratoria, este calentamiento ocurre cuando la respiración excede la capacidad del grano para disiparlo, a contenidos de humedad bajos (menos del 14%) el calor producido por la respiración es disipado y la temperatura no aumenta, a mayor contenido de humedad el grano infestado por insectos y hongos, causan el aumento de temperatura (Vázquez, 2010). También los microorganismos causan calentamiento del grano almacenado, ya que durante el calentamiento se ha observado presencia de hongos, existe un aumento de respiración sobre ciertos niveles críticos de humedad con un desarrollo poblacional de microorganismos.

Los cereales y sus productos son una fuente importante de vitaminas, son buenas fuentes de tiamina, niacina, pirodoxina, inositol, biotina, vitamina E, y la vitamina A solo está presente en el maíz amarillo (Vázquez, 2010). En condiciones adecuadas de almacenamiento no hay gran pérdida de tiamina y vitamina E. Las pérdidas significativas de tiamina están relacionadas al tiempo, temperatura y humedad.

1.2.1.2. Deterioro en el grano de maíz almacenado

El deterioro del grano no se puede evitar completamente, al ser un ser un organismo vivo respira como cualquier otro, como consecuencia hay perdidas del grano. Los factores que influyen en el deterior son: almacenamiento inadecuado, alto contenido de humedad, alto contenido de impurezas, plagas (insectos, hongos, roedores), granos de mala calidad, manejo inadecuado (grano seco inadecuadamente), largo tiempo de almacenamiento, condiciones ambientales adversas y el personal capacitado.

Un indicativo de deterioro es el aumento de temperatura, este se debe al calentamiento espontáneo del grano almacenado, también al percibir olores a moho, o agrio, estos olores pueden transmitirse al producto que se vaya a elaborar por ejemplo a la harina. La coloración de germen y partes del endospermo de rojo oscuro caoba, indican deterioro, se esto se debe a los hongos, algunos otros granos pueden estar dañados del germen, que muestran abertura del pericarpio, estos son dañados por insectos (Vázquez, 2010).

A contenidos de humedad de 15% en cereales almidónosos, el contenido total de azúcares aumenta provocando el deterioro de los carbohidratos, dependiendo de las condiciones de almacenamiento y el contenido de humedad,. Estas mismas condiciones que favorecen la descomposición del almidón también favorecen la actividad respiratoria, convirtiendo los azúcares en dióxido de carbono, por lo que el agua y el peso seco se reduce. El maíz dañado por calor o por hongos produce

solamente el 45% de almidón en la molienda húmeda, la viscosidad del almidón se reduce (Vázquez, 2010). El contenido de ácidos grasos libres es otro indicativo de deterioro, los valores de ácidos grasos libres (AGL) en cereales sin daño se presentan en un rango de 20 a 25 y en el maíz deteriorado son de 250 (AGL) (Vázquez, 2010). De acuerdo al Programa Especial para la Seguridad Alimentaria, (PESA, 2007) el deterioro de los granos almacenados es un proceso complejo, es un proceso lento y al principio poco perceptible. Si las variables físicas, químicas y biológicas, son favorables a la actividad biológica del grano y de los otros organismos vivos que habitan en el medio se dará un deterioro rápido.

1.2.2. Tipos de almacenamiento en maíz

Se clasifica el almacenamiento de acuerdo a la atmósfera donde sean guardados los granos: A) atmósfera normal, se refiere al almacenamiento en el que el aire que rodea a los granos prácticamente tiene la misma composición que el aire atmosférico. Este tipo de almacenamiento más común y dentro de éste se encuentran los sistemas como: Silos de concreto, bodegas planas, trojes rusticas (INTA, 2007). B) Almacenamiento en atmósfera modificada, con el uso de gases como el nitrógeno, y el dióxido de carbono, lo que da lugar a un sistema de almacenamiento, en el que se modifica la atmósfera interior del lugar donde se almacenan los granos, con el fin de restringir la disponibilidad del oxígeno y así disminuir los procesos de respiración de los hongos e insectos (INTA, 2007; Reduccion de pérdidas, 2013)

1.2.2.1. Granel

El almacenamiento a granel es una práctica común, se trata del almacenamiento de los productos sueltos, es decir, de aquellos que no están estructurados en forma de unidades de carga, ver Figura 7. Estos productos se almacenan formando montones. Los almacenes utilizados pueden ser cubiertos o estar al aire

libre, depende de las características del material que se debe almacenar y de su capacidad de resistencia ante los efectos climatológicos.

Las industrias necesitan almacenar grandes cantidades granos, el almacenamiento a granel es una práctica común, donde el maíz se apila. Sin embargo, en estas pilas descubiertas se produce polvo y contaminación por acarreo de sustancias a través del agua de lluvia y los silos generalmente son muy pequeños y costosos. Es importante poner atención en este tipo de almacenamiento, ya que se debe de tomar en cuenta la humedad, la temperatura y el tiempo, calor que se pueda producir en los granos (Croston A., 2012), por lo que se necesita un sistema de enfriamiento eficiente antes de que los granos a los contenedores destinados al lugar para almacenar a granel, para un correcto sistema de almacenamiento se necesita un acondicionamiento apropiado que asegure la seguridad del grano.

Algunas organizaciones que desean cubrir sus almacenes, han encontrado una solución económicamente viable que son los domos (Geométrica, 2000). El maíz es apilado son formadas por camiones de volteo, bandas transportadoras móviles, el grano queda colocado en el suelo. Las ventajas de este tipo de almacenamiento aparte de que es muy económico, se pueden almacenar cantidades grandes de maíz, es un método mecanizable, y la manipulación de granos es rápida, las desventajas son mayores ya que si el grano no está protegido puede verse afectado por el polvo y por las lluvias, la posibilidad de ataque por roedores aumenta y hay poca protección contra la infestación (SAGARPA, 2013).



Figura 7. Maíz a granel (Grupo Narro, 2012)

Otra manera de almacenar a granel son los depósitos y los silos, los depósitos son recipientes cilíndricos de hormigón o metal, son anchos y no tan altos, y los silos también son cilíndricos o cuadrados, formado de hormigón o metal, pueden ser abiertos o cerrados, a diferencia de los depósitos estos si pueden ser altos, existen silos que pueden almacenar 5 toneladas de granos o hasta 40, 000 toneladas (Grupo Narro, 2012).

Las instalaciones del almacenaje a granel se seleccionan en función a la capacidad de almacenamiento en volumen, el número y el tamaño de las cámaras para almacenar, el volumen de las operaciones (recepción, limpieza, almacenamiento, salida de granos), el rendimiento de los equipos de secado y de los dispositivos de ventilación; la organización del trabajo; la rentabilidad (FAO, 1993). Por lo que la complejidad de los procesos asociados al almacenamiento a granel también requiere personal especializado.

1.2.2.2. Sacos

Los sacos son fáciles de manejar, protegen a los granos contra insectos, son apropiados para fumigar cantidades pequeñas, su manejo es fácil, permiten la circulación del aire cuando estos se colocan apropiadamente y pueden almacenarse en la casa del agricultor, sin requerir áreas especiales, como se muestra en la Figura 8. Antes de utilizarse deben limpiarse perfectamente, deben estar secos y asegurarse de que no estén rotos. La humedad del maíz debe ser inferior al 9% especiales (Molinera el globo, 2010).

Las desventajas son que se pueden romper con facilidad, pueden ser destruidos por roedores. El maíz debe inspeccionarse al menos cada dos semanas, para revisar el calentamiento del grano, el olor, color, y si existe presencia de insectos. Si algún problema de este tipo se presenta, el grano debe vaciarse de nuevo, limpiarlo, secarlo y de ser necesario tratarlo con productos especiales (Molinera el globo, 2010).

Los sacos deben ser colocados sobre plataformas de, madera o de ladrillos, para evitar el contacto directo con el suelo, a través del cual se puede absorber

humedad, es recomendable dejar una separación con las paredes del almacén (Molinera el globo, 2010).



Figura 8. Almacenamiento en sacos (Bolivar Qué Barato, 2012)

1.2.2.3. Silos

Los silos están diseñados para almacenar todo tipo de granos, el silo es una barrera física contra ratas, insectos y animales domésticos, se puede almacenar granos por largo periodo de tiempo. Figura 9. Para el manejo del silo metálico se recomienda que el grano este limpio, seco menos de 14% de contenido de humedad, así como el silo debe estar limpio y ser colocado bajo techo para protegerlo de la lluvia, se debe evitar la exposición al sol, para que no provoque la condensación o sudor en el interior del silo (Valvidia, 2011). Ya que el grano almacenado húmedo, es invadido por microorganismos formando una masa compacta de grano caliente y descompuesto que es necesario sacar, ya que puede destruir el silo (Molinera el globo, 2010).

En este sistema de almacenamiento se debe fumigar (fosfamina o phostoxin, utilizando dos pastilla para cada tonelada). Las ventajas de este silo es que se puede construir en cualquier lugar, el material es fácil de conseguir, proporciona seguridad a los ataques de insectos, hongos y roedores, el tiempo de almacén es mayor en comparación con los otros sistemas tradicionales, y ocupa menos espacio (Valvidia, 2011; PESA, 2007).



Figura 9. Silos, Guanajuato, México (García Leños, 2007)

1.2.2.4. Trojes

Los depósitos rurales tradicionales conocidos como trojes se ocupan para almacenar mazorcas, destinado para autoconsumo, de acuerdo a sus necesidades diarias de consumo. La troje de madera es un depósito adecuado para almacenar mazorcas, pero para un almacenamiento seguro el maíz debe estar seco y proteger las mazorcas del sol, de la lluvia y estar bien ventilado. Además debe evitar la entrada de roedores o aves (Valdivia, 2011; PESA, 2007)

En la construcción de trojes el agricultor utiliza materiales típicos de la región y de bajo costo. Este sistema de almacenamiento no conserva el grano por periodos de tiempo mayores a un año. (SAGARPA, 2012) este tipo de almacenamiento presenta problemas como insectos, y la alta humedad del grano. De acuerdo a (Valdivia, 2011) en algunos lugares como en la Sierra Negra de Puebla, la Agencia de Desarrollo Rural Mextlali ha validado algunas técnicas para mejorar el manejo de las trojes tradicionales, entre las que destaca la aplicación de cal. el uso de la cal ha permitido reducir desde un 50% hasta un 80% la pérdida en poscosecha de mazorcas con hojas. Se utilizan 2 kg de cal por cada 50 kg de maíz en mazorca.



Figura 10. Troja para almacenar maíz tradicionalmente en Yucatán (PESA, 2007)

La troja mejorada con patas es una estructura de madera con techo de zinc, teja, o paja y protección anti-ratas, por estar elevada a 1 metro del piso. Se debe construir alejada de los árboles y paredes. Antes de almacenar, se rocían las paredes y techos por dentro y por fuera con insecticida ligeramente tóxico, se seleccionan las mazorcas, se entrojan las buenas y se aplica insecticida en polvo, capa por capa, conforme se va llenando la troja. Las ventajas de esta troja radica en que es una buena alternativa para el almacenamiento, su construcción es sencilla y se puede fabricar con madera rústica de la región, el agricultor puede disponer de grano de buena calidad para su alimentación (Valdivia, 2011)



Figura 11. Troja mejorada (Evisos , 2011)

1.2.3. Almacenamiento hermético

En este tipo de almacenamiento, se modifica la atmósfera interior del lugar donde se restringe la disponibilidad de oxígeno. El principio del almacenamiento hermético se basa en la eliminación del oxígeno, requerido para la vida de los insectos y hongos de almacén (Moreno M. R., 1991), en donde la composición del aire en el interior del recipiente se modifica por la fisiología del grano, en respiración conjunta con hongos e insectos. En el almacenamiento hermético no hay intercambio de aire con el exterior (INIFAP, 2008), controlando el desarrollo de los hongos e insectos y se evita el daño de los granos, al faltar el oxígeno, también, se evita la oxidación de los granos y se disminuye su deterioro (Aguirre, 1990).

El almacenamiento hermético es buena opción debido a que se puede evitar el uso de insecticidas durante el almacenamiento, ya que en ocasiones el productor realiza tratamientos a los cereales, con insecticidas en polvo o pastillas y posteriormente durante el almacenamiento, este tipo de prácticas puede ser de alto riesgo, debido a que los productos químicos son tóxicos y quedan residuos tóxicos, y al ser mal manejados provocan daños a la salud humana (PESA, 2007; García y col., 2007).

De acuerdo a los datos de PESA (2007) se han validado algunas técnicas de almacenamiento, como es la aplicación de cal y el uso de silos metálicos, reduciendo las pérdidas de grano desde un 50% hasta un 100%. El ambiente que se forma en los recipientes sellados con atmósfera autor regulada, agotando el oxígeno e incrementando el dióxido de carbono (CO₂) como resultado de la respiración de los granos y la actividad microbiana, no ha sido totalmente explorada (Weinberg y Yan, 2007). Se continúan haciendo investigaciones de almacenamiento hermético para definir las condiciones en las cuales puede ser manejado con mayores ventajas para el usuario (Moreno, 1991; Moreno, 1988; García y col., 2007).



Figura 12. Almacenamiento de granos en silos herméticos

1.2.3.1. Silos herméticos

La mayoría de agricultores no cuenta con lugares apropiados para almacenar sus granos, por lo general se hace en la casa habitación, por lo que no se cuenta con escasa sanidad y limpieza. La mayoría de agricultores utiliza el control químico para contra restar el ataque de las plagas, poniendo en riesgo la salud de su familia (García y col, 2007)

El almacenamiento en silos herméticos es un método físico donde la composición de la atmósfera está dada por la misma respiración del grano creando una concentración de dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno (O_2) que no favorecen a los insectos y hongos. El silo hermético es un método alternativo para la conservación de granos. Siendo adecuada para pequeños y medianos agricultores que almacenan grano y semillas para satisfacer sus demandas de alimentación, siembra y venta dentro de la unidad productiva.

El silo hermético es accesible y de bajo costo para los pequeños agricultores. El silo de 100 y 200 kg de capacidad son ideales para almacenar semillas para siembra, tienen un costo es de \$ 950 y 1,300 respectivamente. El silo de 500 y 1000 kg es adecuado para almacenar granos para el consumo familiar su costo aproximado es de \$1,850 y 2,400 respectivamente. En los sitios web www.fao.org/ag/ags y www.fao.org/inpho está disponible un pequeño programa para calcular el costo de fabricación de silos de todas diferentes dimensiones y en cualquier moneda.

Un silo hermético se construye con lámina galvanizada del número 24, con un proceso de doblado, se forman recipientes cilíndricos con capacidad para 100, 200, 500, 1,000 y 2,000 kg de grano. Las uniones de la lámina son selladas con soldadura de estaño y las tapas de entrada y salida del grano son de aluminio con rosca fina y provista de empaques de hule, para asegurar que los recipientes sean totalmente herméticos (García y col, 2007; INIFAP, 2008)

Dentro del recipiente la respiración del grano va creando una alta concentración de dióxido de carbono, conforme se va agotando el oxígeno (INIFAP, 2008). También tiene un impacto ecológico ya que reduce o elimina el uso de productos químicos nocivos para la salud. De acuerdo a evaluaciones realizadas en Guanajuato el INIFAP concluyo que se desconoce sobre el manejo adecuado del almacenamiento, del uso correcto de productos químicos, por lo que es de gran necesidad promover el uso de silos herméticos para el almacenamiento de granos y aplicar su difusión en el país.

Debido que puede haber fallas en el silo, ya sea por errores de diseño, en la construcción, y el uso, algunos ejemplos de errores de diseño son, Insuficiente resistencia para soportar las presiones internas del grano y el silo puede reventar. Algunos errores del usuario se pueden presentar si el silo se utiliza para almacenar materiales para los cuales no fue diseñado, o modificaciones no autorizadas, como en los arreglos de vaciado, por lo que se recomienda seguir los consejos de los especialistas Williams y Gracey, (1996)

1.2.4. Factores físicos del almacenamiento

Los factores físicos o no bióticos comprenden la humedad, la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Los granos de maíz deben ser almacenados de tal forma que no se deteriore su calidad, esto puede lograrse al controlar los factores físicos ya mencionados, ya que son determinantes para su conservación (Rosas y col., 2007).

1.2.4.1. Humedad

El contenido de humedad es el principal factor que influye en la calidad del producto almacenado. Para obtener un almacenamiento eficiente, los granos deben tener un bajo contenido de humedad, ya que los granos húmedos constituyen un medio ideal para el desarrollo de microorganismos e insectos (PESA, 2007; Hernández y col., 2009) también comenta que el contenido de humedad es importante, debido a que al ser mayor a 15.5% en el almacenamiento pueden crecer hongos e insectos, deteriorando el grano y produciendo pérdidas del grano.

Cuando el grano está sometido al almacenamiento abierto, estando expuesto a las corrientes de aire, es la humedad relativa (HR) del ambiente la que afecta el contenido de humedad del grano. Cuando el grano está almacenado herméticamente es la humedad del grano la que determina la HR del aire (Vázquez, 2010).

1.2.4.2. Temperatura

La mayoría de las reacciones químicas se aceleran con el aumento de la temperatura, los granos almacenados tienen menor posibilidad de deterioro cuando están fríos (PESA, 2007). La temperatura se define como la medida de calor o energía cinética de los cuerpos (Vázquez, 2010; Alabadan, 2006; Hernández y col., 2009) establece que la temperatura es el segundo factor más importante que afecta la calidad del grano durante el almacenamiento, como consecuencia del crecimiento de hongos e insectos.

Uno de los problemas más frecuentes en el almacenamiento de granos es el ataque de insectos. La temperatura puede afectar potencializando el daño por plagas, la respiración del grano, acelera la velocidad de las reacciones químicas facilita el rápido deterioro del grano (García, 2007; Vázquez, 2010). Los límites de temperatura para el desarrollo de la mayoría de los insectos que atacan los granos almacenados están entre 20 y 37 °C, y la reproducción y la actividad óptima de

insectos están entre 25 a 35 °C. Temperaturas de 13 a 14 °C crean dificultades para su desarrollo y actividad y a 8 °C generalmente mueren (PESA, 2007; Vázquez, 2010). Los hongos en general se desarrollan en granos tibios aún con baja humedad, pero si están a 10° C prácticamente se quedan inactivos (PESA, 2007; SIAP SAGARPA, 2012)

La humedad y temperatura se deben considerar en forma complementaria ya que la temperatura no puede usarse como factor limitante principal para el desarrollo de hongos e insectos (INTA, 2007; INIFAP, 2008).

1.2.4.3. Periodo de almacenamiento

La temperatura y la humedad actúan como catalizadores de los procesos metabólicos, aumentan la tasa de respiración de los granos y pérdidas de materias secas. A mayor temperatura, humedad y tiempo de almacenamiento, mayor riesgo en la conservación de los granos y a su vez un grano que no está sano y limpio es más propenso a ser atacado por hongos e insectos (Newman, 2003; Hernández y col, 2009). El tiempo de almacenamiento y la conservación de su calidad están estrechamente correlacionados con el contenido de humedad y la temperatura de la masa de los granos (PESA, 2007). Por lo que el periodo de almacenamiento es importante ya que a mayor período, mayor atención debe de demandar los factores que favorecen el desarrollo de los hongos (Vázquez, 2010).

Para minimizar los riesgos de deterioro del maíz almacenado por un periodo largo de almacenamiento se deben extremar las medidas de control e inspeccionar cuidadosamente y periódicamente el grano para realizar tratamientos necesarios en el momento oportuno (Vázquez, 2010); (Watson y Ramstad, 1987).

1.2.5. Factores bióticos del almacenamiento

Los factores bióticos, son aquellos elementos o agentes vivos que encontrándose en condiciones favorables para su desarrollo utilizarán el grano como fuente de elemento de nutrición y con ello ocasionarán su deterioro. Se trata fundamentalmente de insectos, microorganismos, roedores y aves. Son factores

que limitan la producción de grano de maíz, los roedores e insectos y las enfermedades que pueden ocasionar, no solo afecta la cantidad de grano que se daña, sino que lo contaminan y reducen su calidad. Lo que reduce los ingresos del agricultor y pone en riesgo su seguridad alimentaria (García y Col, 2007).

La aparición y desarrollo de las plagas y el daño que puedan causar depende de la humedad, temperatura y el alimento que se encuentre disponible (Vázquez, 2010). Por lo que es recomendable que para una adecuada conservación del grano en relación a los agentes bióticos, es conocer las plagas, prevenir su presencia y controlar su ataque (García y col, 2007).

INSECTOS

Los insectos son capaces de infestar el maíz en cualquier etapa de su desarrollo, desde el campo de cultivo hasta el almacenamiento y procesos industriales (García Lara S., 2007). La importancia de los insectos depende de las condiciones del ambiente y del manejo poscosecha (Moreno y col, 1995). Los insectos consumen y contaminan el grano con sus heces. Se puede decir que durante el almacenamiento los insectos encuentran condiciones muy favorables para su establecimiento, reproducción y posterior desarrollo, puesto que cuentan con alimentos y protección adecuada (Molinera el globo, 2010)

Existen diferentes orígenes de infestación del insecto, puede ser en el campo, donde las hembras depositan los huevos en las semillas maduras y se llevan a almacén; por vuelo de insectos hasta el almacén y por desperdicios infestados de cosechas anteriores, en los vehículos de transporte, en la maquinaria o que el lugar del almacenamiento se encuentre sucio e infestado (Moreno y col, 2006; Vázquez, 2010)

Por otra parte para que los insectos puedan desarrollarse dependen de factores como es un mínimo de humedad, de alimento disponible y temperatura, así como de la especie y de la etapa de desarrollo (Moreno y col, 2000, Vázquez, 2010; SIAP SAGARPA, 1012).

Los daños y pérdidas que pueden llegar a causar son pérdidas directas e indirectas. Las directas son por el consumo del grano, y la contaminación a este; y las indirectas son por calentamiento y migración de humedad, distribución de hongos, transmisión de enfermedades, sin olvidar los costos por tratamientos químicos, el peligro de los residuos de insecticidas y la resistencia a los insecticidas que los insectos crean (García y col, 2007)

Un insecto adulto consume 43.4 mg de cereal en 30 días, la proteína disminuye un 3.65% (Vázquez, 2010). El alimento básico de los insectos es el almidón, al ser metabolizado es transformado en calor y humedad. Teniendo como consecuencia la disminución del valor económico del producto al disminuir su calidad, por el desarrollo de microorganismos y el mal olor, ver la Figura 13. Los daños que ocasionan los insectos se reflejan en la pérdida de peso del grano, en las pérdidas de nutrientes, degradación de nutrientes a materiales menores y la reducción del poder germinativo (INIFAP, 2008).



Figura 13. Ataque característico de *Prostephanus truncatus* en mazorcas (García y col, 2007).

Los insectos que atacan al grano se presentan en dos tipos, los lepidópteros (palomillas) y coleópteros (gorgojos). Algunos de los insectos más importantes y que más daño hacen al maíz son los que atacan los cultivos durante su desarrollo de la planta o en el almacenamiento son; las palomillas (gusano elotero, barrenadores y palomillas de almacén) y los escarabajos (gusanos de maíz, gallinas ciegas, gorgojos) (García, 2007). Los insectos varían de acuerdo con la región, estación del año, y el sistema y tiempo de almacenamiento. Se clasifican

en plagas primarias y secundarias, las primeras son los insectos que atacan el grano íntegro, estos pueden sobrevivir en los residuos de granos en el almacenamiento, puede ser que los daños comiencen desde el campo, dentro de este grupo se encuentra el gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais*), el barrenador grande del grano (*Sitotroga cerealella*). Las plagas secundarias no atacan los granos íntegros, estos insectos se alimentan de granos ya dañados por plagas primarias o sometidas a procesamiento. Estos insectos pueden aparecer en estadios muy tempranos de almacenamiento. Sin embargo, los daños no se consideran de importancia como con las plagas primarias. Entre las plagas secundarias se encuentra la palomilla bandeada (*Plodia interpunctella*), el escarabajo Cataño (*Tribolium castaneum*) y el barrenillo de granos (*Rhyzoperta dominicana*) (García y col, 2007)



Figura 14. Ataque de *Sitophilus zeamais* a grano de maíz almacenado (García y col, 2007)

Los insectos al igual que los roedores pueden transmitir enfermedades al consumidor, la ingestión de gorgojos vivos y otros insectos almacenados producen infecciones intestinales (INIFAP, 2009) Por esto es que se aplican los tratamientos químicos, los cuales han generado resistencia, lo que obliga a aumentar la dosis o buscar insecticidas más fuertes (García y col, 2007)

HONGOS

Las pérdidas en poscosecha de los granos se deben al manejo inadecuado desde su cosecha hasta su destino final, una de las causas de estas pérdidas y disminución de calidad del grano son los hongos de almacén, especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, algunas especies pueden producir micotoxinas que atentan contra la salud humana y animal (Moreno, 1991; Ramírez y col, 1993; García y col, 2007).

Los factores que favorecen el desarrollo de hongos son: a) las impurezas, ya que presentan alta carga microbiana, b) insectos, ayudan a la movilización de los microorganismos, c) daño mecánico debido a que es la mejor fuente de alimento y respiran activamente y producen humedad para el entorno (INTA, 2007; Moreno y col, 2006).

Los hongos que invaden a los granos de maíz se clasificaron en tres tipos: a) hongos de campo, b) hongos de almacén, y c) hongos de deterioro avanzado. Los hongos de campo son aquellos que invaden al grano durante su formación en el campo, requieren un contenido de humedad mayor al 23%, como *Fusarium*, *Alternaria*, *Cladosporium* entre otros. (Watson y Ramstad, 1987). Los hongos de almacén invaden al grano de maíz durante su transporte o almacenamiento, entre los que se encuentran, *Aspergillus*, *Penicillium*, el contenido de humedad que requieren para su desarrollo es mayor a 13%, con temperaturas entre 20 y 30 °C.

- *Penicillium* sp. La infección está asociada con los insectos, los granos dañados presentan aparición de polvo azul-verdoso que cubre al grano o mazorca, el grano adquiere un color amarillento y rayas en el pericarpio.
- *Aspergillus* sp. Cuando se almacenan a alta humedad es serio ya que pueden producir toxinas del tipo aflatoxinas. El grano presenta un color verde-amarillo. Algunos síntomas comunes de intoxicación por las toxinas que libera *A. flavus* son inapetencia, diarrea sanguinolenta, disturbios urinarios, impotencia masculina (Weinberg y Yan, 2007).

- *Fusarium* sp. Es el hongo más común de mazorca en todo el mundo. se identifica por una apariencia algodonosa en el grano con rayas blancas, puede producir micotoxinas llamadas fumonisinas.



Figura 15. Maíz infectado por *Aspergillus* sp. (García y col, 2007)

Los daños ocasionados por hongos de campo son la completa destrucción del grano, producción de toxinas y reducción de la calidad comercial (Moreno y col, 2000; Reducción de pérdidas, 2013; FAO, 2001). Los daños ocasionados por los hongos de almacén son: olores y sabores desagradables, destrucción del grano, producción de toxinas y por lo tanto reducción en la calidad comercial (Vázquez, 2010; FAO, 2001).

ROEDORES

Los roedores se caracterizan por la gran capacidad de reducir la producción de los alimentos, disminuyendo el valor económico y sanitario. Destruyendo 10 veces las cantidades que necesitan para alimentarse. La presencia de los roedores está directamente relacionada con la problemática de la salud, por ser transmisores de enfermedades (INTA, 2007; Vázquez, 2010). Estos animales ocasionan daños tanto al grano que está en el campo como en el almacén, consumen cantidades grandes de grano y son portadores de pulgas, que transmiten enfermedades a los humanos, como la rabia (García y col, 2007), fiebre hemorrágica, salmonelosis, entre otras (Vázquez, 2010).

Los roedores requieren alimentos, agua y refugio para sobrevivir, sin embargo, son muy adaptables en sus patrones de comportamiento y pueden sobrevivir y reproducirse exitosamente en una gran variedad de condiciones ambientales. Es por ello, que se pueden encontrar todo el año en los lugares donde se almacenan los granos (Valdivia, 2011), siendo capaces de dañar las paredes de madera, tuberías y alambres donde se encuentre el grano almacenado (Vázquez, 2010). Algunos de los indicios para detectar la presencia de roedores, son sus excrementos, orina, madrigueras, y el grano roído, ver Figura 16 (García y col, 2007).



Figura 16. Grano dañado por roedores (García Lara S. y col, 2007)

Para controlar la plaga es necesario conocer la naturaleza de la plaga para implementar estrategias para su eliminación (Vázquez, 2010). Entre las medidas de control tenemos: Control de malezas a los alrededores de las bodegas donde se almacenan los granos, Eliminar fuentes de refugios, Revisar periódicamente las bodegas de almacenamiento (Valdivia, 2011)

CAPITULO II

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del almacenamiento hermético en el grano de maíz durante tres meses a dos diferentes contenidos de humedad (14, 16 y 18%) y una temperatura de 25 °C, determinando calidad física, microbiológica y química del grano almacenado.

2.1.1. Objetivos particulares

1. Evaluar el maíz almacenado herméticamente a diferentes contenidos de humedad 14,16 y 18% almacenados durante tres meses a temperatura de 25 °C, mediante las propiedades físicas, fisicoquímicas y microbiológicas.
2. Evaluar un lote de maíz como control almacenado a temperatura de 4 °C sin alterar el contenido de humedad inicial mediante parámetros físicos, fisicoquímicos y microbiológicos, a lo largo de la experimentación.
3. Determinar índice de acidez, para conocer el efecto del almacenamiento hermético en el grado de deterioro de la grasa del maíz a contenidos de humedad de 14, 16 y 18%.

En la Figura 17 se muestra el cuadro metodológico en el que se proyecta el trabajo conjunto de la experimentación.

CUADRO METODOLÓGICO

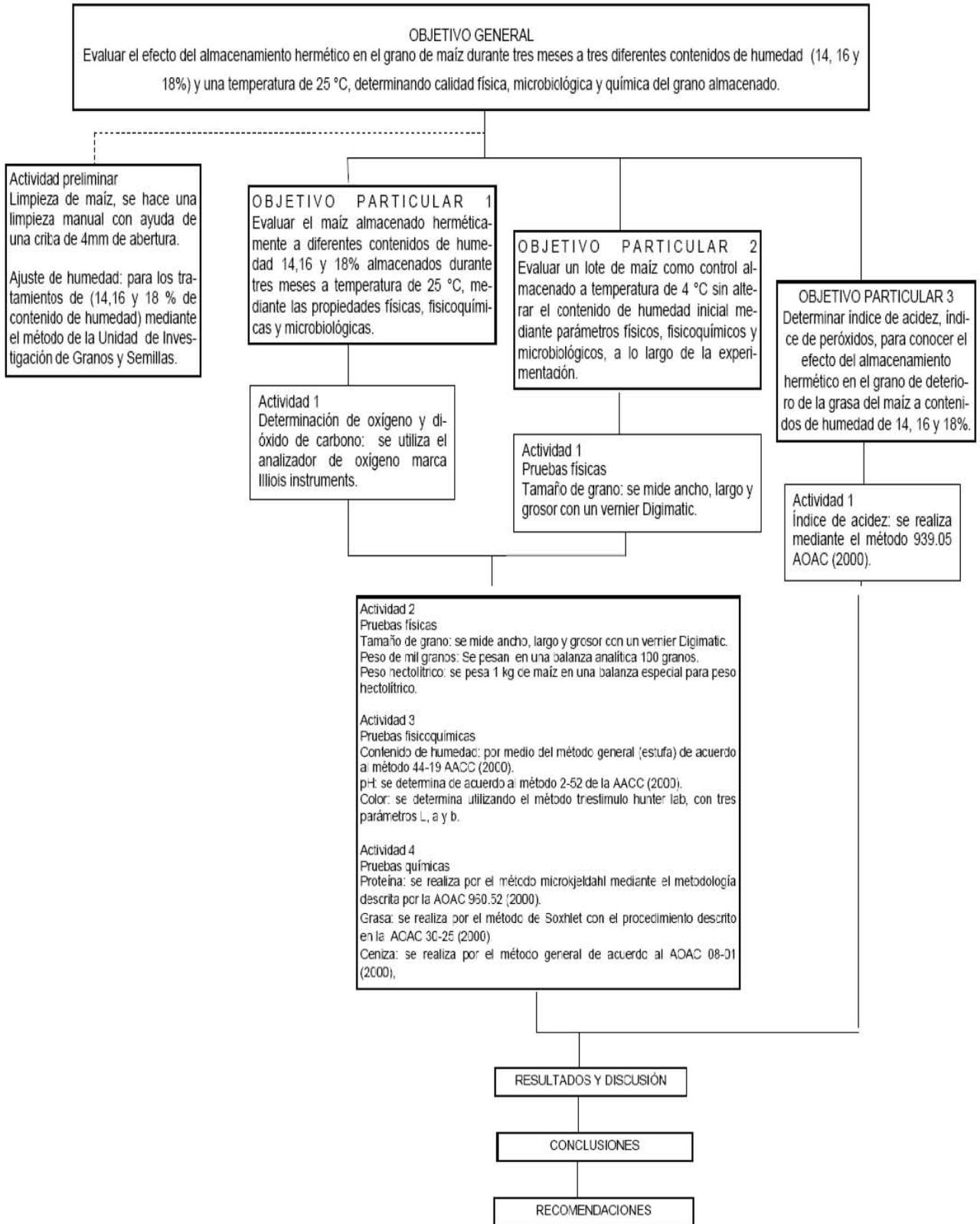


Figura 17. Cuadro metodológico del desarrollo experimental.

METODOLOGÍA

2.2.1 Limpieza de materia prima

Se utilizó grano de maíz híbrido H-442C de Celaya, el cual fue proporcionado por el campo experimental del Bajío del Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El grano fue recibido en sacos de 50 kg. Posteriormente se limpió manualmente, y utilizando una criba de 4mm de abertura, para eliminar los granos quebrados, podridos y materia extraña ajena al maíz.

2.2.2. Preparación de las unidades experimentales

2.2.2.1. Incremento de contenido de humedad a 14, 16 y 18%

Se ajustó la humedad del maíz para almacenarlo herméticamente en botes de aluminio, se almacenaron 2.5 kg de maíz; para posteriormente hacerle pruebas a los granos para conocer el efecto del almacenamiento hermético en el maíz, todas las medidas se realizaron por triplicado.

El ajuste de humedad se realizó de acuerdo al método de adición de agua utilizado por Moreno y col (2000 b) para aumentar el contenido de humedad del grano a 14, 16 y 18%, se homogenizó manualmente, para posteriormente almacenarlo en botes de aluminio, sellados con silicón durante tres meses. La temperatura de almacenamiento fue de 25 °C de cada repetición. El grano de maíz testigo, también llamado control, se almaceno con un contenido de humedad de 12% a 4 °C.

Se realizaron tres repeticiones por cada tratamiento, en cada unidad experimental (UE), después de los tres meses de almacenamiento se determinó el nivel de oxígeno y dióxido de carbono con el analizador de oxígeno marca Illiois instruments modelo 6600.

2.2.2.2. Determinación de oxígeno y dióxido de carbono

La determinación de CO₂ Y O₂ se realizó con el analizador de oxigeno marca Illinois instruments modelo 6600 para saber si el almacenamiento hermético fue

adecuado. Para cada muestreo se determinó el contenido de oxígeno y dióxido de carbono.

2.3. Propiedades físicas del grano

2.3.1. Tamaño de grano

Para determinar el tamaño del grano se midió el ancho largo y grosor del grano; se midieron 25 granos que se tomaron al azar, utilizando un vernier Digimatic, marca Mitutoyo Corp modelo 500-196-20, se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Moreno y col (1989), se calculó el valor promedio y desviación estándar.

2.3.2. Peso de mil granos

Al azar se tomaron 100 granos y se pesaron en una balanza analítica Ohaus. Se hicieron tres repeticiones de cada medición, los datos se reportaron como el valor promedio (ISTA, 2006).

$$P1000 \text{ (g)} = X \times 10$$

Donde X es el peso promedio de las 100 semillas.

2.3.3. Peso hectolítrico

El peso hectolítrico es el peso del grano contenido en una unidad de volumen. La determinación de este parámetro se llevó a cabo utilizando una balanza para peso hectolítrico marca Ohaus, se coloca el maíz en la parte superior del aparato para posteriormente dejarlo caer a la cubeta, con una pala se retira el exceso de grano de maíz, para dejarlo al ras y pesarlo en la balanza (Moreno, 1995; ISTA, 2006), se reportó la comparación de medias, desviación estándar.

2.4. Propiedades fisicoquímicas del grano de maíz

2.4.1. Contenido de humedad

Se determinó el contenido de humedad por medio del método general (por estufa) 44-19 de la AACC (2000), para verificar la humedad a la que se ajustó el maíz

para el almacenamiento hermético, y después del almacenamiento. Se colocaron 4 gramos de muestra en charolas de aluminio en la estufa a 103 °C durante 72 horas; las pruebas se realizaron por triplicado, reportando el promedio y desviación estándar.

Cálculos

$$CH\% = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

CH%: Contenido de Humedad

W₁: Peso de muestra

W₂: Peso de muestra seca

2.4.2. pH

El pH se determinó de acuerdo al método 02-52 de la AACC (2000), se molió el grano de maíz, para preparar una suspensión con 10 gramos (b. s.) de harina, en 100 mL de agua destilada, a temperatura ambiente. Se agitaron las suspensiones por 30 minutos con el agitador magnético, se dejaron en reposo durante 10 minutos. El pH se determinó utilizando un potenciómetro marca conductronic PC-45; se realizaron tres repeticiones, reportando el promedio y desviación estándar.

2.4.3. Color

Se utilizó el método de triestímulo Hunter Lab, consiste en la determinación por reflexión de luz de tres parámetros: L, a y b; L mide el grado de luminosidad y varía desde 100 para blanco y 0 para el negro; los valores positivos de “a” están relacionados con el color rojo y verde para el negativo, los valores positivos de “b” son para el color amarillo y los negativos están, asociados con el color azul. Se colocó el grano de maíz en cajas petri, realizando lecturas por triplicado en cuatro posiciones obteniendo los valores de L, a y b, para calcular la diferencia del color (ΔE)

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

$$\text{Croma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$\text{Hue} = \text{Tang}^{-1} (b/a)$$

Donde:

ΔE = diferencia total del color, entre la referencia y la muestra.

ΔL , Δa y Δb = diferencias absolutas en los valores de L, a y b de la referencia y la muestra.

2.5. Composición química de maíz

La composición química proximal se determinó de acuerdo a los métodos oficiales descritos por la AOAC (2000) y por la AACC (2000), comprendiendo los siguientes análisis: proteína cruda (método 960.52) AOAC, grasa cruda (método 30-25) AACC, cenizas (método 08-01) AACC.

2.5.1. Proteínas

Se realizó la prueba de proteína por el método micro kjeldahl, siguiendo la metodología descrita por la AOAC 960.52 (2000) para conocer el contenido proteico total del grano de maíz y si hay algún efecto sobre las proteínas por el almacenamiento hermético bajo las condiciones ya mencionadas, en este método se llevan tres pasos fundamentales para su determinación, como es la digestión, destilación y la titulación. Se hizo una digestión de la muestra con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador. La solución ácida se alcalinizó con una solución de hidróxido de sodio. El amoníaco fue destinado y recolectado en una cantidad medida de ácido bórico, titulándose con una solución valorada de ácido clorhídrico. El factor de conversión utilizado fue de 6.25.

Cálculo:

$$\% \text{ Nitrógeno} = [(V2 - V1)(N)(0.014)/W] \times 100$$

$$\% \text{ Proteína} = (\text{Factor}) (\% \text{ Nitrógeno total})$$

W: Peso de la muestra (mg)

V₁: Volumen (ml) de la solución de HCl requerido para la prueba en blanco

V₂: Volumen (ml) de la solución de HCl requerido para la muestra problema

N: Normalidad de (HCl)

Factor: 6.25

2.5.2. Grasa

La extracción de la grasa se realizó mediante el método de Soxhelt, se utilizó hexano, siguiendo el procedimiento descrito en la AOAC 30-25 (2000). El cual consiste en pesar de 4 a 5 gramos de muestra que se coloca en los dedales de celulosa, el éter se colocó en los matraces de bola de 250ml hasta ocupar $\frac{3}{4}$ de volumen total. Se inició el calentamiento y se dejó 5 horas el proceso de extracción. Se colocó el matraz en la estufa por 30 minutos a 80°C, se enfrió y se pesó, realizando los cálculos correspondientes para obtener el porcentaje de grasa.

Cálculo:

$$\text{Grasa \%} = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times 100$$

W1: Peso de la muestra

W2: Peso del matraz

W3: Peso del matraz con grasa

2.5.3. Cenizas

Se realizó la prueba de cenizas por el método general de acuerdo al AOAC 08-01 (2000), incinerando la materia orgánica para después ponerla a pesos constante con la mufla a 550 °C para conocer el contenido de estas en la variedad del grano que se trabajó y observar si había efecto del almacenamiento hermético en este atributo del grano de maíz.

Cálculos:

$$\text{Cenizas \%} = \frac{W_2 - W_3}{W_1 - W_3} \times 100$$

W1: Peso del crisol con muestra

W2: Peso del crisol con muestra incinerada

W3: Peso del crisol vacío

2.6. Número de microorganismos

La microbiota es la cantidad de hongos presentes en el grano de maíz, para determinar esta prueba se utilizaron 60 granos tomados al azar por cada unidad experimental.

Se desinfectaron superficialmente con hipoclorito de sodio (NaOCl) al 2% durante un minuto, se enjuagaron con agua destilada y se secaron con toallas de papel estéril (Moreno, 1991). Los granos se sembraron en cajas petri con MSA (malta sal agar) incubadas siete días a 25 °C. Las colonias que crecen en cada grano se contabilizaron y se expresan en porcentaje.

2.7. Calidad fisiológica del grano

2.7.1. Germinación

Se determinó la germinación al inicio con el maíz control y final del almacenamiento hermético por medio del método entre papel enrollado con base en la metodología propuesta por el ISTA (2005), por cada unidad experimental se utilizaron 50 semillas, se cubrieron entre toallas húmedas, se enrollaron y se colocaron en bolsas de polietileno, para saber si las condiciones a las que fueron almacenados los granos tendría algún efecto sobre la germinación de la semilla. Para este tratamiento se almacenaron en una incubadora por siete días a temperatura de 25 °C, se reportan los resultados en porcentaje de germinación.

2.8. Índice de acidez

Es un indicativo de la presencia de ácidos grasos libres, se reporta como la cantidad de (KOH) Hidróxido de potasio necesaria para neutralizar la acidez libre de 1 gramo de muestra. Esta prueba se realizó mediante el método 939.05 AOAC

(2000). Se disuelve la grasa en éter etílico con etanol neutralizado, posteriormente se titula con hidróxido de sodio (NaOH 0.1N), usando fenolftaleína como indicador. La cifra de los ácidos grasos libres generalmente se calcula como ácido oleico, para obtener el valor de acidez se multiplicó el valor del ácido oleico por 1.99 de acuerdo a la NMX-F-101-2012.

$$\% \text{ AGL oleíco} = \frac{V \times N \times M}{W} \times 1.99$$

Donde

V= Volumen de hidróxido de sodio gastado

N= normalidad del hidróxido de sodio 0.1

M= 1 ml de hidróxido de sodio equivale a 0.0282g de ácido oleico

W= muestra gramos

2.9. Diseño experimental

Cada condición experimental y del maíz control, se hizo con base en un diseño completamente al azar con tres repeticiones, los datos se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, con gráficas de caja que presentan la desviación estándar agrupada, se hicieron pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05), con el programa Minitab 16.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Limpieza de materia prima

El objetivo de la limpieza fue retirar las impurezas que traía el grano, tales como residuos de cosecha, tierra, piedras, cualquier materia extraña que no sea maíz, ya que los granos dañados y demás impurezas, aumentan el riesgo de deterioro durante el almacenamiento (González, 1995). Criba metálica de 4mm de abertura usada en la limpieza del grano Figura 18.



Figura 18. Limpieza de maíz

3.2. Contenido de humedad

El maíz se almacenó a tres contenidos de humedad, cerca de 14%, 16% y 18%. El contenido de humedad del grano se determinó antes y después del almacenamiento, la primera determinación de la humedad se realizó para comprobar que la humedad deseada para esta investigación, fuera la correcta, y la segunda para observar los posibles cambios del contenido de humedad de maíz almacenado.

En la tabla 8 se muestran los datos del contenido de humedad del grano de maíz, en el cual se observa que no hubo variación a lo largo de todo el almacenamiento.

Tabla 8. Contenido de Humedad

Contenido de Humedad antes del almacenamiento	Contenido de Humedad después del almacenamiento
13.74 ± 0.19	14.16 ± 0.09
15.81 ± 0.20	15.80 ± 0.07
17.86 ± 0.05	17.84 ± 0.06

Promedios y desviación estándar.

Se observó que el contenido de humedad se mantuvo prácticamente igual a lo largo del almacenamiento, de 13.74 a 14.16, 15.8 y de 17.86 a 17.84% que se logró con el ajuste de humedad al inicio del mismo (Watson y Ramstad, 1987).

3.3. Determinación de oxígeno y dióxido de carbono.

El éxito del almacenamiento hermético se basa en el agotamiento del oxígeno y la generación de dióxido de carbono en la atmósfera de los contenedores de grano de maíz, esa atmósfera inerte se genera como resultado de la respiración de los hongos y de la respiración de los granos (Moreno y col, 2000a). La Figura 19, muestra la imagen del equipo.



Figura 19. Imagen de prueba de oxígeno en contenedores de tratamiento con contenido de humedad de 14%.

Con relación a la composición de la atmósfera, se midieron los porcentajes de oxígeno y dióxido de carbono en las unidades experimentales y los resultados de estas mediciones se muestran en la Figura 20. Donde se muestran los resultados después de ser almacenados durante tres meses.

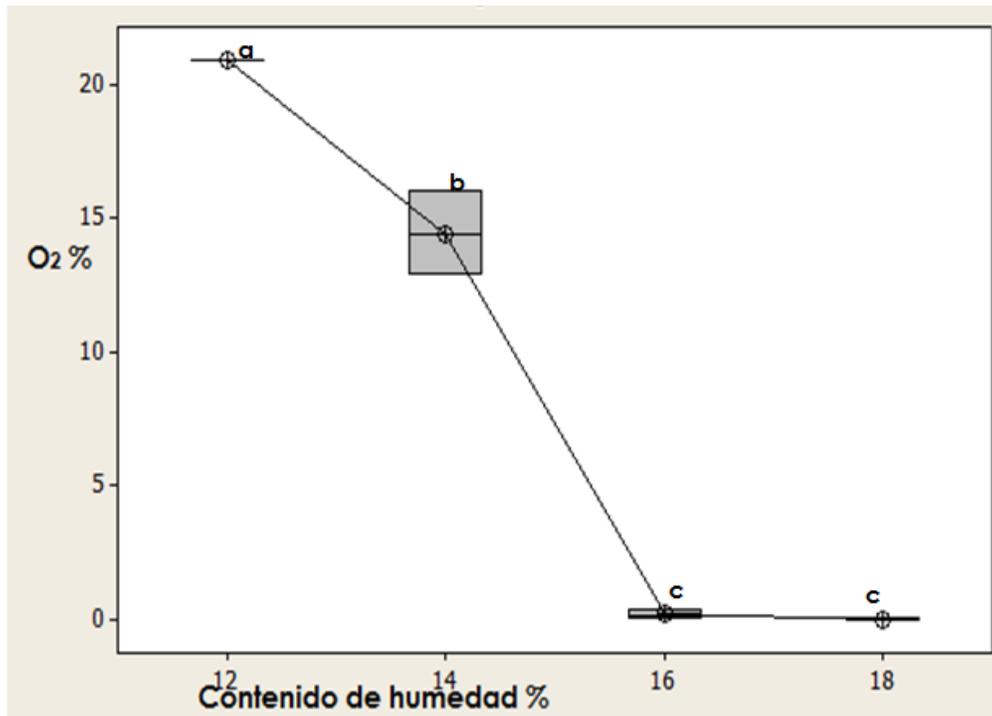


Figura 20. Porcentaje de oxígeno por contenido de humedad. El tamaño de las cajas representa la desviación estándar. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

Se observó que las humedades de 14% en promedio contienen 14.43% de oxígeno y 5.16% de dióxido de carbono, los botes almacenados con contenido de humedad de 16% contienen en promedio 0.18% de oxígeno y 30.63% de dióxido de carbono, el grano almacenado, con contenido de humedad de 18% en promedio contienen 0.01% de oxígeno y 73.6% de dióxido de carbono, lo que comprueba que sí estuvieron sellados adecuadamente; y el hermetismo se logró con éxito.

En la figura 21 se presentan los resultados de dióxido de carbono después del almacenamiento hermético durante 90 días. Se observa que durante los 3 meses de almacenamiento a 18% y a 16% de contenido de humedad el oxígeno fue consumido totalmente a diferencia del contenido de humedad de 14% que en promedio quedó con un 14.43% de oxígeno y un 5.16% de dióxido de carbono.

Los cambios de concentración de oxígeno y dióxido de carbono se deben a la actividad metabólica del grano y de los hongos. Este análisis coincide a lo descrito por Hernández y col (2009), el cual menciona que entre mayor contenido de humedad tenga el maíz y este se almacene a una alta temperatura la respiración es más rápida.

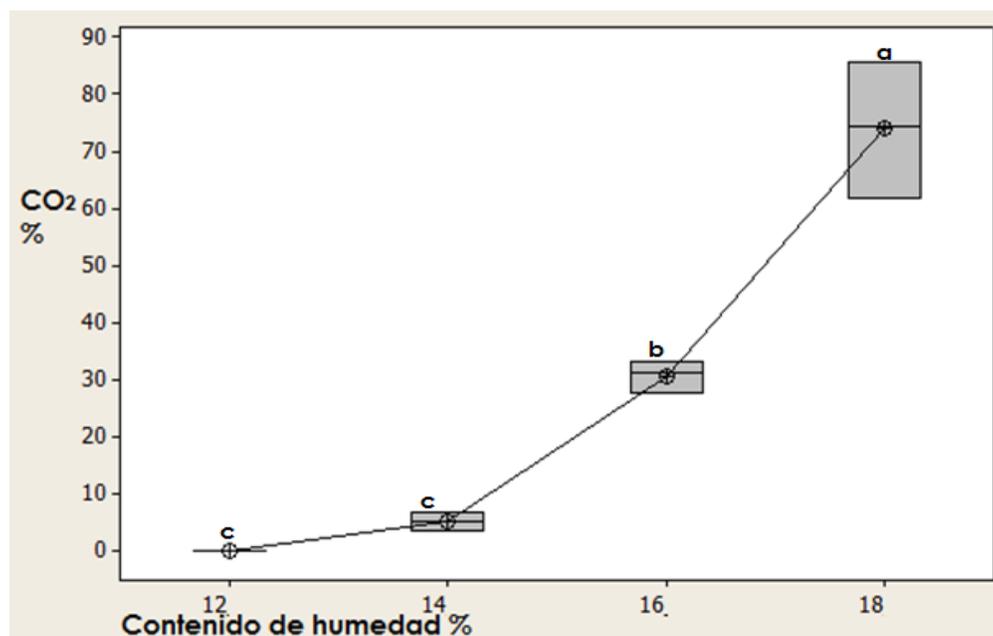


Figura 21. Porcentaje de dióxido de carbono por contenido de humedad. El tamaño de las cajas representa la desviación estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

Estos valores indican el papel que tiene el grano de maíz en la modificación de la atmósfera del contenedor durante el almacenamiento, debido a que el grano de maíz respira, y la respiración se acelera a mayor contenido de humedad, por lo que se genera mayor producción de dióxido de carbono, esto se vio claramente en la presente investigación; con el contenido de humedad de 16 y 18% el oxígeno disminuyó a 0.18 y 0.01% respectivamente. Se aprecia la diferencia en el incremento de dióxido de carbono, siendo mayor el contenido de humedad de 18% con un 73.7% de dióxido de carbono. Esto se debe a que entre menor contenido de humedad el grano de maíz respira más lento por lo que el consumo de oxígeno es menor, y a mayor contenido de humedad la respiración del grano incrementa y al estar el maíz almacenado herméticamente se consume el oxígeno e incrementa el dióxido de carbono (Moreno y Quezada, 1995).

Otros investigadores también han encontrado que la respiración del grano se incrementa al aumentar el contenido de la humedad; la respiración del trigo con hongos incrementó su actividad en forma marcada después de cuatro días (Moreno y Quezada, 1995).

Este análisis coincide con los estudios realizados por Jiménez y col 2004 también con Hernández y col, 2009, quienes encontraron que el grano almacenado con humedad mayor a 15% respira más rápido que el maíz seco, lo que hace que produzca más calor y creando condiciones que favorecen el desarrollo de los hongos, por la formación de puntos calientes húmedos.

3.4. Evaluación de las propiedades físicas del maíz

Las características del grano de maíz que determinan su calidad física son el tamaño, forma, peso hectolítrico, peso de 1000 granos, pureza, incluyendo el contenido de humedad que se relacionan con la sanidad.

La determinación de las dimensiones de los granos de maíz, fue realizado para conocer el tamaño. En la tabla 9 se observan los valores de las propiedades físicas del granos de maíz que se utilizó para esta investigación.

Tabla 9. Propiedades físicas del maíz.

Parámetro	Maíz H-442C
Largo (mm)	7.8336 ±1.25
Ancho (mm)	7.474 ± 0.79
Grosor (mm)	5.2984 ± 1.80

Los valores representan el promedio ± desviación estándar 100granos

Los granos del maíz H-442C corresponden a granos de dimensiones menores, que los de variedades comerciales (Serna Saldívar y col, 1990). Dadas las

dimensiones existen más granos de maíz por cada 100 gramos de muestra que los granos comerciales de acuerdo con Serna Saldívar y col (1996).

El tamaño del grano junto con el peso de 1000 granos y el peso hectolítrico son útiles como medidas de calidad (ISTA, 1996).

El tamaño de grano es una medida de la calidad física y es un parámetro importante para cualquier programa de mejora de maíz. El tamaño de grano chico contiene mayor contenido de proteína y niveles más bajos de almidón a diferencia el grano grande (Fox y col 2009). Figura 22, imagen del maíz que se midió.



Figura 22. Maíz que se midió

En la figura 23 se muestran los resultados del peso hectolítrico del grano control con contenido de humedad del 12%, así como para el maíz que estuvo almacenado a contenidos de humedad de 14, 16 y 18% con tres repeticiones. El peso hectolítrico o densidad es uno de los parámetros de calidad comercial del grano de maíz, el valor obtenido de este parámetro en el grano de maíz Kg/hL.

El peso hectolítrico es característica de calidad del grano, debido a que se considera que el maíz con alto contenido de impurezas o daños es más liviano, por lo tanto tiene un peso hectolítrico menor (CIDAP, 2011).

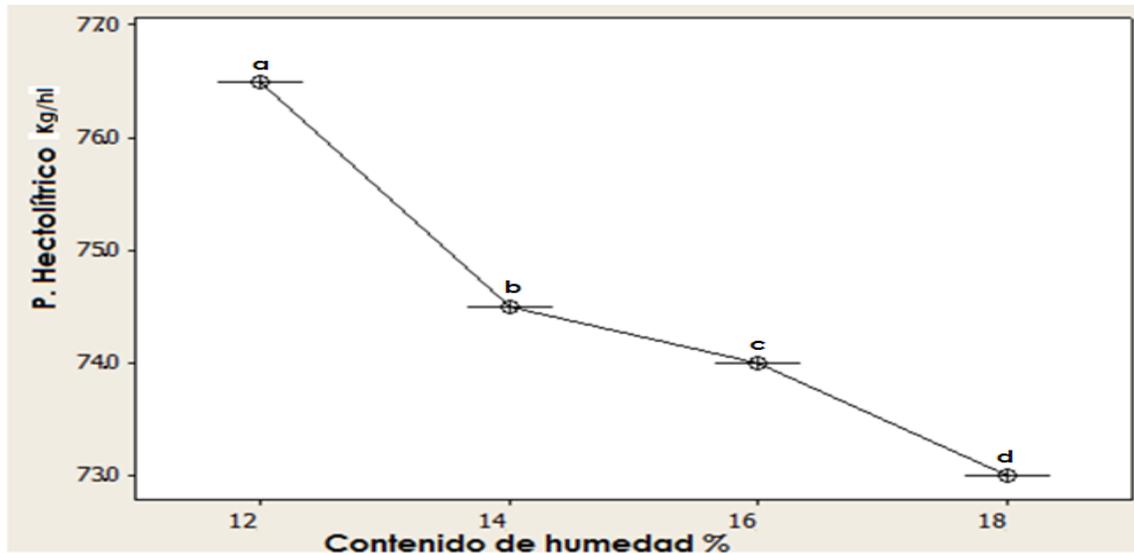


Figura 23. Peso hectolítrico de los granos de maíz almacenados y el testigo. El tamaño de las cajas representa da desviación estándar. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, 0.05)

En el caso de esta investigación se observa que la disminución del peso hectolítrico es menor debido al aumento del contenido de humedad que contiene el grano de maíz. La norma NMX-FF-034/1-SCFI, 2002 marca que el grano debe tener una densidad mínima de 74 Kg/hL para el grano utilizado en productos alimenticios del ser humano. Sin embargo, se observa que el maíz almacenado con el 18% de contenido de humedad presenta un 73 (kg/HL) de peso hectolítrico, mientras que el peso hectolítrico del grano testigo (12% contenido de humedad) es de 76.5 Kg/Hl, presentando un peso hectolítrico aceptable desacuerdo a la norma antes mencionada. La diferencia de resultados del peso hectolítrico se relacionan directamente con el contenido de humedad del maíz y no con un alto contenido de impureza, ya que se realizó la limpieza del maíz antes de ser almacenado. Eso quiere decir que a mayor contenido de humedad en el grano el peso hectolítrico es menor, como se puede apreciar en la Figura 23.

A mayor contenido de humedad disminuye el peso hectolítrico en consecuencia el grano de maíz se vuelve más blando, esto es conveniente para algunos procesos para fabricación de producto, ya que requiere menor hidratación por ejemplo para la molienda. Por lo que se puede decir que el peso hectolítrico (PH) es una medida

indirecta de la dureza del grano de maíz, siendo que los valores bajos de PH son característicos de maíces suaves (Vázquez y Santiago, 2013). Se muestra una imagen de la medición del peso hectolítrico con la balanza especial para su medición en la Figura 24.



Figura 24. Balanza de peso hectolítrico.

En la Figura 25 se muestran los resultados de peso de mil granos, del grano control con contenido de humedad del 12%, así como para el maíz que estuvo almacenado a contenidos de humedad de 14, 16 y 18% con tres repeticiones. El maíz de la variedad H-442C presentó un peso de 1000 granos de $246.79\text{g} \pm 4.26$ en el grano de maíz control, este resultado se atribuye directamente al tamaño del grano.

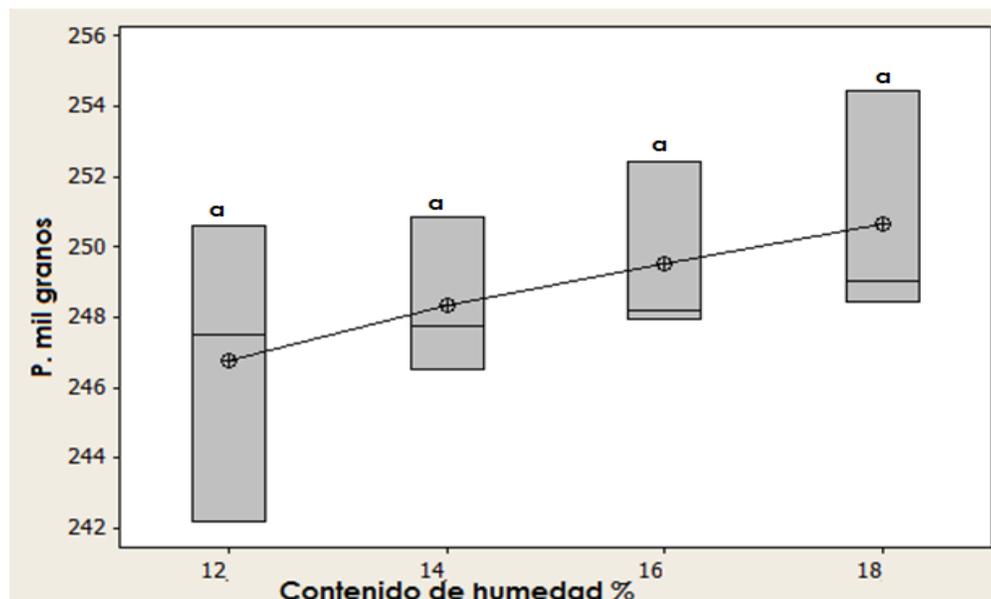


Figura 25. Peso de mil granos por contenido de humedad. El tamaño de las cajas representa da desviación estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

El peso de mil granos se atribuye directamente, como se puede observar en la figura 25, al contenido de humedad y al tamaño del grano. Se observa la relación que presenta las variables peso de mil granos y peso hectolítrico, el grano de maíz con mayor contenido de humedad presenta menor peso hectolítrico, 73 kg/HL, y mayor peso de mil granos, 250g, esta relación se atribuye al tamaño de grano del híbrido y al contenido de humedad (Salinas y col, 2013). Sin embargo como las unidades experimentales se tomaron del mismo lote, en esta investigación los resultados del peso de mil granos se le atribuyen directamente al contenido de humedad del grano.

3.5. Propiedades fisicoquímicas del grano de maíz

3.5.1. pH

Dentro de las propiedades fisicoquímicas se evaluó el pH. En la Figura 26 se puede observar que el contenido de humedad no influye estadísticamente en el almacenamiento del grano de maíz, al ser almacenado durante el mismo periodo de tiempo, 3 meses, a temperatura de 25 °C, aunque se observa que a mayor contenido de humedad el pH es menor.

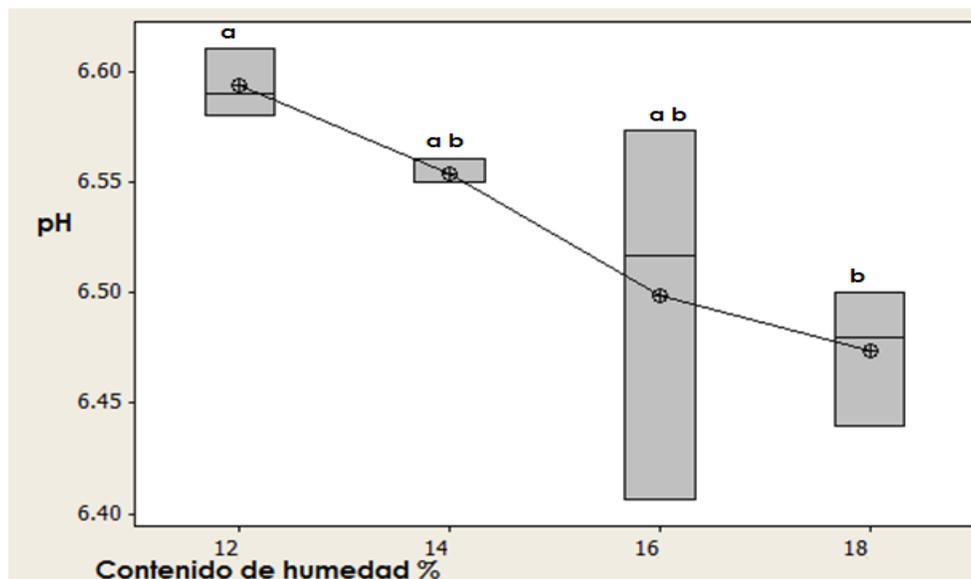


Figura 26. pH por contenido de humedad. El tamaño de las cajas representa da desviación estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

El rango de pH obtenido en este trabajo fue entre 6.59 y 6.47, se sabe que el pH en el interior de las células es mantenido en un rango pequeño debido a que los cambios del mismo modifican la estructura de las proteínas, la actividad enzimática, y los cambios del pH pueden ser causa del deterioro del grano (Viloria y Méndez, 2007).

Como se puede observar en la Figura 26 el grano control (contenido de humedad de 12%) presentó pH de 6.59, sin mostrar diferencia significativa estadísticamente con el resultado del grano almacenado con contenido de humedad de 14% con pH de 6.55, el cual a su vez no presentó diferencia significativa estadísticamente con el resultado de contenido de humedad de 16% con un pH de 6.49, y este no presenta diferencia significativa estadísticamente con el grano almacenado a contenido de humedad de 18% con pH de 6.47. La Figura 27, imagen de pH.



Figura 27. Muestra de pH de grano de maíz almacenado herméticamente.

Los resultados de esta investigación coinciden en general con los resultados en el estudio de almacenamiento de granos congelados (Ramírez y col, 2007) se notó que los valores de pH fueron menores, el pH disminuyó a los 45 días, a su vez reporta que hubo un aumento el contenido de humedad durante el almacenamiento a -18°C , esto debido tal vez a la absorción de vapor de agua en las etapas de escaldado y almacenamiento del proceso de congelación. También señala que su tendencia varía según el tipo de maíz, mostrando el maíz dulce una disminución a los 90 días.

La EDMA (European Diagnostic Manufacturers Association) considera que hay crecimiento microbiano y acidificación en las muestras cuando el pH es menor de 5,6. Por ello, este valor de pH es tomado como mínimo. El pH más bajo encontrado en las muestras analizadas en esta investigación fue de 6.47 lo que indicó que no hubo desarrollo de microorganismos en el grano almacenado. Por lo que no afecta a la calidad del grano de maíz para su consumo humano.

3.5.2. Color

Se hizo esta prueba con la finalidad de observar que efecto tiene el almacenamiento hermético en la calidad del granos de maíz a diferentes contenidos de humedad, ya que al haber inestabilidad química en los pigmentos, se hacen susceptibles a reacciones de oxidación y degradación acelerada por los radicales libres que se forman en la oxidación lipídica (Moreno y col, 2003; Hernández y col, 2009). Los resultados de color en el almacenamiento hermético de grano de maíz que se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Luminosidad, índice de saturación de color (croma) y tono (hue)

CH%	Luminosidad	Croma	Hue
12	49.25a	23.654a	-85.975a
14	51.28a	20.532a	-84.98a
16	49.27a	21.67a	-85.55a
18	51.14a	25.65 a	-85.97a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

De acuerdo a estos valores el grano no presentó cambios estadísticamente significativos en el color a través del tiempo de almacenamiento para los diferentes contenidos de humedad, a pesar de que hubo grano que se almacenó con alto contenido de humedad (16 y 18%) en esta prueba de color, este no se ve afectado en el grano, esto se puede deber a que por la ausencia de oxígeno se detiene la respiración del grano y su actividad, retrasando su deterioro y probablemente al corto periodo de almacenamiento. Un grano pequeño tiene proporcionalmente

más área pigmentada que un grano grande, por unidad de peso (Salinas y col 2012). En la figura 28 se muestra la toma de prueba con el colorímetro.



Figura 28. Muestra del colorímetro del grano de maíz almacenado herméticamente.

3.6. Análisis Químico Proximal

En esta investigación fue importante determinar los cambios en el análisis químico proximal durante el almacenamiento hermético a diferentes contenidos de humedades (12, 14,16 y 18 %) en granos de maíz almacenados herméticamente a una temperatura de 25 °C, para conocer si existe algún efecto en la calidad de los granos de maíz después de 3 meses de almacenamiento.

3.6.1. Proteína

El grano de maíz con contenido de humedad mayor a 16% puede presentar cambios durante el almacenamiento (Vázquez, 2010). Se supone que el contenido de proteína permanece constante durante el almacenamiento. Sin embargo puede aumentar aparentemente el porcentaje de proteína debido a la disminución de otros componentes como las grasas y carbohidratos, estos cambios ocurren cuando el deterioro del grano está avanzado. (Vázquez, 2010). En la tabla 11 se presentan los resultados de la proteína, grasa y cenizas.

Tabla 11. Propiedades químicas del maíz

Contenido de humedad %	Proteína	Grasa	Cenizas
Control 12	8.59 \pm 0.04 b	4.41 \pm 0.002 a	1.49 \pm 0.004 a
14	8.68 \pm 0.02 a	4.41 \pm 0.002 a	1.47 \pm 0.03 a
16	8.66 \pm 0.03 ab	4.46 \pm 0.11 a	1.48 \pm 0.04 a
18	8.69 \pm 0.001 a	4.51 \pm 0.04 a	1.46 \pm 0.02 a

Promedio y desviación estándar, valores con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey 0.05)

De acuerdo al análisis estadístico se puede observar que no hay cambios de las propiedades químicas significativos en comparación con el grano de maíz control. El porcentaje de proteína se encuentra dentro del rango de 6 a 12% reportado por Paredes y col (2008).

Por otra parte en un estudio de Oliveira (2011) donde realizó un almacenamiento por 12 meses tampoco se presentan cambios significativos en el almacenamiento hermético de la soja durante los primeros 6 meses de almacenamiento. En este estudio se demostró que el grano de maíz almacenado herméticamente es capaz de preservar la proteína bruta a contenido de humedad de 16%. La figura 29 prueba de proteína.



Figura 29. Prueba de proteína por Micro Kjeldahl

3.6.2. Grasa

Debido a que los aceites pueden sufrir diferentes transformaciones y reducir el valor nutricional del alimento es importante verificar el contenido de grasa ya que pueden producir olores y sabores desagradables (Hernández y col, 2009) Existen dos tipos de deterioros en las grasas: oxidativo (olor y sabor rancio) e hidrológico (producción de ácidos grasos libres). Al tener granos sanos y enteros las grasas de estos están protegidos contra el oxígeno por lo que la rancidez oxidativa es raramente problema en granos enteros, pero si es un problema serio para los aceites del grano y productos de molienda ya que están expuestos a la oxidación al exponerse a la atmósfera (Vázquez, 2010). La Figura 30 prueba de grasa.

En la Tabla 11 se puede observar que no se presentó diferencia significativa estadísticamente del control y los diferentes contenidos de humedad (14,16 y 18%), por lo que se puede decir que el almacenamiento hermético mantuvo estable el porcentaje de grasa sin alterar el contenido de grasas en el grano de maíz almacenado.



Figura 30. Prueba de grasa por Soxhelt

3.6.3. Cenizas

Los resultados de esta investigación coinciden con lo propuesto con Vázquez B. (2011), ya que no se presentaron cambios estadísticamente significativo en el material inorgánico del grano de maíz almacenado herméticamente, normalmente no ocurren cambios apreciables en el contenido de los minerales en granos almacenados, su porcentaje puede aumentar por la pérdida de otros componentes.

Los resultados obtenidos están dentro del rango promedio que es de 1.1 a 3.9% según lo establecido por Watson y Ramstad (1987). Es importante destacar que la cantidad de los minerales dependen de la riqueza de la tierra de cultivo. En la Figura 31 se muestra una imagen de la prueba de cenizas.



Figura 31. Prueba de ceniza en granos de maíz almacenado herméticamente.

Como se puede apreciar en los resultados obtenidos en esta investigación, no hubo efectos adversos durante el periodo de almacenamiento hermético en el grano de maíz en proteínas, cenizas y grasa, a pesar del alto contenido de humedad y la alta temperatura 25 °C de almacenamiento, esto puede deberse a la ausencia de oxígeno, por lo que los granos no pueden seguir con su actividad de respiración y se reduce drásticamente el consumo de energía, lo que retrasa el deterioro del grano de maíz.

Estos resultados coinciden con los reportados por Moreno (1991), reportando que a un contenido de humedad de 17% durante 270 días no se presentaron cambios significativos en el análisis químico proximal almacenados herméticamente, por lo que se puede decir que gracias al almacenamiento hermético no se ve afectada la calidad de los granos de maíz, considerando que el contenido de humedad influye en la respiración del grano.

Los valores promedios de cada prueba en cada tratamiento indican que las condiciones de alto contenido de humedad y temperatura de almacenamiento empleados en el presente estudio no tuvieron efecto adverso en estos parámetros, probablemente también se deba al corto tiempo de almacenamiento. Se puede decir que el almacenamiento hermético no tuvo efectos nocivos detectables sobre la composición química de los granos de maíz almacenados durante este periodo (90 días de almacenamiento).

3.7. Cuantificación de micobiota del grano de maíz

En la Figura 32 se muestran los porcentajes de la micobiota realizada al maíz control o testigo y a los 3 tratamientos con diferentes contenidos de humedad (14, 16, y 18%) almacenadas a temperaturas de 25 °C por un tiempo de 3 meses. Donde se puede observar que las condiciones de almacenamiento hermético (14,16 y 18%) y también con bajos contenidos de humedad (12 %), el grano disminuye el metabolismo y las actividades de los hongos son más lentas debido a la condición ambiental que se generó en el recipiente, lo que favorece el mantenimiento de la calidad del grano. De acuerdo a García (2007), las especies de hongos más comunes en el almacenamiento son los del género *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, y hongos de campo: *Fusarium sp.* Estos resultados son similares a los reportados por Oliveira (2011) que resalta el hecho de que en este sistema no hay aire fresco y el grano a través de su actividad respiratoria, consumiendo el oxígeno disponible, disminuyendo la actividad metabólica gradualmente.

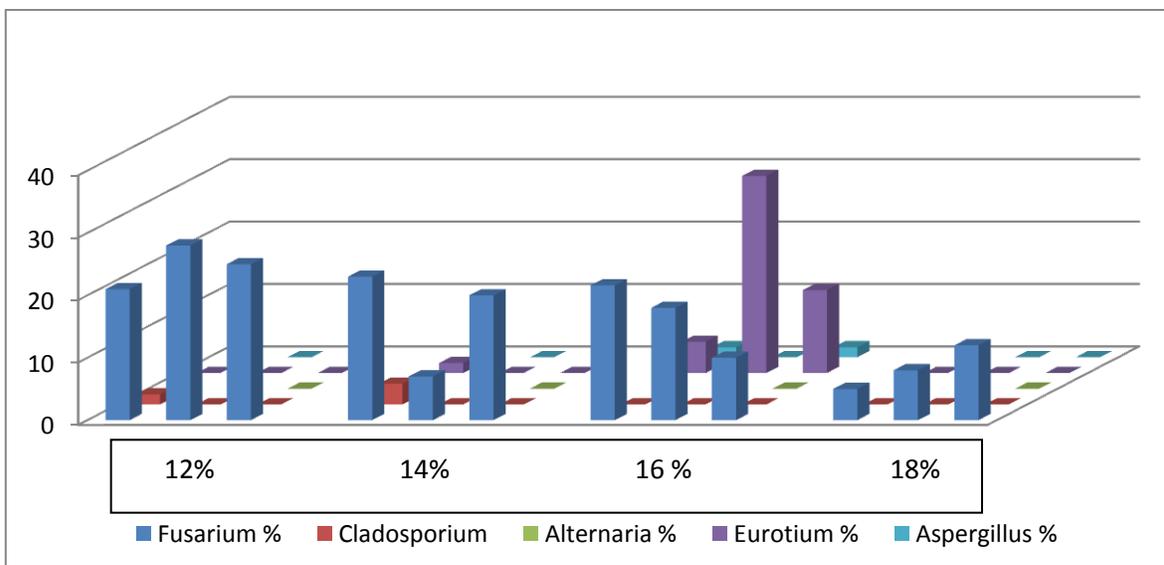


Figura 32. Grafica de micobiota para cada tratamiento con diferente contenido de humedad el grano de maíz almacenado herméticamente y el control.

Se observó un mayor porcentaje de grano libre de hongo en un ambiente hermético en comparación con el testigo que estuvo almacenado a 4 °C con contenido de humedad de 12%. En estudios anteriores se ha demostrado que en el almacenamiento abierto a humedades altas los hongos se desarrollan favorablemente y causan daños a los granos de maíz que se almacenan. Sin embargo en el almacenamiento hermético, como los resultados aquí presentados expresan hay una escasa presencia en el desarrollo de hongos de almacén (*Eurotium*, *Aspergillus*), también como se puede observar en la figura el contenido de hongos de campo como es *Fusarium*, *cladosporium* y *Alternaria*, disminuyeron en el almacenamiento hermético, lo cual es normal a través del almacenamiento de granos con contenidos de humedad bajo, aún el 18% es bajo para los requerimientos de humedad de los hongos de campo, entre ellos el hongo *Fusarium*.

El almacenamiento hermético resultó ser un buen control para los hongos de campo y almacén, se observa que el contenido de *Fusarium*, hongo de campo, en este tratamiento disminuyó notablemente de un contenido de 21% con el testigo con contenido de humedad de 12%, la cuantificación de este hongo para el

tratamiento con contenido de humedad de 14% presentó un porcentaje de 16%, al igual que con contenido de humedad de 16% se mantuvo con un 16% de *Fusarium*, y por último el contenido de humedad de 18% presentó un promedio de este hongo de 8%.

De acuerdo con Moreno y Quezada (1995) los hongos de campo como *Fusarium* tienden a desaparecer a través del período de almacenamiento. En el almacenamiento hermético *Aspergillus* como *Penicillium* no se desarrollaron, esto debido a la falta de oxígeno. También se logró observar que conforme a mayor contenido de humedad (18%) en el almacenamiento hermético menor contenido de hongo, *Fusarium* (8%).

En los resultados de este trabajo no hay presencia de *Aspergillus* ni de *Penicillium* coincidiendo con los trabajos realizados de Moreno (1991) que reporto que a partir de los 15 días de almacenamiento con oxígeno de 1.5% y dióxido de carbono del 53% no se desarrollaron hongos de *Aspergillus* y *Penicillium* que se producen en maíz con un contenido de humedad del 17%.

Los hongos de almacén no pueden crecer en granos con poca cantidad de oxígeno de esta manera no hay alteración en la humedad así como en la temperatura (Watson, 1987), esto se da por la atmosfera de almacenamiento que se modifica dentro de los botes, creando condiciones que no favorecen el desarrollo de los hongos de almacén en el granos de maíz, tanto por el contenido de humedad del grano como por el tiempo de almacenamiento. También se puede relacionar el grado de invasión de hongos de campo y almacén antes del almacenamiento, sin olvidar que puede influir la cantidad de materia extraña, la condición física y biológica del grano (Moreno y col, 2000a).

Sin embargo, en este estudio de acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que en contenido de humedad de 16% hubo presencia de *Eurotium* con promedio de 16% hongo de almacén, a diferencia de los demás tratamientos,

incluyendo el testigo, que no presentan desarrollo de este hongo, se cree que esto es debido a que en este contenido de humedad de 16% hubo condiciones óptimas en los primeros días de almacenamiento para que se desarrollara el hongo, es decir se pudo haber desarrollado antes de que se consumiera todo el oxígeno, teniendo tiempo para desarrollarse, ya que contaba con todas las características apropiadas para su desarrollo como es la temperatura (25 °C), tiempo de almacenamiento y óptimo contenido de humedad. También pudo haber contribuido el hecho de que los contenedores no se llenaran completamente de maíz, quedando un espacio sin ocupar, generando mayor oportunidad de respiración del grano, lo cual pudo haber dado al grano la oportunidad de que se desarrollaran estos microorganismos. Aunque desde el primer día se comienza a eliminar el oxígeno, no sucede con la misma rapidez que pasa con un bote completamente lleno, debido a que reduce de manera significativa los espacios de aire dando mayor agilidad al agotamiento de oxígeno, y menor oportunidad al desarrollo de hongos (Vázquez,2010; Moreno y col, 2000b). En la Figura 33 se muestra una imagen de la cuantificación de micobiota.



Figura 33. Muestra de tratamiento con contenido de humedad de 16% reconocimiento de hongo.

Es bien sabido que el deterioro del grano no se puede evitar completamente al ser un organismo vivo respira, sin embargo el uso de técnicas adecuadas de poscosecha, secado y almacenamiento minimiza el deterioro. De acuerdo con el

Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA, 2007) y con los resultados obtenidos en esta investigación se puede decir que cuanto mayor es la producción de dióxido de carbono y menor la del oxígeno menor será la intensidad respiratoria de los granos almacenados, con base a lo dicho se observa que con contenido de humedad de 18% en almacenamiento hermético con un porcentaje promedio de oxígeno de 0.0% y dióxido de carbono de 73.7% con este elevado porcentaje se creó un ambiente propicio para prevenir el crecimiento de hongos, ya que estos niveles de oxígeno y dióxido de carbono no permiten la reproducción de los hongos de almacén, aun cuando éstos no mueran y entran a un periodo de absoluta inactividad (Jovel, 2011; Rodríguez y col., 2001). Por lo tanto las condiciones de temperatura, humedad y tiempo de almacenamiento, afecta directamente en los daños por hongos de cada tratamiento.

Los hongos de almacén requieren oxígeno y humedad para su desarrollo; en el almacenamiento hermético pueden proliferar antes de que el oxígeno baje a menos del 5%, con niveles debajo de 5% ya no pueden reproducirse. En el almacenamiento abierto con 21.9% de oxígeno no tienen restricción por este factor. Sin embargo, las restricciones que pueden encontrar estos hongos en el almacenamiento abierto son la humedad y la temperatura. A temperaturas de menos 12 °C para su desarrollo, al igual que a temperaturas de más de 40 °C; en cuanto a la humedad los contenidos óptimos son de 13.0% a 19-20% en granos almacenados, fuera de esos rangos, particularmente en el rango superior, se encuentran con problemas de competencia con otros hongos y hasta bacterias pueden crecer (Moreno y col, 2006). Por lo que los daños por hongos bajo las condiciones de cada uno de los tratamientos en esta investigación, los hongos no fueron un problema a considerar. La figura 34 de cuantificación de micobiota

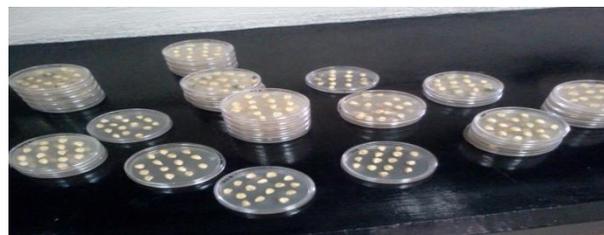


Figura 34. Cuantificación de micobiota

3.8. Calidad fisiológica de maíz

3.8.1. Germinación

En el caso del maíz el deterioro fisiológico está relacionado con el contenido de humedad y la temperatura de almacenamiento (Moreno, 1988; Guy y col., 2002). Existe relación entre la absorción de oxígeno de los granos y la germinación, el volumen de dióxido de carbono producido del grano, en conjunto con el tiempo el dióxido de carbono se eleva y los valores de germinación disminuyen (Moreno y Quezada, 1995). En la Figura 35, resultados de porcentajes de germinación.

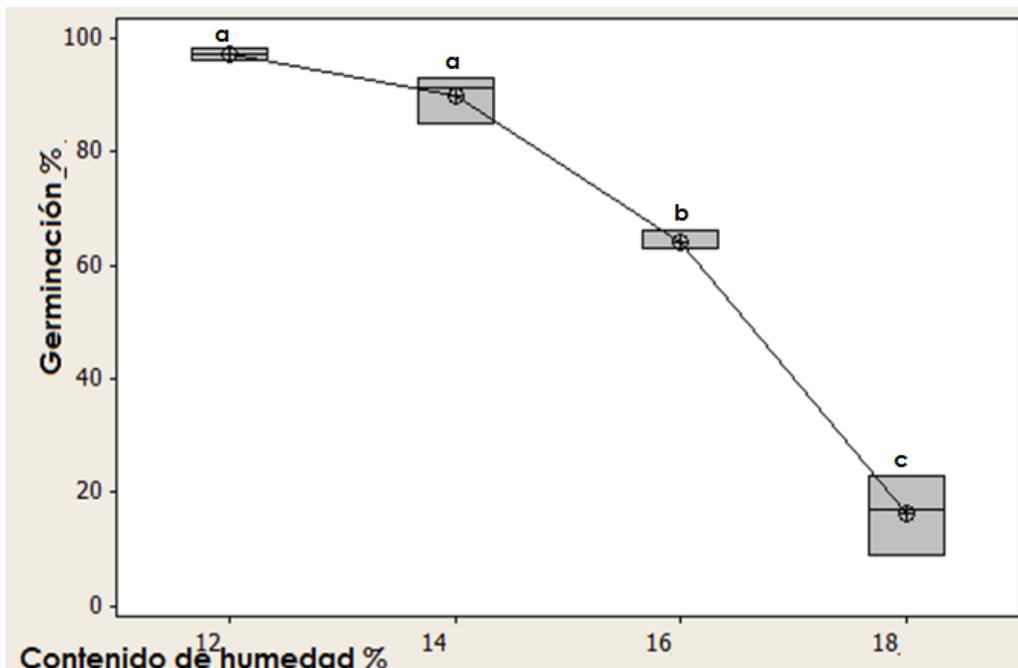


Figura 35. Porcentaje de germinación de los tratamientos de almacenamiento hermético y el control. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, 0.05)

Como se puede observar en la Figura 35, el porcentaje de germinación fue disminuyendo notablemente. El promedio del control con 12% de contenido de humedad presenta un alto porcentaje de germinación de 97%, el poder germinativo de los tratamientos almacenados disminuyó; con contenido de humedad de 14 y 16% al finalizar los 3 meses de almacenamiento hermético se obtuvo un porcentaje de germinación de 89 y 64% respectivamente, y con contenido de humedad de 18% el promedio de germinación fue de 16%. No

sorprende que en las condiciones carentes de oxígeno del almacenamiento hermético, la germinación se vea afectada; el daño depende de la temperatura y el contenido de humedad del grano (Moreno y Quezada, 1995).

El contenido de humedad, la temperatura y el periodo de almacenamiento afectan la germinación del grano, el poder germinativo se ve afectado en poco tiempo, por lo que se puede decir que con un contenido de humedad de 16% o mayor con temperatura de 25 °C en un periodo de 3 meses ya hay pérdida de calidad fisiológica, muestras con misma temperatura y menor contenido de humedad (14%) se puede almacenar manteniendo alto porcentaje germinativo. De acuerdo con Weinberg y Yan (2007) esto quiere decir que la capacidad de germinación del grano de maíz se ve afectado por el incremento de el contenido de humedad. Figura 36 se muestra una imagen de la prueba de germinación.

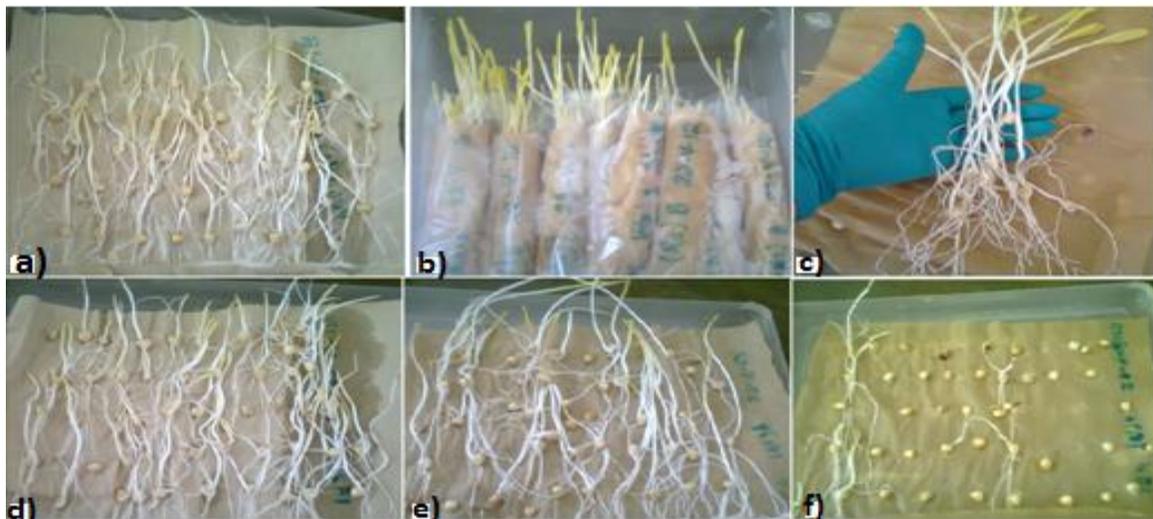


Figura 36. Fotografías de germinación del grano de maíz, a) Control, b) rollos de todos los tratamientos, c) maíz que germinó, fotografías de algunos rollos de los diferentes tratamientos. d) tratamiento de contenido de humedad de 14%, e) tratamiento de contenido de humedad de 16%, f) tratamiento de contenido de humedad de 18%.

Estos resultados coinciden con los reportados por Moreno y Quezada, (1995), el grano almacenado bajo condiciones herméticas a contenidos bajos de humedad no resulta una disminución significativa en la capacidad de germinación. Sin

embargo se ha observado que la germinación tiene tendencia a disminuir a lo largo del almacenamiento. Moreno y Quezada (1995) encontraron que con un contenido de humedad de 17% después de los 15 días de almacenamiento se tiene mayor porcentaje de germinación que el grano almacenado en condiciones no herméticas. Bajo condiciones normales de aire en el almacenamiento de periodo de 15 días disminuye el porcentaje de germinación. El grano almacenado con un contenido de humedad de 16% tiene 45% de germinación y un grano con contenido de humedad de 17% tiene bajos contenidos de germinación de 17 a 21% entre los 12 y 15 días de almacenamiento.

Las condiciones de temperatura, humedad y tiempo de almacenamiento, afectan directamente en la reducción en el porcentaje de germinación de los tratamientos con alto contenido de humedad (16 y 18%). Estudios realizados por Rodríguez y col (2001) y también Jovel (2011) demostraron que el poder germinativo del grano de maíz en almacenamiento hermético se reduce de 97% a 84% en 120 días con humedad de 12%.

Cabe resaltar que la importancia de la prueba de germinación en este estudio fue observar el efecto de los tratamientos con diferentes contenidos de humedad (14, 16 y 18%) y el testigo con contenido de humedad de 12%, con temperatura adecuada para que se pudiera dar la germinación en el almacenamiento (25 °C), recordando que este estudio es para grano de maíz para consumo humano, y no como semilla, por lo que estos resultados son convenientes para el almacenamiento como grano, a pesar de que el porcentaje de germinación disminuyera; se busca que durante el almacenamiento del grano de maíz no germine.

3.9. Índice de acidez

La acidez de la grasa también es un indicador de deterioro ya que es el número de miligramos de hidróxido de potasio requerido para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en 100 miligramos de grano (Vázquez, 2010). Su determinación

se utiliza como un índice general del estado y palatabilidad del aceite (Kirk, 2011). El aceite de maíz es rico en ácidos grasos insaturados, la rancidez de estos aceites son producto de las reacciones de deterioro de los lípidos que se encuentran en el grano (Hernández y col, 2009).

La velocidad de formación de los ácidos grasos libres depende de la humedad, la temperatura, el tiempo de almacenamiento y de la presencia de hongos. (Hernández y col 2009). La acidez titulable aumenta en los estados iniciales de deterioro, aunque los resultados de los diferentes métodos para obtener la acidez no están de acuerdo uno con otro (Kirk, 2011). Debido a la actividad de la enzima lipasa presente en los granos, pueden actuar durante el almacenamiento, lo que afecta la calidad del grano. En la Figura 37 se muestran los resultados de índice de acidez.

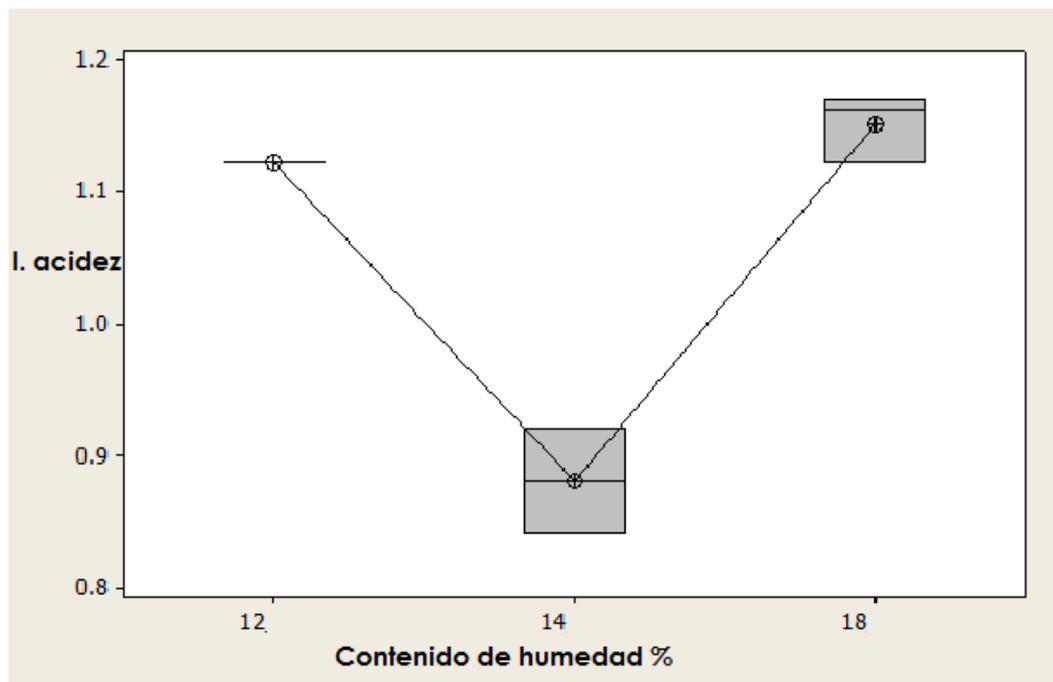


Figura 37. Índice de acidez por contenido de humedad. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

Nota: no se realizó la prueba para el tratamiento de contenido de humedad de 16% debido a que se acabó la muestra.

Se puede observar que en el grano de maíz control hubo un promedio de 1.12 %, el contenido de humedad de 14% con un 0.88% y un 1.15% con el contenido más alto de humedad que es de 18%. Como Kirk, (2011) lo indica, la acidez de la mayoría de los aceites comienza a hacerse notable al paladar cuando los ácidos grasos libres calculados como el ácido oleico constituyen aproximadamente del 0.5 al 1.5% ya que la presencia de ácidos grasos libres indica la actividad de la lipasa o actividad hidrolítica de otro tipo. Se efectúan cambios durante el almacenamiento que dan como resultado sabores y olores desagradables, se les clasifica como rancio. Estas características desagradables en parte son ocasionadas por la presencia de ácidos grasos libres. Pero el proceso de enranciamiento se debe a la oxidación atmosférica (auto-oxidación). La rancidez oxidativa se acelera por exposición a la luz, calor, humedad y residuos de metal (cobre y hierro). Por lo que se puede decir que si no hay incremento de índice de acidez, no habrá rancidez.

Romero y col (2008) realizaron estudios sobre los factores químicos y bioquímicos que promueven el aumento de acidez en el aceite de granos de maíz durante el almacenamiento, encontrando que efectivamente la acción enzimática y microbiológica contribuye al deterioro progresivo durante su almacenamiento.

Durante este almacenamiento hermético los compuestos químicos, en este caso las grasas no pueden tomar oxígeno para formar hidroperóxidos, conocidos como peróxidos y también gracias a la presencia de antioxidantes naturales como los tocoferoles que inhiben la formación de peróxidos, debido a que ninguno de los tratamientos rebasó el 1.5% de ácidos grasos de acuerdo con Kirk, (2011), se puede decir que los porcentajes de índice de acidez no representan ningún peligro para el enranciamiento de la grasa en el grano de maíz.

En el estudio de Oliveira (2011) los sistemas de almacenamiento evaluados mostraron comportamientos diferentes unos de otros. Los granos almacenados con contenido de humedad de 12, 14 y 16 %, presentaron los niveles más bajos de acidez registrados en granos de estos dos últimos contenidos de humedad mencionados (14 y 16%), almacenada en atmósferas modificadas con dióxido de

carbono y nitrógeno. Explica que estos resultados se deben a la menor producción de las enzimas lipolíticas, estas condiciones han limitado el desarrollo o por lo menos la síntesis de las lipasas a través del metabolismo secundario causada por este medio ambiente.

Los resultados de este estudio al igual que los de Oliveira (2011) y a su vez señalando a Araujo informa (2008), indican que cuando los granos se almacenan con mayor contenido de humedad se han observado tasas más altas de ácidos grasos libres, sin embargo durante el almacenamiento no hay proceso de la rancidez hidrolítica. Por otra parte, la mejor conservación de estos constituyentes de los granos también se puede atribuir a menor incidencia de la producción de lipasa. Otros estudios indican (Hernández y col, 2009) que el deterioro se puede acelerar por la presencia de hongos por su actividad lipolítica, la cual se desarrolla durante el almacenamiento, sin olvidar que los lípidos se hidrolizan lentamente por el agua a temperatura elevada, por acción natural de las enzimas lipolíticas producidas por microorganismos o contaminantes, contribuyendo a la rancidez hidrolítica de grano. Sin embargo al tratarse de almacenamiento hermético se reduce la oxidación de los lípidos por la ausencia de oxígeno.

De acuerdo a estudios de Hernández (2009) con un contenido de humedad de 15%, el índice de acidez del aceite y de peróxido obtenido con los granos de maíz almacenados durante 90 días incrementa con respecto grano de maíz inicial. Debido a que las grasas en los granos de maíz son fácilmente descompuestas por las lipasas en ácidos grasos libres durante el almacenamiento, cuando la temperatura y la humedad son altas.

Dentro de los factores ambientales que tienen mayor influencia sobre el perfil de ácidos grasos está la temperatura, la cual al aumentar incrementa la producción de ácidos grasos saturados a expensas de los insaturados (Alezones y col, 2010). El aceite de maíz tiene alta demanda por su efecto positivo sobre la salud por el ácido linoleico, pero al haber alta concentración de este puede producir inestabilidad al aceite generando una rápida oxidación cuando es empleado para freír alimentos. La variación en la composición específica de ácidos grasos podría

implicar cambios en sus propiedades alimentarias según el ambiente donde se cultiven.

Por todo lo anterior, se puede decir que el almacenamiento hermético se considera una alternativa viable para la protección de grano de maíz. Ya que de acuerdo a los resultados presentados en esta investigación al no haber desarrollo de hongos y a su vez gracias a las condiciones del medio ambiente del almacenamiento hermético generando baja actividad metabólica y enzimática del grano lo cual es un efecto positivo para la calidad del aceite de los granos de maíz.

Nota: no fue necesario realizar la prueba de peróxidos, ya que al no presentarse un incremento significativo de índice de acidez no hubo oportunidad de que se generará rancidez.

CONCLUSIONES

Con base a los objetivos planteados para el presente proyecto y los resultados obtenidos del efecto del almacenamiento hermético en los diferentes contenidos de humedad (14, 16 y 18%) a una temperatura de 25 °C y un grano de maíz control con contenido de humedad de 12%, determinado calidad física, microbiológica y química del grano almacenado se concluye que:

En el almacenamiento hermético a mayor contenido de humedad, con una temperatura alta de 25 °C y con un período de almacenamiento de 3 meses el dióxido de carbono aumenta mientras que el oxígeno disminuye drásticamente. Esto se puede deber a que a mayor contenido de humedad (16 y 18%) el grano respira más rápido acabando con el oxígeno rápidamente, y con contenidos de humedad bajo (14%) el grano de maíz respira lento por lo que en ninguno de los dos casos el grano tiene la oportunidad de realizar normalmente su actividad metabólica, lo que favorece el retraso por mayor tiempo el deterioro de grano. Al igual que el oxígeno, esto porque el oxígeno se relaciona directamente con el incremento de dióxido de carbono, a mayor contenido de humedad menor porcentaje de oxígeno, el pH tiende a disminuir aunque en esta investigación no tiene una diferencia estadísticamente significativa.

El almacenamiento hermético a altas humedades la calidad química en un periodo de tres meses no se ve alterada, ya que no tuvo diferencia estadísticamente significativa con el grano de maíz control.

Al finalizar el almacenamiento hermético se comprobó que la temperatura a la que se almacenó se mantuvo, es decir se almacenó a 25 °C y después de los 3 meses de almacenamiento hermético la temperatura no se modificó. Ya que durante el almacenamiento hermético se logró un equilibrio en su atmósfera en ausencia del oxígeno y se pudieron evitar focos de calentamiento por lo que los parámetros establecidos no se alteraron, tanto la temperatura como el contenido de humedad.

Por los resultados obtenidos en este trabajo, se puede decir que el almacenamiento hermético de maíz con contenidos de humedad de 14,16 y 18% no afecta la calidad del grano para el consumo humano, manteniendo sus propiedades físicas, y químicas como aceptables. También se realizaron estudios para evaluar el efecto de la micobiota que se pudiera desarrollar en estas condiciones de almacenamiento. Es importante señalar que a altos contenidos de humedad (16 y 18%) se da una rápida reducción del oxígeno e incremento de dióxido de carbono con lo que se elimina el desarrollo de hongos como *A. flavus* que crece con contenidos de humedad altos. Es un método que previene el crecimiento de hongos en grano húmedo. El combate a los hongos se logra almacenando los granos a temperaturas, humedades y atmósferas desfavorables para su desarrollo.

El principio del almacenamiento hermético ya sea en granos secos o con alto contenido de humedad es el mismo, la disminución del oxígeno a nivel tal que mate o inactive los organismos dañinos, por la respiración de los hongos y el grano, la mayoría de animales, plantas, incluso los hongos mueren o cesa su crecimiento en condiciones de poco oxígeno, ya que estos utilizan el oxígeno disponible y se asfixian. Este método de almacenamiento además de reducir las pérdidas económicas, también previene daños a la salud y contaminación al ambiente al no utilizar plaguicidas de ninguna clase, para controlar los insectos y los hongos.

Es posible almacenar herméticamente el grano de maíz a contenidos de humedad altos (14, 16 y 18%). El grano al estar protegido de agentes bióticos y no bióticos se deteriora menos que con los métodos tradicionales, por lo que el uso de esta tecnología es una solución adecuada para reducir pérdidas de maíz, sobre todo en zonas rurales, beneficiando a campesinos y empresas. El almacenamiento hermético ofrece una forma simple de guardar el grano en un estado libre de plagas, y hongos sin el uso de insecticidas químicos, es una ventaja considerable teniendo conciencia ecológica. De ser mejor explorado dando a conocer los beneficios y facilidades de este tipo de almacenamiento puede beneficiar

específicamente lugares muy cálidos donde el enfriamiento del grano es imposible, o cuesta mucho, y zonas muy húmedas donde no se tiene la tecnología para secar el grano.

RECOMENDACIONES

Se debe almacenar granos enteros, sanos y sin materia extraña, mantenerse fresco, seco, protegido de insectos, roedores, hongos para un buen almacenamiento y conservación de granos, se requiere de lugares secos, limpios y libres de plagas.

Promocionar el almacenamiento hermético como una alternativa favorable para el almacenamiento de granos de maíz a productores de zonas rurales, ya que se han obtenido buenos resultados en los estudios realizados con esta tecnología. Aunque es de fácil manejo se debe proporcionar información a los agricultores sobre aspectos de almacenamiento de granos. Se debe capacitar a las personas que tratan con el almacenamiento hermético ya que existe el riesgo de un sellado incorrecto, cuyos efectos no se podrían apreciar a simple vista.

El principio básico en este método de control es la ausencia de aire dentro del silo, razón por la cual se recomienda llenarlo completamente de grano para reducir los espacios de aire.

Es importante que la estructura del almacén sea completamente hermética para conservar el grano de maíz, ya que con fugas mínimas, se corre riesgo en el control de hongos.

Se recomienda realizar un estudio con diferentes niveles de dióxido de carbono en diferentes variedades de maíz. Ya que Además del contenido de humedad del grano, la temperatura y el oxígeno existen otros factores que afectan la calidad del grano de maíz, como es el potencia genético y el estado fisiológico del mismo.

En futuros estudios se recomienda que se analice el almacenamiento hermético por mayor tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. 2000. Approved Methods of the AACC. Decima edición. The American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, EE.UU.

Alababan B. 2006. Temperature Changes in Bulk Stored Maize. Department of Agricultural Engineering. Federal University of Technology. Nigeria. 187-192p.

Aguirre Delgado Roberto. 1990. Efecto de la humedad en el almacenamiento hermético a corto plazo de semilla de frijol. *Agronomía mesoamericana*, Colombia. ISSN: 1021-7444.

Alezones J., Ávila Manuel, Chassaigne Alberto, Barrientos V. 2010. Caracterización de perfil de ácidos grasos en granos de híbridos de maíz blanco cultivados en Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol. 60. No. 4.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th, Official Methods 965.17, 17th edition, Gaithersburg, USA.

Badui Dergal Salvador. 2006. *Químicas de los alimentos*. Cuarta edición. Pearson Educación, México.

Benítez-Cardoza CG., y Pfeiffer-Perea H. 2006. El maíz: origen, composición química y morfológica. *Materiales Avanzados*, (7)15-20.

Bolivar Qué Barato. 2012. Sacos de 40 kg de maíz. Venezuela. Recuperado 11 de 07 de 2012. <http://www.quebarato.com.mx/>

Burge, R., y Duensing, W. 1989. Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal Foods World*, 34: 535-538.

Bustamante Zepeda J. 2010. Calidad física y fisiológica en semillas de híbridos de maíz de los valles altos centrales de México y su relación con el establecimiento en campo. Tesis para obtener el grano de maestra en ciencia. Texcoco, Edo de México.

Castañeda, P. 1990. El maíz y su cultivo. 1ra ed A.G.T.Editor, S.A. México

Castillo Zambrano Cecilia.2012. Almacenamiento de semilla de cebada maltera: análisis físico, proximal y deterioro fisiológico. Tesis, Colegio de posgraduados. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Montecillo, Texcoco, Edo de México.

CIDAP. 2011. Instructivo para el muestreo y análisis de maíz, fríjol y arroz. Recuperado el 17 de 06 de 2013, de Instructivo para el muestreo y análisis de maíz, fríjol y arroz.

http://www.diconsa.gob.mx/normateca/images/pdfs/documentos_apoyo/muestreo_y_analisis.pdf

Croston, A., Director General de Croston Engineering. (02 de 07 de 2012). Almacenamiento a granel y manipulación. Recuperado el 14 de 09 de 2013, de Almacenamiento a granel y manipulación: www.engormix.com

Díaz Coronel, G. S. 2009. Evaluación productiva y calidad del grano de cinco híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en dos localidades de la provincia de los ríos. Ciencia y tecnología , 2 (1) 15-23.

Evisos . 2011.Troje antigua . Michoacan, México. Recuperado 03 de 09 de 2011.

FAO (Food and Agriculture Organization). 1993a. Almacenamiento de granos a nivel rural. Recuperado el 12 de 08 de 2013, de Almacenamiento de granos a nivel rural, Departamento de agricultura

<http://www.fao.org/docrep/X5050S/X5050S00.htm>

FAO (Food and Agriculture Organization). 1993b. La ingeniería en el desarrollo - Manejo y tratamiento de granos poscosecha. Recuperado el 14 de 08 de 2013, de La ingeniería en el desarrollo - Manejo y tratamiento de granos poscosecha: <http://www.fao.org/docrep/X5041S/X5041S00.htm>

FAO (Food and Agriculture Organization). 2001. El maíz en los trópicos, mejoramiento y producción. Depósito de documentos de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma

Fox G, M Manley. 2009. Hardness methods for testing maize kernels. Journal. Agriculture. Food Chemistry. 57:5647-5657.

García Lara S., Espinoza Carrillo C., Bergvinson J. D. 2007. Manual de plagas en granos almacenados y tecnologías alternas para su manejo y control. México, D.F.: CIMMYT.

García Leños, M. A. 2007. Silo hermético para el control de plagas de granos almacenados en Guanajuato, México. Agricultura técnica en México , 231-239.

Geometrica. 2000. almacenamiento . Recuperado el 14 de 09 de 2013, de almacenamiento: http://www.geometrica.com/es/bulk-storage?gclid=CNurnp_yy7kCFYdQ7AoddV4Atg

González, U. 1995. El maíz y su conservación. 1ra edición, Trillas. D.F., México:

Grupo Narro. 2012. Unidades de almacenamiento de granos. Recuperado el 04 de 09 de 2013, de Unidades de almacenamiento de granos: <http://www.gruponavarro.net/galeria.htm#unidades>

Guy, P.A., Sindaner, J.-P., Shriver, S., Edney, M., MacGregor, A.W., Hill, R.D. 2002. Embryo phytolegumin Gene Expression as a Measure of Germination in Cereals. *Journal of Cereal Science* 36: 147- 156)

Hernández C., Rodríguez Y., Niño Z., Pérez S., 2009, Efecto del Almacenamiento de Granos de Maíz(*Zea mays*) sobre la Calidad del Aceite Extraído, *Información Tecnológica*, Vol. 20(4), 21-30

Hoseney, R. 1991. *Principios de ciencia y tecnología de los cereales*. Zaragoza España: Acribia,S.A.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 2008. Silo hermético para almacenar granos y semillas. Celaya, Guanajuato., México.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2009. Almacenamiento hermético de granos y semillas. Celaya, Guanajuato, México.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).2006.; *Calidad del Grano de Maíz*. Recuperado 8 de marzo 2013.

http://www.produccionbovina.com/informacion_tecnica/suplementacion/80-grano_maiz.pdf.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2007. *Conservación de granos. Proyecto eficiencia de cosecha y poscosecha de granos. Actualización técnica N° 32*

Inglett G.E. 1970. *Corn: culture, processing, products*. AVI Publishing Company Inc. (ed.) London, England. ISBN: 0870550888

International Seed Testing Association (ISTA). 1996. Rules for seed testing. *Seed Science. and technology*, 2. 2. 11SST Vol. 24. Supplement, Netherlands.

International Seed Testing Association. 2005. International rules for seed testing. Published by The International Seed Testing Association. Bassersdorf, Switzerland. 243 p

Jackson, D. S. y Shandera, J. R. 1995. Corn Wet Milling: Separation Chemistry and Tecnology, *ADVANCES in Food and Nutrition Research*. Vol. 38:271-29

Jiménez, H., J.L. Navarrete y E. Botello; Estudio Numérico de la Convección Natural de Calor y Masa 2-D en Granos Almacenados en Silos Cilíndricos, *Agrociencia*: 38(2), 325-342 (2004).

Jovel López Roberto Antonio.2011 Evaluación de tres métodos de almacenamiento de semilla de maíz (*Zea mays*) y su efecto en los atributos de calidad en Zamorano. Agroindustria alimentaria. Zamorano, Honduras.

Kirk R., Sawyer, R. y Egan, H. 2011.Composición y Análisis de Alimentos de Pearson. 2a ed. en español, Compañía Editorial Patria, S. A., México

Martínez B.F., Martínez H.E., Sanmartín M. F.E, Sánchez S., Chang Y. K., Barrera A. D., Ríos E. 2001. Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalization process. *Journal Agriculture chemistry*. 81:1455-1462.

Méndez Montealvo, G., Solorza, F. J., Velázquez, d. V., Gómez, M. N., Paredes, L. O., & Bello, P. L. 2005. Composición química y caracterización calorimetrica de hibridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia* , 267.274.

Mendoza Elos, M., Andrio Enríquez E., Juárez Goiz JM., Mosqueda Villagómez., Latournerie Moreno L., Castañon Najera G., López Benítez A., Moreno Marínez E. 2006. Contenido de lisina y triptofano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Universidad y Ciencia* , 153-161.

Molinera el globo. 2010. Almacenaje y conservación de granos. Cía Molinera el globo S.A.

Moreno, M. E y Ramirez. 1988. Manual para la identificación de hongos de granos y sus derivados. Programa universitario de alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D. F. 109 p.

Moreno M. E. (1990). Efecto del almacenamiento hermetico en la calidad del maíz para tortilla.

Moreno, M. R. (1991). Efectos del almacenamiento hemético en la calidad de Maíz para Tortillas. Turrialba , 528-533.

Moreno, M.E., F,Torres e I. Ching 1995. El sistema poscocecha de los granos en nivel rural: Problemática y propuestas. UNAM-FAO-CONASUPO. México.

Moreno, 1996; pag 36

Moreno Lara Josefina y Quezada Viay Martha Yolanda.1995. Almacenamiento hermético de maíz. Tesis Aguascalientes.

Moreno –Martinez, E., Rivera, A. and Vázquez Badillo, M. 1998.Effect of Fungi and Fungicides on the preservation of Wheat Seed Stored with High and Low Moisture Content. *Journal of Stored Products Research*. 34: No. 4: 231-236.

Moreno M.E.; Jimenez, A.S.; Vazquez, M.E. 2000 a. Effect of *Sitophilus zeamais* and *Aspergillus chevalieri* on the oxygen level in maize stored hemetically.

Journal Stored Product Research, Oxford, v.36, p.25-36.

Moreno M.E.; Vázquez B.M. y Facio P.F. 2000 b. Uso de sales del ácido propionico para inhibir la producción aflatoxinas en granos almacenados de maíz. *Agrociencia*: 34:477-484.

Moreno, M.J., D. Belén y V. Torrez, 2003. Degradación Cinética de Carotenoides Obtenidos de Frutos de Carica papaya L., *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*: 20, 232-237

Moreno, M. E., Jimenez, A.S.; Vazquez, M.E. 2006. Hermetic storage system preventing the proliferation of *Prostephanus truncatus* Horn and storage fungi in maize with different moisture contents. *Postharvest Biology and Technology*, Pullman, v.39, p.321-326, 2006.

Newman, C. 2003. Grain Storage: Maintaining Grain Quality, Farmnote N° FN 65, 1-4, Government of Australia, Department of Agriculture, Australia.

Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI. 2002. Productos alimentarios no industrializados para consumo humano. Cereales. Parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Especificaciones y métodos de prueba. Diario oficial de la federación.

Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harina, sémolas o semilinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.

Oliveira M., 2011. Efectos de la humedad, el tiempo y sistemas almacenamiento en calidad y parámetros propiedades tecnológicas de granos y aceite.

Universidad federal de pellets. Facultad de agronomía departamento de la agroindustria de ciencia y tecnología programa de licenciado en ciencia y tecnología agro industria. Brasil

Ortas L. 2008. El cultivo de maíz: fisiología y aspectos generales. Comercial de servicios. Agrigan, S.A.

Paredes-López O, Guevara Lara F, Bello Pérez L. 2008. La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias* 92-93:60-70.

Programa Especial para la Seguridad Alimentaria, (PESA). 2007. Técnicas de almacenamiento de granos en poscosecha. México.

Ramírez M., M.; Zurbia Flores, R.R. y Díaz A., L. 1993. Ecología del almacenamiento y el combate de insectos: Control físico y biológico en insectos de granos y semillas almacenados. In: Insectos de granos almacenados: biología, daños, detección y combate. INIFAP-CIRCE-CEBAJ. p. 110-146 (Libro Técnico Núm. 1).

Ramírez Alejandra, Ortiz de Bertorelli Ligia, Martínez Norelkys y De Venanzi Frank. 2007. Adaptabilidad de híbridos de maíz dulce al almacenamiento como granos enteros congelados. *Interciencia*, vol.32 No. 8. En línea (Fecha de consulta 22 de junio de 2014) <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932806>> ISSN 0378-1844.

Reducción de pérdidas de cosecha y almacenamiento de granos. (s.f.). Recuperado el 20 de 07 de 2013, de Reducción de pérdidas de cosecha y almacenamiento de granos:
<http://www.urf.com.uy/IMG/pdf/ReduccionPerdidasCosecha.pdf>

Ripusudan, L. P., y Granados, G. H. 2001. El Maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Rome: *Food and Agriculture Organization of the United Nation*.

Rodríguez, J. C., Bartosik, R. E., Malinarich H.D., Exilart, J.P. y Nolasco, M.E. 2001. Fundación ArgeINTA delegación de buenos aires sur. Almacenamiento de grano en bolsas plásticas: sistema silobag. Argentina 1-27p.

Romero, D., F. Bolívar y N. Salinas. 2008. Estudio de los Posibles Eventos Químicos y Bioquímicos que Inciden en el Incremento de la Acidez en el Proceso de Extracción de Aceite de Maíz, Grasas y Aceites: 59(3), 282-287

Rosas. I., Gil, A. Ramírez, B. Hernández, H., Bellon M. 2007. Physical and physiological seed quality of maize landraces stored in metallic silo and with traditional methods in Oaxaca, México. Fitotec. Mex. Vol 30 (1): 69-78

SIAP-SAGARPA. 2004. Anuario Agropecuario, SAGARPA. México, D.F. Disponible en:
<http://www.siap.gob.mx/>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), SAGARPA. 2010. Cierre de la Producción Agrícola por Estado. SIAP-SAGARPA. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).2012. Cierre de la Producción Agrícola por Estado. SIAP-SAGARPA. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/> (Marzo 2012)

SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación). Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Recuperado el 13 de 07 de 2013, de Almacenamiento y conservación de granos y semillas. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Almacenamiento%20de%20semillas.pdf>

Salinas-Moreno Yolanda; Pérez-Alonso José J.; Vázquez-Carrillo Gricelda; Aragón-Cuevas Flavio; Velázquez-Cardelas Gustavo A. 2012. Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*zea mays* L.) de las razas chalqueño, elotes cónicos y bolita. *Agrociencia*, vol. 46, núm. 7, octubre-noviembre, 2012, pp. 693-706 Colegio de Postgraduados Texcoco, México. Revista: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Sistema de Información Científica: <http://www.redalyc.org/pdf/302/30225079005.pdf>

Salinas Moreno Yolanda; Aragón Cuevas Flavio; Ybarra Moncada Carmen; Aguilar Villarreal Jesica; Altunar López Bernabé; Sosa Montes Eliseo. 2013. Caracterización física y composición química de raza de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnica Mexicana*, VOL.31, NÚM1,PP.23-31, A.C.Chapingo, México.

Secretaria de Economía. (2012). Análisis de la cadena de valor maíz tortilla: Situación actual y factores de competencia local. México: SE, Dirección general de industrias básicas.

Serna-Saldivar O.; Gómez M.H. Rooney L.W. 1990. Thechnology, chemistry and nutritional value of alkaline-cooked corn products. In *Advances in cereal science and Thechnology*, Vol. X. USA.

Serna-Saldivar S.R.O. (1996) Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. AGT

Serratos H. J.A. 2009. El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Universidad Autónoma de la ciudad de México.

Valdivia, L. R. (2011). Almacenamiento de granos basicos. Nicaragua : Catholic Relief Services (Proyecto A4N).

Vázquez B, M. E. (2010). Manejo de poscosecha. Saltillo, México: Departamento de fitomejoramiento., Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro.

Vazquez Carrillo M.G. y Ramos Santiago D. 2013. Características fisicoquímicas y calidad del Pozole del maíz cacahuacintle procesado mediante tres métodos. Fitotec. Mex. Vol.36

Viloria H. y Méndez Natera J.R., 2007. Semillas de maíz: pH y conductividad eléctrica. Revista de la Facultas de Ciencias Agrarias. Tomo XXXIX. No.2

Watson, S., y Ramstad, P. 1987. Corn Chemistry and technology. Minnesota, U.S.A.: American Association of Cereal Chemistry Inc. St Paul.

Watson, S. A. 1988. Structure and composition. Corn: chemistry and technology. Pag. 53-82. Published by the *American Association of Cereal Chemists*, Inc. ST. Paul, Minesota, USA.

Wilkes, H. Maize: 1989 domestication, racial evolution and spread. En D. H. Hillman. London, Unwin Hyman: Farage and Farming.

White, P, L. Pollak. 1995. Corn as a food source in the Unites States: Part II. Processes, products, composition, and nutritive values. IOWA State University. American Association of Cereal Chemists. 40 (10): 756 – 762.

Weinberg, Z., y Yan, Y. C. 2007. The effect of mousture level on high-moisture maize (*Zea mays* L.) under hermetic storage conditions- in vitro studies. Journal of Stored Products Research , 136-144.

Weinberg, Z.G. y otros cinco autores. 2008. The Effect of Moisture Level on High - Moisture Maize (*Zea mays* L.) Under Hermetic Storage Conditions - in Vitro Studies, Stored Products Research: 44(2), 136-144

Williams B.D. y Gracey D.A. 1996. Mantenimineto y funcionamiento de silos. Boletín de servicios agrícolas de la FAO. Roma