



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTILÁN**

**Estudio comparativo de la viabilidad
de maíz y cebada bajo condiciones de
almacenamiento hermético**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

SELENE GONZALEZ ZAVALA

ASESORA:

DRA. MARTHA YOLANDA QUEZADA VIAY

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2020



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.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis.**

Estudio comparativo de la viabilidad de maíz y cebada bajo condiciones de almacenamiento hermético.

Que presenta la pasante: **Selene Gonzalez Zavala**
Con número de cuenta: **410049327** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 05 de Diciembre de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
VOCAL	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
SECRETARIO	Dra. Martha Yolanda Quezada Viay	
1er. SUPLENTE	Dr. Sergio Jiménez Ambriz	
2do. SUPLENTE	Q.F.B. Jonathan Pablo Paredes Juárez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/javg

AGRADECIMIENTOS

A mis padres

Gracias por su infinito amor y apoyo incondicional, por creer en mí y por enseñarme a enfrentar la vida para nunca darme por vencida a pesar de las adversidades.

A mi esposo e hijas

Por ser ese motor que me impulsa a ser mejor cada día, por enseñarme a valorar lo realmente importante, recuerden siempre que los amo.

A mis hermanas

Por impulsarme a ser un buen ejemplo, por tantas risas y tanto cariño, espero verlas volar muy alto crean en ustedes siempre.

A mis amigos

Eréndira Velázquez Villegas y Luis Maggín Gómez Rafael, por sus palabras de aliento y siempre darme ánimos a cada paso, gracias porque a pesar del tiempo y la distancia siempre me han brindado su amistad sincera.

A mi asesora

La Dra. Martha Yolanda Quezada Viay por compartir sus conocimientos, por su paciencia y dedicación para concluir este proyecto, gracias por cada palabra de aliento y consejo.

A mi casa de estudios

La Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de estudios superiores Cuautitlán por abrirme las puertas del conocimiento y proporcionarme las herramientas a lo largo de toda la carrera.

Y muy en especial....

Al Dr. Ernesto Moreno Martínez, mentor y gran investigador, por brindarme la confianza, el apoyo y las herramientas necesarias para la realización de este proyecto, mi eterno agradecimiento hasta el cielo.

Trabajo realizado con el apoyo del programa-UNAM-DGAPA-PAPIIT clave IT202119 y con el apoyo del Programa-UNAM-PIAPI clave PIAPI 1837

ÍNDICE GENERAL

- I. ÍNDICE DE FIGURAS
- II. ÍNDICE DE TABLAS
- III. ABREVIATURAS
- IV. RESUMEN
- V. INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. MAÍZ.....	1
1.1.1. Estructura del grano de maíz	1
1.2. CEBADA	3
1.2.1. Estructura del grano de cebada.....	3
1.3. PRINCIPALES TIPOS DE MAÍZ Y CEBADA	4
1.3.1. Tipos de maíz	4
1.3.2. Tipos de cebada	7
1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL DE MAÍZ Y CEBADA	8
1.4.1. Composición química y valor nutricional del maíz	8
1.4.2. Composición química y valor nutricional de la cebada	10
1.5. PROCESO DE GERMINACIÓN	11
1.5.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA GERMINACIÓN	11
1.5.2. METABOLISMO DE LA GERMINACIÓN	13
1.6. TECNOLOGÍA DE POSTCOSECHA DE GRANOS.....	16
1.6.1. Cosecha	17
1.6.2. Recepción	17
1.6.3. Almacenamiento.....	17
1.7. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE GRANOS.....	18
1.7.1. Atmósfera normal	18
1.7.1.1. Tipos de almacenes de atmósfera normal	18
1.7.1.1.1. Granel	18
1.7.1.1.2. Sacos	19

1.7.1.1.3. Silos.....	20
1.7.2. Atmósfera modificada	20
1.7.2.1. Principio en que se basa el almacenamiento hermético y la influencia del proceso respiratorio	21
1.7.2.2. La respiración aeróbica	21
1.7.2.3. La respiración anaeróbica.....	21
1.7.2.4. Tipos de almacenes herméticos.....	22
1.7.2.5. Sacos de plástico.....	22
1.7.2.6. Silo metálico	22
1.7.3. Factores ambientales que influyen en el almacenamiento.....	23
1.7.3.1. Temperatura y humedad.....	23
1.7.3.2. Contenido de oxígeno	27
1.7.3.3. Agentes de degradación de los granos.....	27
1.7.3.3.1 Los insectos.....	27
1.7.3.3.2 Los roedores	28
1.7.3.3.3 Los microorganismos	29
1.8 GENERALIDADES DE LOS HONGOS	29
1.8.1 Hongos que invaden granos y semillas	31
1.8.2 Daños causados por hongos de almacén	31
1.9 USOS DEL MAÍZ	33
1.10 PRODUCCIÓN, IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE MAÍZ	33
1.11 USOS DE LA CEBADA.....	35
1.12 PRODUCCIÓN, IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE CEBADA.....	35
CAPITULO II	
2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	38
2.1 Objetivo General	38
2.1.1 Objetivos particulares	38
2.1.2 Cuadro metodológico.....	39
CAPITULO III	
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
3.1. Localización del área experimental	40

3.2.	Material biológico	40
3.3.	Acondicionamiento del grano	40
3.4.	Almacenamiento abierto	41
3.5.	Almacenamiento hermético	42
3.6.	Medición del oxígeno y dióxido de carbono	43
3.7.	Determinación del contenido de humedad	43
3.8.	Determinación de la germinación de semilla de maíz y cebada	45
3.9.	Determinación de la micobiota	46
3.10.	Análisis estadístico	47

CAPITULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1.	Contenido de humedad en los granos	48
4.2.	Composición de la atmósfera de almacenamiento en sistema hermético	50
4.3.	Poder germinativo de las semillas	52
4.4.	Micobiota	53
VI.	CONCLUSIONES	59
VII.	REFERENCIAS.....	60

I. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de los granos de maíz	1
Figura 2. Estructura histológica de la semilla de maíz	2
Figura 3. Detalle de la estructura de la espiga y del grano de cebada	3
Figura 4. Partes del grano de cebada	3
Figura 5. Mazorca de maíz duro amarillo	4
Figura 6. Mazorcas de maíz dulce	5
Figura 7. Granos de maíz reventón	5
Figura 8. Granos de maíz dentado	5
Figura 9. Mazorcas de maíz harinoso	6
Figura 10. Mazorca de maíz con alta calidad proteica	6
Figura 11. Mazorcas de maíz común	7
Figura 12. Mazorcas de maíz baby	7
Figura 13. Detalle de la espiga y fotografía de una espiga de cebada hexística	7
Figura 14. Detalle de la espiga y fotografía de una espiga de cebada dística	8
Figura 15. Composición química del grano de maíz	9
Figura 16. Valor nutricional del grano de maíz	9
Figura 17. Composición química del grano de cebada	10
Figura 18. Valor nutricional del grano de cebada de dos y seis filas	10
Figura 19. Acontecimientos metabólicos más relevantes en el proceso de la germinación de los cereales	15
Figura 20. Germinación del grano de maíz	16
Figura 21. Maíz a granel	19
Figura 22. Almacenamiento en sacos	19
Figura 23. Silos, Guanajuato	20
Figura 24 a) Almacenamiento de granos en sacos de plástico multilaminado, b) Silo hermético de metal	22
Figura 25. Diagrama de conservación de cereales	24
Figura 26. Curva de Humedad Relativa de Equilibrio para maíz a 10 °C	26
Figura 27. Plagas de insectos en diferentes tipos de semillas de cereales	28
Figura 28. Ratón (<i>Mus musculus</i>) en semillas de cebada	29
Figura 29. Principales importadores mundiales de grano de maíz hasta 2016	35
Figura 30. Principales exportadores mundiales de grano de maíz hasta 2016	35
Figura 31. Gráfica de los principales exportadores a nivel mundial hasta el 2016	37
Figura 32. Gráfica de los principales exportadores a nivel mundial hasta el 2016	37
Figura 33. Ajuste del contenido de humedad de las semillas	40
Figura 34. Almacenamiento abierto de las semillas de maíz y cebada	41
Figura 35. Almacenamiento hermético de las semillas	42
Figura 36. Determinación de la concentración de gases en los frascos herméticos	43
Figura 37. Determinación del contenido de humedad	44
Figura 38. Prueba de germinación estándar	45
Figura 39. Prueba de micobiota por el método de siembra directa en placa de Petri con agar	46

Figura.40 Grafica de la composición de la atmosfera en un sistema hermético de semillas de cebada, durante 28 días	51
Figura.41 Grafica de la composición de la atmosfera en un sistema hermético de semillas de maíz, durante 28 días	51
Figura 42. Gráfica de micobiota en el almacenamiento sistema abierto de semillas de maíz por un periodo de 28 días	54
Figura 43. Gráfica de micobiota en el almacenamiento hermético de semillas de maíz por un período de 28 días	55
Figura 44. Gráfica de micobiota en el almacenamiento abierto de semillas de cebada por un período de 28 días	56
Figura 45. Gráfica de micobiota en el almacenamiento hermético de semillas de cebada por un período de 28 días	57

II. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones de almacenamiento recomendadas, en función de la temperatura y del contenido de humedad de los granos	25
Tabla 2. Condiciones mínima máxima y óptima de crecimiento para el desarrollo de hongos de almacenamiento más importantes.	26
Tabla 3. Contenidos de humedad iniciales para semillas de maíz y cebada	48
Tabla 4. Contenidos de humedad en sistema de almacenamiento abierto y hermético por un periodo de 28 días para semillas de maíz y cebada	49
Tabla 5. Porcentaje de semillas germinadas de maíz almacenadas en sistema abierto y hermético en un periodo de 28 días	52
Tabla 6. Porcentaje de semillas germinadas de cebada almacenadas en sistema abierto y hermético en un periodo de 28 días	53

III. ABREVIATURAS

- **AACC** American Association of Cereal Chemists
- **AOAC** Association of Official Analytical Chemists
- **CH%** Porcentaje contenido de humedad
- **CIMMYT** Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
- **CO₂** Dióxido de carbono
- **O₂** Oxígeno
- **FAO** Food and Agricultura Organization
- **INIFAP** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
- **SAGARPA** Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación
- **UNIGRAS** Unidad de Investigación de Granos y Semillas de la UNAM

IV. RESUMEN

El maíz y la cebada son dos cereales de gran importancia en el país. El maíz representa la base de la alimentación mexicana, mientras que la cebada nos coloca como uno de los máximos exportadores y productores de cerveza en el mundo, por ello nace la necesidad de su correcta producción, así como su correcto manejo y almacenamiento, que nos garantice materias primas de calidad.

El objetivo del presente trabajo fue almacenar semillas de maíz y cebada en sistemas abierto y hermético, por un periodo de 28 días a 25 °C, con contenidos de humedad de 15%,16%,17% y 18%, para conocer la tolerancia de los granos bajo estas condiciones.

Se usaron dos lotes de semillas una de maíz de la variedad Sinaloa y una de cebada de la variedad Celaya, a ambos lotes se le realizaron pruebas previas para ajustar los granos a las humedades deseadas para el proyecto, se sometieron a dos sistemas de almacenamiento (abierto y hermético), se calculó el porcentaje de humedad y viabilidad, se identificó la micobiota presente en las muestras y a las semillas almacenadas herméticamente se les midió el contenido de oxígeno y dióxido de carbono presente en las atmosfera. Se utilizó un diseño completamente al azar, cada tratamiento con tres repeticiones.

Las muestras de maíz almacenadas herméticamente conservaron la calidad de la semilla hasta en un 40% más en las 4 humedades, mientras que en sistema abierto al final del almacenamiento las semillas ya tenían pérdidas por arriba de un 85%, para el caso de la cebada la combinación de humedades altas y almacenamiento hermético no favoreció el poder germinativo de la semilla, la cual registro una pérdida hasta en un 50% en las humedades de 16%, 17% y 18% , mientras que en el almacenamiento hermético logro conservar su poder germinativo por arriba del 80%.

V. INTRODUCCIÓN

Los cereales constituyen, desde hace milenios, un producto básico en la alimentación del ser humano, debido a sus características nutritivas y su moderado costo. El éxito en su producción, almacenamiento y utilización ha sido fundamental para el desarrollo de la civilización moderna.

Dentro del sector alimentario, la industria de los cereales es una de las más importantes en el mundo, pues los productos que procesa representan la base de la alimentación para la mayor parte de la humanidad. Por esta razón ha sido fundamental, su cuidado en el campo, así como que su manejo poscosecha, cumpla con las mejores prácticas de manufactura, estableciendo la inocuidad de los granos para asegurar que estos tengan la mejor calidad.

Uno de los factores claves para mantener la calidad de los granos, después de su cosecha, es su almacenamiento. Existen distintos tipos de sistemas de almacenamiento, entre ellos se encuentra: el sistema abierto y el sistema hermético o de atmósfera modificada; el primero es un almacenamiento en el cual el aire que rodea a los granos prácticamente tiene la misma composición que el aire atmosférico, es el tipo de almacenamiento más difundido y dentro de éste, los sistemas más comunes son: Silos de chapa, Silos malla de alambre, Celdas, etc. Mientras que el sistema hermético es un sistema de almacenamiento, en el cual se procura modificar la atmósfera interior del lugar donde se almacenan los granos, con el fin de restringir la disponibilidad del oxígeno del aire y así poder disminuir los procesos de respiración de los hongos e insectos. Durante el almacenamiento, la calidad del grano no se mejora solo se mantiene, sin embargo, el tener un manejo adecuado, permite reducir las pérdidas poscosecha, (FAOSTAT, 2013).

Las pérdidas durante el almacenamiento de los granos dependen de distintos factores. Los factores de importancia que influyen al respecto son de dos clases: en primer lugar, los de origen biótico, que comprenden todos los elementos o agentes vivos que, encontrándose en condiciones favorables para su desarrollo, utilizarán el grano como fuente de elementos de nutrición y con ello ocasionarán su deterioro. Se trata fundamentalmente de insectos, microorganismos, roedores y aves. En segundo lugar, están los factores no bióticos, que comprenden la humedad relativa, la temperatura y el tiempo transcurrido. Las características físicas y bioquímicas del grano influyen en los efectos de dichos factores bióticos y no bióticos, (FAOSTAT, 2013).

A pesar de que las pérdidas causadas por los insectos, roedores y aves son considerables, se ha prestado mayor atención a los problemas causados por las invasiones fúngicas, ya que estos producen efectos indeseables en los granos almacenados, uno de ellos es, la pérdida de viabilidad de la semilla. Algunos estudios han demostrado que ciertos cereales presentan mayor resistencia al daño causado por hongos, esto en cuestión de pérdida de viabilidad, y es por esta razón que se decide realizar el presente trabajo, comparando maíz y cebada, bajo las mismas condiciones de almacenamiento.

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1. MAÍZ

El **maíz** o *Zea mays* es un cereal, una planta gramínea americana, que se caracteriza por tener tallos largos y macizos (y no huecos como sus parientes más cercanos) al final de los cuales se dan espigas o mazorcas (inflorescencias femeninas), con sus semillas o granos de maíz dispuestos a lo largo de su eje (Máxima, 2018).

La calidad del grano de maíz está asociada tanto con su constitución física, que determina la textura y dureza, como con su composición química, que define el valor nutrimental y las propiedades tecnológicas. La importancia relativa de estas características dependerá del destino final de la producción. Los mercados son cada vez más exigentes y se interesan por el contenido de proteínas, aminoácidos, almidón, aceites y demás componentes, y paulatinamente se reduce la tolerancia a sustancias contaminantes (Bavera, 2006).

1.1.1. Estructura del grano de maíz

El maíz es uno de los cereales de mayor tamaño y que más se produce en el mundo. La infrutescencia de la planta se denomina mazorca, se llena de granos aplanados y grandes, colocados en ejes paralelos alrededor de su eje vertical. Los granos de maíz son carióspsides desnudas, cuyas partes fundamentales son el pericarpio, el endospermo, el germen y el funículo. El principal parámetro de clasificación es el color externo del grano (Martínez y Jiménez, 2013).

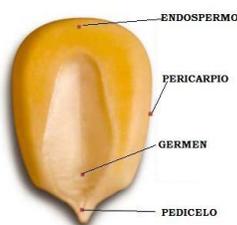


Figura 1. Estructura de los granos de maíz

Fuente: Martínez y Jiménez (2013)

- **Pericarpio.** Constituye la parte externa del grano, siendo al 5-6% del total del peso del grano; es resistente al agua y al vapor. Protege a la semilla de la entrada de hongos y bacterias antes y después de la siembra, no es un alimento deseado por los insectos y los microorganismos (Ospina, 2002). Está dividido en cuatro capas delgadas:

-**Epicarpio.** Capa externa que cubre el grano; está conformado por células de paredes gruesas (Ospina, 2002).

-**Mesocarpio.** Capas constituidas por pocas células siendo la capa externa la más gruesa similar a la del epicarpio, mientras las células de las capas internas son planas, de paredes delgadas (Ospina, 2002).

-**Células cruzadas.** Son capas de células de paredes delgadas, con muchos espacios intercelulares. Su función es evitar que el grano pierda peso; es decir, actúan como un protector de la humedad (Ospina, 2002).

-**Células tubulares.** Son capas de células largas paralelas, sin ramificaciones. Sirven de medio de conducción y distribución del agua que se absorben a través del embrión durante el proceso de germinación (Ospina, 2002).

- **Endospermo.** En la mayoría de las variedades del maíz representa el aproximadamente 80-82% del total del peso del grano seco y es la fuente de almidón y proteína para la semilla que va a germinar. El almidón es usado en comidas (como combustible fundamental) para preparar edulcorantes, bioplásticos y otros productos (Ospina, 2002). El endospermo está compuesto por tres tipos de células:

-**Capa de aleurona.** De una solo célula, contiene proteína, aceite, minerales y vitaminas (Ospina, 2002).

-**El endospermo córneo.** Formado por células de forma irregular y alargadas (Ospina, 2002).

-**El endospermo harinoso.** Se localiza en la parte central del grano: está constituido por células grandes en relación a las otras células que componen el endospermo (Ospina, 2002).

- **Embrión/Germen.** Representa entre el 8 y el 12% del peso del grano, responsable de formar una futura nueva planta (Ospina, 2002). Está conformado por:

-**Escutelo.** Órgano encargado de la alimentación del embrión en el momento de su germinación (Ospina, 2002).

-**Eje embrionario:** conformado por una plúmula, que posee de cinco a seis hojas y una radícula (Ospina, 2002).

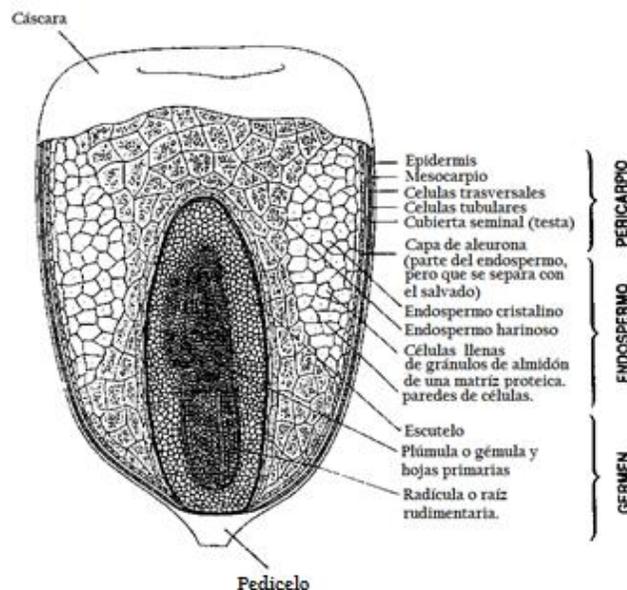


Figura 2. Estructura histológica de la semilla de maíz

Fuente: Martínez y Jiménez (2013)

1.2. CEBADA

La cebada es la principal materia prima de la industria cervecera y tiene una demanda en constante aumento, es por eso que la mayoría de la cebada que se cultiva en México es maltera (Martínez y Jiménez, 2013).

1.2.1. Estructura del grano de cebada

El grano de cebada está compuesto por la cascarilla, la raquilla y el fruto; el fruto, a su vez, está formado por: el pericarpio que es la envoltura de la semilla, el endospermo que es la parte con alto contenido de almidón, y el embrión a partir del cual se desarrolla la nueva planta en la germinación (Kent y Evers, 1994).

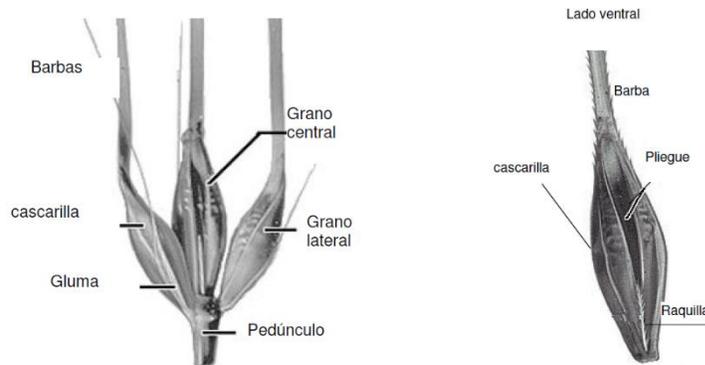
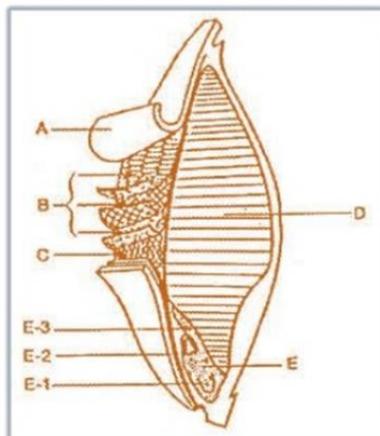


Figura 3. Detalle de la estructura de la espiga (izquierda) y del grano de cebada (derecha)
Fuente: Kent y Evers (1994)

La cebada posee una cáscara que protege al pericarpio, al endospermo y al germen. Esta cáscara está formada por la lemma y la palea (Kent y Evers, 1994).



Estructura del Grano de Cebada

- A:** Cáscara
- B:** Capa del fruto (Pericarpio). Capa de semilla con superficie culinizada interior y exterior (Testa), Pericarpio.
- C:** Capa de aleurona. Fuente de enzimas.
- D:** Endospermo.
- E:** Embrión.
- E-1:** Raicillas.
- E-2:** Plúmula.
- E-3:** Escudillo.

Figura 4. Partes del grano de cebada

Fuente: UNS (2014)

Debajo de las glumillas se encuentran los verdaderos tegumentos del grano, el tegumento exterior denominado pericarpio, y el interior o testa; ambos tegumentos están formados por varias capas de células. La testa es semipermeable, permite que se difunda el agua, pero no deja pasar ninguna sal (Martínez y Jiménez, 2013).

Las dos partes esenciales del grano son el embrión y el endospermo o albumen; en la parte en la que está adosado al endospermo, el embrión tiene un apéndice que se denomina escudete, el cual está en íntima relación con el endospermo y es el órgano de absorción del embrión, a través del cual llegan a éste durante la germinación las materias nutritivas acumuladas en el endospermo (Martínez y Jiménez, 2013).

El epitelio separa al embrión del endospermo y cubre al escudete; las células columnarias del epitelio se encuentran conectadas por una de sus bases con el tejido del escudete que está debajo, y por la otra con las células del endospermo. El epitelio transporta las materias nutritivas del endospermo al embrión en desarrollo; sin embargo, comparte esta función con las células más internas del escudete. Debajo del escudete y en estrecha relación con él, se encuentran los principales órganos del embrión, la plúmula y la radícula; la primera, está formada por cuatro hojitas rudimentarias, encerradas en el coleoptilo, y la radícula con su cofia está completamente envuelta por la coleorriza (Martínez y Jiménez, 2013).

El endospermo está formado por una masa de células de paredes delgadas que contienen los granos de fécula envueltos en una sustancia plasmática y adherida unas a otras por una sustancia aglutinante, que es un carbohidrato (Martínez y Jiménez, 2013).

Por el tipo de espiga, la cebada se clasifica en: hexística o de 6 hileras, y dística ó de 2 hileras (Kent y Evers, 1994).

1.3. PRINCIPALES TIPOS DE MAÍZ Y CEBADA

1.3.1. Tipos de maíz

Maíz duro

Este maíz se caracteriza por tener una mazorca conformada por granos duros y redondos. Este grano está conformado mayoritariamente por almidón. Su cultivo se realiza en climas fríos y húmedos, y se caracteriza por ser fuerte y resistente a plagas. Por estas mismas características el mayor uso que se le da al maíz duro es en la alimentación tanto humana como animal. Además, se utiliza para la elaboración de la fécula de maíz. Este tipo de maíz duro puede verse de distintos colores (Del Maíz.Info, 2019).

Dentro de esta clasificación de maíces duros y por la diversidad de colores se encuentran los tipos de maíces duros: maíz morado, maíz azul, maíz rojo, maíz verde, maíz negro, maíz duro amarillo, maíz duro blanco, maíz duro anaranjado, maíz de color crema y maíz duro verde (Del Maíz.Info, 2019).



Figura 5. Mazorca de maíz duro amarillo

Fuente: Del Maíz.Info(2019)

Maíz dulce



El maíz dulce tiene como característica principal que sus granos son relativamente blandos, ya que tienen un por cierto alto de humedad y con un elevado nivel de azúcares, por esta razón tiene sabor dulcecito. El proceso de cultivo es más susceptible a plagas, por esta razón no se cultiva en muchos países y esto hace que no sea tan común como el tipo de maíz duro (Del Maíz.Info, 2019).

Figura 6. Mazorcas de maíz dulce

Fuente: Del Maíz.Info(2019)

Maíz reventador o reventón

Este tipo de maíz reventador es muy parecido al maíz duro, ya que su grano se caracteriza por ser redondo y duro, también puede tener forma oblonga. Su uso principal y como más se le conoce es en las famosas rositas o palomitas de maíz o cotufas como se le conoce en ciertas regiones. Cuando este grano se cocina, revienta y la parte del grano denominada endospermo sale y se convierte en lo que conocemos como palomitas de maíz (Del Maíz.Info, 2019).



Figura 7. Granos de maíz reventón

Fuente: Del Maíz.Info(2019)

Maíz dentado

El maíz dentado es una de las especies de maíz que más se cultiva. Su grano está compuesto por más almidón blando que los maíces duros, y sólo en los extremos del grano tiene almidón duro. En el proceso de secado del grano, esta toma una forma muy parecida a un diente y es por esta razón que se le da el nombre de maíz dentado. Como desventajas podemos mencionar que su cultivo tiende a ser susceptible a enfermedades y además su secado demora mucho más que el secado de los maíces duros. Se utiliza tanto para alimento de los humanos como para animales, también utilizado para fines industriales (Del Maíz.Info, 2019).



Figura 8. Granos de maíz dentado

Fuente: Del Maíz.Info(2019)

Maíz harinoso

Este tipo de maíz tiene uno de los granos más blandos de todos los tipos de maíz anteriormente vistos, pueden verse al igual que el maíz duro en varios colores. Su uso principal es en la alimentación humana, tanto en las preparaciones de varios platos como en bebidas. Como desventaja tiene que su cultivo es muy débil ya que al ser tan blando se pudre con facilidad y es bien susceptible a gusanos no sólo durante el proceso de siembra y cosecha sino también durante su período de almacenaje (Del Maíz.Info, 2019).



Figura 9. Mazorcas de maíz harinoso
Fuente: Del Maíz.Info(2019)

Maíz ceroso

El nombre de este tipo de maíz viene dado porque su grano tiene como característica que es ceroso y un poco opaco, y además blando por lo que en muchas regiones es utilizado como alimento. Al contrario de los tipos de maíz duro o los dentados, este tipo de maíz ceroso está constituido por amilopectina, muy útil para deportistas ya que es un elemento que el organismo humano absorbe rápido, evitando así molestias estomacales (Del Maíz.Info, 2019).

Maíz opaco con proteínas de calidad



Figura 10. Mazorca de maíz con alta
calidad proteica
Fuente: Del Maíz.Info(2019)

Este tipo de maíz es el más nutritivo y el que más proteínas de calidad posee. Según estudios tiene aminoácidos esenciales, triptófano y lisina en cantidades superiores a los otros tipos de maíces. El grano es blando y tiene una textura yesosa y con color opaco. Al ser un grano tan blando, el cultivo se ve afectado por plagas. Con el paso de los años se ha tratado de cruzar con otros tipos de maíces para lograr eliminar estas deficiencias en su cultivo y ganando en proteínas de calidad (Del Maíz.Info,2019).

Maíz común utilizado para mazorcas verdes

Se le denomina así al tipo de maíz que es utilizado como alimento, y que se consume preferiblemente hervido o asado. Esta variedad ha sido adoptada en las regiones donde no es común ver los otros tipos de maíz como el duro o el dulce (Del Maíz.Info, 2019).



Figura 11. Mazorcas de maíz común
Fuente: Del Maíz.Info(2019)

Maíz baby



Figura 12. Mazorcas de maíz baby
Fuente: Del Maíz.Info(2019)

Este tipo de maíz es de los más exóticos, son mini mazorcas de color amarillo claro y que se ven en muchos supermercados. Para lograr estas mini mazorcas durante el cultivo del maíz específicamente antes del proceso de polinización, los frutos jóvenes son recogidos logrando así una mazorca pequeña. Estos frutos son conservados en envases y distribuidos para que puedan consumirse frescas. El cultivo de este tipo de maíz se da en zonas tropicales y durante todo el año (Del Maíz.Info, 2019).

1.3.2. TIPOS DE CEBADA

Cebada hexística (6-Hileras)

En la cebada de 6 hileras hay tres granos en cada nudo en lados alternados de la espiga. La espiga de la cebada de 6 hileras mide de 7cm a 10 cm de longitud, posee 15 nudos y contiene 50 granos aproximadamente. Los granos más delgados con cáscara más suelta y gruesa, es utilizada para malteado, pero con índices menores a comparación de la dística (UNS, 2014).

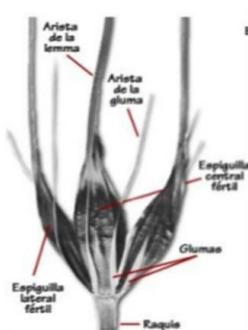


Figura 13. Detalle de la espiga (izquierda) y fotografía de una espiga de cebada hexística

Fuente: UNS (2014)

CEBADA DÍSTICA (2-HILERAS)

En la cebada de 2 hileras solo un grano se desarrolla en cada nudo en lados alternados de la espiga. La espiga de cebada de 2 hileras mide de 5cm a 10 cm, tiene 16 nudos y 27 granos. Los granos son más gruesos y con cáscara más ajustada y delgada. Produce malta que tiene una mayor cantidad de extracto, color más claro y menor contenido de enzimas. Es por todo ello que del 20 al 25 % del total de malta usada por cervecerías es a partir de la cebada dística. En la cebada dística no hay granos laterales. Todos los granos son rectos y simétricos (Molina, 1989).



Figura 14. Detalle de la espiga (izquierda) y fotografía de una espiga de cebada dística

Fuente: UNS (2014)

1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL DE MAÍZ Y CEBADA

1.4.1. Composición química y valor nutricional del maíz

El maíz tradicional, como el resto de cereales, aporta también proteínas, lípidos y poca agua. El maíz dulce es rico en hidratos de carbono, en vitaminas A, B1, B2, B3, B6, B9, E y C, en fibra y en sales minerales como potasio, magnesio, hierro, calcio, zinc, sodio y fósforo. El germen del grano de maíz contiene un aceite que no contiene colesterol (Ramírez, 2017).

El maíz contiene bajo contenido de calcio y elevado de fósforo, como la mayor parte de los cereales. Los alimentos vegetales contienen naturalmente mayor cantidad de potasio que de sodio. El magnesio está en cantidades importantes en el grano entero de maíz, al igual que en semillas, nueces y otros cereales integrales. El maíz tiene cantidades sumamente variables de hierro, el zinc es esencial para la actividad de más de 70 enzimas y forma parte de proteínas que actúan como receptores hormonales e intervienen en el crecimiento (Ramírez, 2017).

Cereal	Humedad (%)	Proteína (%)	CHOS (%)	Lípidos (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)
Maíz	13.0	9.9	69.2	4.4	2.2	1.3

Figura 15. Composición química del grano de maíz

Fuente: Martínez y Jiménez (2013)

Propiedades del maíz Valor nutricional por 100 g	
Energía aportada	346,00kcal
Composición	
Carbohidratos	64,66 g
Fibra alimentaria	9,20
Grasas	3,80 g
Proteínas	8,57 g
Agua	13,80 g
Vitaminas	
Retinol (vit. A)	19,00 µg
Tiamina (vit. B1)	0,36 mg
Riboflavina (vit. B2)	0,20 mg
Niacina (vit. B3)	1,50 mg
Vitamina B6	0,40 mg
Acido fólico	26,00 µg
Minerales	
Calcio	7,00 mg
Hierro	2,38 mg
Yodo	2,00 mg
Magnesio	93,00 mg
Potasio	330,00 mg
Zinc	1,73 mg
Selenio	15,40 µg
Sodio	6,00 mg

Figura 16. Valor nutricional del grano de maíz

Fuente: Carbonnier (2017)

1.4.2. Composición química y valor nutricional de la cebada

Cebada

La cebada representa un valor nutritivo, en cuanto a contenido de proteína, fibra y energía utilizable, intermedio entre el maíz y la avena. También se caracteriza por su carencia de xantofilas. Su contenido en aminoácidos limitantes es similar a la de trigo y avena, diferenciándose del maíz y sorgo por un mayor contenido en lisina y triptófano (Martínez y Jiménez, 2013).

Nutriente	Contenido (%)
Carbohidratos	70-80
De los cuales:	
Almidón	50-63
Azúcares	1.8 – 2.0
Celulosas y Hemicelulosas (β -glucanos y pentosanos)	15-20
Proteína	10.5 – 11.5
Lípidos	1.5-3.0
Minerales	2.0-4.0
Otros constituyentes	1.0-2.0

Figura 17. Composición química del grano de cebada

Fuente: UNS (2014)

Constituyente	Dos Filas (%)	Seis Filas (%)
Carbohidratos :		
Almidón	64,7	56,5
Azúcares	2,8	3,0
Gomas	9,0	11,5
Fibra Cruda	6,7	9,7
Proteínas :		
Soluble en Agua Fría	1,5	3,0
Soluble en Maceración	9,0	9,0
Insolubles por Maceración	2,5	2,5
P ₂ O ₅	0,8	1,1
K ₂ O	0,5	0,6
SiO ₂	0,7	0,9
Otros	0,8	0,8
Polifenoles (Taninos)	0,2	0,6
Grasas (Aceites)	2,8	2,8
TOTAL	100,0	100,0

Figura 18. Valor nutricional del grano de cebada de dos y seis filas

Fuente: UNS (2014)

1.5. PROCESO DE GERMINACIÓN

Para que el proceso de germinación ocurra, es necesario que se den una serie de condiciones ambientales favorables como son: un sustrato húmedo, suficiente disponibilidad de oxígeno que permita la respiración aerobia y una temperatura adecuada para los distintos procesos metabólicos y para el desarrollo de la plántula (*"Germinación de semillas"*, 2003).

La absorción de agua por la semilla desencadena una secuencia de cambios metabólicos, que incluyen la respiración, la síntesis proteica y la movilización de reservas. A su vez la división y el alargamiento celular en el embrión provoca la rotura de las cubiertas seminales, que generalmente se produce por la emergencia de la radícula (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Cuando una semilla germina, la primera estructura que emerge, de la mayoría de las especies, después de la rehidratación de los diferentes tejidos es la radícula. En aquellas semillas, en las que la radícula no es el primer acontecimiento morfológico, se consideran otros criterios para definir la germinación como: la emergencia del coleoptilo en granos de cereales; la obtención de plantas normales; o el aumento de la actividad enzimática, tras la rehidratación de los tejidos (*"Germinación de semillas"*, 2003).

En el proceso de germinación podemos distinguir tres fases

Fase de hidratación: La absorción de agua es el primer paso de la germinación, sin el cual el proceso no puede darse. Durante esta fase se produce una intensa absorción de agua por parte de los distintos tejidos que forman la semilla. Dicho incremento va acompañado de un aumento proporcional en la actividad respiratoria (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Fase de germinación: Representa el verdadero proceso de la germinación. En ella se producen las transformaciones metabólicas, necesarias para el correcto desarrollo de la plántula. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Fase de crecimiento: Es la última fase de la germinación y se asocia con la emergencia de la radícula (cambio morfológico visible). Esta fase se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la actividad respiratoria (*"Germinación de semillas"*, 2003).

1.5.1. Factores que afectan a la germinación

Los factores que afectan a la germinación los podemos dividir en dos tipos: a) factores internos (intrínsecos): propios de la semilla; madurez y viabilidad de las semillas; b) factores externos (extrínsecos): dependen del ambiente; agua, temperatura y gases (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Factores internos. Entre los factores internos que afectan a la germinación están la madurez que presentan las semillas y la viabilidad de las mismas (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Decimos que una semilla es madura cuando ha alcanzado su completo desarrollo tanto desde el punto de vista morfológico como fisiológico (*"Germinación de semillas"*, 2003).

La madurez morfológica se consigue cuando las distintas estructuras de la semilla han completado su desarrollo, dándose por finalizada cuando el embrión ha alcanzado su máximo desarrollo (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Aunque la semilla sea morfológicamente madura, muchas de ellas pueden seguir siendo incapaces de germinar porque necesitan experimentar aún una serie de transformaciones fisiológicas. Lo normal es que requieran la pérdida de sustancias inhibitoras de la germinación o la acumulación de sustancias promotoras. En general, necesitan reajustes en el equilibrio hormonal de la semilla y/o en la sensibilidad de su tejido para las distintas sustancias activas (*"Germinación de semillas"*, 2003).

La madurez fisiológica se alcanza al mismo tiempo que la morfológica, como en la mayoría de las especies cultivadas; o bien puede haber una diferencia de semanas, meses y hasta años entre ambas (*"Germinación de semillas"*, 2003).

La viabilidad de las semillas es el período de tiempo durante el cual las semillas conservan su capacidad para germinar. Es un período variable y depende del tipo de semilla y de las condiciones de almacenamiento (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Las semillas pierden su viabilidad por causas muy diversas. Podríamos pensar que mueren porque agotan sus reservas nutritivas, pero no es así, sino que conservan la mayor parte de las mismas cuando ya han perdido su capacidad germinativa (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Una semilla será más longeva cuanto menos activo sea su metabolismo. Esto, a su vez, origina una serie de productos tóxicos que al acumularse en las semillas produce a la larga efectos letales para el embrión. Para evitar la acumulación de esas sustancias bastará disminuir aún más su metabolismo, con lo cual habremos incrementado la longevidad de la semilla. Ralentizar el metabolismo puede conseguirse bajando la temperatura y/o deshidratando la semilla. Las bajas temperaturas dan lugar a un metabolismo mucho más lento, por lo que las semillas conservadas en esas condiciones viven más tiempo que las conservadas a temperatura ambiente. La deshidratación, también alarga la vida de las semillas, más que si se conservan con su humedad normal. Pero la desecación tiene unos límites; por debajo del 2%-5% en humedad se ve afectada la constitución de la semilla, siendo perjudicial para la misma (*"Germinación de semillas"*, 2003).

En resumen, podemos decir que, para alargar más tiempo la vida de una semilla, ésta debe conservarse en las siguientes condiciones: mantenerla seca, dentro de unos límites; temperaturas bajas y, reducir al mínimo la presencia de oxígeno en el medio de conservación (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Factores externos. Entre los factores ambientales más importantes que inciden en el proceso de germinación destacamos: humedad, temperatura y gases (*"Germinación de semillas"*, 2003).

La absorción de agua es el primer paso, y el más importante, que tiene lugar durante la germinación; porque para que la semilla recupere su metabolismo es necesaria la rehidratación de sus tejidos. La entrada de agua en el interior de la semilla se debe exclusivamente a una diferencia de potencial hídrico entre la semilla y el medio que le rodea. En condiciones normales, este potencial hídrico es menor en las semillas secas que en el medio exterior. Por ello, hasta que emerge la radícula, el agua llega al embrión a través de las paredes celulares de la cubierta seminal; siempre a favor de un gradiente de potencial hídrico (*"Germinación de semillas"*, 2003).

La temperatura es un factor decisivo en el proceso de la germinación, ya que influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación. La actividad de cada enzima tiene lugar entre un máximo y un mínimo de temperatura, existiendo un óptimo intermedio. Del mismo modo, en el proceso de germinación pueden establecerse unos límites similares. Por ello, las semillas sólo germinan dentro de un cierto margen de temperatura. Si la temperatura es muy alta o muy baja, la germinación no tiene lugar, aunque las demás condiciones sean favorables (*"Germinación de semillas"*, 2003).

La temperatura mínima sería aquella por debajo de la cual la germinación no se produce, y la máxima aquella por encima de la cual se anula igualmente el proceso. La temperatura óptima, intermedia entre ambas, puede definirse como la más adecuada para conseguir el mayor porcentaje de germinación en el menor tiempo posible (*"Germinación de semillas"*, 2003).

La mayor parte de las semillas requieren para su germinación un medio suficientemente aireado que permita una adecuada disponibilidad de O_2 y CO_2 . De esta forma el embrión obtiene la energía imprescindible para mantener sus actividades metabólicas (*"Germinación de semillas"*, 2003).

La mayoría de las semillas germinan bien en atmósfera normal con 21% de O_2 y un 0.03% de CO_2 . El efecto del CO_2 es el contrario del O_2 , es decir, las semillas no pueden germinar si se aumenta la concentración de CO_2 (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Para que la germinación tenga éxito, el O_2 disuelto en el agua de imbibición debe poder llegar hasta el embrión. A veces, algunos elementos presentes en la cubierta seminal como compuestos fenólicos, capas de mucílago, macroescleridas, etc. pueden obstaculizar la germinación de la semilla por que reducen la difusión del O_2 desde el exterior hacia el embrión (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Además, hay que tener en cuenta que, la cantidad de O_2 que llega al embrión disminuye a medida que aumenta la disponibilidad de agua en la semilla (*"Germinación de semillas"*, 2003).

A todo lo anterior hay que añadir que la temperatura modifica la solubilidad del O_2 en el agua que absorbe la semilla, siendo menor la solubilidad a medida que aumenta la temperatura (*"Germinación de semillas"*, 2003).

1.5.2. Metabolismo de la germinación

Los procesos metabólicos relacionados con la germinación que han sido más estudiados son la respiración y la movilización de las sustancias de reserva (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Respiración. Tres rutas respiratorias, glucólisis, ciclo de las pentosas fosfato y ciclo de Krebs son funcionales en las semillas embebidas. Estas tres rutas producirán una serie de compuestos intermediarios del metabolismo vegetal, así como considerables cantidades de energía y poder reductor. El objetivo principal del proceso respiratorio es la formación de ATP y pirimidín nucleótidos, necesarios para la intensa actividad metabólica que tiene lugar durante la germinación (*"Germinación de semillas"*, 2003).

La semilla seca muestra una escasa actividad respiratoria, aumentando el consumo de O₂, después de iniciada la imbibición. A partir de este momento el proceso respiratorio de las semillas puede dividirse en cuatro fases:

Fase I: Se caracteriza por un rápido incremento en la respiración, que generalmente se produce antes de transcurridas 12h desde el inicio de la imbibición. El aumento en la actividad respiratoria es proporcional al incremento de la hidratación de los tejidos de la semilla. El principal sustrato utilizado en esta fase es, posiblemente, la sacarosa (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Fase II: La actividad respiratoria se estabiliza entre las 12 y 24h desde el inicio de la imbibición. Probablemente las cubiertas seminales, que todavía permanecen intactas, limitan la entrada de O₂. La eliminación de la testa puede acortar o anular esta fase (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Fase III: Se produce un segundo incremento en la actividad respiratoria, que se asocia a la mayor disponibilidad de O₂, como consecuencia de la ruptura de la testa producida por la emergencia de la radícula. Otro factor que contribuye a ese aumento es la actividad de las mitocondrias, recientemente sintetizadas en las células del eje embrionario (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Fase IV: En esta última fase tiene lugar una acusada disminución de la respiración, que coincide con la desintegración de los cotiledones, después de que han exportado las reservas almacenadas (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Movilización de sustancias de reserva. Las semillas contienen cantidades relativamente importantes de reservas alimenticias, que permitirán el crecimiento y el desarrollo de la plántula hasta que ésta sea capaz de alimentarse por sí misma. Estas reservas se encuentran en su mayor parte, formando cuerpos intracelulares que contienen lípidos, proteínas, carbohidratos y compuestos inorgánicos (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Según el tipo de compuesto que almacenan, existen grandes diferencias entre las semillas. Así, en los cereales predominan los hidratos de carbono, especialmente almidón, aunque también contienen proteínas y lípidos (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Los compuestos de reserva pueden estar almacenados en el embrión o en tejidos extraembrionarios, principalmente en el endospermo (*"Germinación de semillas"*, 2003).

Al iniciarse la germinación de las semillas, y cuando las células están suficientemente hidratadas, se produce una activación de la síntesis proteica y, por lo tanto, la formación de enzimas hidrolíticas que son las que promueven la movilización de las sustancias de reserva (figura 19), (*"Germinación de semillas"*, 2003).

La movilización de las reservas requiere un proceso previo de hidrólisis para liberar los compuestos de menor peso molecular, que pueden ser utilizados durante el crecimiento inicial de la plántula. Además, en muchos casos, los productos de la hidrólisis sufren una serie de transformaciones metabólicas antes de ser transportados al eje embrionario en desarrollo (*"Germinación de semillas"*, 2003).

El hidrato de carbono más extendido en las semillas, como principal reserva energética, es el almidón. La degradación del almidón se incrementa progresivamente durante el proceso de germinación, primero lentamente, y luego de una forma más rápida que termina con la desaparición

del polisacárido. Los lípidos de reserva predominantes en las semillas son los triglicéridos. En la movilización y metabolismo de las reservas lipídicas están implicados tres tipos de orgánulos: las vesículas que contienen aceites almacenados (cuerpos lipídicos), los glioxisomas y las mitocondrias (“*Germinación de semillas*”, 2003).

La hidrólisis de las proteínas de reserva está catalizada por diferentes tipos de enzimas proteolíticas, agrupados bajo el nombre de proteasas. A medida que progresa la germinación, las fracciones proteínicas de reserva se transforman en otras de menor peso molecular, especialmente pequeños péptidos y aminoácidos. Los aminoácidos liberados pueden ser utilizados en la síntesis de nuevas proteínas en la plántula en desarrollo o para proporcionar energía mediante la oxidación de su esqueleto carbonado. En los cereales las proteínas se almacenan en los gránulos de aleurona, acumulados, a su vez, en la capa de aleurona (“*Germinación de semillas*”, 2003).

La replicación del ADN es un fenómeno relativamente tardío en la germinación, iniciándose después de que tenga lugar una síntesis considerable de proteínas. Sin duda, en la codificación de éstas ha intervenido un ADN preexistente, formado, probablemente durante las fases de maduración de la semilla. Por lo que respecta al ARN, tanto en las capas de aleurona de cereales como en los cotiledones de las leguminosas, se han detectado varias ribonucleasas cuya función es la de degradar el ARN en nucleótidos que son transportados al embrión para la síntesis de sus ARNs propios. Sin embargo, se ha demostrado que los nucleótidos que llegan al embrión no son suficientes para mantener su crecimiento, por lo que en los embriones debe haber también una síntesis de nucleótidos, utilizando probablemente el nitrógeno de las reservas proteicas (“*Germinación de semillas*”, 2003). Es importante conocer todos los aspectos relacionados con el metabolismo de las semillas, sobre todo en las especies cultivadas de interés industrial. Ejemplo de ello, es el malteado de los granos de cebada (*Hordeum vulgare*) en el proceso de fabricación de la cerveza; que mediante la activación de las enzimas hidrolíticas se produce la hidrólisis de las sustancias de reserva del endospermo (“*Germinación de semillas*”, 2003).



Figura 19. Acontecimientos metabólicos más relevantes en el proceso de la germinación de los cereales

Fuente: “*Germinación de semillas*”, 2003

En las plántulas hipogeas, los cotiledones permanecen enterrados; únicamente la plúmula atraviesa el suelo (figura 20). El hipocótilo es muy corto, prácticamente nulo. A continuación, el epicótilo se alarga, apareciendo las primeras hojas verdaderas, que son, en este caso, los primeros órganos fotosintetizadores de la plántula. Este tipo de germinación lo presentan las semillas de los cereales como trigo, maíz, cebada, etc. (*"Germinación de semillas"*, 2003).

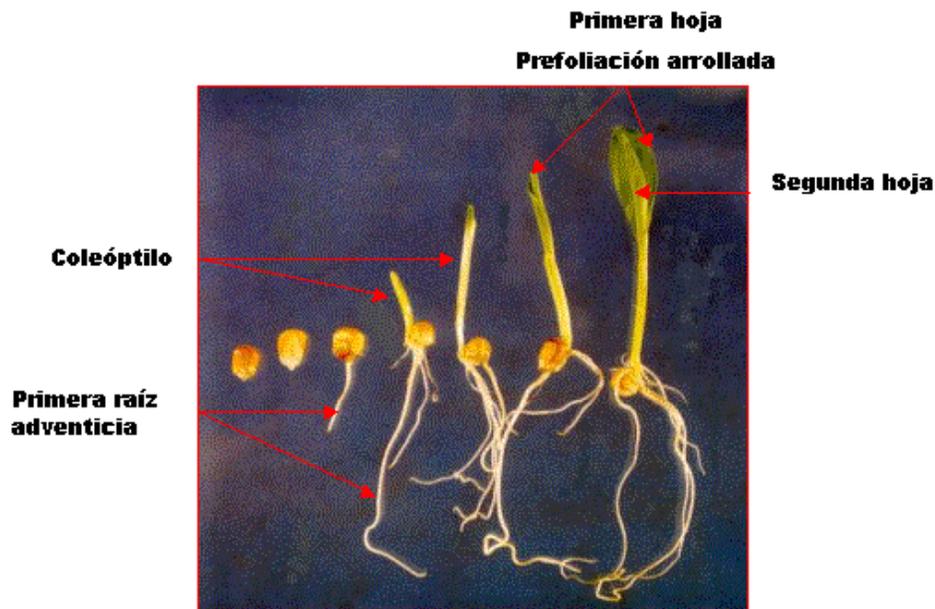


Figura 20. Germinación del grano de maíz

Fuente: *"Germinación de semillas"*, (2003)

1.6. TECNOLOGÍA DE POSTCOSECHA DE GRANOS

La postcosecha es una actividad que comienza una vez que el grano ha sido cosechado en el campo, continúa durante el acondicionamiento y almacenamiento, y culmina en el momento del uso final del grano, ya sea como insumo de un proceso industrial o como alimento (Casini y Rodríguez, 2009).

Todas las prácticas que se realizan durante la poscosecha tienen un objetivo común, el de minimizar las pérdidas de granos tanto en forma cuantitativa como en forma cualitativa durante esta etapa (Casini y Rodríguez, 2009).

Para lograr una buena calidad final de grano es imprescindible partir de una buena calidad inicial, ya que los granos alcanzan el máximo de calidad en el momento de madurez fisiológica y a partir de ese momento la calidad comienza a deteriorarse en mayor o menor grado según las prácticas de acondicionamiento y almacenamiento. No hay proceso de poscosecha que pueda mejorar la calidad inicial de los granos (Casini y Rodríguez, 2009).

La calidad de un producto se puede definir como la aptitud que tenga ese producto para cumplir con un determinado fin, entonces los parámetros utilizados para establecer la calidad de los diferentes granos deberían seleccionarse de acuerdo al uso final de los mismos (Casini y Rodríguez, 2009).

1.6.1. Cosecha

La cosecha debe procurar granos sin daño mecánico y limpios. Pero el aspecto más importante a tener en cuenta en esta etapa es la humedad de los granos (Casini y Rodríguez, 2009).

1.6.2. Recepción

La recepción es la primera actividad de la poscosecha. En esta etapa tiene fundamental importancia determinar en qué condiciones llega el grano a la planta de acopio, y a partir de allí decidir cuál será su tratamiento posterior (Casini y Rodríguez, 2009).

Una de las actividades que siempre debería estar relacionada con la recepción del grano es la limpieza. Por limpio, se entiende un grano libre de tierra, granos partidos o materias extrañas, ya que estas partículas suelen presentar mayor contenido de humedad, de hongos y de micotoxinas, y son más fácilmente atacables por los insectos. Otra de las características a tomar en cuenta durante la recepción, es que el grano recibido esté sano, por sano, se entiende que el grano esté libre de insectos en cualquiera de sus estadios de desarrollo (Casini y Rodríguez, 2009).

Grano Frío + Seco + Sano + Limpio = Grano Almacenable + Inocuo + de bajo impacto medioambiental + más seguro para los trabajadores (Abadía, *et al.*, 2013).

Un grano limpio fluye mejor y facilita la tarea de secado y almacenamiento. Según el tipo de almacenamiento que se utilizará, dependerá la estrategia de conservación de granos que deberá aplicarse (Casini y Rodríguez, 2009).

1.6.3. Almacenamiento

Se entiende por "almacenamiento" la fase del sistema de operaciones poscosecha durante la cual los productos se conservan de manera apropiada para garantizar la seguridad alimentaria de las poblaciones fuera de los períodos de producción agrícola (FAO, 1993).

Los principales objetivos del almacenamiento de los productos pueden resumirse así:

- hacer posible, en el plano alimentario, una utilización diferida (sobre una base anual y plurianual) de los productos agrícolas cosechados; (FAO, 1993).
- garantizar, en el plano agrícola, la disponibilidad de semillas para los próximos ciclos de cultivo; (FAO, 1993).

- garantizar, en el plano agroindustrial, el aprovisionamiento regular y continuo en materias primas de las industrias de transformación; (FAO, 1993).
- equilibrar, en el plano comercial, la oferta y la demanda de productos agrícolas, estabilizando así los precios en el mercado (FAO, 1993).

Para alcanzar estos objetivos generales, hay que adoptar evidentemente medidas encaminadas a preservar, en el tiempo, la calidad y la cantidad de los productos almacenados (FAO, 1993).

1.7. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE GRANOS

1.7.1. Atmósfera normal

Aquí el grano prácticamente tiene la misma composición del aire atmosférico. Es el tipo de almacenamiento más difundido: granel, silos de chapa, silos de malla de alambre, trojes, etc. (Casini, 2009).

En este tipo de instalaciones, para evitar el deterioro, los granos deben almacenarse secos (humedad de recibo), (Casini, 2009).

Al aumentar la humedad del grano por encima de la humedad de recibo, aumenta el deterioro, principalmente causado por el crecimiento de hongos, levaduras y bacterias. Estos microorganismos necesitan de humedad para crecer y a medida que se van desarrollando, aumentan el nivel de respiración y aumenta la temperatura de la masa de los granos. Esto es un concepto muy importante de destacar ya que el aumento de temperatura de los granos ocurre casi exclusivamente por la respiración de los microorganismos, principalmente hongos (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, etc). Además, si aumenta aún más el contenido de humedad de los granos, pueden llegar a desarrollarse levaduras y bacterias, pero con una diferencia fundamental ya que estos no necesitan aire para crecer, son anaeróbicos totales ó facultativos (Casini y Rodríguez, 2009).

Por otra parte, es necesario, en este tipo de almacenamiento, hacer un control estricto de los insectos ya que perjudican en gran proporción a los granos. En este caso, también hay una liberación de calor por la respiración de los insectos, que calienta la masa de los granos (Casini y Rodríguez, 2009).

1.7.1.1. Tipos de almacenes de atmósfera normal

1.7.1.1.1. 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. 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 (Croston A., 2012).

Las industrias necesitan almacenar grandes cantidades de 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 y el tiempo; la temperatura y el calor que se pueda producir en los granos (Croston, 2012). Por lo que se necesita un sistema de enfriamiento eficiente antes de entrar al almacén a granel. Para un correcto sistema de almacenamiento se necesita un acondicionamiento apropiado que asegure la calidad 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 por camiones de volteo, así que 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, 1996).



Figura 21. Maíz a granel

Fuente: "Almacenamiento de los granos de cereales", (2005)

1.7.1.1.2. 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. Antes de utilizarse deben limpiarse perfectamente, deben estar secos y asegurarse de que no estén rotos (Molinera el globo, 2010).

Las desventajas son: ruptura, 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.



Figura 22. Almacenamiento en sacos

Fuente: "Almacenamiento de los granos de cereales", (2005)

Si algún problema de este tipo se presenta, el grano debe vaciarse de nuevo, limpiarse, secarse y de ser necesario tratarse 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).

1.7.1.1.3. Silos

Están diseñados para almacenar todo tipo de granos, el silo es una barrera física contra ratas, insectos y animales domésticos, se pueden almacenar granos por largos periodos de tiempo. Para el manejo del silo metálico se recomienda que el grano este limpio y seco (menos de 14% de contenido de humedad), 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 (Valdivia, 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 pastillas 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 (Valdivia, 2011).



Figura 23. Silos, Guanajuato

Fuente: México García Leños, (2007)

1.7.2. Atmósfera modificada

Una atmósfera modificada o controlada se crea en un almacén de granos con el objeto de eliminar por asfixia o alteración metabólica a los insectos-plaga y eventualmente a los hongos que pudieran deteriorar el grano o semilla (Pérez, 1993).

El almacenamiento hermético, es uno de los métodos más utilizados por los países desarrollados en el almacenamiento de granos a gran escala, usando recipientes herméticos (que pueden ser silos de metal o estructuras subterráneas). Consiste básicamente en colocar granos o semillas en algún recipiente que generalmente no permite la entrada de aire, de manera que, con el paso del tiempo, la respiración de insectos, microorganismos y en menor grado las semillas consumen el aire (oxígeno) disponible dentro del sistema y se produce bióxido de carbono. De esta manera, se manifiesta de forma natural una atmósfera modificada (al incrementarse el CO₂) que actuará como un control de plagas y que conservará el grano almacenado por mayor tiempo (Reyes, 1988).

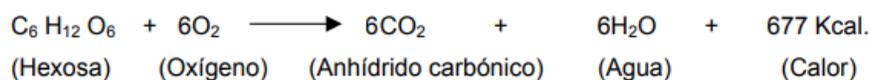
1.7.2.1. Principio en que se basa el almacenamiento hermético y la influencia del proceso respiratorio

Principio de los Silos Herméticos. “Eliminación del oxígeno existente en el aire del depósito o recipiente hermético hasta un nivel que suprima o inactive los organismos nocivos que dependen del oxígeno para subsistir, ya se trate de insectos o de hongos, antes de que puedan acarrear graves daños al grano” (Hyde, 1980).

Para explicar, los principios en que se basa el almacenamiento hermético es necesario conocer el proceso respiratorio, que de alguna manera va ligado al almacenamiento hermético, ya que la energía que necesitan la mayoría de los organismos vivos para crecer y desarrollarse se obtiene mediante el proceso conocido como respiración y que entraña una serie de complejas reacciones químicas iniciadas por las enzimas existentes en el organismo vivo (Hyde, 1980). Por esto es necesario conocer:

1.7.2.2. La respiración aeróbica

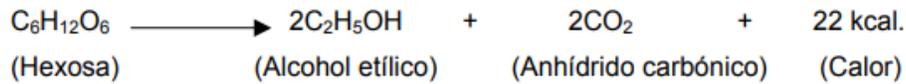
Normalmente, en el aire la respiración entraña la descomposición de hidratos de carbono, normalmente en forma de azúcares, ya sea los del propio grano o los del alimento consumido por los insectos, (Guzmán, 2005), según una ecuación general que, en el caso de la hexosa, puede representarse del modo siguiente:



El oxígeno que se requiere para esta reacción aeróbica se obtiene del aire. La oxidación libera agua y anhídrido carbónico y también una cantidad considerable de energía. Gran parte de esa energía la emplean los organismos vivos (insectos, hongos o semillas) para su crecimiento y desarrollo. Pero también hay una parte que pasa al aire en forma de calor (Guzmán, 2005).

1.7.2.3. La respiración anaeróbica

La mayoría de los animales y plantas, incluidos muchos hongos, necesitan oxígeno para respirar y mueren o por lo menos dejan de desarrollarse cuando hay poco oxígeno. A ciertos hongos les bastan cantidades insignificantes de oxígeno para su crecimiento. Otros organismos, entre ellos las bacterias y levaduras, pueden respirar, aunque no exista oxígeno en absoluto y pueden descomponer los hidratos de manera incompleta que en presencia de aire y producen sustancias como ácidos lácticos, acéticos y el alcohol (Guzmán, 2005). Esta última reacción que se da sobre todo en el caso de las levaduras, se representa de la siguiente manera:



Dicha reacción, llamada fermentación produce mucho menos calor a diferencia de la reacción aeróbica anteriormente descrita (22 Kcal. por gramo-molécula de hexosa, en comparación con 677 Kcal. en presencia de oxígeno). La respiración anaeróbica que caracteriza a ciertos microorganismos, sólo se produce en los recipientes herméticos cuando hay un alto grado de humedad, esto es cuando el grano está húmedo. Estos factores del proceso respiratorio son importantes para entender el almacenamiento hermético del grano (Guzmán, 2005).

Si el grano seco en un contenedor hermético es infestado por insectos, estos pronto utilizarán el oxígeno disponible y se asfixiarán (Moreno y Quezada, 1995).

Es importante también que la estructura del almacén sea completamente hermética cuando quiere conservarse grano con alto contenido de humedad, ya que fugas muy leves no beneficiaran al control de insectos y mucho menos al control de hongos y bacterias (Guzmán, 2005).

1.7.2.4. Tipos de almacenes herméticos

1.7.2.5. Sacos de plástico

Este es utilizado en el trópico húmedo y seco, este sistema exige que el grano tenga un contenido de humedad inferior a 9%, dentro de las desventajas que presenta es que puede sufrir accidentes por roedores, alguna piedra en el terreno u otro factor, además cuando se está expuesto al sol, el desgaste del plástico es más rápido (FAO/SAGARPA, 2007).

1.7.2.6. Silo metálico

Este tipo de silo está construido con lámina galvanizada, presenta una forma cilíndrica, es utilizado principalmente para zonas con temperaturas bajas, su estructura de lámina hace que sea más resistente al ataque de roedores e insectos (FAO/SAGARPA, 2007).



Figura24. a) Almacenamiento de granos en sacos de plástico multilaminado, se extrae el aire dentro del saco y se asegura su hermetismo mediante el amarrado de la bolsa; b) Silo hermético de metal (Imágenes de Grain Pro Inc., y del laboratorio de UNIGRAS, FES-Cuautitlán)

Fuente: Sánchez, (2016)

1.7.3. Factores ambientales que influyen en el almacenamiento

Para una conservación cualitativa y prolongada de los productos es preciso frenar o incluso detener los procesos de degradación (FAO, 1993).

La degradación de los granos durante el almacenamiento depende principalmente de la combinación de tres factores:

- ❖ la temperatura
- ❖ la humedad
- ❖ el contenido de oxígeno

Durante el almacenamiento, pero también durante otras fases de las operaciones poscosecha, los efectos combinados de estos tres factores pueden ocasionar pérdidas a veces importantes de los productos (FAO, 1993).

1.7.3.1. Temperatura y humedad

La temperatura y la humedad contribuyen de manera determinante a acelerar o a retrasar los fenómenos complejos de transformación bioquímica (sobre todo la "respiración" de los granos) que están en el origen de la degradación de los granos. Tienen además una influencia directa sobre el ritmo de desarrollo de los insectos y de los microorganismos (mohos, levaduras y bacterias) y sobre la germinación precoz e intempestiva de los granos (FAO, 1993).

El contenido de humedad del grano está en función directa de la humedad relativa y temperatura ambiental, esto es debido a la capacidad higroscópica del grano, al tener la capacidad de ceder o ganar humedad de acuerdo a las condiciones ambientales que se presenten (Moreno y Vázquez, 2016).

La cantidad y tipo de agua presente en el grano la podemos dividir en: agua de adsorción, agua de absorción y agua de composición. Las dos primeras son las que se consideran como agua libre y es la que se debe eliminar al momento de que el grano sea destinado a su almacenamiento, si los niveles de agua en el grano se incrementan por arriba de lo recomendado (contenidos de humedad en equilibrio con la humedad relativa) con humedad relativa superior al 65%, el metabolismo del grano se incrementa liberando calor y agua causado por el proceso respiratorio del grano, lo que afecta de manera significativa en el granel almacenado, propiciando la presencia y actividad de hongos e insectos, creando una actividad respiratoria de granos, insectos y hongos que puede incrementarse, generando así mayor contenido de humedad y temperatura del grano, propiciando así el deterioro del mismo, el cual se manifiesta en un incremento de la temperatura, así como la presencia de una apariencia desfavorable del grano, con olores desagradables por la posible presencia de moho, insectos, bacterias entre otros, granos dañados por factores bióticos y abióticos presentes en el granel que demeritan la cantidad y calidad del grano, afectando de manera significativa el valor del producto almacenado, por lo anterior, la importancia de conocer y controlar los niveles de la humedad dentro del granel almacenado (Moreno y Vázquez, 2016).

El contenido de humedad es más importante que la temperatura del grano, ya que la humedad es muy significativa en el metabolismo propio del grano, porque en niveles de 15% en los cereales se activan los metabolismos de los carbohidratos, lípidos y proteínas reduciendo su capacidad nutrimental (Moreno y Vázquez, 2016).

Por cada uno por ciento que reduzcamos el contenido de humedad del grano duplicamos el tiempo de almacenamiento, esto es válido hasta el rango de 14% de humedad y por cada 10 °F (5.556 °C) que reduzcamos la temperatura de almacenamiento, duplicamos el tiempo de almacenamiento, esto es válido hasta el rango de 45 °C (Moreno y Vázquez, 2016).

En el diagrama general de conservación, concebido por Burges y Burrell (FAO, 1993), se establece la relación entre temperatura y contenido de humedad para determinar la zona de influencia de ciertos fenómenos importantes de degradación, tales como el desarrollo de insectos y moho y la germinación de los granos (Moreno y Vázquez, 2016).

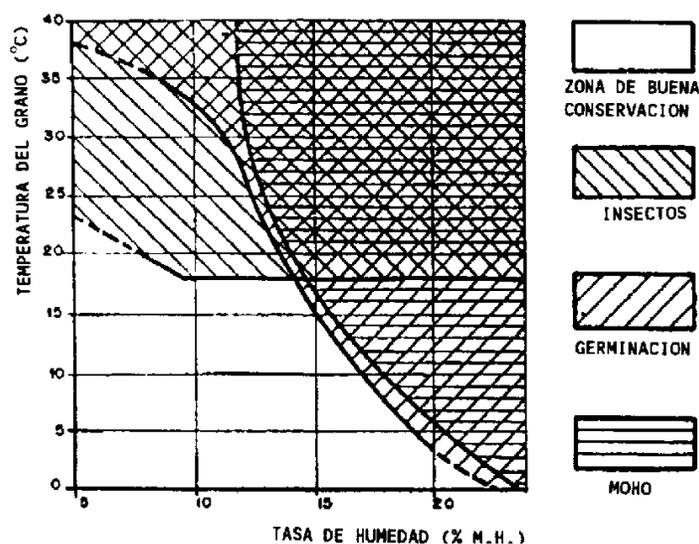


Figura 25. Diagrama de conservación de cereales

Fuente: FAO, (1993)

Es fácil observar que cuanto más elevada es la temperatura, menor debe ser el contenido de humedad para asegurar una buena conservación de los productos (FAO, 1993).

Dada su influencia sobre el ritmo de desarrollo de los fenómenos de degradación mencionados, la temperatura y el grado de humedad de los granos condicionan la duración máxima del almacenamiento (tabla 1) (FAO, 1993).

Tabla 1. Tiempos de almacenamiento recomendados, en función de la temperatura y del contenido de humedad de los granos

HUMEDAD	DURACIÓN DEL ALMACENAMIENTO EN DÍAS			
	TEMPERATURA			
	15°C	20°C	25°C	30°C
13%	—	180	115	90
14%	160	100	50	30
15%	100	50	30	15
16%	50	30	20	8
17%	35	22	12	5
18%	25	17	8	2

Fuente: FAO, (1993)

La temperatura depende no sólo de las condiciones climáticas, sino también de las transformaciones bioquímicas que se producen en el interior de una masa de granos, provocando un recalentamiento natural indeseable de los productos guardados (FAO, 1993).

Para cada valor de humedad del grano existe un valor de humedad relativa en el cual las presiones de vapor de agua del grano y del ambiente son iguales; en este punto de equilibrio, no hay cambios netos de humedad ni en el grano ni en el espacio intergranular. La relación entre la humedad del grano y la humedad del espacio intergranular está dada por la curva de Humedad Relativa de Equilibrio, que depende de la temperatura y del tipo de grano (figura 26), (FAO, 1993).

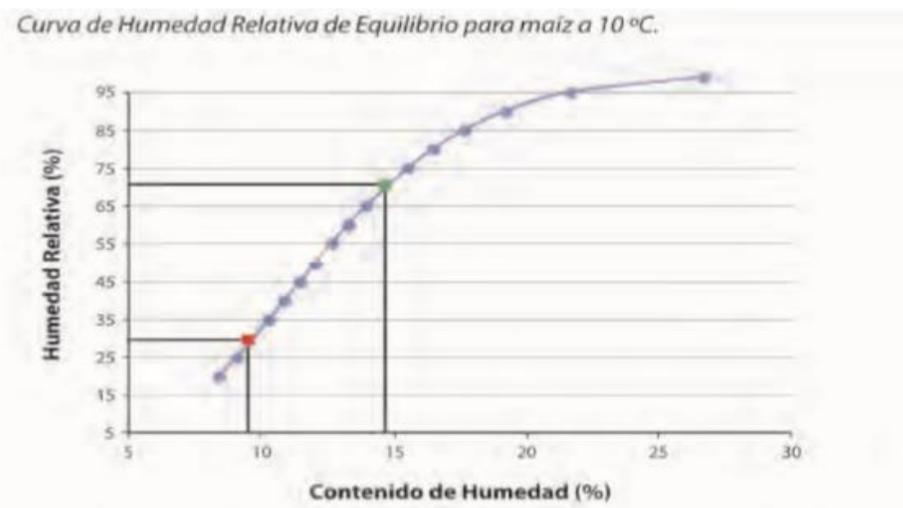


Figura 26. Curva de Humedad Relativa de Equilibrio para maíz a 10 °
Fuente: FAO, (1993)

Supongamos que se desea almacenar maíz con 10% de humedad y a 10°C en un silo. La curva de Humedad Relativa de Equilibrio de la figura 22 permite predecir cuál será la humedad relativa del espacio intergranular al alcanzarse el equilibrio. En efecto, al lograrse el equilibrio, la humedad relativa del espacio intergranular será cercana a 30%. En cambio, si el silo fuese llenado con maíz de 15% de humedad, en el equilibrio la humedad relativa del espacio intergranular sería cercana al 70% (Abadía *et al.*,2013).

Como regla general, cuando la humedad relativa del espacio intergranular es inferior al 67% la mayoría de los hongos del almacenaje no pueden sobrevivir en la masa de granos. A este valor de humedad relativa se lo denomina “Humedad Relativa de Almacenamiento Seguro” (Abadía *et al.*,2013).

El valor específico de la Humedad Relativa de Almacenamiento Seguro surge de la tabla 2, en la que se muestran las humedades relativas mínimas que necesitan los principales hongos del almacenamiento para crecer (además del rango de temperaturas en el que pueden sobrevivir). En rigor, algunas especies de hongos (*Aspergillus restrictus* y *Aspergillus glaucus*) son capaces de germinar recién por encima del 71-72% de humedad relativa, pero se fija el valor de Humedad Relativa de Almacenamiento Seguro en 67% para dejar un margen de seguridad (Abadía *et al.*,2013).

Tabla 2. Condiciones mínima y máxima y óptima de crecimiento para el desarrollo de hongos de almacenamiento más importantes.

HONGO	HUMEDAD RELATIVA MÍNIMA PARA GERMINAR (%)	TEMPERATURA DE CRECIMIENTO (°C)		
		Mínima	Óptima	Máxima
<i>Alternaria sp.</i>	91	-3	20	36-40
<i>Aspergillus candidus</i>	75	10	28	44
<i>Aspergillus flavus</i>	82	6-8	36-38	44-46
<i>Aspergillus fumigatus</i>	82	12	37-40	50
<i>Aspergillus glaucus</i>	72	8	25	38
<i>Aspergillus restrictus</i>	71-72	-	-	-
<i>Cephalosporium acremonium</i>	97	8	25	40
<i>Epicoccum sp</i>	91	-3	25	28
<i>Fusarium moniliforme</i>	91	4	28	36
<i>Fusarium graminearum</i>	94	4	25	32
<i>Mucor sp</i>	91	-3	28	36
<i>Nigrospora oryzae</i>	91	4	28	32
<i>Penicillium funiculosum</i>	91	8	30	36
<i>Penicillium oxalicum</i>	86	8	30	36
<i>Penicillium brevicompactum</i>	81	-2	23	30
<i>Penicillium cyclopium</i>	81	-2	23	30
<i>Penicillium viridicatum</i>	81	-2	23	36

Fuente: Abadía *et al.*, (2013)

1.7.3.2. Contenido de oxígeno

Los microorganismos y los insectos, igual que los granos, son organismos vivos que necesitan oxígeno (FAO, 1993).

El almacenamiento de los granos en medios pobres en oxígeno provoca la muerte de los insectos, la detención del desarrollo de los microorganismos y el bloqueo, total o incompleto, de los fenómenos bioquímicos de degradación de los granos. Con ello se favorece por lo tanto la conservación de los granos, pero se puede dañar su poder de germinación (FAO, 1993).

1.7.3.3. Agentes de degradación de los granos

Los principales enemigos de los granos almacenados son los microorganismos, los insectos y los roedores (FAO, 1993).

1.7.3.3.1 Los insectos

Las infestaciones por insectos pueden producirse en el terreno, antes de la recolección, o en los lugares de almacenamiento de los productos (FAO, 1993).

En ciertos casos, estas infestaciones son difíciles de descubrir a simple vista, pues los daños son obra de larvas que se desarrollan en el interior de los granos (FAO, 1993).

Generalmente los insectos de granos almacenados pertenecen a los órdenes coleóptera y lepidóptera, están fuertemente influenciados por la temperatura y en menor circunstancia por la humedad del grano (FAO, 1993).



Figura 27. Plagas de insectos en diferentes tipos de semillas de cereales

Fuente: "Plagas de los alimentos", (2019)

Dentro de los factores que contribuyen en el desarrollo de los insectos se encuentra la temperatura, que influye de manera directa en el metabolismo y fisiología del insecto, ya que promueve la oviposición cuando las temperaturas óptimas de desarrollo están entre 25 a 27 °C, promoviendo así la fecundidad y longevidad del adulto y en su ciclo de vida. Con temperaturas superiores a los 45 °C, los insectos tienden a morir, mientras que a temperaturas inferiores a 15 °C la fecundidad se reduce, mientras que en temperaturas inferiores a 10 °C tienden a morir los adultos, los huevecillos se conservan bien (Moreno y Vázquez, 2016).

La humedad de los granos para los insectos no es un factor limitante como lo es la temperatura, pero si es un factor condicionante, ya que un insecto puede obtener agua para sus procesos vitales a partir de las estructuras de reserva de los granos, como lo es el embrión. Por lo general, las humedades relativas propicias para el desarrollo de los insectos oscilan entre 70 a 85% para la mayoría de los insectos, con excepción de *Rhizopertha dominica* que puede desarrollarse con humedades relativas de 55% y que a la vez es difícil de combatir en los graneles, o de *Oryzaephilus surinamensis* que puede desarrollarse con humedades relativas de 90%. También podemos mencionar que la cantidad de insectos depende de la cantidad de alimento disponible y por último también influyen las características de las especies de los insectos (Moreno y Vázquez, 2016).

1.7.3.3.2 Los roedores

Los roedores se instalan y se multiplican en el interior o las inmediaciones de los lugares de almacenamiento, ya que allí encuentran alimento en abundancia (FAO, 1993).

Los importantes daños que ocasionan conciernen no sólo a los productos conservados sino también a los embalajes e incluso a las estructuras de almacenamiento (FAO, 1993).

Los roedores principales y más comunes que pueden atacar los productos almacenados pertenecen a las especies siguientes:

- rata negra, llamada también "rata de granero" (*Rattus rattus*),
- rata parda, llamada también "rata de alcantarilla" (*Rattus norvegicus*),
- ratón (*Mus musculus*).



Figura 28. Ratón (*Mus musculus*) en semillas de cebada

La acción prolongada de estos animales se traduce inevitablemente en graves pérdidas cuantitativas de productos almacenados (FAO, 1993).

Hay que añadir a estas pérdidas las acarreadas por la disminución de la calidad de los artículos a causa del ensuciamiento (deyecciones, secreciones) producido por los roedores en los productos almacenados (FAO, 1993). Esta contaminación es importante tanto en el plano comercial como en el de la higiene y la salud (FAO, 1993). En efecto, los roedores transmiten con frecuencia graves enfermedades (rabia, leptospirosis, etc.), (FAO, 1993).

1.7.3.3.3 Los microorganismos

Los microorganismos (moho, levaduras, bacterias) son agentes biológicos presentes en el suelo que, transportados por el aire o por el agua, pueden contaminar los productos antes, durante o después de su recolección (FAO, 1993).

Su presencia y su desarrollo producen graves alteraciones en el valor nutritivo y en las características organolépticas de los granos (sabor, olor, aspecto), (FAO, 1993).

Son además responsables de la alteración de importantes propiedades germinativas de las semillas (vigor y poder de germinación) y, en el caso del moho, de la eventual formación de peligrosas sustancias tóxicas (micotoxinas), (FAO, 1993).

Las impurezas, los granos rotos y agrietados, favorecen el desarrollo de microorganismos (FAO, 1993). La temperatura y la humedad tienen también una influencia determinante sobre el ritmo de desarrollo de estos agentes de degradación (FAO, 1993).

Se ha comprobado que el desarrollo de microorganismos se produce a temperaturas comprendidas entre -8°C y +80°C, cuando la humedad relativa del aire es superior al 65% (FAO, 1993). Por el contrario, las atmósferas pobres en oxígeno contribuyen a detener el desarrollo de estos agentes de degradación (FAO, 1993).

1.8 GENERALIDADES DE LOS HONGOS

Los hongos son organismos que carecen de clorofila, provistos de talo, generalmente filamentosos y ramificados, mediante el cual absorben los principios orgánicos nutritivos del medio, son de tamaño muy variado y reproducción preferentemente asexual (por esporas); viven como parásitos o sobre materias orgánicas en descomposición o parásitos de vegetales o animales (Moreno y Vázquez, 2016).

Los hongos que crecen sobre productos agrícolas en especial los que invaden granos durante su desarrollo, cosecha o almacenamiento, han sido clasificados desde el punto de vista ecológico por Christensen y Kauffman (1969) en hongos de campo, hongos de almacén y hongos de deterioro avanzado (Moreno y Vázquez, 2016).

Los hongos de almacén son aquellos que pueden desarrollarse con contenidos de humedad en los granos en equilibrio con humedades relativas entre 65 a 90%, generalmente son de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* (Herrera, 1990).

La presencia de *Aspergillus glaucus* en los granos es indicativo del inicio del deterioro de los granos. A medida que este deterioro se incrementa, el contenido de humedad se eleva o si se tienen humedades relativas altas pueden aparecer otras especies de hongos de estos géneros, llegando incluso a presentarse las especies de *Aspergillus flavus* y *Penicillium*, más otras especies que se desarrollaron anteriormente a éstos. Los daños que pueden producir los hongos de almacén pueden ser irreversibles, como es la reducción del poder germinativo, ennegrecimiento total o parcial del grano, calentamiento y mal olor de los granos, cambios bioquímicos degenerativos, pérdida de peso del grano e inclusive la producción de micotoxinas. Estas producen afectaciones a la salud si se consumen por animales o humanos (Moreno y Vázquez, 2016).

Los principales factores importantes para el desarrollo de los hongos en granos almacenados en bodegas son la humedad relativa y la temperatura de almacenamiento, y el tiempo en que el grano va a estar almacenado antes de que sea utilizado en la alimentación o en diversas industrias. Si estos productos no están en condiciones adecuadas de almacenamiento, en poco tiempo los hongos prosperan causando su deterioro. El deterioro de éstos, no es un problema que sólo se presenta cuando están almacenados, sino que también en algunas ocasiones desde el campo, cosecha y transporte de los productos. El principal factor intrínseco que gobierna la capacidad para llevar a cabo tal deterioro es la actividad de agua del sustrato. La actividad del agua (a_w) nos indica cual es la cantidad de agua disponible para el desarrollo de los microorganismos una vez que se ha alcanzado el equilibrio en el sistema alimento/medio ambiente, y se define como la presión de vapor acuoso del sustrato dividido por la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura (Moreno y Vázquez, 2016).

En contraste las bacterias requieren niveles de a_w de 0.95 para llevar a cabo un buen crecimiento y niveles mayores de 0.98 para un crecimiento óptimo. La mayor parte de los hongos pueden crecer a niveles de a_w tan bajos como 0.65. Cuando se almacena grano en presencia de una alta humedad relativa, la toma de humedad sobre la superficie del grano aumentará el nivel localizado del valor de a_w en el cual el crecimiento del hongo será más rápido que bajo las condiciones óptimas de almacenamiento (Moreno y Vázquez, 2016).

El gradiente térmico a través del grano puede entonces hacer que la humedad emigre de un área a otra, similarmente la condensación afectará adversamente los niveles de a_w (Moreno, 1988).

Otro factor importante para el desarrollo de los hongos es la temperatura, la mayoría de los hongos son mesófilos y crecen a temperaturas moderadas en un intervalo de 10 a 40 °C, siendo la óptima entre 25 y 35 °C. Pocos hongos son termófilos y crecen en el intervalo de 20 a 50 °C, con una temperatura óptima de 40 °C y un límite máximo de 60 a 62 °C como *Mucor pusillus* y *Chaetomium thermophile*; algunos son termo tolerantes como *Aspergillus fumigatus*, puede crecer en un rango de 12 a 55 °C (temperatura óptima de 40 a 42 °C). Unos cuantos hongos son psicrófilos, crecen a bajas temperaturas (por debajo de 0°C) como *Fusarium nivale* (Moreno y Vázquez, 2016).

El pH es otro factor importante en el desarrollo de los hongos, generalmente son considerados más tolerantes que las bacterias a las condiciones ácidas, en el laboratorio, muchos hongos crecen en un

intervalo de pH de 4.5 a 8.0 y muestran un amplio intervalo de pH óptimo de 5.5 a 7.5. Algunas especies de *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* son tolerantes al ácido, y pueden crecer en niveles de pH menores a 2.0 (Moreno y Vázquez, 2016).

La mayoría de los hongos son aerobios estrictos, algunos levaduriformes y filamentosos son aerobios facultativos, y otros toleran concentraciones bajas de oxígeno y son denominados microerófilicos (Moreno y Vázquez, 2016). Los hongos en los granos almacenados son acarreados en dos formas: como una infección o como una infestación. La primera implica que el patógeno invada los tejidos de la planta, y se establezca en ellos; y la segunda, que el patógeno vaya como contaminante, en forma de esporas o de esclerosis, directamente sobre los granos, pero sin invadir las testas o pericarpios, o bien en residuos del cultivo y en partículas de suelo (Moreno y Vázquez, 2016).

1.8.1 Hongos que invaden granos y semillas

Todos los productos agrícolas son invadidos por diversos microorganismos durante el desarrollo del cultivo en el campo, cosecha, transporte y almacenamiento, siendo los hongos los más abundantes y la principal causa de enfermedades, ocasionando pérdidas económicas al reducir el potencial de producción de los cultivos que atacan. En cuanto a las pérdidas poscosecha de granos, las estimaciones en el ámbito mundial son del orden del 10% de la producción (Moreno y Vázquez, 2016). Para México, de un volumen de 32 millones de toneladas de maíz que el país consume actualmente, las pérdidas poscosecha estimadas en un 10 % representan miles de millones de pesos, en un solo cultivo (Moreno y Vázquez, 2016)

1.8.2 Daños causados por hongos de almacén

Los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, a diferencia de los hongos de campo, son considerados hongos de almacén, y su principal característica es que tienen la habilidad para invadir los granos con contenidos de humedad relativamente bajas, en cereales con contenidos de humedad mínimas del 13.0% y en oleaginosas de 8 a 9%. Estos hongos pueden crecer en un amplio rango de temperaturas. Especies de *Penicillium* crecen de 5 a 40 °C, y las de *Aspergillus* de 0 a 55 °C. Con pocas excepciones, los hongos de almacén infectan los granos antes de la cosecha, una de estas excepciones, y desafortunadamente de gran importancia, es la invasión de maíz por el hongo *Aspergillus flavus*, productor de potentes toxinas carcinogénicas, las aflatoxinas (Moreno y Vázquez, 2016).

Los principales daños ocasionados por los hongos de almacén cuyo hábitat natural generalmente se encuentra en los almacenes, silos y trojes son: reducción del poder germinativo, ennegrecimiento total o parcial de los granos, calentamiento y hedor, diversos cambios bioquímicos, pérdida de peso y producción de micotoxinas, las que al ser ingeridas pueden ser dañinas, ocasionando diversos trastornos, a veces severos en los animales y humanos que consumen dichos granos o alimentos contaminados (Moreno y Vázquez, 2016).

Entre éstas podemos mencionar a las aflatoxinas, ocratoxinas, esterigmatocistinas, gliotoxina, patulinas, entre otras. Varias especies de *Aspergillus*, también son importantes en micología médica,

como *A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. niger*, *A. terreus* y otras especies pueden comportarse como patógenas del hombre y de los animales, ocasionando una serie de enfermedades denominadas colectivamente aspergilosis, siendo la pulmonar la más seria de estas enfermedades. En el género *Aspergillus*, las especies más frecuentes que se encuentran causando daño a los granos en el almacén, son *A. restrictus*, *Eurotium*, *A. candidus*, *A. ochraceus* y *A. flavus*. Las otras especies de hongos de almacén son del género *Penicillium*, son menos frecuentes por requerir mayores contenidos de agua y menores temperaturas, sin embargo, también causan el mismo tipo de daño que *Aspergillus* y producen otras toxinas.

Tanto las especies de *Aspergillus* y *Penicillium* son de amplia distribución y uno de los papeles en la naturaleza es la descomposición de la materia orgánica en el suelo, esto por su alta capacidad saprofítica. Esta particular característica, es la razón por la cual estos hongos invaden los granos después de la cosecha y empiezan a declinar su valor fisiológico y nutricional (Moreno y Vázquez, 2016).

A continuación, se describen algunas características importantes de especies de *Aspergillus* (Klich, 2002) y *Penicillium* que comúnmente se encuentran en los granos.

***Aspergillus restrictus* (Sección *Restricti*)**

Esta especie requiere alta presión osmótica para crecer, y humedad relativa entre 70 y 75 %; su crecimiento es muy lento y requiere contenidos de humedad de 14.0- 14.5% en cereales y de 8.5-9.0% en cacahuate y copra, causa decoloración, apelmazamiento y afecta la germinación. No es productora de micotoxinas (Moreno y Vázquez, 2016).

***Eurotium herbariorum* (anamorfo *Aspergillus glaucus*)**

Esta especie es osmótica, requiere una humedad relativa de 75% y crece en cereales con contenidos de humedad de 14.5-15.0%, en cacahuate y copra de 9.0 a 9.5%, reduce el poder germinativo, decolora el embrión y causa apelmazamiento. No hay evidencias claras de su poder toxígeno, sin embargo, se dice que *E. chevalieri* (anamorfo *A. chevalieri*) produce una toxina denominada xantocilina (Moreno y Vázquez, 2016).

***Aspergillus candidus* Link (Sección *Candidi*)**

Este hongo requiere humedades relativas del 80% y crece en cereales con contenidos de humedad de 15.5-16.0%, en cacahuate y copra de 9.0-9.5%. La presencia de este hongo es indicativa de que el lote de grano está sufriendo deterioro severo. Reduce la germinación, decolora el embrión rápidamente y es uno de los hongos involucrados en el calentamiento de los granos. No se le considera hongo toxígeno (Moreno y Vázquez, 2016).

***Aspergillus ochraceus* (Sección *Circumdati*)**

Esta especie requiere humedades relativas de 80% y crece en cereales con contenidos de humedad de 15.5-16.0%, en cacahuate y copra de 9.0-9.5%. Estos hongos reducen el poder germinativo y decoloran el embrión, no son muy comunes en granos, ya que son buenos competidores contra especies de *Eurotium* y *Aspergillus candidus*, sin embargo, cuando se presentan pueden llegar a causar enmohecimiento severo, especialmente en maíz. Estos hongos producen una toxina llamada ocratoxina (OTA), (Moreno y Vázquez, 2016).

***Aspergillus flavus* (Sección *Flavi*)**

A esta especie se le considera principalmente como hongo de almacén, sin embargo, en Estados Unidos y México se le ha encontrado invadiendo al maíz en el campo, especialmente cuando las condiciones ambientales favorecen su desarrollo. Las especies de este grupo requieren humedades relativas de 80-85%, en cereales con contenidos de humedad de 16.5-18.0%, en cacahuate y copra de 10-10.5%. Reduce la germinación y decolora el embrión, su desarrollo en el grano contribuye al calentamiento. Algunas cepas producen aflatoxinas (Moreno y Vázquez, 2016).

Las especies del género *Penicillium* requieren para su desarrollo humedades relativas altas de 85-90%; en cereales, el contenido de humedad para su desarrollo es de 16.5-20.0% y en cacahuate y copra de 10-15%. Estos hongos pueden crecer a temperaturas muy bajas; inclusive bajo cero (-2º C). Causan reducción en la germinación de las semillas, decoloración del embrión y apelmazamiento. Algunas especies son capaces de producir diversas toxinas como la patulina, ácido penicílico, citrinina y ocratoxina. La presencia de una determinada especie de hongo de almacén en una muestra de grano nos señala las condiciones de humedad a las que estuvo almacenada el grano (Moreno y Vázquez, 2016).

El análisis de la microbiota de una muestra de grano también nos puede indicar si el lote proviene de la mezcla de lotes de diferente calidad. Si se aíslan hongos causantes de deterioro avanzado, esto nos indica que esos granos han estado almacenados con altos contenidos de humedad y que otros hongos han antecedido en la sucesión microbiana (Moreno y Vázquez, 2016).

1.9 USOS DEL MAÍZ

Se utiliza para la elaboración de jarabe y almidón; este último tiene aportes energéticos importantes para los seres humanos y es un proveedor de materias primas para la industria alimenticia, tanto humana como pecuaria.

1.10 PRODUCCIÓN, IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE MAÍZ

El maíz es el cultivo más representativo de México por su importancia económica, social y cultural. Con un consumo promedio per cápita al año de 196.4 kg de maíz blanco, especialmente en tortillas representa 20.9 % del gasto total en Alimentos, Bebidas y Tabaco realizado por las familias mexicanas (SAGARPA, 2017).

Su producción se divide en blanco y amarillo, el maíz blanco representa 86.94% de la producción y se destina principalmente al consumo humano. Esa producción satisface la totalidad del consumo nacional, mientras que la producción de maíz amarillo se destina a la industria o la fabricación de

alimentos balanceados para la producción pecuaria. Esa producción satisface sólo 24% de los requerimientos nacionales (SAGARPA, 2017).

Se registran 59 variedades criollas de maíz en México. En 2012 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo por el que se determinan centros de origen y centros de diversidad genética del maíz estableciendo como tal a los Estados de Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa y Sonora (SAGARPA, 2017).

La Producción de maíz en 2017 fue de 27.8 millones de toneladas, mientras que la superficie Sembrada en el mismo año fue de 7.5 millones de hectáreas, gran parte del territorio nacional es propicio para la producción por lo que en los 32 Estados de la República Mexicana se produce Maíz Grano.

Los principales Estados productores son Sinaloa (22%), Jalisco (14%), México (8%), Michoacán (7%), Guanajuato (6%), Guerrero (5%), Veracruz (5%), Chiapas (5%), Chihuahua (4%), Puebla (4%) y el resto de los Estados representan el (20%) restante. México ocupa el 8° lugar en producción mundial de maíz, en 2017 exportó a 17 países, en términos de valor principalmente a Venezuela (58%), Kenia (33%) y Estados Unidos (4%), entre otros (6%) lo que nos ubica como el 10° Exportador mundial de grano de maíz (SAGARPA, 2017).

PRINCIPALES IMPORTADORES DE GRANO DE MAÍZ

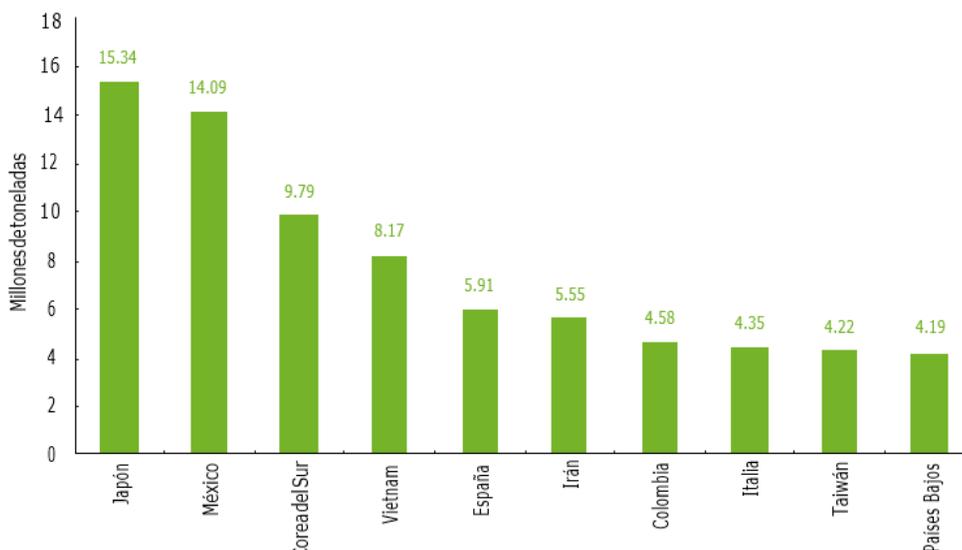


Figura 29. Principales importadores mundiales de grano de maíz hasta 2016
Fuente: SAGARPA, (2017)

PRINCIPALES EXPORTADORES DE GRANO DE MAÍZ

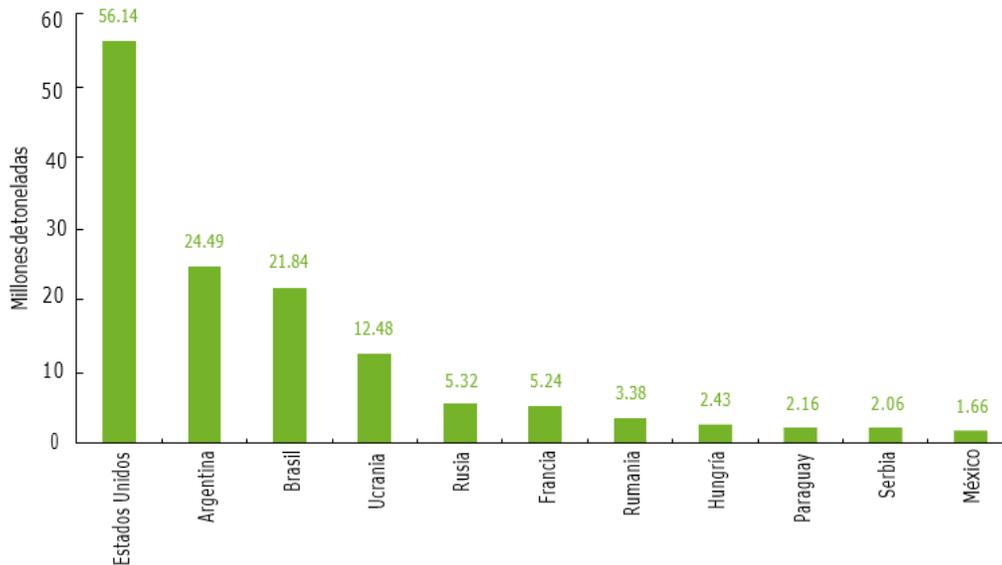


Figura 30. Principales exportadores mundiales de grano de maíz hasta 2016
Fuente: SAGARPA, (2017)

1.11 USOS DE LA CEBADA

Aunque puede comerse en algunos guisos, a este grano se le da mayor uso industrial, principalmente para la producción de cerveza. La malta que se extrae se usa en la fabricación de whisky y jarabes, entre otros (SAGARPA, 2017).

1.12 PRODUCCIÓN, IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE CEBADA

La cebada es la materia prima para la producción de cerveza. México es el principal proveedor de cerveza en el mercado internacional pues representa 21.32% del valor de las exportaciones mundiales. No obstante, la producción nacional de la cebada durante la última década se redujo 9.54% en el periodo 2003-2016 (SAGARPA, 2017).

En 2015 las exportaciones mexicanas de cerveza representaron un alto porcentaje de las importaciones de este producto en Estados Unidos (65.96%), Perú (65.33%), Australia (40.90%) y Colombia (40.57%), (SAGARPA, 2017).

La demanda internacional de cerveza se ha incrementado en 22 países integrantes del tican,¹ el tpp² y el tlctn,³ así como en China, países miembros del bloque de la Unión Europea y otros con los que México no tiene un tratado de libre comercio, que en conjunto importaron 9.8 miles de millones de litros durante 2016 (SAGARPA, 2017).

En el contexto productivo, de las 334,270 hectáreas sembradas en 2016, el 97.33% de la superficie se encuentra mecanizada, un 22.50% del total de la superficie cuenta con tecnología aplicada a la sanidad vegetal, mientras que sólo 32.35% del territorio sembrado con este cultivo contó con asistencia técnica. Por otro lado, 56.83% de la producción es de temporal, el restante de riego en general (SAGARPA, 2017).

La cebada grano es el elemento clave para la producción de cerveza. México es el cuarto productor mundial de cerveza. No obstante, durante 2016 la producción nacional representó 93.07% de los requerimientos nacionales de cebada grano y de las cuales se destinaron 706.4 Mt2 para la industria cervecera, mientras que el restante fue usado para otros destinos (pecuario y semilla para siembra). Por otro lado, las importaciones mundiales de cerveza han aumentado 46.53% en la última década, mientras que las exportaciones mexicanas también se han incrementado principalmente con destino a Estados Unidos, Australia y Reino Unido, entre otros (SAGARPA, 2017).

PRINCIPALES IMPORTADORES DE CERVEZA 2016

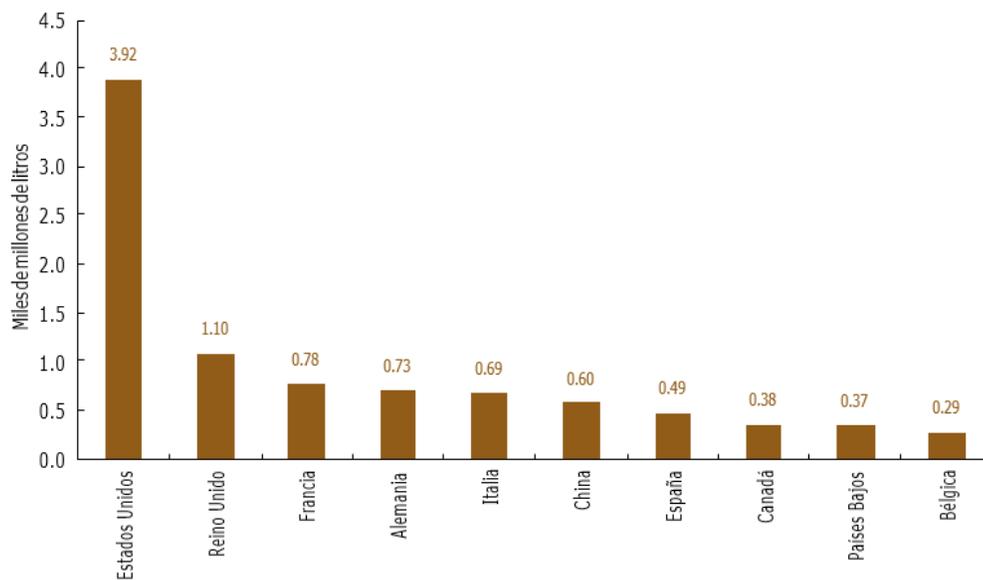


Figura 31. Gráfica de los principales exportadores a nivel mundial hasta el 2016
Fuente: SAGARPA, (2017)

PRINCIPALES EXPORTADORES DE CERVEZA 2016

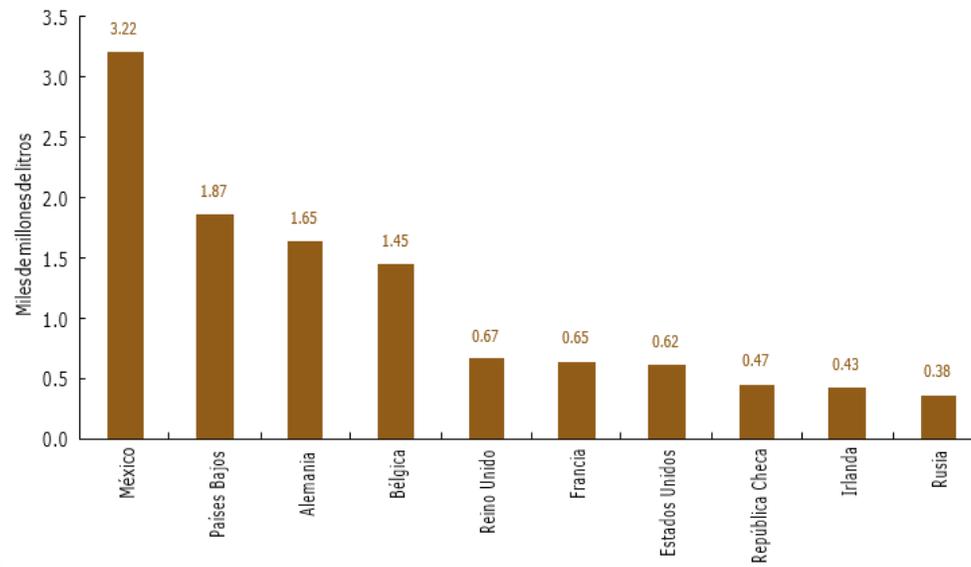


Figura 32. Gráfica de los principales exportadores a nivel mundial hasta el 2016
Fuente: SAGARPA, (2017)

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Objetivo General

Determinar la viabilidad de semillas de maíz y cebada en respuesta al almacenamiento hermético, para conocer si la cebada es más tolerante al almacenamiento con respecto al maíz.

2.1.1 Objetivos particulares

Objetivo particular 1: Medir la composición atmosférica de oxígeno y dióxido de carbono, utilizando un analizador de gases, durante el tiempo de almacenamiento de las semillas para confirmar la condición hermética.

Objetivo particular 2: Determinar el contenido de humedad de las semillas, mediante el método de secado en estufa, para comprobar que se mantuvieron las humedades de 15%,16%,17% y 18% de humedad, durante los periodos de almacenamiento de 7, 14,21 y 28 días.

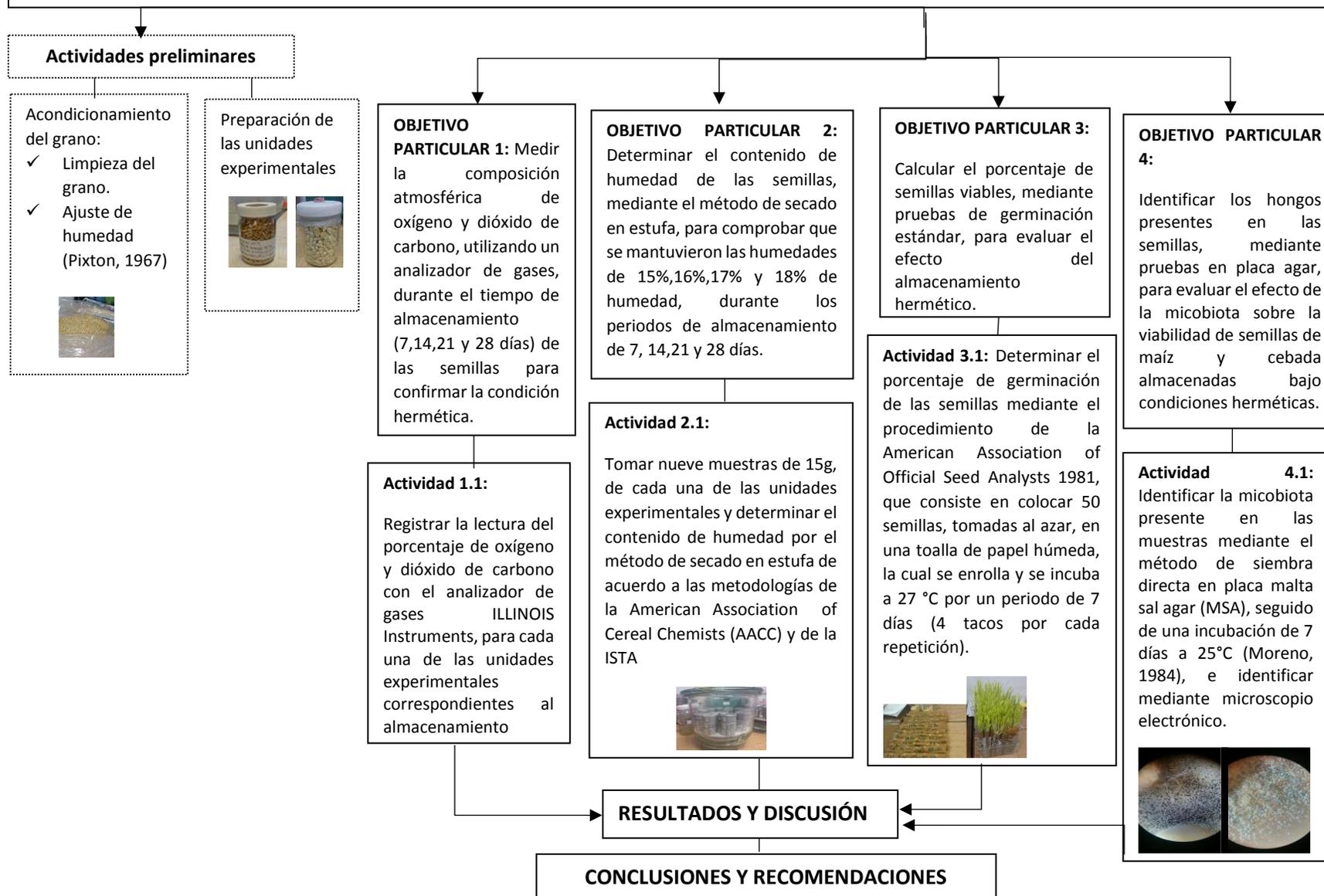
Objetivo particular 3: Calcular el porcentaje de semillas viables, mediante pruebas de germinación estándar, para evaluar el efecto del almacenamiento hermético.

Objetivo particular 4: Cuantificar los hongos presentes en las semillas, mediante aislamiento en placa agar, para evaluar el efecto de la microbiota sobre la viabilidad de semillas de maíz y cebada almacenadas bajo condiciones herméticas.

2.1.2. Cuadro metodológico

PROBLEMA: Evaluar las ventajas del almacenamiento hermético, en semillas de maíz y cebada, con respecto a la conservación de la viabilidad y la contaminación por agentes biológicos.

OBJETIVO GENERAL: Determinar la viabilidad de semillas de maíz y cebada en respuesta al almacenamiento hermético, para conocer si la cebada es más tolerante al almacenamiento con respecto al maíz.



MATERIALES
Y
MÉTODOS

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del área experimental

- El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Unidad de Investigación en Granos y Semillas (UNIGRAS), de la Facultad de Estudios Superiores, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, que pertenece a la Universidad Nacional Autónoma de México.

3.2. Material biológico

- Se utilizaron dos lotes de semillas: maíz de la variedad Sinaloa, con una germinación cercana al 100%, un contenido de humedad de 9.4% y libre de hongos de almacén y cebada de la variedad Celaya, con una germinación cercana al 100%, un contenido de humedad de 7% y libre de hongos de almacén.

3.3. Acondicionamiento del grano

Materiales

- Bolsas plásticas grandes
- Semillas de maíz
- Semillas de cebada
- Agua
- Probeta de vidrio (cap. 500ml)
- Balanza analítica

Procedimiento

1. Se determinó la humedad inicial de cada semilla (maíz y cebada)
2. Se realizaron los cálculos pertinentes para saber la cantidad de agua (Pixton, 1967) que era necesaria agregar para obtener las humedades deseadas (15%, 16%, 17%, 18%)
3. Se colocó el grano en bolsas plásticas, se agregó la cantidad de agua necesaria y se agitó la bolsa enérgicamente varias veces hasta que se observó que el grano había absorbido totalmente el agua.
4. Las semillas se dejaron en reposo 24 h
5. Una vez acondicionada la semilla se le determinó el contenido de humedad por el método de estufa para conocer si ya se habían obtenido las humedades deseadas para el proyecto.



Figura 33. Ajuste del contenido de humedad de las semillas

3.4. Almacenamiento abierto

Materiales

- Frascos de vidrio limpios y esterilizados con capacidad de 200 g
- Tapas con malla metálica
- Semillas de maíz (15%, 16%, 17%, 18%)
- Semillas de cebada (15%, 16%, 17%, 18%)
- Sulfato de amonio
- Cloruro de potasio
- Paneras
- Agua
- Etiquetas

Procedimiento

1. Se pesaron 12 unidades experimentales de 150g de maíz y cebada para cada humedad, en total fueron 48 unidades experimentales para cada semilla.
2. A cada frasco se le colocó una tapa con malla metálica y se etiquetó con los datos de:
 - ✓ El contenido de humedad
 - ✓ Temperatura 25 °C
 - ✓ Fecha de inicio del experimento
 - ✓ Fecha de muestreo
3. En una panera se diluyeron 750g de sulfato de amonio en 2L de agua, y dentro se colocaron los frascos de las semillas de maíz con un contenido de humedad equivalente a 15% (Figura 34), en otra panera se agregaron los mismos materiales y se colocaron los frascos de 16%. Esto se realizó de igual manera para las semillas de cebada con los mismos contenidos de humedad.
4. Se realizó el mismo procedimiento del punto anterior para las humedades de 17% y 18%, solo se sustituyó el sulfato de amonio por cloruro de potasio.
5. Las paneras fueron colocadas en una incubadora a 25 °C, se muestrearon cada 7 días determinando el contenido de humedad y porcentaje de germinación.



Figura 34. Almacenamiento abierto de las semillas de maíz y cebada.

3.5. Almacenamiento hermético

Materiales

- Frascos de vidrio limpios y esterilizados con capacidad de 200 g
- Semillas de maíz (15%, 16%, 17%, 18%)
- Semillas de cebada (15%, 16%, 17%, 18%)
- Etiquetas
- Parafina
- Recipiente metálico
- Tapas con tapón de hule para tomar la muestra de gases

Procedimiento

1. Se pesaron 12 unidades experimentales de 150g de maíz y cebada para cada humedad, en total fueron 48 unidades experimentales para cada semilla.
2. En la boca del frasco se colocó papel Parafilm y después se colocó la tapa. Previamente se calentó la parafina hasta que se logró una consistencia totalmente líquida, una vez caliente la parafina se introdujo la tapa de cada frasco hasta obtener tres capas de parafina, sellando de esta manera el frasco.
3. Una vez logrado el hermetismo los frascos fueron etiquetados y colocados en una incubadora a 25 °C (Figura35).
4. Los frascos fueron muestreados cada 7 días, determinando contenido de O₂, CO₂, humedad y porcentaje de germinación.



Figura 35. Almacenamiento hermético de las semillas

3.6. Medición del oxígeno y dióxido de carbono

Materiales

- Unidades experimentales almacenadas en sistema hermético
- Analizador de gases Marca Illinois

Procedimiento

1. Se retiró la parafina del tapón de hule.
2. Se tomó la muestra de gases mediante la jeringa del analizador de gases.
3. Se registró la lectura del porcentaje de oxígeno y dióxido de carbono que marca el aparato.



Figura 36. Determinación de la concentración de gases en los frascos herméticos

3.7. Determinación del contenido de humedad

Materiales

- Semillas de maíz
- Semillas de cebada
- Cajas de aluminio con tapa
- Estufa
- Desecador
- Balanza digital con tres decimales

Procedimiento

1. El contenido de humedad fue determinado por el método de secado en estufa de acuerdo a las metodologías de la American Association of Cereal Chemists (AACC, 1969) y de la ISTA, 1993.
2. Se pesaron las cajas de aluminio vacías con sus tapas.
3. Se colocaron 5g de granos enteros en las cajas metálicas.
4. Las cajas destapadas se metieron a la estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 72 h para el maíz y 3 h para la cebada.
5. Se pesan las cajas con la semilla seca tapadas.
6. Se calcula el agua por diferencia de peso con la siguiente formula:

$$\frac{P2 - P3}{P2 - P1} \times 100 = \% \text{ humedad (con base en peso húmedo)}$$

En donde:

P1=Peso en gramos de la caja.

P2=Peso en gramos de la caja y la semilla húmeda.

P3=Peso en gramos de la caja y de la semilla después del secado en la estufa.

7. Se expresa en porcentaje de humedad con base al peso húmedo de la semilla.
8. El contenido de humedad de las semillas en cada tratamiento se obtuvo con el promedio de nueve repeticiones de 5g cada una.



Figura 37. Determinación del contenido de humedad

3.8. Determinación de la germinación de semilla de maíz y cebada

Materiales

- Semillas de maíz
- Semillas de cebada
- Hojas de papel tipo anchor grueso y absorbente de 30 x 25 cm
- Bolsas plásticas
- Paneras
- Agua
- Incubadora

Procedimiento

El porcentaje de germinación se obtuvo siguiendo las indicaciones de la ISTA (1993). Se colocaron 50 semillas de maíz y 50 semillas de cebada de cada unidad experimental en una hoja de papel tipo Anchor previamente humedecida, la cual posteriormente fue cubierta con otra, se formaron los “tacos” y se metieron en bolsas de plástico, estas fueron colocadas de manera vertical en paneras y se pusieron a germinar en una incubadora a 26 °C por 7 días. Después de este periodo, se evaluaron las plántulas, contando las muertas, anormales y normales, obteniendo así el porcentaje de germinación de plántulas (Moreno, 1996). En total se tomaron 600 semillas de cada unidad experimental repartidas en 12 tacos. Los muestreos se llevaron a cabo cada 7 días durante un periodo de 28 días.



Figura 38. Prueba de germinación estándar

3.9. Determinación de la micobiota

Materiales:

- Muestras de semillas de maíz (15%, 16%, 17%, 18%)
- Muestras de semillas de cebada (15%, 16%, 17%, 18%)
- Medio de cultivo MSA (Malta Sal Agar)
- Cajas Petri
- Alcohol
- Algodón
- Mechero
- Cloro al 2%
- Colador
- Toallas desechables estériles
- Pinzas
- Marcador
- Paneras
- Microscopio compuesto y estereoscópico

Procedimiento:

1. Se desinfectó superficialmente la semilla con hipoclorito de sodio (NaOCl) al 2% durante dos minutos.
2. Después se escurrieron y se colocaron en toallas de papel estériles para quitar el exceso.
3. Posteriormente se coloran 15 semillas de cada repetición en placas de MSA (6 repeticiones).
4. Se incubaron a una temperatura constante de 26°C durante 7 días.
5. Al término de este periodo se procedió a contar el número de semillas atacadas por hongos, así como a su identificación.
6. Una vez hecho el recuento, los hongos se expresaron en porcentaje de semillas invadidas para cada especie de hongo.



Figura 39. Prueba de micobiota por el método de siembra directa en placa de Petri con agar

3.10. Análisis estadístico

El trabajo de tesis realizado siguió un diseño experimental completamente al azar, con 3 unidades experimentales para cada tratamiento. Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente con el software GraphPad Prisma 5.0, donde se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y posterior comparación de medias con la prueba de Tukey ($p=0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contenido de humedad en los granos

El contenido de humedad de los granos se ajustó a 15%,16%,17% y 18% de humedad al inicio de la investigación, este dato fue determinado antes y durante el almacenamiento; en primera instancia se realizó para comprobar que la humedad fuera la deseada para el proyecto y en segunda se determinó para comprobar los posibles cambios en el contenido de humedad de ambas semillas a lo largo de la investigación.

En las tablas 3 y 4 se puede observar que la humedad en general se conservó constante a lo largo de la investigación, esto se logró en el sistema hermético al no haber contacto con aire del ambiente exterior y en el sistema abierto se atribuye al uso de soluciones saturadas con sales que mantienen constante la humedad relativa en los recipientes de almacenamiento (paneras).

Tabla 3. Contenidos de humedad iniciales para semillas de maíz y cebada

Muestreo inicial	Maíz	Cebada
C.H. (%)	15.59±0.28	15.51±0.29
	16.56±0.24	16.42±0.59
	17.46±0.27	17.71±0.18
	18.34±0.22	18.36±0.32

Nota: Cada número es el promedio de 9 repeticiones

Tabla 4. Contenidos de humedad en sistema de almacenamiento abierto y hermético por un periodo de 28 días para semillas de maíz y cebada

	AA maíz	AH maíz	AA cebada	AH cebada
1er muestreo	15.49±0.31	15.68±0.26	15.40±0.32	15.62±0.25
(7 días)	16.36±0.28	16.76±0.21	16.54±0.37	16.30±0.82
	17.32±0.29	17.60±0.24	17.78±0.18	17.65±0.18
	18.23±0.20	18.46±0.25	18.44±0.29	18.28±0.36
2do muestreo	15.28±0.14	15.50±0.09	15.44±0.30	15.56±0.33
(14 días)	16.30±0.17	16.70±0.13	16.45±0.28	16.39±0.17
	17.46±0.29	17.51±0.22	17.34±0.30	17.45±0.40
	18.49±0.42	18.17±0.18	18.45±0.36	18.58±0.30
3er muestreo	15.90±0.30	15.63±0.25	15.57±0.23	15.76±0.23
(21 días)	16.66±0.29	16.30±0.82	16.50±0.22	16.62±0.42
	17.33±0.25	17.51±0.18	17.74±0.20	17.85±0.18
	18.25±0.31	18.28±0.61	18.58±0.46	18.81±0.33
4to muestreo	15.43±0.37	15.60±0.27	15.44±0.21	15.63±0.35
(28 días)	16.54±0.30	16.68±0.22	16.53±0.29	16.57±0.33
	17.41±0.32	17.45±0.26	17.48±0.34	17.67±0.19
	18.50±0.34	18.47±0.26	18.48±0.29	18.50±0.26

Nota: Cada cifra en la tabla corresponde al promedio de 9 repeticiones de 5 g cada una.

4.2. Composición de la atmósfera de almacenamiento en sistema hermético

El éxito del almacenamiento hermético se basa en el agotamiento del oxígeno y generación de dióxido de carbono en la atmósfera (Moreno *et al.*, 2000). Los bajos niveles de oxígeno son un indicativo de la respiración producida por organismos aeróbicos; como lo son granos e insectos, dentro del almacenamiento hermético, el consumo de este elemento se ve reflejado conforme avanza el tiempo de exposición, lo cual tendría relación con la velocidad de respiración de los granos que está determinada por el contenido de humedad, en humedades altas aceleran el proceso de respiración (Ortiz,2012).

Durante el proyecto se almacenan muestras con 4 humedades diferente (15%,16%, 17% y 18%) en un sistema hermético, a lo largo de la experimentación se midió la composición de la atmosfera, se obtuvieron los datos de la concentración de oxígeno y dióxido de carbono, en los muestreos realizados a los 7, 14 21 y 28 días de almacenamiento, se pudo observar que la mayoría del oxígeno presente fue consumido prácticamente en su totalidad durante la primera semana esto para las humedades más altas (17% y 18%), en ambos granos. Los resultados se presentan en la figura 40 y 41. En específico para la cebada se observa en la tabla 40 que el oxígeno alcanzó niveles de cero o muy cercanos a cero desde los 7 días, excepto para el grano con 15% donde fue de 0.94% y el grano con 16%, donde fue de 0.24%. En la misma tabla se aprecia que el nivel máximo de dióxido de carbono fue de 37.43% en la cebada con 18% de contenido de humedad, almacenado por 28 días.

El consumo de oxígeno en el almacenamiento hermético a contenidos de humedad por encima de catorce por ciento es atribuible en parte a la misma semilla, dado que se activa el metabolismo y la respiración. Pero también puede atribuirse a la respiración por parte de microorganismos presentes en las semillas. A medida que se incrementó el contenido de humedad en la cebada y el tiempo de almacenamiento, también se incrementó la concentración de dióxido de carbono y disminuyó el contenido de oxígeno, esto coincide con lo reportado por Isordia, 2013 y por Ochandio *et al.*, 2014, quienes además observaron que este incremento en la tasa respiratoria fue mayor en 30°C comparado a 25°C.

En el caso del maíz, el consumo total de oxígeno, igual a cero, se observó a partir de 7 días sólo para semillas con 18% de contenido de humedad. Para 15 % de contenido de humedad, se alcanzó una concentración de cero a los 21 días; para los granos con 16 y 17% de contenido de humedad el oxígeno se consumió en su totalidad hasta los 28 días. El contenido máximo de dióxido de carbono, 38.4%, se registró en maíz con 18% de contenido de humedad y 28 días de almacenamiento (fue muy similar al de la cebada, 37.43%). Sobresale el dato de 9.49% de oxígeno en maíz con 15% y 7 días de almacenamiento, comparado con la cebada con este mismo contenido de humedad y los mismos días de almacenamiento, en que la cebada tuvo 0.94% de oxígeno. Esto coincide con lo reportado por López (2015), quien almacenó grano de maíz con contenidos de humedad de 14%,16% y 18% y observó que las humedades con mayor porcentaje desde el principio del experimento consumieron casi en su totalidad el oxígeno. Esta diferencia en el consumo de este gas puede ser resultado de la carga microbiana, de la cual se hablará más adelante, y que fue mayor en la cebada. Otra posibilidad es que la cebada, al ser grano pequeño deja espacios intergranulares menores comparados a los espacios intergranulares del maíz por lo que el volumen de aire se consume más rápido en el caso de la cebada.

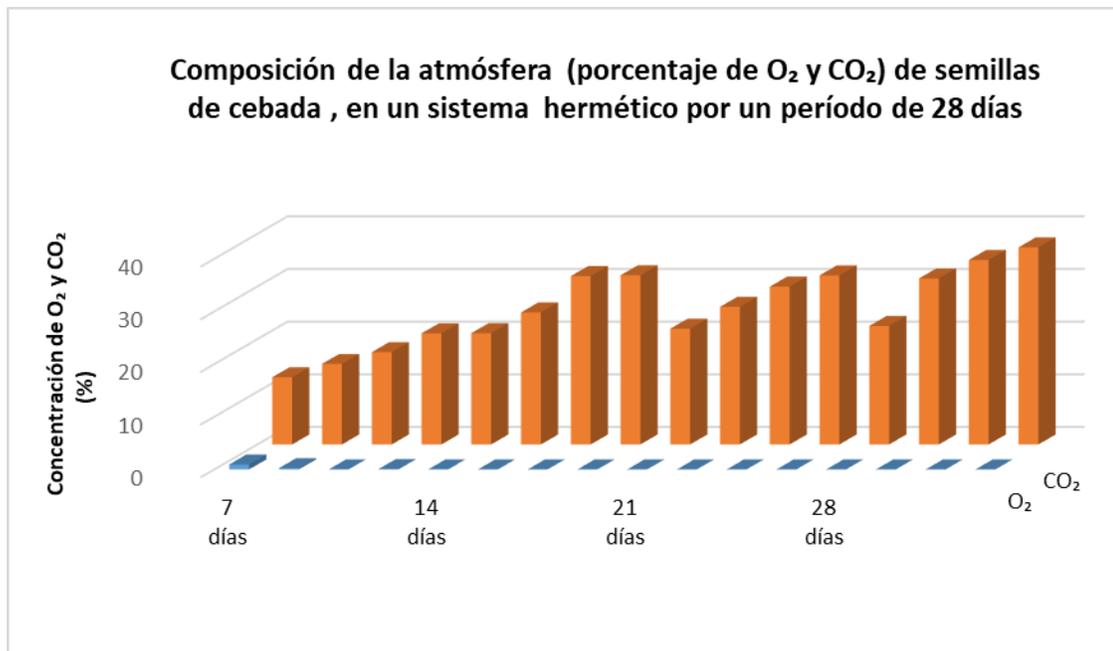


Figura.40 Gráfica de la composición de la atmósfera en un sistema hermético de semillas de cebada, durante 28 días

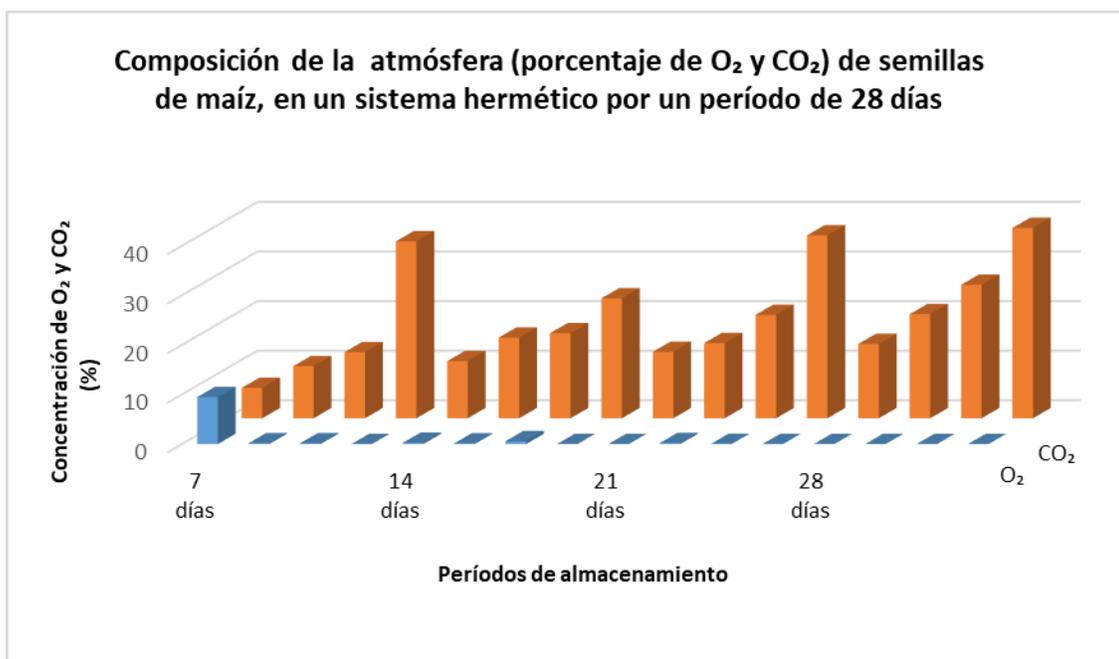


Figura.41 Gráfica de la composición de la atmósfera en un sistema hermético de semillas de maíz, durante 28 días

4.3. Poder germinativo de las semillas

Las pruebas de germinación estándar realizadas en maíz demuestran que, en el almacenamiento hermético, se conservó el porcentaje de germinación inicial durante todo el tiempo de almacenamiento (ver tabla 5), con los diferentes contenidos de humedad, excepto para el maíz con 18% de contenido de humedad y 21 días de almacenamiento. En el sistema no hermético, la pérdida del poder germinativo disminuyó en más de cincuenta por ciento a los 28 días con todos los contenidos de humedad. Esta reducción del porcentaje de germinación también fue reportada por García –Leaños *et al.* (2007) en maíz almacenado fuera del silo hermético, con 12% de contenido de humedad.

En el caso de la cebada podemos observar en la tabla 6. que en el almacenamiento abierto conserva su porcentaje de germinación por arriba de un 80% por lo cual se considera aún aceptable en parámetros de calidad fisiológica; en el caso del almacenamiento hermético se observa una reducción en más de un 50%, una de las causas posibles de acuerdo a Pérez (2002) se le atribuye a que en altos contenidos de humedad las glumas impiden la absorción del oxígeno por parte del embrión ya que se adhieren al grano formando una capa impermeable.

Otros autores (Ochandio *et al.*, 2010) han reportado que el almacenamiento hermético conserva el poder germinativo de la cebada siempre y cuando los contenidos de humedad no superen 12%, ellos trabajaron la cebada en silo bolsa con contenido de humedad de 11.37% y 11.52% durante un periodo de 7 y 12 meses.

Tabla 5. Porcentaje de semillas germinadas de maíz almacenadas en sistema abierto y hermético en un periodo de 28 días

Sistema de almacenamiento	Periodos de almacenamiento (días)	Contenido de humedad (%)			
		15	16	17	18
Abierto	0	100 a	100 a	100 a	100 a
	7	100 a	100 a	100 a	100 a
	14	90.6 b	90.3 b	80.1 b	69.4 b
	21	52.3 c	51.6 c	63.6 c	62.5 b
	28	41.3 d	38.3 d	37.6 d	41.6 c
Hermético	0	100 a	100 a	100 a	100 a
	7	100 a	100 a	100 a	100 a
	14	96.5 ab	99.3 a	97.6 a	95.2 a
	21	99 a	98 a	95.3 a	69.6 b
	28	98.3 ab	96.3 a	96.6 a	96.3 a

Nota: cada número es el promedio de 9 repeticiones de 50 semillas cada una. Números con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, $p=0.05$) entre datos de cada contenido de humedad.

Tabla 6. Porcentaje de semillas germinadas de cebada almacenadas en sistema abierto y hermético en un periodo de 28 días

Sistema de almacenamiento	Periodos de almacenamiento (días)	Contenido de humedad (%)			
		15	16	17	18
Abierto	0	100 a	100 a	100 a	100 a
	7	100 a	100 a	100 a	100 a
	14	98.3 a	89.6 b	87 b	84.6 b
	21	97 a	92.3 b	90.6 b	88.3 b
	28	96.6 a	92.3 b	90.3 b	89 b
Hermético	0	100 a	100 a	100 a	100 a
	7	100 a	100 a	100 a	100 a
	14	99.3 a	94.3 ab	87 b	81.6 b
	21	85.6 b	73 c	48.6 c	47.6 c
	28	95.6 a	50 d	31.6 d	9 d

Nota: cada número es el promedio de 9 repeticiones de 50 semillas cada una. Números con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, $p= 0.05$) entre datos de cada contenido de humedad.

4.4. Micobiota

Los resultados obtenidos en las pruebas de micobiota se presentan en las figuras 42 y 43. Para el caso del maíz se registraron principalmente los hongos *Eurotium herbariorum* (anamorfo *A. glaucus*), *Eurotium rubrum* (anamorfo *A. ruber*) y *Fusarium*. En la cebada se encontró principalmente *Eurotium herbariorum* (anamorfo *A. glaucus*), *Eurotium rubrum* (anamorfo *A. ruber*), *Fusarium* spp., *A. candidus* y *Alternaria* spp.

En el caso de maíz almacenado en sistema abierto como se puede observar en la figura 42, *Eurotium rubrum* aumentó en proporción directa con el tiempo de almacenamiento y el contenido de humedad, mientras que para *Eurotium herbariorum* con el tiempo disminuyó el porcentaje de semilla contaminada con este hongo. Esto se debe a la competencia interespecífica donde se puede ver que *Eurotium rubrum* fue mejor competidor en las condiciones de almacenamiento *Fusarium* se mantuvo constante a lo largo del almacenamiento.

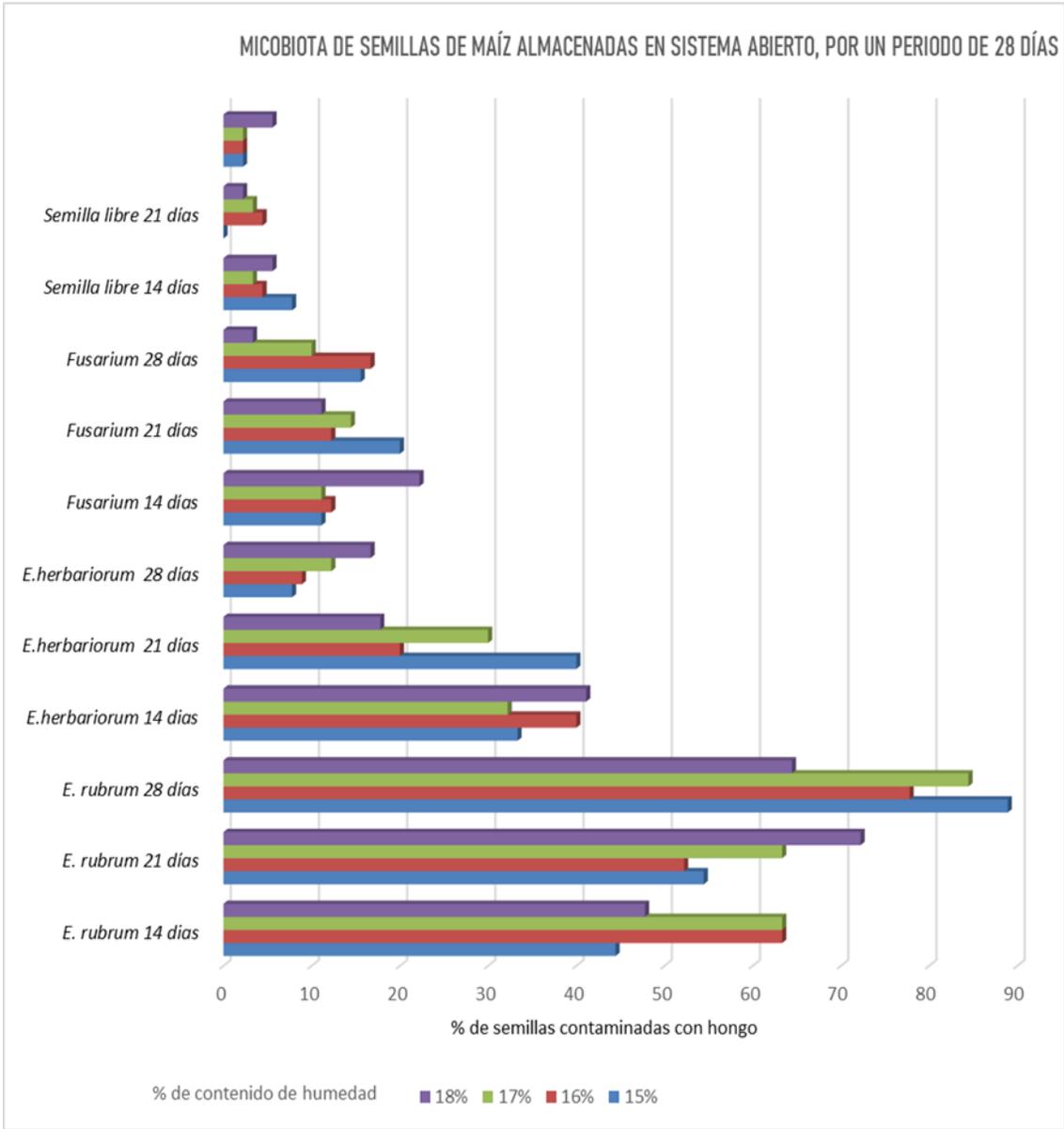


Figura 42. Micobiota de semillas de maíz almacenadas en el sistema abierto por un periodo de 28 días

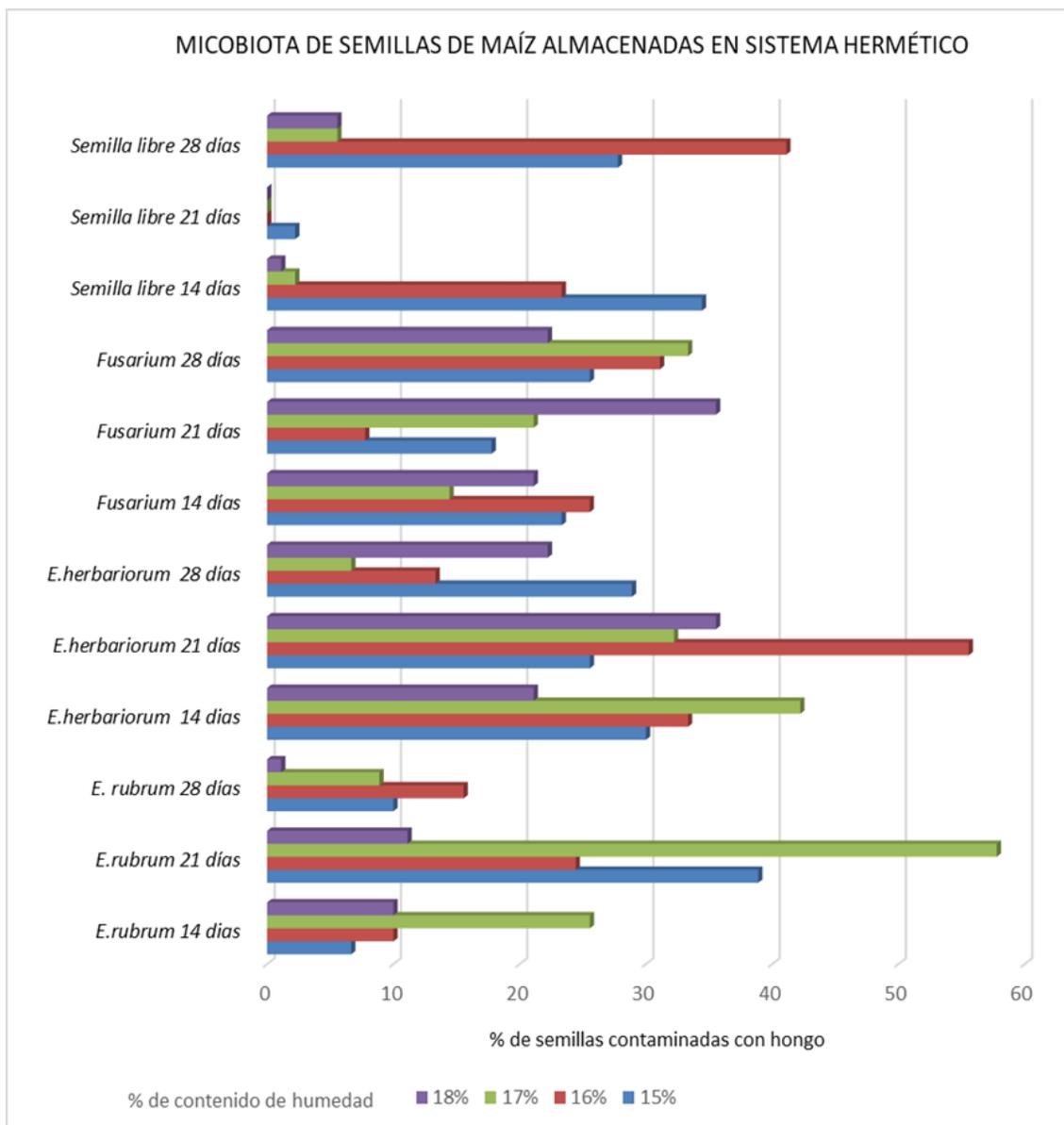


Figura 43. Micobiota de semillas de maíz en almacenamiento hermético por un período de 28 días

En el sistema hermético (ver figura 43) se siguió observando la presencia de las poblaciones de *Eurotium herbariorum* (anamorfo *A. glaucus*), *Eurotium rubrum* (anamorfo *A. ruber*), y *Fusarium*, sin embargo, para este caso se puede observar que el hermetismo ayudó a controlar las poblaciones de *Eurotium rubrum* e incluso lograr disminuir hasta en un 45% en comparación al sistema abierto; esto se aprecia para los cuatro contenidos de humedad manejados durante el proyecto.

La relación de la humedad relativa y la humedad del grano con el crecimiento de hongos está claramente demostrada, la razón por la que hongos del género *Aspergillus* son los contaminantes más comunes del grano almacenado es que se adaptan mejor a las condiciones ambientales en que generalmente se almacena el grano (Bolívar 2007). Para el almacenamiento abierto de cebada podemos observar en la figura 44 que al final del almacenamiento el porcentaje de semilla libre estaba por debajo del 5% esto se atribuye a las humedades que se manejaron durante este proyecto de investigación, las cuales formaron el ambiente propicio para el desarrollo de varios microorganismos como el *Eurotium herbariorum*.

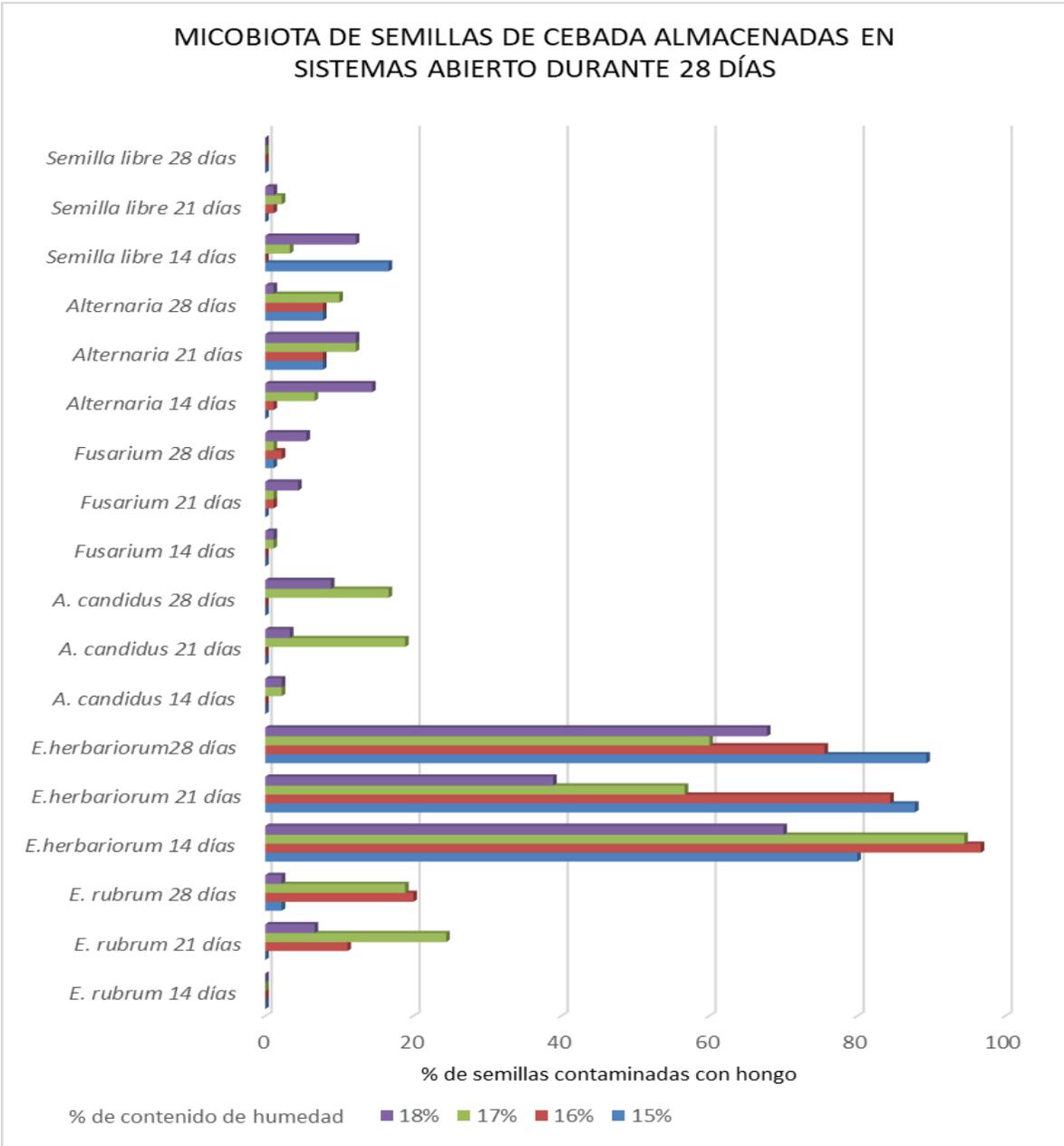


Figura 44. Micobiota de semillas de cebada en almacenamiento abierto por un período de 28 días

Algunas especies de *Fusarium* producen clamidosporas (tipo de espora de paredes gruesas) resistentes, muy importantes para la supervivencia a largo plazo. Microconidios y macroconidios son importantes para asegurar la dispersión del moho mientras que las clamidosporas lo son para la supervivencia en condiciones adversas (Carrillo, 2003b).

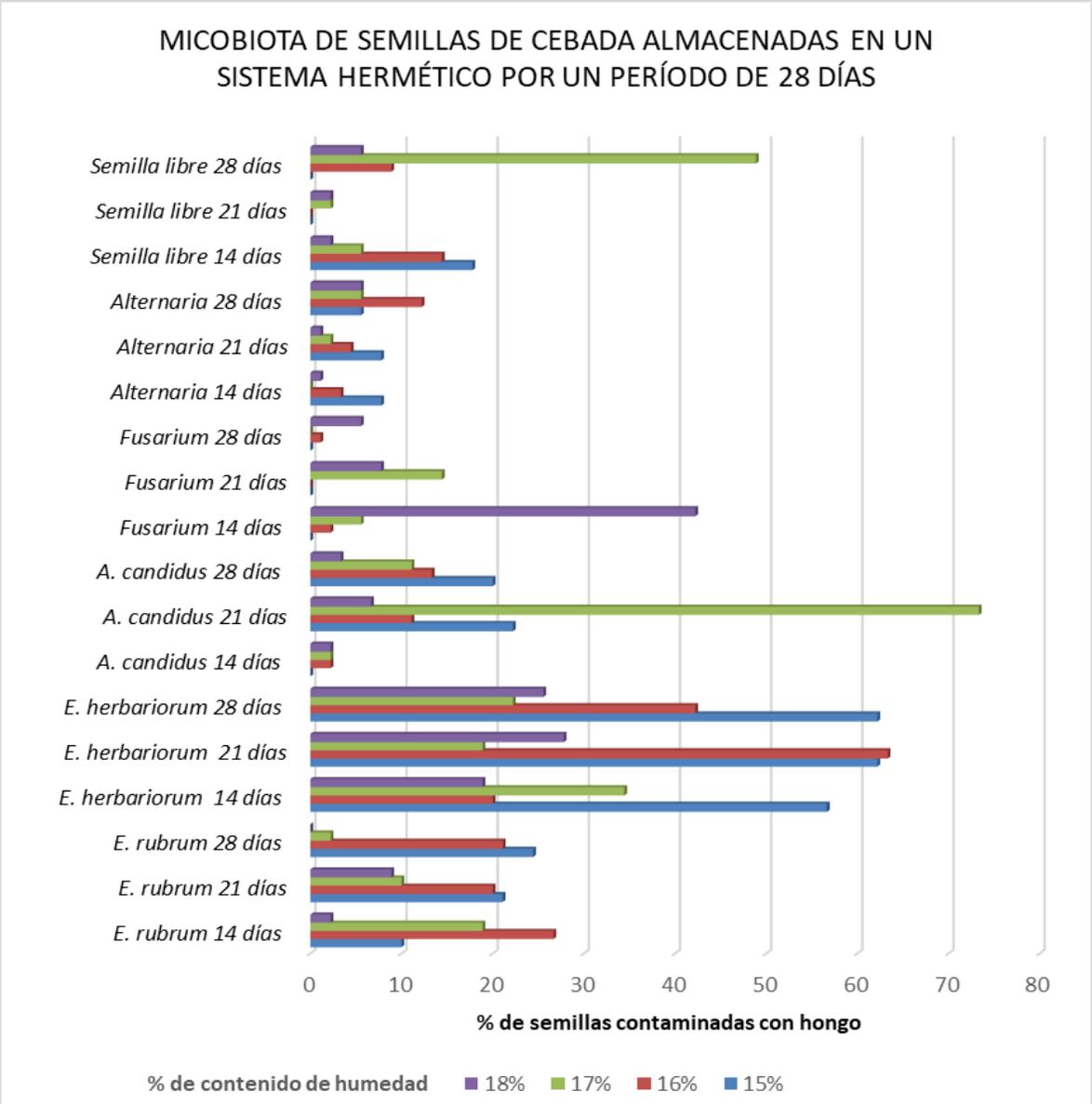


Figura 45. Micobiota de semillas de cebada en almacenamiento hermético por un período de 28 días

Se descubrió que *Fusarium oxysporum*, un supuesto aerobio obligado, era capaz de crecer en ausencia de oxígeno molecular, siempre que el medio contuviera extracto de levadura, MnO_2 , nitrato, selenito o iones férricos (Gunner, 1964), esto podría explicar la presencia de *Fusarium* en el almacenamiento hermético. Anasontzis, (2016) menciona que *Fusarium oxysporum* es uno de los pocos hongos filamentosos capaces de fermentar etanol directamente de la biomasa de la pared celular de la planta. Tiene la caja de herramientas enzimáticas necesaria para descomponer la biomasa en sus monosacáridos y, en condiciones anaerobias y microaerobias, los fermenta en etanol.

En la figura 45 se observa que la humedad que más favoreció el crecimiento de los hongos aún en condiciones de hermetismo fue la de 17%. A pesar de la presencia de porcentaje considerable en el almacenamiento hermético en los resultados se observa que al final del almacenamiento el hermetismo tiene resultados favorables ya que se registraron porcentajes de semilla libre hasta en un 27.78 % para el C.H. de 15% y 41.11% con C.H. de 16% en el caso de semillas de maíz, comparado con un 2.22% de semilla libre en almacenamiento abierto para los contenidos de humedad antes mencionados. En la cebada se registró que los contenidos de humedad con mayor porcentaje de semilla libre fueron los de 16% y 17%, con 8.89 y 48.89 respectivamente.

CONCLUSIONES

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados al inicio de este proyecto y con base en los resultados obtenidos, se concluye que los niveles de oxígeno durante el almacenamiento hermético descienden con más rapidez en contenidos de humedad más altos, puesto que la actividad metabólica agota en seguida el oxígeno presente.

En relación al porcentaje de germinación se observó que el hermetismo favoreció más al maíz que a la cebada, ya que con un contenido de humedad de 18% su poder germinativo se conservó por arriba del 85%, en comparación a la cebada que con un contenido de humedad de 18% llegó a porcentajes menores de 10 %. Se observó que, a contenidos de humedad mayor, menor porcentaje de germinación esto para ambos sistemas de almacenamiento.

En el caso de la contaminación por microorganismos podemos concluir que el almacenamiento hermético resultó ser poco eficaz, puesto que en ambos granos aun con porcentaje bajo de oxígeno algunos hongos como *Fusarium* y *Eurotium herbarorium* lograron desarrollarse, además de que las humedades usadas en el proyecto fueron muy altas y les favorecieron.

REFERENCIAS

VII. REFERENCIAS

- AACC (1969) Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists (8 th ed). AACC, St. Paul, MN.
- Abadía B., Bartosik R., Ruveda C., Bartosik R. Cardoso L., Hoyos M y de la Torre D. (2013). Manejo Eficiente del grano en la poscosecha. En Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos(pp.15-20). Buenos aires: INTA.
- “*Almacenamiento de los granos de cereales*”. (2005). Fecha de consulta: 15 marzo 2017, de Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD Disponible:http://datateca.unad.edu.co/contenidos/232016/contLinea/leccin_14_almacenamiento_de_los_granos_de_cereales.html .
- Bavera A.G. (2006). Calidad del grano de maíz. Fecha de consulta 3 septiembre 2019, de Universidad Nacional de Río Cuarto, Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/80-grano_maiz.pdf.
- Casini C. (2009). Conservación de granos, Almacenamiento tradicional y en bolsas plásticas, Fecha de consulta: 20 de julio 2019, de Engormix, Disponible en: <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/almacenamiento-y-conservacion-de-granos-t28130.htm>.
- Casini C. y Rodríguez J.C. (2009). Almacenamiento de granos. Parte I. Fecha de consulta:14 julio 2019, de Agrositio, Disponible en:<https://www.agrositio.com.ar/noticia/39300-almacenamiento-de-granos-parte-i>.
- Carbonnier D. (2017). Propiedades del maíz. Fecha de consulta 5 septiembre 2019.Disponible en: <https://www.ayuno.es/propiedades-del-maiz/>.
- Croston, A., Director General de Croston Engineering.(2012). Almacenamiento a granel y manipulación. Fecha de consulta: 7 agosto 2019.Disponible en: www.engormix.com.
- Del Maíz. Info. (2019). Todos los tipos o Variedades del maíz. Fecha de consulta: 21 septiembre 2019, de Enciclopedia Ilustrada, Disponible en: <http://delmaiz.info/tipos-de-maiz/>.
- Food and Agriculture Organization, FAO, (1993). Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. Fecha de consulta: 13 marzo 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S0l.htm#Manejo%20de%20la%20aireaci%C3%B3n>.
- García Leños, M. A. (2007). Silo hermético para el control de plagas de granos almacenados en Guanajuato, México. Agricultura técnica en México, 231-239.
- “*Germinación de semillas*”. (2003). Fecha de consulta: 20 de Agosto 2019, Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas/tema17.htm>.

- Guzmán P.C.A. (2005). El silo hermético, método efectivo para controlar plagas de almacén en el Norte de Guanajuato. Tesis de Licenciatura en Agrobiología. Universidad Autónoma Agraria. Saltillo, Coahuila. pp 26-28.
- Haward, W.; Pixton, S.W. (1974). Moisture Its significance, behavior and measurement. In Storage of Cereal Grains and Their Products. Ed by J. A. Christensen. 2 ed. St. Paul, Minn. American Association of Cereal Chemists.
- Herrera, T., Ulloa, M. (1990). El reino de los hongos. Micología básica y aplicada. Fondo de Cultura Económica y Universidad Autónoma de México.
- Hyde, M. B. (1980). El almacenamiento hermético de los cereales. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO. Segunda Reimpresión. Roma, Italia. 74pp.
- ISTA (1993) International rules for seed testing. Rules 1993. Seed Sci Technol 21:1-288
- Kent, N.L. y Evers, A. D. (1994). Technology of cereal storage for students of food science and agriculture (4 th ed.). Kidlington. Oxford; Pergamon Press.
- Martínez Manrique, E. y Jiménez Vera V. (2013). Cebada (*Hordeum vulgare* y *distichum* L.). Fecha de consulta: 5 septiembre 2019, de Universidad Autónoma de México, Disponible en: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=23%22.
- Máxima Uriarte J. (2018). "Maíz". Fecha de consulta: 02 septiembre 2019. Disponible en: <https://www.caracteristicas.co/maiz/>.
- Molina, J.L. (1989). La cebada. Morfología, fisiología, genética, agronomía y usos industriales, ed. J. L. Molina Cano. Madrid: Ediciones Mundi-Frensz, pp.199-216.
- Molinera el globo. 2010. Almacenaje y conservación de granos. Cía Molinera el globo S.A.
- Moreno, M.E., Contreras, N. y Ramírez, G. J (1987). Efecto de los hongos y fungicidas en la preservación de las semillas de cebada almacenadas en diferentes humedades relativas. Turrialba 37: 297-302.
- Moreno, M.E., García, C. S. y Ramírez, G. J. (1987). Comportamiento de diferentes semillas de cebada almacenadas bajo condiciones que favorecen su deterioro biológico. An. Inst. Biol. UNAM, 57:151-162.
- Moreno, M. E. (1988). Manual para la identificación de hongos en granos y sus derivados. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Moreno, M. E. (1996). Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. UNAM. México. Pp. 261-302.
- Moreno E. y Vázquez E.M. (2016). Almacenamiento en México. Claridades Agropecuarias, vol. I, pp. 3-15.
- Moreno, L. J. y M. Y. Quezada. V. (1995). Almacenamiento Hermético de Maíz. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de Aguascalientes. México, DF. 150 pp.
- Official Methods of Analysis. A.O.A.C. (1990). 15th Edition.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2007) Programa especial para la seguridad alimentaria. México. Fecha de consulta: 23 de Agosto del 2019. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/AsistenciaCapacitacion/Documents/red%20el%20conocimiento/manuales%20pesa/Tecnicas_almacenamiento.pdf.
- Ospina, J. E. (2002). Características Físico Mecánicas y Análisis de Calidad de Granos. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. pp 20-25.

- Pérez, F. (2002), Material vegetal de reproducción: Manejo, conservación y tratamiento.cap.7 “Germinación y dormición de semillas”. Conserjería de Medio Ambiente.pp 178-198.
- Pérez, M. J. (1993). Insectos de granos almacenados (biología, daños, detección y combate). Centro de Investigación Regional del Centro, INIFAP, Campo Experimental Bajío. Celaya Guanajuato, México. 350 pp.
- Pixton S. W. (1967). Moisture content-Its significance and measurement in stored products, J. stored Prod. Res., vol. 3, pp.35-47.
- Ramírez, V. F. (2017). El maíz y propiedades nutricionales. Fecha de consulta: 25 agosto 2019, de Grupo Editorial Vallarta opina, Disponible en: <https://vallartaopina.net/2017/08/29/s-gente-pv/nutricion-sana/maiz-propiedades-nutricionales/>.
- Reyes, T.M. M. (1988). El almacenamiento hermético de maíz y su efecto en la calidad de la masa para tortillas. Tesis de Licenciatura en Biología. Fac.De Ciencias. UNAM. México, DF. 59 pp.
- Sanchez,A.M.S. (2016). Almacenamiento Hermetico de maíz infestado con el barreador mayor de los granos, *Prostephanus truncatus (Horn)*. Tesis de Licenciatura en Ingenieria Agricola.Facultad de Estudios superiores Cuautitlán, UNAM.México.41pp.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), (1996). Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Fecha de consulta: 23 marzo 2017.Disponible en: www.sagarpa.gob.mx.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030.Fecha de consulta: 23 agosto 2019.Disponible en: www.sagarpa.gob.mx.
- Universidad Nacional del Santa. (2014). Composición química y comportamiento fisicoquímico de los principales constituyentes de maíz y cebada. Fecha de consulta: 14 septiembre 2019, Disponible en: <https://es.slideshare.net/vegabner/exposicin-cebada-y-maiz>.
- Valdivia, L. R. (2011). Almacenamiento de granos básicos. Nicaragua: Catholic Relief Services (Proyecto A4N).

ANEXOS

Tabla. Composición de oxígeno y dióxido de carbono de la atmósfera de almacenamiento de semillas de maíz y cebada con diferentes contenidos de humedad, en un sistema hermético por un periodo de 28 días

Periodos de almacenamiento	C. H. (%)	Cebada		Maíz	
		O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
7 d	15	0.94	12.77	9.49	6.13
	16	0.24	15.30	0.18	10.50
	17	0.00	17.53	0.16	13.33
	18	0.06	21.10	0.00	35.70
14 d	15	0.01	21.13	0.25	11.53
	16	0.00	25.07	0.14	16.27
	17	0.00	31.97	0.59	17.17
	18	0.00	32.13	0.00	24.20
21d	15	0.00	21.97	0.00	13.40
	16	0.00	26.13	0.21	15.17
	17	0.00	29.97	0.05	20.87
	18	0.00	32.10	0.00	36.90
28d	15	0.00	22.50	0.00	15.00
	16	0.00	31.53	0.00	21.00
	17	0.00	35.03	0.00	26.93
	18	0.00	37.43	0.00	38.40

Nota: cada número es el promedio de 3 repeticiones

Tabla. Micobiota presente en semillas de cebada con diferentes contenidos de humedad, almacenadas en sistema abierto y hermético por un periodo de 28 días

Hongo	C.H. (%)	Sistema de almacenamiento					
		Abierto			Hermético		
		14 d	21 d	28 d	14 d	21 d	28 d
<i>Eurotium rubrum</i> (anamorfo <i>A.ruber</i>)	15	0 c	0 c	2.22 c	10 bc	21.1 ab	24.44 a
	16	0 b	11.11 ab	20 a	26.67 a	20 a	21.11 a
	17	0 a	24.44 a	18.89 a	18.89 a	10 ab	2.22 b
	18	0 b	6.67 ab	2.22 ab	2.22 ab	8.89 a	0 b
<i>Eurotium herbariorum</i> (anamorfo <i>A. glaucus</i>)	15	80 a	87.78 a	83.33 a	56.67 b	62.2 b	62.2 b
	16	96.67 a	84.44 a	75.56 ab	20 d	63.33bc	42.22 cd
	17	94.44 a	56.67 b	60 b	34.44 c	18.89 c	22.22 c
	18	70 a	38.88 ab	67.78 a	18.89 b	27.8 b	25.56 b
<i>Fusarium</i>	15	0 a	0 a	1.11 a	0 a	0 a	0 a
	16	0 a	1.11 a	2.22 a	2.22 a	0 a	1.11 a
	17	1.11 c	1.11 c	1.11 c	5.56 b	14.44 a	0 c
	18	1.11 b	4.44 b	5.56 b	42.22 a	7.77 b	5.56 b
<i>A. candidus</i>	15	0 b	0 b	0 b	0 b	22.22 a	20 a
	16	0 b	0 b	0 b	2.22 b	11.11 a	13.33 a
	17	2.22 c	18.89 b	16.67 bc	2.22 c	73.33 a	11.11 bc
	18	2.22 a	3.33 a	8.88 a	2.22 a	6.67 a	3.33 a
<i>Alternaria</i>	15	0 a	7.78 a	7.78 a	7.78 a	7.78 a	5.56 a
	16	1.11 a	7.78 a	7.78 a	3.33 a	4.44 a	12.22 a
	17	6.67 ab	12.22 a	10 a	0 b	2.22 ab	5.56 ab
	18	14.44 a	12.22 ab	1.11 b	1.11 b	1.11 b	5.56 ab
Semilla libre	15	16.67 a	0 b	0 b	17.78 a	0 b	0 b
	16	0 b	1.11 b	0 b	14.44 a	0 b	8.89 ab
	17	3.33 b	2.22 b	0 b	5.56 b	2.22 b	48.89 a
	18	12.22 a	1.11 a	0 a	2.22 a	2.22 a	5.56 a

Nota: cada número es el promedio de 6 repeticiones de 15 semillas cada una. Números con letras diferentes son significativamente diferentes (p= 0.05; comparación de Tukey) entre datos de cada fila.

Tabla. Micobiota presente en semillas de maíz con diferentes contenidos de humedad, almacenadas en sistema abierto y hermético por un periodo de 28 días

Hongo	C.H.(%)	Sistema de almacenamiento					
		Abierto			Hermético		
		14 d	21 d	28 d	14 d	21 d	28 d
<i>Eurotium rubrum</i> (anamorfo <i>A.ruber</i>)	15	44.44 bc	54.44 b	88.89 a	6.66 d	38.89 c	10 d
	16	63.33 a	52.22 b	77.78 a	10 c	24.44 c	15.56 c
	17	63.33 b	63.33 b	84.44 a	25.56 c	57.78 b	8.89 c
	18	47.78 b	72.22 a	64.44 ab	10 c	11.11 c	1.11 c
<i>Eurotium herbariorum</i> (anamorfo <i>A. glaucus</i>)	15	33.33 a	40 a	7.78 b	30 a	25.56 ab	28.89 a
	16	40 ab	20 bc	8.89 c	33.33 bc	55.56 a	13.33 c
	17	32.22 a	30 ab	12.22 bc	42.22 a	32.22 a	6.67 c
	18	41.11 bc	17.77 c	16.67 c	21.11 ab	35.55 a	22.22 a
<i>Fusarium</i>	15	11.11 a	20 a	15.56 a	23.33 a	17.78 a	25.56 a
	16	12.22 ab	12.22 ab	16.67 ab	25.55 ab	7.77 b	31.11 a
	17	11.11 b	14.44 b	10 b	14.44 b	21.11 ab	33.33 a
	18	22.22 a	11.11 ab	3.33 b	21.11 ab	35.55 a	22.22 a
Semilla libre	15	7.78 b	0 b	2.22 b	34.44 a	2.22 b	27.78 a
	16	4.44 c	4.44 c	2.22 c	23.33 b	0 c	41.11 a
	17	3.33 b	3.33 b	2.22 b	2.22 b	0 b	5.56 a
	18	5.56 a	5.55 a	5.55 a	1.11 a	0 a	5.56 a

Nota: cada número es el promedio de 6 repeticiones de 15 semillas cada una. Números con letras diferentes son significativamente diferentes (p= 0.05; comparación de Tukey) entre datos de cada fila.