



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Agronomía
Postgrado de Ingeniería Agrícola



**Evaluación del riesgo de la calidad física de los granos de maíz (*Zea mays* L.) en
las receptorías nacionales**

Génesis Yenireth Jurado González

Maracay, 25 de Noviembre 2016.

Tabla de contenido

	Página
Portada.....	<i>i</i>
Tabla de contenido.....	<i>ii</i>
Índice de cuadros.....	<i>iii</i>
Índice de figuras.....	<i>iv</i>
Índice de anexos.....	<i>v</i>
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos de la investigación.....	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO II: BASES TEORÍCAS	
2.1 Historia del cultivo de maíz.....	4
2.2 Zonas productoras de maíz en Venezuela.....	5
2.3 Producción de maíz.....	5
2.4 Importancia del maíz.....	7
2.5 Características del grano de maíz.....	9
2.6 Composición química del grano.....	10
2.7 Acondicionamiento de granos.....	11
2.8 Principales operaciones de acondicionamiento de granos:	13
2.8.1 Recepción.....	15
2.8.2 Limpieza de los granos.....	16
2.8.3 Clasificación.....	18
2.8.4 Secado de los granos.....	19
2.8.4.1 Clasificación de los secadores de granos.....	22
2.8.4.2 Daños originados durante el secado de distintos granos.....	28

2.8.4.3 Efecto del secado sobre las propiedades físico-químicas y funcionales de los granos.....	28
2.8.4.4 Secado artificial.....	30
2.8.5 Almacenamiento de los granos.....	31
2.8.5.1 Factores que influyen en el almacenamiento de los granos de cereales.....	33
2.8.5.2 Otros factores que afectan el almacenamiento de los granos.....	34
2.8.5.3 Métodos de almacenamiento de granos.....	35
2.9 Silos.....	40
2.10 Daños en los granos almacenados.....	44
2.11 Aspectos fisiológicos asociados al deterioro de granos de maíz almacenado en silos.....	48
2.12 Principales factores que afectan la velocidad del proceso respiratorio.....	49
2.13 Consecuencia del proceso respiratorio.....	50
2.14 Calidad de granos almacenados.....	51
2.15 Factores que influyen en la calidad de los granos de maíz.....	54
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 Lugar de la investigación.....	61
3.2 Material objeto de estudio.....	61
3.3 Plan de muestreo.....	62
3.4 Métodos.....	62
Referencias Bibliograficas.....	65
Anexos.....	73

Índice de cuadros

N°		Página
1	Volumen, costo y rendimiento de producción de maíz en Venezuela durante los años 2010-2014.....	6
2	Composición química de semillas de algunas especies (100 g).....	11
3	Calidad de maíz.....	18
4	Porcentajes máximos de extracción de agua por hora, para cada grano.....	21
5	Temperatura máxima que no debe sobrepasar el grano, para mantener su calidad.....	23
6	Temperaturas Máximas de secado según diferentes fines.....	24
7	Peso específico (relación masa-volumen) para distintos cereales y en diferentes sistemas de medidas.....	44
8	Especies de insectos que infestando en forma natural el grano de maíz en el almacén del productor. Guanajuato, México. 2002.....	60
9	Número y ubicación de centros de receptorías de granos cerealeros al servicio del estado venezolano.....	61

Índice de figuras

N°		Página
1	Principales estados productores de maíz.....	5
2	Corte longitudinal de las semillas de maíz (<i>Zea mays L</i>).....	9
3	Diagrama de flujo de las operaciones comunes y no comunes del proceso de acondicionamiento de granos cerealeros.....	14
4	Esquema básico de una planta almacenadora de granos.....	15
5	Zaranda usadas para la limpieza de los granos cerealeros.....	17
6	Secadora de granos.....	20
7	Secadora de caballetes.....	25
8	Equipo para secado de funcionamiento discontinuo.....	26
9	Equipo para secado de funcionamiento continuo.....	27
10	Secadora de grano de Silo Sabaneta.....	31
11	Esquema de un silo metálico de fondo plano.....	36
12	Almacenamiento en silos.....	37
13	Almacenamiento en silos horizontales.....	37
14	Esquema de un silo vertical equipado con un sistema de ventilación/calefacción.....	41
15	Corrientes conectivas de aire en un silo.....	41
16	Silo convencional (fondo plano), izquierda, y silos tolva (hopper silos), derecha.....	43
17	Porcentaje de daño ocasionado por insectos bajo dos condiciones de almacenamiento Guanajuato.....	47
18	Respiración aeróbica.....	48
19	Respiración anaeróbica.....	49
20	Tipos de daños en granos almacenados: a) granos de sorgo (<i>Sorghum</i>	

	<i>bicolor</i>) y b) granos de maíz (<i>Zea mays</i>).....	53
21	Insectos <i>Rhyzopertha dominica</i> y <i>Prostephanus truncatus</i>	55
22	Temperatura Vs tasa de humedad del grano.....	57
23	Aireación recomendada dentro de un silo, para reducir las bolsas de aire caliente en la masa del grano.....	58

Índice de anexos

N°		Página
1	Información general de la empresa acondicionadora de granos (Silos).....	73
2	Información general de análisis de calidad en cada área del proceso de acondicionamiento de granos de maíz en los silos seleccionados para el estudio.....	74

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Introducción

La producción de cultivos de granos cereales a nivel nacional, tiene un papel preponderante en la actividad agrícola y con el crecimiento demográfico, ha tenido que aumentar la superficie sembrada, ya que de estos rubros el arroz y el maíz principalmente, representan el alimento de importancia nutricional por el aporte proteico y energético para la población (Garnero, 2012). Sin embargo, desde el punto de vista postcosecha, en la etapa del almacenamiento se han encontrado problemas en la calidad física del grano que limita su uso y consumo, siendo atribuida esta situación a las inadecuadas condiciones de manejo y conservación del material en las receptorías o acondicionadoras de estos granos (Bolívar, 2007). Al respecto, es importante señalar que aunque en Venezuela, no se han reportado estadísticas concretas de las pérdidas postcosecha por las razones antes mencionadas, Bolívar (2007) informa de un registro a nivel mundial de hasta un 25% a causa de una manipulación inadecuada y deterioro relacionado con la infestación de plagas en granos almacenados. Además de otros factores externos, entre ellos los asociados a las condiciones de la estructura física y ubicación de las instalaciones.

El enfoque de lo planteado justifica, la problemática que se ha venido estudiando en las oficinas de planificación de la seguridad alimentaria de nuestro país en este renglón agrícola, y al respecto el Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras en el año 2015, ha destinado recursos para conocer el número de receptorías a nivel nacional de maíz de consumo humano que se encuentren en funcionamiento adecuado para mantener los granos almacenados por un período de dos a tres años mínimos. Además de requerir información sobre la capacidad instalada y las condiciones que disponen para asegurar la calidad física de los granos durante ese tiempo. El propósito de la gestión planteada, va dirigido a identificar los centros de

receptoría que dispongan de la infraestructura y condiciones de almacenamiento requerida para la conservación de la buena calidad física del grano de arroz y maíz destinado para el consumo humano, y que con una inversión factible se termine de acondicionarse la planta en beneficio de controlar y eliminar las posibles causas que existan e influyan en la alteración de este material vegetal.

La estrategia planteada por el estado venezolano, se justifica al considerar que la calidad de los granos, está dada por el mantenimiento de las características físicas, composición química y propiedades funcionales de los componentes de los granos cerealeros, que deben cumplir para los efectos de extracción de aceite, obtención de harinas o almidones e incluso de un grano de mesa, en el caso del arroz (Hernández, 2013). Considerando, las premisas planteadas, surge la iniciativa del presente proyecto de investigación que pretende evaluar los riesgos que inciden en la calidad física de los granos de maíz (*Zea mays* L.) en los centros de receptoría, acondicionamiento y almacenamiento existente a nivel nacional, que presten servicio de conservación para estos rubros destinados al consumo humano.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Evaluar los riesgos de la calidad física de los granos de maíz (*Zea mays* L.) en los centros de receptoría del estado venezolano.

1.2.2. Objetivos específicos:

1.2.2.1. Diagnosticar la situación de las condiciones de infraestructura de tres centros de receptorías nacionales asociadas a los riesgos de la calidad física de los granos de maíz destinado al consumo humano.

1.2.2.2. Identificar los problemas y causas asociados a los riesgos de la calidad física de los granos de maíz en las receptorías en estudio.

1.2.2.3. Proponer alternativas de reducción o eliminación de los riesgos de la calidad física de los granos de maíz considerando los resultados de los objetivos anteriores.

CAPÍTULO II

BASES TEORICAS

2.1. Historia del cultivo de maíz

El maíz fue domesticado hace aproximadamente 8.000 años en Mesoamérica (México y Guatemala). El ecosistema donde se desarrollaron los primeros tipos de maíces fue estacional (inviernos secos alternados con veranos lluviosos) y una altura de más de 1.500 m.s.n.m.; estas características también describen el área principal ocupada por los parientes más cercanos del maíz, el teocintle (*Zea mays* L. ssp. mexicana) y el género *Tripsacum* (*Zea mexicana* Schrader Kuntze).

El maíz ha dejado un rastro oscurecido por su complejidad, ya que no existen formas intermedias vivientes entre el maíz silvestre y las 50 variedades de maíz que han evolucionado bajo la selección agrícola en México (McClintock *et al.*, 1981), las cuales en muchos casos aún son cultivadas allí. El maíz de Venezuela se origina de introducciones antiguas que tienen conexión con las razas mexicanas y centro americanas Nal-Tel, Zapalote Chico, Tepecintle y Salvadoreño (McClintock *et al.*, 1981).

El maíz es uno de los principales cereales más cultivados en el mundo para la alimentación humana y animal; se considera que es originario de América, constituyéndose en el alimento básico de los pueblos americanos (UNAD, 2014).

Considerado en la antigüedad como regalo de los dioses, el maíz conserva su carácter de base de la cultura, la alimentación y la vida social, religiosa y económica mexicanas. Se cree que el maíz surgió en México del teocinte, una especie de maíz silvestre domesticada en el valle de Tehuacán hace alrededor de 7000 años. Fue llevado a Europa en el año de 1694 extendiéndose su cultivo por todo el mundo (UNAD, 2014).

2.2. Zonas productoras de maíz en Venezuela

En Venezuela la producción del maíz está dividida en tres partes actualmente, la primera esta en los estados centrales constituidos por Aragua, Carabobo y algunas partes de Guárico, la segunda esta en estados orientales como Monagas y Bolívar, siguiendo los estados occidentales (Figura 1) donde se produce en Yaracuy, Portuguesa, Barinas y Cojedes (Arocha, 2014).

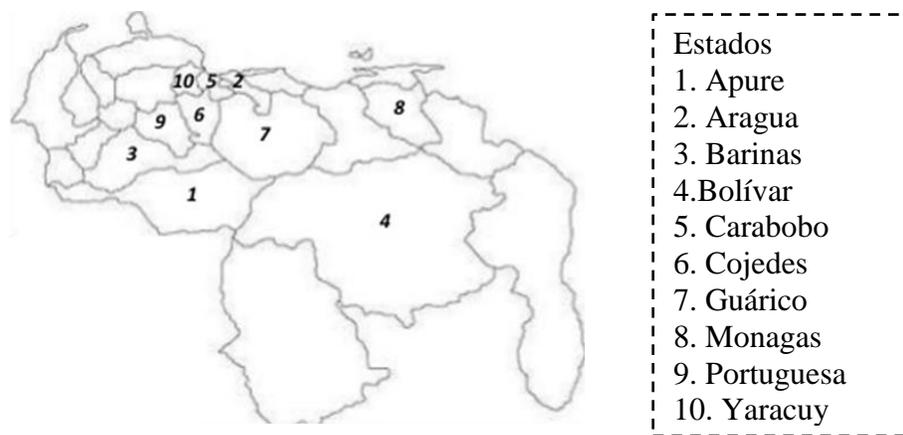


Figura 1.- Principales estados productores de maíz. (Fuente: Arocha, 2014).

2.3. Producción de maíz

Es importante resaltar que Venezuela es el tercer país productor de maíz de Latinoamérica. En los últimos cinco (5) años, la producción del maíz a nivel nacional disminuyó, esto atribuido a la alta demanda poblacional, comportamiento climático y a otros problemas de orden estructural y político.

En el aspecto climático fue relevante el régimen de lluvias, en los tres últimos años (2012-2014), especialmente en el Centro y Oriente del país, caracterizado por un desplazamiento del inicio del periodo lluvioso, cambio en la frecuencia y volumen de las precipitaciones que afectaron el rendimiento esperado de la producción (FEDEAGRO, 2015), como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1.- Volumen, costo y rendimiento de producción de maíz en Venezuela durante los años 2010-2014.

Año	Producción (t*10³)	Costo de producción (millardo es de Bs)	Rendimiento (Kg/ha)
2010	2,49	334.617	3.121
2011	2,11	283.879	3.380
2012	1,75	234.924	3.058
2013	2,45	329.023	3.836
2014	1,93	258.825	3.745
Total	10,75	1.441.268	17.140

Fuente: MPPAT, 2015.

La producción de maíz en el año 2014 cayó en un 3%, debido al impacto negativo del clima en los Llanos Centrales y Orientales, lo cual no fue compensado, como en el año 2013, con la producción de los Llanos Occidentales, donde se sembró una superficie cercana a la de 2013, pero con rendimientos inferiores a los del año 2012. El gobierno nacional no estimuló la siembra de este cultivo, por el aumento del precio de la siembra y costo elevado de la maquinaria e implementos que superan su vida útil; así como la escases en los anaqueles de los repuestos de los mismos (FEDEGARO, 2015; MPPAPT, 2015).

Es importante mencionar, que en el año 2014 hubo fallas y atrasos en el abastecimiento de semillas, agroquímicos, maquinarias, equipos, vehículos de carga repuestos, mangueras para riego, sustrato para plántulas, cauchos para tractores y para vehículos de carga, baterías, lubricantes y combustibles, que impidieron cumplir con los planes de siembra y terminaron reduciendo la superficie cultivada, esto aunado al precio a nivel del productor de los rubros regulados, los cuales continúan siendo fijados sin atender las estructuras de costos. El resultado fue un desestimulo a la

producción, particularmente crítico en el maíz (FEDEAGRO, 2015). De acuerdo a lo antes expuesto, el gobierno nacional implemento un plan de importación para satisfacer esta demanda especialmente proveniente de Brasil y los EE.UU, los cuales fueron almacenados en los silos del estado venezolano (MPPAT, 2015).

Al respecto, en los meses de enero y junio de 2014, se importaron poco más de 2 millones de toneladas de cereales, que en comparación con las 1,7 millones de toneladas adquiridas en el mismo período de 2013, significaron un crecimiento de 14,66%, impulsado por el maíz (INE, 2015). El grueso de las importaciones fueron a granel, registrando un incremento de 39,15% en volumen con respecto al período 2013 (FAO, 2014), que fueron recibidos en los silos de Agropatria ubicados en los estados Portuguesa y Barinas.

2.4. Importancia del maíz

Desde tiempos antiguos los cereales como el maíz, han constituidos el alimento base para consumo humano aunque gran parte se destina a la alimentación animal, así como a subproductos de la transformación industrial. El maíz además de constituir una fuente importante en la alimentación, también forma parte del desarrollo económico y cultural del hombre (UNAD, 2014).

El maíz es el cultivo más importante del sector agrícola vegetal en Venezuela y ha sido considerado como un rubro estratégico, dada su importancia en la dieta diaria del venezolano, con un aporte proteico de 6,5 gramos/persona/día y aporte calórico de 316 calorías/persona/día (Segovia *et al.*, 2009; FEDEAGRO, 2015), además de constituir una fuente generadora de empleos, debido al gran número de personas que lo cultivan a través de casi toda la geografía nacional.

En la actualidad, más del 85% de la producción nacional corresponde a maíz de grano blanco semi duro, utilizado en un 80% por la industria de molienda seca en la

elaboración de harinas precocidas, el restante se emplea en las empresas procesadoras de maíz pilado y para el consumo fresco. El maíz amarillo sólo representa entre el 10 y 15% de la producción (Segovia *et al.*, 2009) y se destina a la industria de alimentos balanceados para animales y al consumo fresco, como jojotos y para la elaboración de cachapas.

Un volumen importante del maíz amarillo que se importa desde USA, es utilizado por la industria de alimentos balanceados, donde la coloración amarillo intenso en las carnes y huevos de las aves proviene del mayor contenido de xantofilas y betacarotenos que tiene el maíz amarillo, asociado con un mayor contenido de vitamina A. Mientras que en la molienda húmeda, donde se utiliza el maíz amarillo tipo dentado, se genera una gran cantidad de subproductos utilizados en la manufactura de productos industriales y alimenticios, los cuales incluyen: aceite de maíz, productos de panificación, salsas, saborizantes, espesantes, edulcorantes y alimentos para el desayuno, entre otros (Segovia *et al.*, 2009).

La Universidad Nacional Abierta a Distancia en Colombia (UNAD, 2014), señala la importancia de los cereales:

- Su valor cultural en el mundo, es base para el origen de la agricultura.
- Son productivos, obteniéndose en una cosecha gran cantidad de granos.
- Proporcionan los cinco nutrientes en la dieta (carbohidratos, las proteínas, las grasas, las vitaminas y los minerales).
- Sus lípidos poliinsaturados evitan la formación de colesterol.
- Su procesamiento agroindustrial, tratamiento y consumo son sencillos y de gran versatilidad.
- Por su bajo contenido de agua se pueden conservar por largos periodos de tiempo.
- Son fáciles de manipular, almacenar y transportar.

- Su costo es moderado en la canasta familiar.
- Tienen la propiedad de provocar saciedad.

2.5. Características del grano de maíz

En general, los granos de maíz presentan características acordes con las especies a que pertenecen. Los elementos básicos de la estructura del grano son: tegumento, embrión y tejido de reserva. Desde el punto de vista funcional, la semilla está compuesta de una cobertura protectora, un eje embrionario y un tejido de reserva (Figura 2) (FAO, 2014).

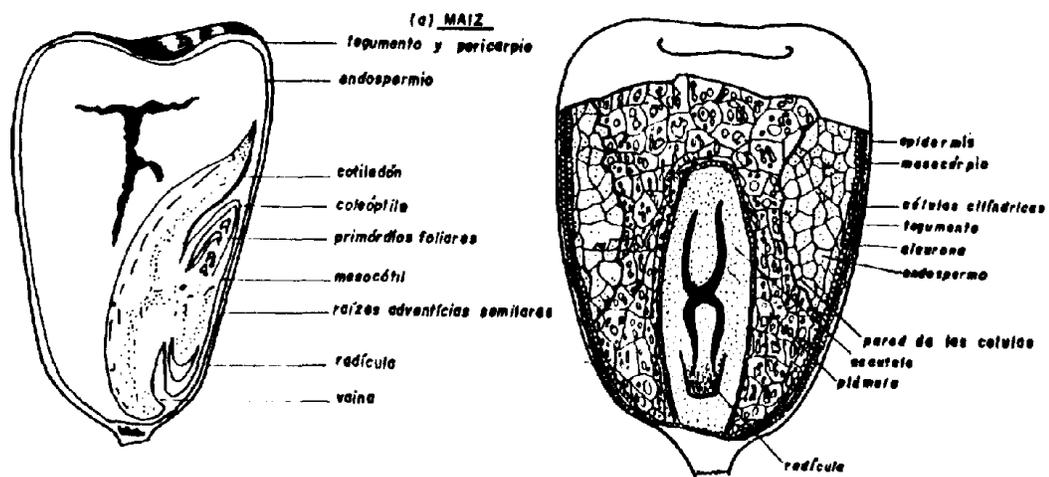


Figura 2. Corte longitudinal de las semillas de maíz (*Zea mays L.*). (Fuente: FAO, 2014)

✓ **Cobertura protectora:** Es la estructura externa que envuelve la semilla y puede estar constituida apenas por el tegumento y, en algunos casos, también por el pericarpio. El tegumento es una cobertura formada por una capa de células; el pericarpio se origina de la pared del ovario. La cobertura protectora tiene como funciones.

- Mantener unidas las partes internas de las semillas.
- Proteger las partes internas contra choques y abrasiones.

- Servir como barrera a la entrada de microorganismos en la semilla.
- Regular la velocidad de rehidratación de la semilla, evitando o disminuyendo posibles daños causados por las presiones desarrolladas durante la absorción.
- Regular la velocidad de los cambios gaseosos (oxígeno y gas carbónico).
- Regular la germinación, causando en algunos casos dormancia.

En resumen, la cobertura protectora tiene funciones protectoras, reguladoras y delimitadoras.

✓ **Eje embrionario:** El eje embrionario tiene función reproductiva con capacidad para iniciar divisiones celulares y crecer. Es la parte vital de la semilla. Se trata de un eje porque inicia el crecimiento en dos direcciones: hacia las raíces y hacia el tallo. Generalmente, el eje embrionario es pequeño con respecto a las demás partes de la semilla.

✓ **Tejido de reserva:** Es una fuente de energía y de sustancias orgánicas que son utilizadas por el eje embrionario en el proceso de germinación; eso es, desde el comienzo de la germinación hasta que se vuelve autotrófico, capaz de sintetizar materias orgánicas por el proceso de fotosíntesis. Las reservas de la semilla se pueden ubicar en los cotiledones, en el endospermo o en el perispermo (FAO, 2014).

2.6. Composición química del grano

Las principales sustancias almacenadas por los granos de maíz son los carbohidratos, los lípidos y las proteínas. El principal carbohidrato de reserva en los granos es el almidón. Cuando el almidón es la sustancia de reserva predominante, el grano es denominado amiláceo; es llamado oleaginoso cuando los lípidos son las sustancias de reserva predominantes; y proteico cuando éstas son las proteínas. En el cuadro 2, se presenta la composición química de algunas semillas; en él se pueden apreciar marcadas diferencias en la predominancia del material acumulado (FAO, 2014).

Cuadro 2.- Composición química de semillas de algunas especies (100 g).

Especie	Agua %	Proteína (g)	Lípidos (g)	Carbohidratos		Cenizas (g)
				Total (g)	Fibra (g)	
Frijol blanco	10,9	22,3	1,6	61,3	4,3	3,9
Frijol rojo	10,4	22,5	1,5	61,9	4,2	3,7
Frijol negro y castaño	11,2	22,3	1,5	61,2	4,4	3,8
Maíz	13,8	8,9	3,9	72,2	2,0	1,2
Cacahuete	5,6	26,0	47,5	18,6	2,4	2,3
Arroz (no procesado)	12,0	7,5	1,9	77,4	0,9	1,2
Centeno	11,0	12,1	1,7	73,4	2,0	1,8
Sorgo	11,0	11,0	3,3	73,3	1,7	1,7
Soja	10,0	34,1	17,7	33,5	4,9	4,7
Trigo	13,0	14,0	2,2	69,1	2,3	1,7
Girasol	4,8	24,0	47,3	19,9	3,8	4,0

Fuente: FAO, 2014.

Al considerar el principal compuesto de reserva, los granos se pueden dividir ricos en carbohidratos, como es el caso de la mayoría de los cereales, y ricos en lípidos. Los granos ricos en lípidos son cultivados para ser utilizados como alimento o como materia prima para las industrias. Los granos cuyo material de reserva predominante es la proteína son poco conocidos, siendo la soja una de las pocas excepciones (FAO, 2014).

2.7. Acondicionamiento de granos

Para conservar en buen estado y con buena calidad las cosechas de los granos de cereales, es necesario utilizar el acondicionamiento previo al almacenamiento, que no es más que las operaciones o procesos que garantizan dejar en las mejores condiciones el producto (Rodríguez *et al.*, 2005).

El acondicionamiento postcosecha de granos cerealeros, se refiere al conjunto de operaciones secuenciales que van desde la recepción, limpieza, secado, tratamientos especiales (trillado o descascarado, clasificación empacado) y almacenamiento para

asegurar la calidad comercial y su disponibilidad como producto no perecedero apto para su uso y consumo directo o agroindustrial. Sin embargo, este término también refiere al manejo adecuado de estos granos en la planta de acondicionamiento, para garantizar su inocuidad en el tiempo, aplicando técnicas como por ejemplo, los controles sobre, cambios del contenido de humedad en el grano, entre otros (Garnero, 2012).

El problema del acondicionamiento y por ende del almacenamiento, comienzan desde la calidad del grano cosechado o desde el momento de la recolección de las cosechas, que de ser inadecuados conllevaran a pérdidas considerables tanto en calidad como en cantidad (Gastón *et al.*, 2007). En muchos casos, esta situación es debido a los daños presentes en el material, que superan las tolerancias indicadas en las normas de recepción para acondicionar granos frescos (Covenin para maíz uso industrial 1935:97).

Debido a ello, las buenas prácticas del acondicionamiento de granos juegan un papel fundamental en la conservación de la calidad de los mismos, ya que estas tienen como propósito controlar los factores que influyen en su deterioro. Se recomienda realizar la mayoría de las operaciones de acondicionamiento de los granos, cuando la calidad de campo es óptima o al menos cumple con los requisitos mínimos de las normas establecidas para el secado de granos.

De estas variables, la humedad inicial del grano (humedad de campo) es crítica para estos procesos, al igual que la máxima humedad del grano para el almacenamiento, la cual se sugiere por ejemplo para el maíz, que no sea mayor del 15% en base húmeda, que es equivalente al 13,5 %H base seca (Covenin N° 1935:87); aunque este valor pueda ser relativo, ya que depende de los factores ambientales de las distintas zonas del país (Pérez, 2011).

2.8. Principales operaciones de acondicionamiento de granos.

El acondicionamiento de granos cerealeros, se realiza a nivel de plantas receptoras de granos o llamadas también plantas de secado o silos de almacenamiento de granos, en todos los casos, estas ejecutan un conjunto de procesos que conllevan al grano fresco a una condición óptima para su conservación, mercadeo o utilización inmediata (Gastón *et al.*, 2007; Pérez, 2011).

En este proceso de acondicionamiento, se busca disminuir el contenido de humedad de los granos y eliminar la fracción de granos o materiales contaminantes. En este proceso las operaciones comunes que se realizan son tratamientos especiales, secado, procesamiento y almacenamiento. En este sentido, los tratamientos especiales, se refieren a la limpieza del grano para separar las impurezas y el pre-secado. Mientras el secado, implica la remoción parcial de la humedad que viene al momento de la cosecha y el procesamiento corresponde a varias operaciones tendentes a establecer calidades comerciales por diferencias físicas, en base por ejemplo a tipos de granos o tamaños. Además del almacenamiento, que tiene por objetivo conservar la calidad del grano seco para su adecuada comercialización, uso y consumo (Rodríguez, 2006; Bolívar, 2007).

Esto con la finalidad de tomar decisiones para aceptar el grano como apto para su uso y consumo, lo cual a su vez permite dar la aprobación para el acondicionamiento y posterior almacenamiento (Bolívar, 2007). Bajo estas consideraciones, en la Figura 3 y 4, se presenta el diagrama de flujo de las operaciones comunes y no comunes del proceso de acondicionamiento de granos cerealeros en una planta acondicionadora o receptora, las cuales se describen a continuación:

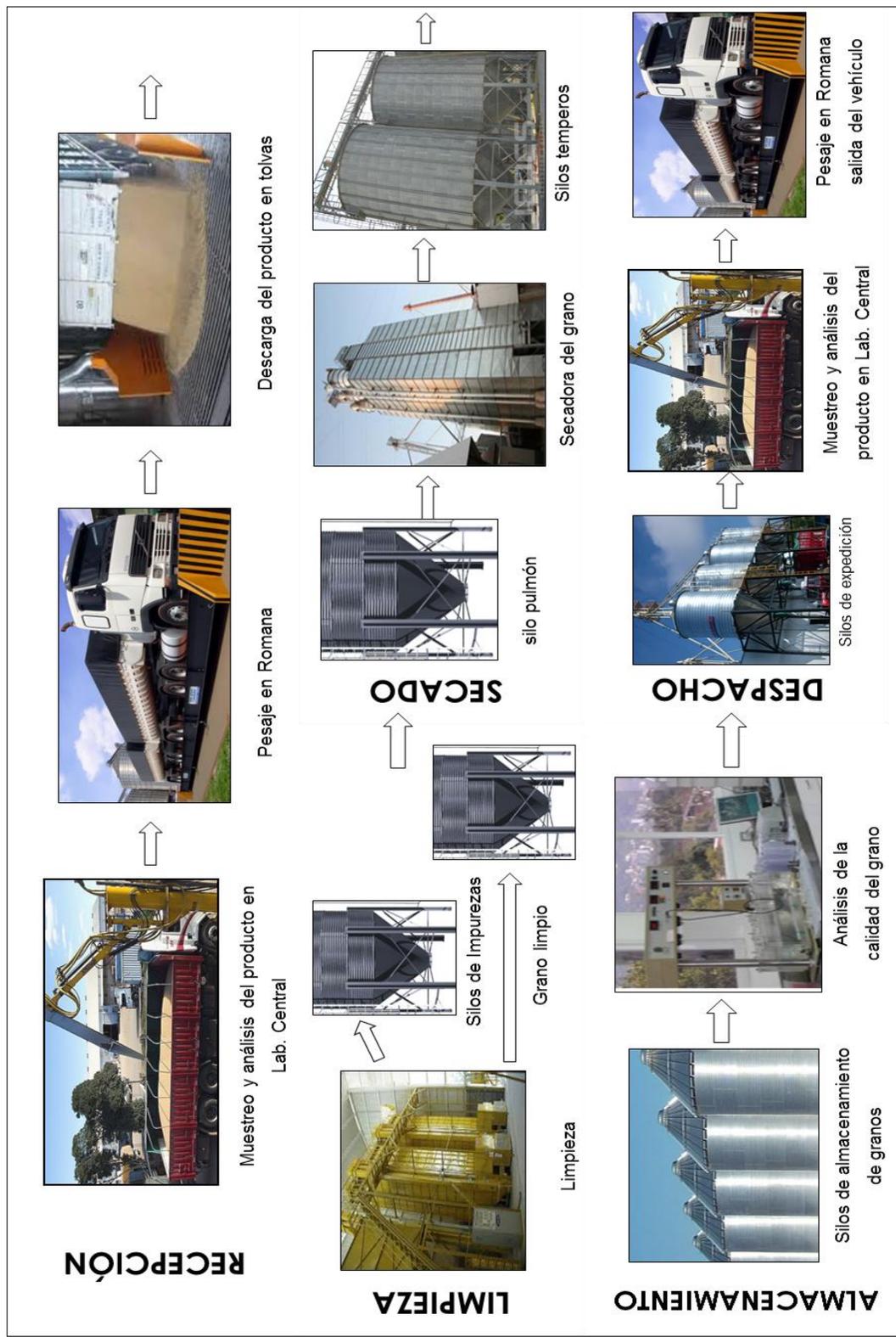


Figura 3. Diagrama de flujo de las operaciones comunes y no comunes del proceso de acondicionamiento de granos cereales.
(Fuente: Elaboración propia, 2016).

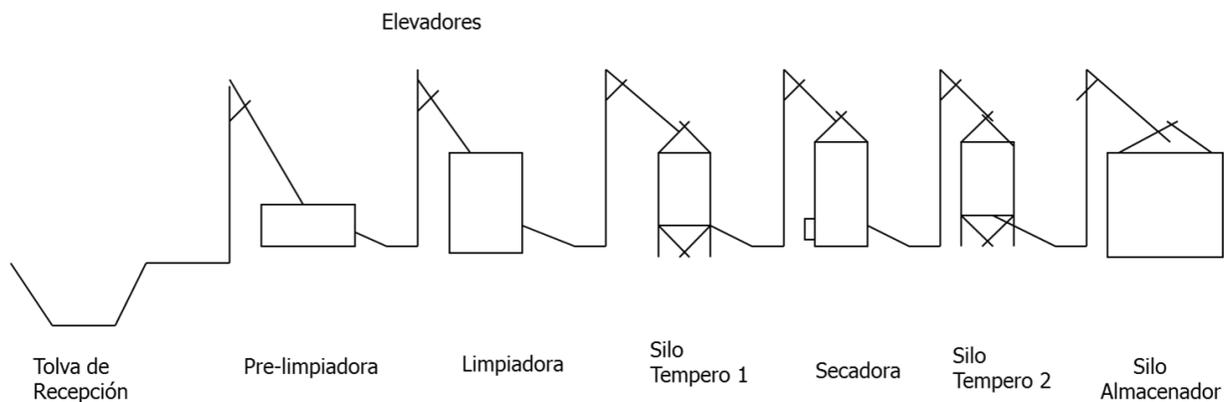


Figura 4. Esquema básico de una planta almacenadora de granos. (Fuente: García, 2016).

2.8.1. Recepción

El chofer presenta ante la vigilancia su respectiva guía de movilización; este toma los datos del chofer, del camión y la procedencia del producto. Luego, el camión pasa al patio de la empresa con su respectivo número de entrada, con el fin de realizar un muestreo, siendo esta la primera actividad de control de calidad dentro de las operaciones de recepción. Este muestreo consiste en tomar una muestra representativa del lote, siguiendo las normas de toma de muestra de Covenin N° 612:82.

Para esta toma de muestra a granel, se utilizan los caladores cilíndricos con aberturas, de longitud y diámetro de 4 a 5 cm, los cuales son insertado verticalmente a una distancia de 50 cm de las paredes del camión. En el caso de camiones de 15 a 50 toneladas de capacidad, se deben tomar ocho (8) puntos como mínimo para recolectar para analizar la muestra. De la toma de las muestras primarias se va conformando la muestra compuesta (no mayor de 3 kg). Estas se examinan y se van colocando en una bolsa plástica que deben ser cerradas herméticamente e identificada debidamente, se lleva al laboratorio a fin de homogenizarla para que sea

representativa del producto original, de allí se toma una porción (1 kg) que constituye la muestra final la cual se someterá a los análisis físico-químicos de laboratorio (Covenin N° 612:82).

El análisis consiste en determinar por parte del personal del laboratorio de control de calidad, el contenido de humedad, impurezas, granos dañados presentes en el producto, entre otros, además de estudiar las condiciones físicas del grano (organolépticas). Esta evaluación preliminar y la determinación del grado de infestación por insectos tanto como en el contenido de impurezas se hacen sobre la totalidad de mil gramos y se divide en porciones no mayores de 250 gramos. La muestra se homogeniza pasándola por un divisor mecánico que divide la muestra, se repiten las divisiones de dicha muestra hasta obtener las proporciones que se requieren para las determinaciones respectivas establecidas en las normas Covenin N° 1935:87 para maíz uso industrial. Los resultados de este análisis indicarán si el lote en estudio puede ser aceptado o rechazado. De ser aceptado el lote muestreado, el producto se descarga por la tolva 1 (se toma muestra para el análisis definitivo) y llega hasta el elevador 1, el cual envía el producto hasta la prelimpiadora (Bragachini *et al.*, 2003).

2.8.2. Limpieza de los granos

La limpieza de los granos consiste en eliminar parcial o totalmente las impurezas, para facilitar el secado y garantizar la conservación de los granos en el almacenamiento, además para cumplir con las normas COVENIN en el momento de la comercialización. Es importante retirar las impurezas no solo por ser un medio óptimo para el desarrollo de microorganismos e insectos, sino también por interferir en el buen funcionamiento de la secadora y en el rendimiento del material de interés (Bragachini *et al.*, 2003 y Cardoso *et al.*, 2007). Las impurezas que comúnmente se encuentran en los granos son partes de la misma planta como hojas, granos partidos, ramas, paja, espigas y otros materiales como piedras, arena, terrones, partes de otras

plantas. Las máquinas limpiadoras utilizadas se caracterizan por poseer cribas o zarandas.

El principio de la separación de contaminantes por medio de zarandas, es uno de los más utilizados en la mayoría de las plantas acondicionadoras o receptoras de granos. Es una limpieza mecánica, la misma consiste en hacer pasar los granos por una máquina pequeña, la cual separa las impurezas más livianas empleando aire superficial o ventiladores y unas zarandas para retirar las más pesadas.

El flujo de granos llega a la primera zaranda “desbrozadora” permite el paso de las semillas y los contaminantes más pequeños evitando que los materiales más grandes (palos, vainas, hojas, chalas) atraviesen la zaranda y permitiendo que el movimiento de la prelimpiadora transporte esos materiales y sean recolectados por una salida diferente de los granos limpios (Figura 5) (Justino, 2009).

Los granos pasan a una segunda zaranda denominada “clasificadora” con perforaciones más pequeñas que los granos que se mueven sobre la zaranda y son conducidas a la salida de descarga de la prelimpiadora, mientras que los contaminantes más pequeños atraviesan la zaranda y son conducidos a una salida para ser retirados.

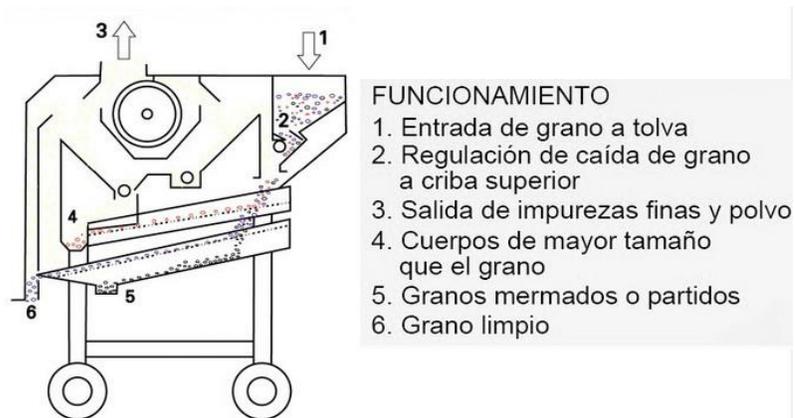


Figura 5. Zaranda usadas para la limpieza de los granos cerealeros. (Fuente: Justino, 2009).

2.8.3. Clasificación

Es necesario realizar la clasificación de los granos, ya que es considerado un requisito básico como estándar de calidad, para la comercialización de los productos (UNAD, 2014). La Clasificación, consiste en la separación de un producto en grupo, clase, tipo y defectos, más o menos idénticos de acuerdo con su tamaño, variedad y calidad. En los granos cerealeros se requiere una clasificación, es decir, separar el grano por tamaño.

Esta clasificación puede realizarse por tamaño (grandes, mediano, pequeño), color y peso específico, permitiendo clasificar al producto en grupos, clases o tipos, indicando además los defectos máximos tolerantes, como se indica en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación de los granos de maíz (Clase).

CARACTERISTICA	CLASE DE MAIZ		
	CLASE I	CLASE II	CLASE III

Humedad, % máx (Factor de deducción)			
- Maíz húmedo	24	24	24
- Maíz acondicionado	12	12	12

Granos dañados, % máx	6	8	11

Impurezas, % máx (Factor de deducción)			
- Maíz húmedo	5	5	5
- Maíz acondicionado	2	2	2

Granos partidos, % máx	3	5	7

Granos dañados por calor, % máx	1	2	3

Granos cristalizados, % máx **	5	10	15
Granos quemados, % máx	0	0	0,2

Mezcla de color, % máx	3% de maíz de otro color en blanco y 6% de otro color en amarillo	3% de maíz de otro color en blanco y 6% de otro color en amarillo	3% de maíz de otro color en blanco y 6% de otro color en amarillo

Semillas objetables, No. semillas/Kg	0	0	1

Aflatoxinas (cualitativa) *	Negativo a la luz ultravioleta		

Peso volumétrico, Kg/l, % mín			
- Maíz húmedo	0,745	0,730	0,715
- Maíz acondicionado	0,760	0,745	0,730

Fuente: COVENIN (1935:87).

2.8.4. Secado de los granos

Después de la cosecha, el grano puede estar o no lo suficientemente seco como para ser almacenado, dependiendo del clima y del método de recolección seguido. Dentro de la composición química aparece el agua, la cual puede añadirse o eliminarse. El contenido de humedad de los granos se clasifica de la siguiente forma:

Grano	}	Seco: 14%H o menor
		Húmedo: 14 – 18 %H
		Mojado o verde: mayor a 18%H.

El secado, consiste en retirar el agua de los tejidos de los granos, hasta llegar a condiciones seguras para el almacenamiento y comercialización (Rodríguez, 2006; Pérez, 2011 y Garnero 2012). El secado artificial del grano en la postcosecha, es el procedimiento que más atención requiere para no afectar la calidad del material.

De la energía utilizada en el proceso de secado de granos, el secado consume alrededor del 50%. Tomando en cuenta estos dos factores, es decir calidad y consumo energético, se puede apreciar la importancia que adquiere la correcta realización (Pérez, 2011; Rodríguez, 2006 y Cepeda, 1991). Además de controlar el consumo energético, de aquí la importancia que adquiere la correcta realización de esta operación (Pérez, 2011). En la Figura 6, se muestra como está compuesta una secadora de granos.

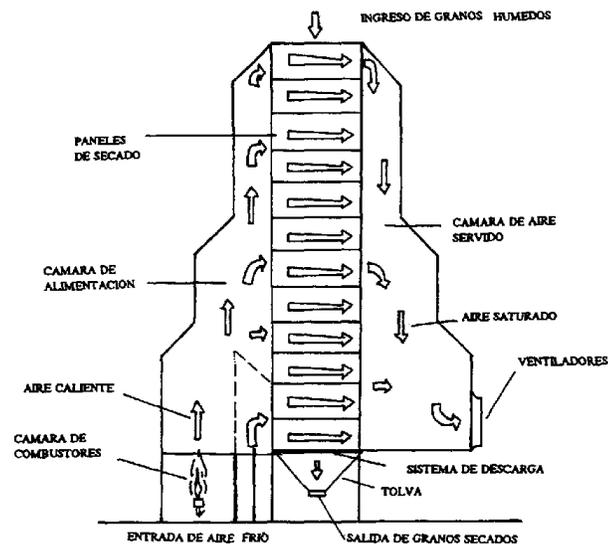


Figura 6. Secadora de granos. (Fuente: Rodríguez, 2006; McCabe, Smith, y Harriot, 2007).

El secado se puede realizar con aire natural o con aire caliente y generalmente nos referimos a la temperatura del aire de secado y rara vez nos referimos a la temperatura de grano. Sin embargo, la temperatura que el grano adquiere en los procesos de secado determinará si el mismo mantiene la calidad inicial que poseía antes de iniciado dicho proceso (Rodríguez, 2006; Cassini 2007 y Garnero 2012).

Es importante mencionar, en la etapa de secado de granos la variable de velocidad de extracción de agua, juega un papel importante en la calidad del mismo, debido a que cada grano tiene una velocidad de extracción de agua por hora para no sufrir deterioro.

Si se sobrepasa ese valor cuando se seca artificialmente, no se puede mantener su calidad, en el Cuadro 4, se muestran los valores de extracción de agua máxima por hora (en porcentaje) para los distintos granos (Rodríguez, 2006; Cardoso, 2007; y Pérez, 2011).

Cuadro 4. Porcentajes máximos de extracción de agua por hora, para cada grano.

Grano	% Extracción por hora
Maíz – Sorgo - Girasol	Menos de 5%
Arroz	Menos de 1%

Fuente: Rodríguez (2006).

Se aplica tres (3) etapas de secado al producto (Rodríguez, 2006):

Primera etapa (Velocidad de secado uniforme): se extrae la humedad superficial contenida en el grano; es aquí donde el proceso de secado es más severo ya que el grano con alto contenido de humedad permite la extracción fácil de la misma. Esto se logra con altas temperaturas mayores de 75°C, teniendo la salvedad que la temperatura del grano no alcance valores extremos (38 - 40°C). En la empresa acondicionadora de granos, la humedad promedio del grano llegado de los campos es de 20 a 24%, aplicándose una temperatura de secado de 80-100°C teniendo una humedad de salida de 16,8-17,5% aproximadamente.

Segunda etapa (Superficie insaturada): en esta etapa ocurre la extracción de la humedad intermedia del grano utilizando temperaturas moderadas que oscilen entre 60 a 75°C. Al igual que en el primer pase, la temperatura del grano no debe alcanzar valores extremos. Para el segundo pase, en la planta receptora se aplican temperaturas de secado de 60-75°C lo cual hace que la humedad baje de 16,8-17,5% a 13,8-14,6% con poca presencia de granos cristalizados (inferior al 2,5%).

Tercera etapa (Humedad que migra en el interior del grano): la extracción de humedad en este pase es la más delicada debido a que el contenido de agua en el grano está más interno y forma parte de las moléculas que conforman el mismo, por lo que se recomienda un tratamiento suave de 50-65°C. En esta etapa de secado se

aplican temperaturas de secado entre 55-65°C, logrando así una humedad final del grano de 12,8 a 13% con mínima presencia de granos cristalizados, obteniendo un producto apto para el almacenamiento y de buena calidad (McCabe, Smith, y Harriot, 2007; Pérez, 2011).

2.8.4.1. Clasificación de los secadores de granos

En esta área del trabajo, se describirá las diferentes clasificaciones que realizaron algunos autores sobre los secadores.

Pérez (2011), clasifica las secadoras de granos de la siguiente forma:

1. De acuerdo a la forma en que circula el flujo de aire

✓ Secadoras de flujo continuo

a) Verticales (tipo torre)

- de flujo mixto (de caballetes)
- de flujo cruzado (de columnas)
- de persianas
- de flujo contracorriente
- de flujo concurrente

b) De cascadas

c) Horizontales

- de flujo cruzado (de columnas hexagonales)
- de flujo mixto
- de lecho plano
- fijo
- fluido

✓ Secadoras en tandas

a) De flujo cruzado

- con recirculación
 - estáticas
- b) De flujo mixto
- con recirculación
 - estáticas
- ✓ Silos secadores
- a) De flujo contracorriente
- b) De flujo cruzado

2. De acuerdo a la temperatura de secado

El secado se puede realizar con aire natural o con aire caliente y generalmente se refiere a la temperatura del aire de secado. Sin embargo, la temperatura que el grano adquiere en los procesos de secado, determinará si el mismo mantiene la calidad inicial que poseía antes de iniciado dicho proceso (Rodríguez, 2006). En la Cuadro 5, se muestra las temperaturas máximas que el grano no debería sobrepasar, para mantener la calidad de acuerdo al uso final al que se le destine (Cassini, 2007 y Garnero, 2012).

Cuadro 5. Temperatura máxima que no debe sobrepasar el grano, para mantener su calidad.

Grano	Uso final	T máx. (°C)
Maíz	Molienda seca y semilla	43
	Molienda húmeda	60
	Consumo animal	71
Trigo	Semilla	44
	Molienda de harina	66
Soja	Semilla	38
	Aceite	48
Girasol	Confitería	75
	Aceite	80
Arroz	Molienda	40

Fuente: Cassini (2007) y Garnero (2012).

3. Secado a baja temperatura: Se realiza con aire natural o a muy baja temperatura (5 a 8°C por encima del aire ambiente). Generalmente son silos secadores con aire natural o con un quemador de bajas calorías. Se debe lograr secar el grano antes que comience a deteriorarse, ya que si las condiciones climáticas no son adecuadas, se requerirán varios días para finalizar el secado dependiendo de la humedad inicial que el grano tenía al ingresar al silo secador, en la Cuadro 6, se indica las temperaturas máximas que el grano podría alcanzar, sin perder calidad, de acuerdo a su uso final (Rodríguez, 2006, Pérez, 2011 y Garnero, 2012).

Cuadro 6. Temperaturas Máximas de secado según diferentes fines.

MAÍZ	Molienda seca y semilla	38 - 43 °C
	Molienda húmeda	55 - 60 °C
ARROZ	Semilla (>24%)	44 °C
	Semilla (<24%)	49 °C
	Molienda en harina	49 – 66 °C
OTROS	Semilla	43 C
CEREALES	Molienda y maltería	49 C

Fuente: Rodríguez (2006).

4. Secado a temperatura media: Se realiza a temperatura por debajo de 43°C para semillas o granos usados para molienda seca y debajo de 60°C para todos los otros granos (incl. maíz grado 2, ceroso, alto contenido de aceite). Generalmente se puede realizar en silo o secadoras de alta capacidad.

5. Secado a alta temperatura: Se realiza a temperatura por encima de los 60°C. Se debe tener muy en cuenta la temperatura del aire de secado de estos sistemas, ya que la temperatura que alcanzan los granos en la parte inferior de los silo

o secadoras es aproximadamente igual a la temperatura del aire de secado, por lo que en algunos casos (maíz) no se debería secar a temperaturas superiores a los 60 -65°C.

6. Secadora de caballetes: Existe una secadora que se le denomina de flujo mixto con columnas. Tiene las cualidades de una de columnas y a su vez las ventajas de las de contracorriente. Generalmente utilizan menor energía para mover el aire a través de los granos y por lo tanto son más eficientes. Realiza un secado más homogéneo del grano, evitando en gran medida los problemas que poseen las secadoras de columnas y permiten trabajar a temperaturas de secado superiores a las de columnas (Figura 7). La principal práctica preventiva es una buena limpieza del grano antes de ingresar a al equipo (Pérez, 2011).

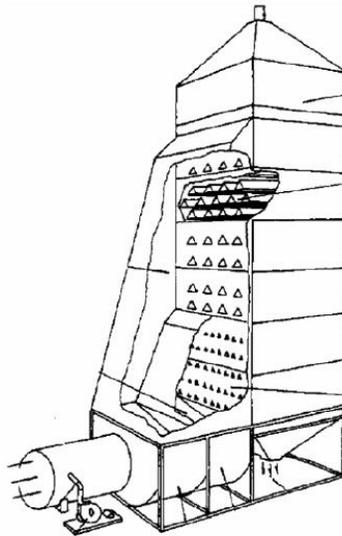


Figura 7. Secadora de caballetes. (Fuente: Pérez, 2011).

Gastón (2007), clasifica los secadores en equipos de funcionamiento discontinuo y continuo. A continuación se explica:

a) Equipos de funcionamiento discontinuo: son dispositivos con forma cilíndrica capaces de soportar presiones mayores a la atmosférica, donde los envases van en cestas o jaulas, diferenciándose unos de otros en el tipo de calefacción que usan

(Pérez, 2011). Según Gastón (2007), se coloca una capa de sólidos sobre una placa perforada, a través de la cual se hace circular aire caliente. Los granos pueden situarse formando un lecho fijo (el volumen del mismo viene limitado por unas placas soporte) o un lecho fluidizado (en caso contrario). El aire se calienta usando un combustible de tipo fósil (diesel, carbón) o incluso las cáscaras de los granos. Este tipo de secadores, que trabajan por lotes, pueden usarse para cantidades de grano de 0,5 toneladas en adelante. Su construcción es barata (se puede usar acero, hormigón e incluso ladrillo), pero no son muy eficientes desde el punto de vista energético e incluso pueden causar pérdidas de grano (sobrecalentamiento de las capas inferiores) (Dendy, 2003). Además precisan de bastante mano de obra en las operaciones de carga y descarga. En la Figura 8, se observa un esquema simplificado de este tipo de secador.

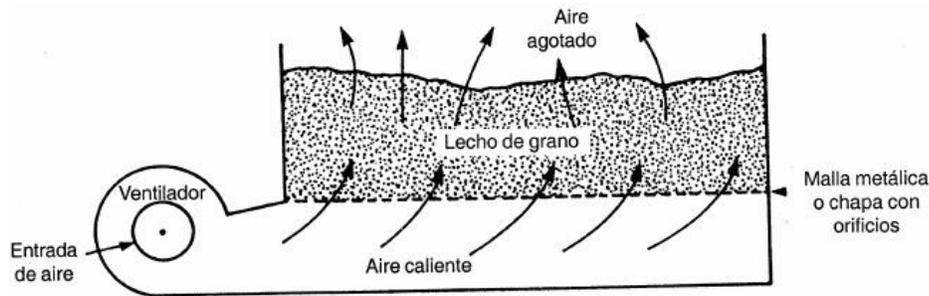


Figura 8. Equipo para secado de funcionamiento discontinuo. (Fuente: Dendy, 2003 y Gastón, 2007).

b) Equipos de funcionamiento continuo. este tipo de equipos cobra sentido cuando se trabaja con una gran cantidad del mismo producto, permite el ahorro energético, ya que solamente se aporta energía para calentar los envases uniformidad en el tratamiento y reducción de las necesidades de mano de obra. Todos estos equipos deben tener separadas tres cámaras de forma general (calentamiento, esterilización y enfriamiento (Gastón, 2007).

En tal sentido, los equipos de funcionamiento continuo, permite que el grano sea alimentado y secado de forma continua. Consiste en un equipo de grandes columnas en las que el grano es alimentado por la parte superior y extraído por la inferior, una vez reducido su contenido de humedad. La parte central de la columna dispone de un quemador y un ventilador o soplante, que es la que impulsa el aire caliente hacia el anillo exterior (donde circulan los granos). Pueden funcionar de dos formas diferentes: sin mezcla o con mezcla. En el primer caso, representado en la Figura 9 (izquierda), los granos van descendiendo lentamente, pero sin mezclarse apenas, mientras el aire caliente circula a través de ellos. Como la misma capa de grano es la que entra en contacto en primer lugar con el aire caliente, sigue existiendo peligro de pérdida de grano por sobrecalentamiento. El funcionamiento con mezcla, en cambio, introduce una serie de tabiques o bandejas que van mezclando el grano, cambiando su posición e impidiendo el fenómeno anterior (Figura 9) (Gastón, 2007).

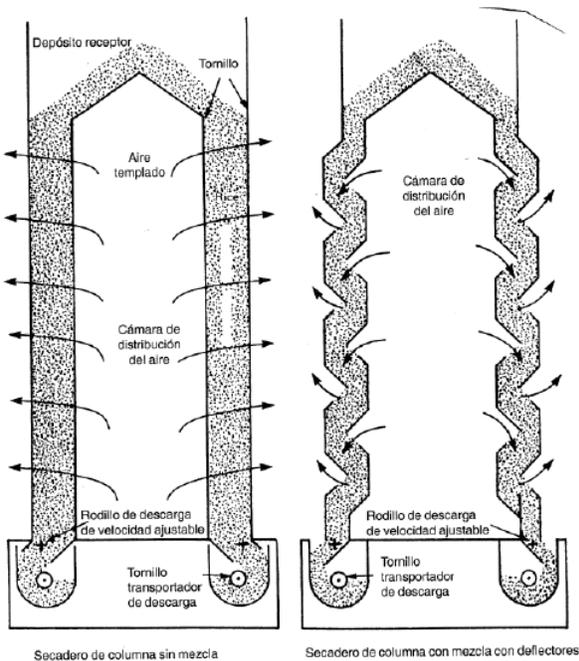


Figura 9. Equipo para secado de funcionamiento continuo. (Fuente: Dendy, 2003 y Gastón, 2007).

2.8.4.2. Daños originados durante el secado de distintos granos

El fisurado es el principal daño que se origina por efecto de la práctica de secado sobre la calidad del grano de maíz (Garnero, 2012). Las fisuras son microrajaduras que se producen en el endosperma harinoso, pero que no llegan al pericarpio, por lo que el grano permanece entero. Con el posterior movimiento el grano se termina partiendo, lo cual es penalizado por el estándar de comercialización (Cassini, 2007 y Pérez, 2011).

2.8.4.3. Efecto del secado sobre las propiedades físico-químicas y funcionales de los granos

Durante el secado con aire caliente hay un aumento del cuarteado de los granos, está asociada a la ruptura del endospermo almidonoso sin llegar a la ruptura de la cubierta seminales. Este cuarteo aumenta la susceptibilidad del grano al quebrado durante el manipuleo posterior (Rodríguez, 2006). Tompson and Foster (1963), determinaron la ecuación que permite predecir el aumento de granos cuarteados, en maíces amarillos, con base a la velocidad de secado (Ec1):

$$AC = 6,6 VS - 5,3. (EC1)$$

Dónde: A.C = aumento del cuarteo (expresado en %), VS = Velocidad de secado (expresada en % de pérdida de humedad por hora).

Esta ecuación expresa; cuando la pérdida de humedad del grano es menor a 0,8%H no se produciría aumento del cuarteado. Mientras que cuando el grano es enfriado como último paso del proceso de secado, una rápida disminución de la alta temperatura produce en el grano de maíz un aumento en el cuarteado (Puzzi, 1986; Hernández, 1998 y Rodríguez, 2006).

Otro factor que incluye en el desarrollo del cuarteado del grano, es la humedad inicial del grano al ser sometido a secado y la humedad relativa del aire de secado. A menor Humedad menor es el daño producido por el secado (Hernández, 1998).

El genotipo, prácticas culturales, condiciones ambientales durante el cultivo, grado de madurez y equipos de manipuleo, son otros factores que pueden influir sobre la susceptibilidad del grano al quebrado (Garnero, 2012 y Cassini, 2007).

La densidad aparente del grano, que se puede expresar como peso hectolítrico (kg/hl) es un buen indicador de la calidad del grano, que permite predecir el rendimiento en harinas y sémolas en molienda seca. El Peso Hectolítrico del grano aumenta durante el proceso de secado depende de la humedad inicial del grano, humedad final alcanzada, del deterioro del grano y del genotipo. Mientras que mayor es la diferencia entre humedad inicial y final del grano, mayor será el aumento del Peso Hectolítrico al ser secado el grano, aunque ese incremento será menor cuando mayor proporción de granos dañados tenga el lote (Pérez, 2011).

La temperatura de secado influye directamente sobre de almidón y su calidad para el caso de maíz. McCabe *et al.* (1991), demuestran que el rendimiento de aceite del germen de maíz disminuye en 1,1% por cada grado de aumento de la temperatura de secado del grano, en el rango de 49 a 149°C. Las altas temperaturas de secado producen una drástica disminución de la viabilidad por muerte del germen (Rodríguez, 2006).

A continuación, se presentan algunas tecnologías para el secado de granos aplicadas en los centros de receptorías ubicadas en los estados Barinas y Portuguesa (Silos de Agropatria), para asegurar el almacenamiento de los mismos.

2.8.4.4. Secado artificial

Para el secado artificial de granos existen básicamente dos métodos: uno que emplea altas temperaturas (entre 45 y 120°C, o más en algunos casos) y el otro, que emplea bajas temperaturas. El secado a bajas temperaturas (con o sin calentamiento suplementario del aire de secado) es un proceso de gran eficiencia energética, con el cual se obtiene un producto final de óptima calidad cuando se realiza en forma adecuada, ya que la temperatura sólo se incrementa unos pocos grados más arriba de la temperatura ambiente (1-5°C).

El principal problema que se presenta en el secado de granos a bajas temperaturas lo constituye el peligro de deterioro del producto debido al largo tiempo que se requiere para el secado. El secado artificial con altas temperaturas es más rápido; sin embargo, la eficiencia energética es menor (Velandria, 2011; Hernández y Carballo, 1995).

Los sistemas para el secado artificial de granos están constituidos por un ventilador que mueve el aire y que lo fuerza a pasar por la masa de granos, una cámara para contener el grano y un quemador que permite aumentar la temperatura del aire de secado. Cuando el grano se va a secar en flujos continuos, los secadores requieren equipos especiales para llenarlos con granos húmedos y para vaciarlos cuando los granos están secos. En los secadores estacionarios o por lotes, el grano se retira del secador después que se ha secado y enfriado. Cuando el secado se realiza a bajas temperatura, el grano puede ser almacenado en el lugar del secado.

Los métodos para el secado artificial de granos se dividen, de una manera general, en dos clases principales: aquella en la que el grano se *seca por lotes* y aquella en que *el grano se seca por medio de un flujo continuo*, siendo utilizado este último en la mayoría de los silos de estado Venezolano (Velandria, 2011; Hernández y Carballo, 1995). En la figura 10, se muestra imagen real de secadora de granos en silos Sabaneta-Barinas.



Figura 10. Secadora de grano de Silo sabaneta. (Fuente: Silos de Sabaneta, 2016).

2.8.5. Almacenamiento de los granos cerealeros

El almacenamiento de los granos, es la última operación que se realiza para completar el acondicionamiento, su fin es conservar la calidad de los productos después de la cosecha, limpieza y secado. El almacenamiento del grano se lleva a cabo tanto a pequeña/media escala, en la propia granja o en instalaciones de procesamiento como a gran escala, en los grandes centros de distribución y comercialización (García, 2005).

Hernández & Carballo (2000), definen el almacenamiento, como la concentración la producción en lugares estratégicamente seleccionados; en tanto que la conservación implica proporcionar a los productos almacenados las condiciones necesarias para que no sufran daños por la acción de plagas, enfermedades o del medio ambiente, evitando así mermas en su peso, reducciones en su calidad o en casos extremos la pérdida total. El principio de un buen almacenamiento y conservación de granos acondicionados (humedad 12-13%), es el empleo de los silos secos, limpios y libres de plagas; donde se almacenen granos secos, enteros, sanos y sin impurezas, e independientemente del tipo de unidad de almacenamiento metálico o concreto que se

utilice. El deterioro y pérdida de los granos depende de factores como el contenido de humedad (El nivel de seguridad para el almacenamiento de cereales es del 13-15% de humedad para periodos de almacenamiento de hasta un año, y del 11-13% para periodos de más de un año, aunque depende del tipo de cereal (García, 2005 y Gastón *et al.*, 2007)), la temperatura del grano, la presencia de insectos y microorganismos, el ataque de roedores y los daños mecánicos ocasionados en la recolección y durante el acondicionamiento (Cepeda, 1991, Hernández, 2013 y UNAD, 2015).

En cuanto las condiciones ambientales, estas cambian el equilibrio se rompe, y el grano puede volver a ganar humedad. En principio se asume que, una vez secado hasta los niveles de humedad indicados en la Cuadro 8, el grano de cereal no absorbe agua nuevamente o lo hace en cantidades que no comprometen su conservación (Gastón *et al.*, 2007; Hernández *et al.*, 2009). Sin embargo, la absorción de agua puede ser especialmente problemática cuando el grano se almacena en condiciones de elevada humedad absoluta, tales como las que se dan en climas tropicales. Por el contrario, en climas fríos de montaña, donde incluso a elevadas humedades relativas existe poca cantidad de agua en el aire, los granos pueden almacenarse temporalmente con un nivel de humedad mayor del 20% (García, 2005, Hernández, 2013).

Dado que el agua se sitúa tanto en el interior como en la superficie de los granos, durante el secado de los mismos se dan dos etapas diferentes (García, 2005, INTA, 2007): 1. La evaporación del agua superficial, hasta alcanzar el equilibrio con el ambiente. 2. El transporte por difusión del agua desde el interior del grano hasta la superficie, para reponer a la evaporada. Esta etapa se prolonga hasta que el interior, superficie y ambiente se hallan en equilibrio en cuanto a su contenido de agua.

En este sentido, es muy importante destacar como actividad fundamental en postcosecha, el criterio del "SLAM", que describe Rodríguez (2007), quien explica el

significado de esa sigla como S: sanidad, L: limpieza, A: aireación, M: monitoreo; cuatro condiciones indispensables para una buena conservación de granos durante su almacenamiento. Dentro de la dinámica del manejo de postcosecha es necesario considerar las medidas preventivas que se pueden tomar, ya que muchas veces el deterioro de los granos se manifiesta con eventos no tan visibles, como son: la pérdida de poder germinativo, disminución de peso hectolítrico y acidez de la materia grasa. Muchas veces este tipo de deterioro en “Peso y Calidad” pasa desapercibido y el productor cree que sus granos no sufrieron ningún cambio, pero en realidad hay una pérdida encubierta. Cuando el deterioro se hace visible, la merma del valor industrial es mayor y consecuentemente las pérdidas económicas son más significativas.

2.8.5.1. Factores que influyen en el almacenamiento de los granos de cereales

En este sentido, existen factores que influyen en el almacenamiento de los granos de cereales, entre ellos se encuentra los físicos, químicos y bióticos (Jiménez, 2004).

- Físicos

Los factores físicos que más afectan la calidad de los cereales en almacenamiento son la humedad relativa y la temperatura (Jiménez, 2004; IAOM, 2014). *Humedad de equilibrio y humedad relativa del aire.*

Los granos de cereales absorben o liberan humedad (son higroscópicos), la humedad de equilibrio se obtiene al someter los granos en un medio ambiente específico por un periodo de tiempo determinado, esta humedad depende el tipo de grano, de la temperatura y de la humedad relativa del aire que circula (HR). Por ello, si el contenido de humedad del grano es alto, mucho mayor al contenido de humedad de equilibrio para un medio dado, la semilla libera humedad, en caso contrario si el contenido de humedad del grano es menor, entonces absorbe humedad del aire. Por

ejemplo cuando la humedad relativa del aire es mayor al 75%, la humedad en los granos aumenta rápidamente, mientras en sitios de clima seco en donde la humedad relativa está por debajo, el contenido de humedad de los granos, se ve poco afectado (Rosas, 2007; Jiménez, 2004; IAOM, 2014).

Temperatura: cuando la temperatura del medio se calienta, favorece la disminución de la humedad de equilibrio en los granos. Es así entonces que el contenido de humedad de los granos se ve afectado por el aumento de la temperatura, esto siempre y cuando la HR se mantenga estable. Es necesario tener en cuenta que la temperatura y la HR, son variables independientes, es decir cuando aumenta una, disminuye la otra.

- Químicos

Ellos dependen de la concentración de oxígeno y el gas carbónico presente en la masa de granos almacenados. Los granos cereales son organismos vivos que continúan con los procesos respiratorios, generando energía, que es utilizada en los procesos metabólicos, lo que ocasiona un cambio en el volumen y la apariencia de los granos (las porosidades) (Castaño *et al.*, 2001; Jiménez, 2014).

- Bióticos

Los factores bióticos hacen mención a la presencia de algunos insectos, hongos y/o microorganismo en la masa de granos almacenado. La generación de hongos, bacterias e insectos se ve relacionada con la temperatura de almacenamiento y la humedad relativa (Alokaja, Akinlosotu, 2004 y Hernández, 2013).

2.8.5.2. Otros factores que afectan el almacenamiento de los granos

- **Características genéticas de la especie:** la longevidad de los granos de cereales durante el almacenamiento varía de una especie a otra, dentro de la misma

especie, de un lote a otro y dentro del mismo lote. Es así como los cereales de más alta longevidad son, la cebada y la avena, los de longevidad media, el maíz y el trigo y de longevidad baja el centeno; al igual, el maíz blanco o amarillo es más resistente en periodos largos de almacenamiento mientras que el maíz dulce no, presentando problemas durante el almacenamiento (Hernández, 2013 y IAOM, 2014).

- **Historia pre-cosecha del cultivo:** El almacenamiento por excelente que sea, no mejora las características de calidad de los granos, esto debido a que los granos antes de la cosecha se ven sometidos a una serie de factores que van en detrimento de la calidad. Para obtener buenos resultados durante el almacenamiento, es necesario almacenar granos maduros, con bajo porcentaje de granos afectados por daños mecánicos o por patógenos, al igual no deben almacenarse granos sometidos a temperaturas y humedad excesiva durante la maduración y cosecha (IAOM, 2014).

- **Vigor de un lote de granos:** Este factor es determinante en la conservación de los granos en el almacenamiento, a mayor vigor, mayor será el periodo de almacenamiento (Ranzuglia, 2010). Se define como el conjunto de propiedades que determinan el nivel de actividad y capacidad de las semillas durante la germinación y posteriormente emergencia de las plántulas. El vigor de un lote de granos es el resultado de la interacción de toda una serie de características de los granos, entre ellas se mencionan, grado de madurez, integridad mecánica, tamaño, peso, densidad, contaminación por organismos patógenos, grado de deterioro y envejecimiento, entre otras, (Pérez, 2012).

- **Daños mecánicos y por patógenos:** la mala manipulación de los granos, ocasiona un detrimento de la calidad, ocasionando hendiduras, magulladuras y otros, que no sólo bajan el vigor y dan origen a otras plántulas, sino que además favorecen la aparición de hongos y permiten el ataque de insectos (García *et al.*, 2007 y IAOM, 2014).

2.8.5.3. Métodos de almacenamiento de granos

Hernández y Carballo (1995) mencionan algunos de los métodos de almacenamiento:

1. Almacenamiento a granel: El almacenamiento a granel es una práctica común. Este método tiene la ventaja que es mecanizable, aunado a que la manipulación de granos y semillas es rápida. Por el contrario, la posibilidad de ataque por roedores aumenta y hay poca protección contra la infestación.

✓ *Silo vertical metálico de fondo plano de baja capacidad:* construido con láminas galvanizadas calibre 26, ensambladas en forma circular, su tapa y fondo son planos (Figura 11). Por ser un recipiente cerrado y hermético, protegen los granos del ataque de plagas y de la humedad evitando la proliferación de hongos (Hernández, 1998, Hernández, 2013 y Ranzuglia, 2010).

Ventajas:

- Fácil consecución de los materiales.
- Se puede construir en cualquier lugar.
- Proporciona buena protección contra el ataque de insectos, roedores, pájaros y hongos.
- El silo ocupa menos espacio que otras formas de almacenamiento usadas tradicionalmente.
- Cuando está vacío es fácil moverlo.
- Los granos pueden permanecer por tiempos prolongados sin que se alteren sus características.

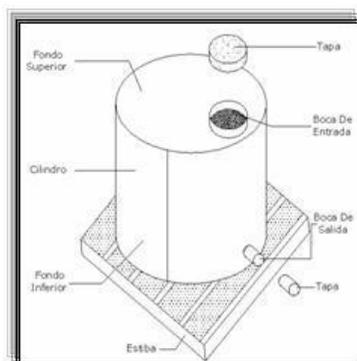


Figura 11. Esquema de un silo metálico de fondo plano. (Fuente: Hernández, 1998).

✓ **Silo vertical metálico de fondo cónico:** se construyen con capacidades hasta para 1500 o más toneladas (Figura 12), en donde se somete el grano a secado, enfriamiento y almacenamiento, a través de diferentes transportadores (Cepeda, 1991 y Hernández, 2013).

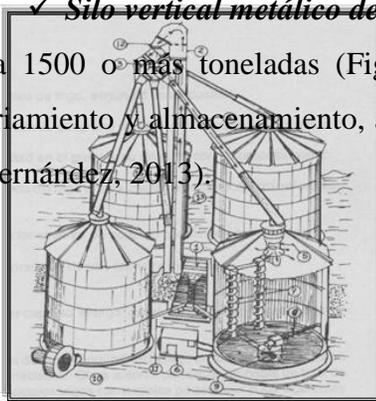


Figura 12. Almacenamiento en silos. (Fuente: Cepeda, 1991).

✓ **Silos horizontales:** Este tipo de silo se caracteriza por la gran capacidad de almacenaje, de tamaño específicamente conforme a las demandas de la usina o caldera donde está instalado el sistema de alimentación, y también de acuerdo con el tipo de biomasa utilizado.

Ventajas de usar silos horizontales:

- Obra civil reducida, si se compara con otro tipos de silos;
- Permite cambios en la capacidad o en el lugar de instalación de silo;
- Fácil acceso a los equipos, en la área interna y externa;
- Utiliza ventilación natural;
- Bajo costo operacional.



Figura 13. Almacenamiento en silos horizontales. (Fuente: Cepeda, 1991).

2. Almacenamiento de granos empacados: El almacenamiento de los granos de cereales empacado en sacos, bultos de fique o de material plástico, debe realizarse en unos espacios con una estructura adecuada. Este tipo de almacenamiento, es muy empleado en países en desarrollo, por su economía y porque se adapta muy bien a las condiciones de transporte y comercialización de los granos (Rosas, 2007 y Cinuberti, 2014). Actualmente se emplean diversas formas para el almacenamiento de granos empacados como: Almacenamiento al aire libre, en bodegas o depósitos.

✓ *Almacenamiento al aire libre:* no se realiza en el interior de edificaciones. Existen dos tipos de almacenamiento al aire libre: acopio en pirámides y acopio en almacenes o silos ligeros.

- Acopio en pirámides: Este tipo de sistema de acopio, se emplea en lugares secos y es un acopio de corta duración. Consiste en formar pirámides de sacos o bultos, ubicados sobre tarimas construidas en hormigón, asfalto o por varias capas de piedras las cuales son recubiertas con plásticos o lonas, que evitan, que la humedad de las superficies suba hasta los sacos que contienen los granos, es necesario proteger los arrumes o pirámides con lonas o plásticos que impidan que los granos se humedezcan, con las aguas de las lluvias (INTA, 2007).

- Acopio en silos ligeros: Se diferencia del almacenamiento en pirámides básicamente en la construcción de la estructura para el almacenamiento, ya que además de las tarimas que son similares a las empleadas para el acopio en pirámide, se ubican alrededor de estas una pared construida en alambre galvanizado, recubierta en el interior por una lámina de plástico la cual alcanza una altura aproximada de 2.5

metros. Los arrumes son cubiertos con una lona en forma de cono. Es necesario que este tipo de acopio se realice con granos secos (INTA, 2007).

✓ *Almacenes y depósitos:* Las bodegas o depósitos de almacenamiento deben cumplir con algunos parámetros, para conservar la calidad de los granos (Gastón *et al*, 2007 y Castaño *et al*, 2001).

- ✓ Tener una ventilación natural o artificial,
- ✓ Permitir el control del contenido de humedad tanto del grano como del medio, al igual que la temperatura,
- ✓ Evitar el calentamiento de los sacos,
- ✓ Ubicar los arrumes sobre estibas de madera a una altura del suelo mínima de 15cm. y a unos 50 cm. de las paredes.
- ✓ Los bultos o arrumes no deben entrar en contacto con el techo o cubierta de la bodega.
- ✓ Impedir el acceso de insectos, roedores y pájaros
- ✓ Facilitar el uso de máquinas para el desplazamiento y transporte de los bultos
- ✓ La altura de los arrumes depende del tipo de material de los bultos. Para sacos de fique, se pueden alcanzar altura hasta de 6 metros y para los sacos de material plástico, los arrumes no deben pasar de los 3 metros.
- ✓ Los pasillos entre los arrumes o lotes deben tener entre 2-4 metros de ancho (Gastón *et al*, 2007 y Castaño *et al*, 2001).

Por otra parte, en bodegas o centros de acopio de alta capacidad, el manejo de los productos debe ser eficiente, razón por la cual la unidad debe contar con equipos adecuados para que los flujos de las operaciones básicas tengan el mayor nivel de mecanización posible. El material o equipo básico recomendado es:

- Equipos de recepción y control, para medir peso, humedad, temperatura, entre otros controles
- Equipo para el desplazamiento de los bultos, facilitando su manipulación
- Equipo para el reacondicionamiento de los productos
- Equipo para el tratamiento con insecticidas, tanto de los granos como de los bultos y de las bodegas
- Bultos de reposición ya sean en material de fique o plásticos
- Tarimas o estibas de madera o de otro material que impida el paso de la humedad de las superficies (Gastón *et al*, 2007 y Castaño *et al*, 2001).

Condiciones de almacenamiento de granos

- Disminuir la intensidad respiratoria de los granos
- Mantener la humedad de equilibrio del grano seco
- Evitar la acumulación del calor por aumento de la temperatura
- Evitar el aumento del contenido de humedad de los granos
- Evitar la condensación de agua superficial que favorece el desarrollo de microorganismos.

Técnicas de control: aireación y presión estática

A mayor presión estática (mayor altura de la columna de granos) mayor es la fuerza que se requiere del ventilador para forzar la cantidad de aire a través de la masa de granos.

2.9. Silos

Para el almacenamiento del grano en bruto, el sistema más utilizado son los grandes depósitos cilíndricos verticales conocidos como silos, cuya forma se esquematiza en la Figura 14.

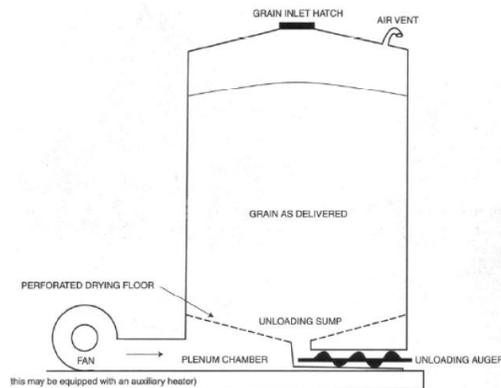


Figura 14. Esquema de un silo vertical equipado con un sistema de ventilación/calefacción. (Fuente: Dendy, 2003).

Los silos: es un sistema de almacenamiento diseñado para almacenar todo tipo de granos (Muñoz, 2010), en la actualidad los silos son construidos en acero u hormigón y pueden albergar hasta 15.000 toneladas (García, 2005). Los silos deben estar implementados para el manejo mecanizado del grano y con equipos de aireación y grano-termometría (Muñoz, 2010).

En algunas situaciones el sistema de aireación juega un papel muy importante, ya que la diferencia entre la temperatura ambiente y del grano afectan la condición del calor de la lámina de metal (silos metálicos), propiciando la migración de aire intersticial caliente y húmedo hacia zona más frías en donde se condensa la humedad: propiciando el deterioro del grano (Figura 15) (Muñoz, 2010).

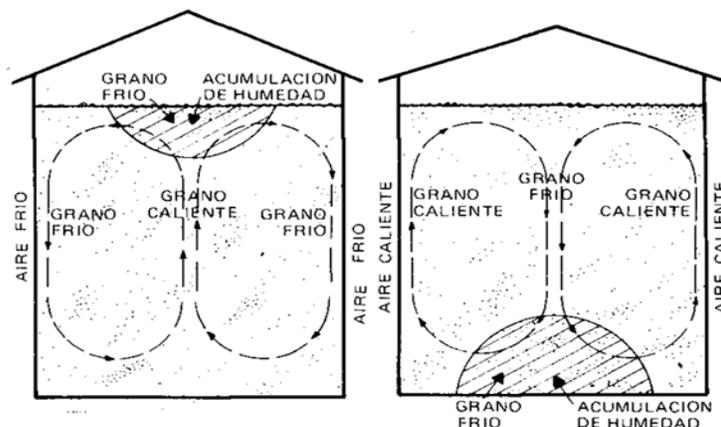


Figura 15. Corrientes conectivas de aire en un silo. (Fuente: Muñoz, 2010).

Los silos de acero, de uso muy frecuente, se construyen mediante la unión de placas de acero corrugado y galvanizado, y normalmente disponen de una doble pared (Gastón *et al.*, 2007; García, 2005 y Hernández, 2013). Además, los silos deben contar con una serie de dispositivos adicionales, tales como:

- Bocas para el llenado y vaciado.
- Boca para inspección y limpieza.
- En algunas ocasiones cuentan también con un sistema de aireación consistente en un ventilador y opcionalmente un calefactor, situados en su base, que suministran una corriente de aire, caliente o no, para secar los granos, o mantenerlos en unas condiciones adecuadas de humedad y temperatura (Gastón *et al.*, 2007; García, 2005 y Hernández, 2013).

Para elevar los granos hasta introducirlos en el silo se usan elevadores de cangilones (“bucket elevators”) y cintas transportadoras. Existen dos clases de silos de acero, que se diferencian en la forma del fondo de los mismos, así como en la forma de descarga (García, 2005).

Silos convencionales, de fondo plano, como el representado en la Figura 16, en el que la descarga se produce mediante un tornillo sin fin situado en el fondo del mismo. Silos tolva (“hopper silos”), de fondo troncocónico, lo que permite su descarga como si de una tolva se tratara, abriendo la compuerta situada en su base. Permiten un menor diámetro y altura que los silos de fondo plano, lo que se traduce en una menor capacidad. En la Figura 16, se muestran Fotografías de ambos tipos de silos.



Figura 16. Silo convencional (fondo plano), izquierda, y silos tolva (hopper silos), derecha. Fuente: (García, 2005).

Echeverría (2001), señala una clasificación de silos diferente:

- ✓ Rústicos.
- ✓ Horizontales (metálicos, concreto, mixtos)
- ✓ Verticales: Cilíndricos (metálicos, concretos).
- ✓ Paralelepípedos (metálicos, madera).

Por otro lado, la capacidad total del silo suele estimarse como un 25% más de la requerida, para hacer frente a incrementos en el rendimiento de las cosechas o en la capacidad de producción de la industria de procesamiento. Es por ello necesario manejar las unidades de medida que se utilizan tradicionalmente en este sector industrial. Una unidad de medida frecuentemente utilizada en este ámbito, preferentemente en la literatura norteamericana, es el "bushel", que en su origen es una medida de capacidad volumétrica, hoy en día se utiliza para indicar peso de grano. Sin embargo, por la razón anterior, dependiendo de la densidad y del empaquetamiento del grano, no representa lo mismo un bushel de trigo, que uno de maíz o de cebada. En la Cuadro 7, se muestran las equivalencias entre las unidades de medida de peso específico (masa-volumen) para distintos cereales (Dendy, 2003 y García, 2005).

Cuadro 7. Peso específico (relación masa-volumen) para distintos cereales y en diferentes sistemas de medidas.

Cereal	EEUU		EUROPA	
	lb/bushel	kg/bushel	kg/hL	kg/m ³
Maíz	56	25.4	72	720
Trigo	60	27.2	77	770
Arroz (blanco) medio	45	20.4	58	580
Sorgo	57	25.9	73	730
Cebada (con cáscara)	47	21.3	61	610

Fuente: García (2005).

2.10. Daños en los granos almacenados

Hernández y Carballo (2000), explican que existen numerosas **especies de palomillas y gorgojos** que atacan a los granos almacenados, y basta con unos pocos insectos bajo las condiciones adecuadas (por ejemplo, en grano caliente y húmedo) para producir el calor y la humedad suficientes para que se desarrollen mayores poblaciones de insectos. Al aumentar la población de insectos se producirá mayor calor y humedad y así sucesivamente; favoreciéndose el desarrollo de hongos y bacterias; acentuándose por lo tanto, la severidad de los daños ocasionados hasta el grado de que el grano ya no sea útil para consumirlo o que la semilla muera o reduzca su germinación y vigor.

Aunado a lo anterior, **los hongos** producen sustancias llamadas micotoxinas, las cuales pueden resultar altamente tóxicas para organismos de sangre caliente, incluyendo desde luego el hombre. Se ha demostrado que cuando las aves se alimentan con cereales almacenados con humedad alta, la presencia de micotoxinas puede provocarles trastornos fisiológicos e incluso la muerte.

Los roedores también provocan pérdidas cuantiosas en granos y semillas almacenados, no sólo porque los consumen en grandes cantidades, sino también por contaminar con sus pelos y excreciones (heces fecales y orina). Cuando el almacenamiento tiene lugar en locales desprotegidos, el ataque por pájaros puede representar una causa más de pérdidas.

En ocasiones los insectos, hongos, pájaros y roedores pueden iniciar su ataque en el campo, antes de que la cosecha tenga lugar; sin embargo, hay algunos organismos que sólo se presentan cuando las condiciones del almacenamiento permiten su desarrollo.

En este mismo orden de ideas, Hernández *et al.* (2009), al evaluar la calidad del grano de maíz, encontraron que la misma está influenciada por el contenido de humedad en equilibrio con el medio ambiente. Por esta razón en la norma COVENIN recomiendan para almacenar estos granos, valores promedios entre 12-13%, como humedades seguras para mantener la buena calidad por período prolongado de almacenamiento con bajos riesgos de deterioro, si se controlan a su vez, el efecto de la temperatura dentro del silo.

Por el contrario, si estos granos de maíz, presentan un contenido de humedad por encima de lo que indica la norma antes mencionada (15% Humedad); este tiende en la unidad de almacenamiento a aumentar su tasa de respiración y transpiración, liberando un exceso de calor, creando una condición favorable para el crecimiento de hongos, mohos, insectos, dada la formación de puntos calientes. Además si se satura el aire circundante, se presenta condensación de la humedad y una disminución del contenido de oxígeno, favoreciendo la fermentación del grano (Jiménez *et al.*, 2004, Hernández *et al.*, 2009).

Es por ello, que Jiménez *et al.* (2004) y Hernández *et al.* (2009), recomiendan la aireación y el movimiento del grano para facilitar la transferencia del aire caliente

intergranal, ya que, cuando el contenido de humedad de los granos almacenados aumenta, también lo hace el espacio de aire entre los mismos, lo cual contribuye a una mayor resistencia del flujo de aire a través del grano.

Desde otro punto de vista, Ranzuglia (2014), hace referencia a errores durante el almacenamiento de granos, al no considerar como tratamiento preventivo, al momento de ingreso a la planta receptoría, de tomas de muestras estrictas que permitan visualizar la presencia de insectos plagas en lote de granos y aplicar aunque no lo visualicen una operación de ventilación para eliminar los insectos presentes (fuente de infestación oculta: huevo, larva o pupa del insecto dentro del grano), aunque se considere que el secado rápido con aire caliente, da muerte rápido al insecto presente.

Con base a la problemática expuesta, Ranzuglia (2014), menciona que en la actualidad se ha puesto de moda el uso de equipos de refrigeración, tendientes a disminuir la temperatura de la masa de granos, pero esta condición no elimina completamente la presencia de insectos, ya que en ningún momento se logran en forma constante y homogénea las condiciones de baja temperatura para que esto suceda.

Por otro lado, García *et al.*, (2007) mencionan que el ataque a los granos por insectos, hongos y roedores disminuye la cantidad y calidad del producto almacenado. Reportaron pérdidas del 21-25% en los granos almacenados por los productores en México. La infestación inicial de plagas y hongos ocurre en campo durante el período de secado del grano, previo y posterior a la cosecha y tiene una duración de uno a cinco meses. El alto contenido de humedad en el grano durante el almacenamiento, favorece el desarrollo de insectos, ácaros, hongos y microorganismos, los cuales al alimentarse disminuyen la cantidad y calidad alimenticia y comercial del grano. El contenido de humedad y la temperatura son factores determinantes en el desarrollo de

los insectos. En el caso de insectos de granos almacenados la temperatura óptima para su desarrollo es de 25 a 35 °C (Figura 17) y muy pocos pueden desarrollarse por debajo de los 10 °C y con respecto a la humedad, los insectos no se reproducen con éxito si la humedad relativa es menor a 40%.

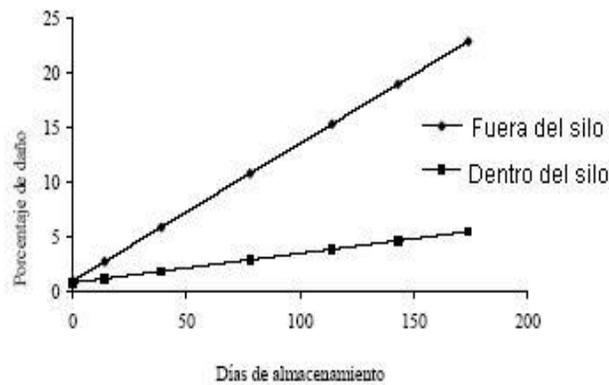


Figura 17. Porcentaje de daño ocasionado por insectos bajo dos condiciones de almacenamiento Guanajuato. (Fuente: García *et al.*, 2007).

Lo anterior debido a que las condiciones ambientales dentro del silo no son adecuadas para el crecimiento de los insectos más que por un breve lapso y después del mismo, el aire se enrarece y aparentemente la concentración de oxígeno-bióxido de carbono provoca la muerte y momificación de los estadios inmaduros más sensibles. Aun cuando no se elimina por completo la plaga, al interrumpir el ciclo de vida se disminuye con mucho el crecimiento natural de la población, evitando así el daño masivo al grano almacenado.

Con relación a las variaciones de las condiciones climáticas y su efecto en sobre el gradiente térmico y la humedad del grano ensilado, Abalone *et al.* (2006), explica que la temperatura de la zona central del silo es la menos sensitiva a los cambios de la temperatura, mientras que la zona cercana a la pared registra importantes variaciones generando zonas propicias para el desarrollo de plagas. La humedad relativa del aire en los espacios intergranarios supera el 70% límite superior a partir del cual pueden desarrollarse microorganismos.

2.11. Aspectos fisiológicos asociados al deterioro de granos de maíz almacenado en silos

Los granos de maíz, después de cosechados, continúan con el proceso metabólico de respiración y transpiración, siendo por ellos considerados tejidos vivos que poseen un alto contenido de humedad (FAO, 2014). Por esta razón, cuando estos son almacenados la tasa de respiración y transpiración aumentan conllevando a una rápida deterioración por fermentación del tejido fresco con alto contenido de humedad. Siendo el tratamiento de secado una alternativa segura para la conservación de estos granos, como un producto menos perecedero que mantiene su tejido vivo y por ende es necesario el control de su tasa metabólica durante el almacenamiento, donde se considera un proceso respiratorio bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas. A continuación se explican estos procesos (FAO, 2014).

- **Proceso respiratorio bajo condiciones aeróbicas:** La respiración bajo condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno libre) es el proceso por medio del cual las células vivas de los vegetales oxidan los carbohidratos y las grasas, por medio del oxígeno atmosférico, produciendo gas carbónico (CO_2) y agua (H_2O) y liberando energía en forma de calor (Figura 18).

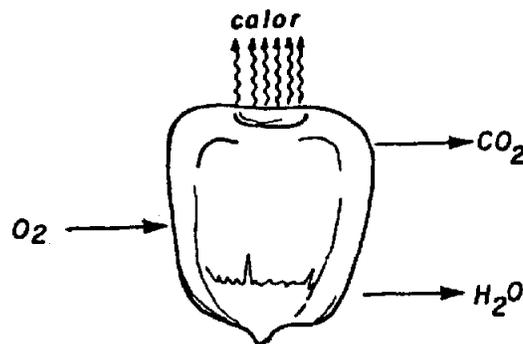


Figura 18. Respiración aeróbica. (Fuente: FAO, 2014).

La siguiente ecuación representa este proceso: $C_6H_{12}O_2 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O + \text{CALOR}$.

- **Proceso respiratorio bajo condiciones anaeróbicas:** La respiración anaeróbica se produce sin la presencia del oxígeno libre; los productos finales de la respiración se componen de gas carbónico y algunos compuestos orgánicos simples, como el alcohol etílico (C_2H_5OH). En la respiración anaeróbica, el oxígeno también forma parte activa de las reacciones de oxidación; no obstante, las células no reciben el oxígeno desde el exterior, sino que éste se obtiene de la propia célula. Las fermentaciones son procesos de respiración anaeróbica (Figura 19).

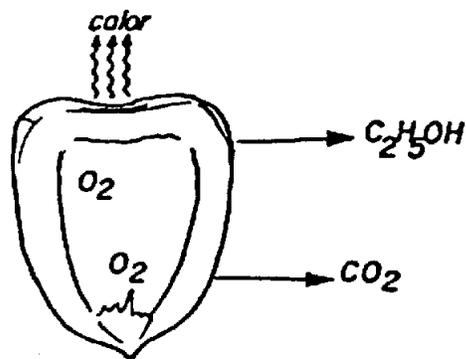
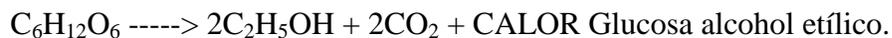


Figura 19. Respiración anaeróbica. (Fuente: FAO, 2014).

En la masa de granos se encuentran algunas especies de levaduras (hongos unicelulares) que respiran en ausencia de oxígeno y aceleran la descomposición de los carbohidratos. La siguiente reacción representa este proceso:



2.12. Principales factores que afectan la velocidad del proceso respiratorio

- **La temperatura:** Al estudiar la influencia de la temperatura sobre el proceso respiratorio de los granos, diversos investigadores concluyeron que la respiración aumenta rápidamente cuando la temperatura se eleva de 30° a $40^\circ C$,

y a partir de este punto se produce un acentuado descenso del proceso. Por lo general, el aumento de la temperatura puede acelerar la respiración dos o tres veces hasta un cierto límite, arriba del cual disminuye como resultado de los efectos destructores de las altas temperaturas sobre las enzimas.

- **El contenido de humedad de los granos:** El nivel de humedad de los granos influye directamente sobre su velocidad de respiración. Los granos almacenados con humedad de entre 11 y 13% tienen un proceso respiratorio lento. Sin embargo, si se aumenta el contenido de humedad, se acelera considerablemente la respiración y, en consecuencia, ocurre un deterioro. El nivel de humedad del producto es un factor fundamental para su conservación.
- **El desarrollo de los hongos:** una parte significativa del gas carbónico (CO_2) que se produce durante la respiración, se debe al metabolismo de los insectos presentes en los granos secos y a los microorganismos (sobre todo hongos) presentes en los granos húmedos. Cuando los hongos son los principales agentes responsables del aumento del proceso respiratorio se puede llegar a un punto en que los granos húmedos dejan de ser tejidos vivos y pasan a ser un substrato alimenticio de los hongos, que siguen respirando y transformando la materia seca de los granos en gas carbónico, agua y calor.
- **La composición del aire ambiente:** Aparte de la temperatura y del contenido de humedad que actúan sobre todos los procesos bioquímicos, la composición del aire ambiente de almacenaje (relación entre gas carbónico y oxígeno también afecta el proceso respiratorio de la masa de granos. Cuanto mayor sea la proporción de CO_2 y menor la de oxígeno menor será la intensidad respiratoria de los granos almacenados en una bodega o silo (FAO, 2014).

2.13. Consecuencia del proceso respiratorio

- **Pérdida de peso:** Mientras más alto es el contenido de humedad y la temperatura de la masa de granos, más intenso es el proceso respiratorio lo que

implica mayor consumo de sustancias orgánicas, rápido deterioro del producto y mayor pérdida de materia seca y peso.

- **Calentamiento de los granos:** Existen dos clases de calentamiento en los granos:

- ✓ Calentamiento de granos secos o calentamiento ocasionado por insectos que pueden desarrollarse en los granos con humedad cercana al 15% o menos, lo que produce temperaturas de hasta 42°C.

- ✓ Calentamiento de granos húmedos ocasionado por microorganismos que se desarrollan en los granos con humedad de 15% o superior, lo que produce temperaturas de hasta 62°C.

Estos dos tipos de calentamiento se pueden desarrollar simultáneamente en la masa de granos, por lo que el calentamiento de granos secos se puede convertir en calentamiento de granos húmedos.

2.14. Calidad de granos almacenados

La calidad de los granos de cereales almacenados, se entiende como el conjunto de características físicas, químicas, microbiológicas y nutricionales que debe reunir el producto y que permite que pueda ser utilizado como materia prima en un determinado proceso, llámese industrial o artesanal y que satisfaga las necesidades del consumidor final (UNAD, 2014).

Otra definición de la calidad de los granos, está dada por las propiedades funcionales, que permiten especificar algunas características de cada grano para el uso, consumo y transformación. Estas características en conjunto conceptualizan las normas de calidad o fichas técnicas de la calidad, las cuales permiten diferenciar los tipos de granos según el color, tamaño, forma, entre otros parámetros; además de considerar

las diferencias dadas por las variables genéticas y por los daños causados por agentes biológicos, físicos o mecánicos (Datateca, 2011).

De acuerdo a las diferencias que se encuentren dentro de los granos sanos, estos se clasifican como granos contrastantes, dañados o defectuosos y a su vez estas diferencias pueden dar lugar a granos por grados de calidad, si los mismos se distinguen con base a sus características físicas (color, tamaño, forma, etc.), permitiendo referirlos a calidades comerciales definidas (Datateca, 2011).

Según Garnero (2012) existen algunas características físicas de los granos cerealeros que definen el grado de la calidad, así por ejemplo señala el peso específico como una variable importante para establecerla, ya que este representa la uniformidad, forma, densidad, tamaño del grano, contenido de materias extrañas y granos quebrados, considerando el peso de un volumen de 100 L de grano, expresado en kg/hL para el grano entero, sano y en un contenido de humedad adecuado. Considerando esta premisa, se entiende que un valor mayor del peso específico, representaría un mayor rendimiento de harina.

Estos términos de calidad, permiten dar a conocer en granos almacenados los cambios indeseables durante el tiempo de conservación y establecer premisas para analizar si los mismos están sujetos a factores físicos, biológicos y químico de manejo (técnicas de manejo) (Garnero,2012).

Al respecto, se explica que los factores físicos, asociados al efecto de la temperatura y humedad ambiental tienen una influencia en el mantenimiento de la buena calidad del grano en el almacenamiento. Se especifica que si las condiciones ambientales son apropiadas, los granos se podrán almacenar por largos períodos de tiempo (2 a 3 años), sin que presenten problemas. Por el contrario cuando las condiciones ambientales son adversas el deterioro, puede ocurrir en pocos días hasta su pérdida total, por la presencia de mohos e incluso de insectos que alteran significativamente

al grano sano, observándose granos mohosos, picados, brotados y hasta fermentados (Figura 20) (www.Postcosecha.net, 2011).



Figura 20. Tipos de daños en granos almacenados granos de maíz (*Zea mays*).

Fuente:www.Postcosecha.net (2011).

2.15. Factores que influyen en la calidad de los granos de maíz

La UNAD (2014); FAO (2014); García *et al.*, (2007), explican que la calidad inicial de los granos de maíz dependen de factores, entre ellos se mencionan:

- **Grado de maduración durante la cosecha:** Es importante realizar la cosecha de los granos en el momento óptimo de madurez fisiológica.

- **Daños mecánicos:** Los granos de maíz recolectados atraviesan por unas operaciones en las cuales pueden sufrir alteraciones ya sea por mal manejo en finca, en el acopio, en el almacenamiento y transporte a las plantas procesadoras. Es importante realizar una buena calibración de equipos para realizar la cosecha, evitar el golpeteo de los granos con estructuras duras, separar los granos fracturados ya que por la rotura de la cutícula se permite la entrada de insectos o de patógenos y de la humedad del medio, facilitándose las condiciones de proliferación de microorganismos.

- **Impurezas:** Las impurezas de los granos de maíz permiten la entrada de microorganismos que hacen que el grano se deteriore rápidamente y pierda la calidad comercial.

- **Humedad:** Es importante determinar el grado de humedad de los granos cosechados, ya que si es demasiado alta y se almacenan, pueden facilitar la proliferación de hongos y patógenos que van a deteriorar el grano y ocasionar pérdidas postcosecha elevadas. Siendo este, un parámetro de calidad que influye significativamente en el mantenimiento de un grano sano durante la conservación en silos de almacenamiento. Esto debido a que el alto contenido de humedad en el grano, conllevan a elevadas tasas de respiración, transpiración y producción de calor húmedo, que aceleran los daños por pudrición, dada la fermentación acelerada que se origina, afectando el valor nutricional y económico (calidad y peso) del producto, conllevando a pérdidas importantes de hasta un 100% de lo cosecha. De aquí la importancia de almacenar granos secos, como una calidad de grano segura. Esto se

indica, dado que el grano recién cosechado posee contenidos de humedad altos de 18 a 24 % (Casini, 2007).

En este sentido, INTA (2007) explica que un grano con niveles de humedad seguros para su almacenamiento tendrá bajos o insignificantes problemas por ataque de microorganismo y bajos niveles de ataque por insectos. En el caso de los cereales (maíz), un contenido de humedad menor del 14% es aceptable para el almacenamiento de 1 año o más (Covenin1935:1987).

Aunque, es importante considerar que para reducir la humedad del grano se requieren una adecuada selección del método de secado y alcanzar la humedad de equilibrio, que permita asegurar que el grano no absorba, ni ceda humedad al medio (Histéresis), esto con la finalidad de lograr un buen almacenamiento, dado que este depende de la humedad relativa y temperatura del ambiente. Un ejemplo, citado por Rueda (2011) en referencia a granos de soya, indica que el índice de deterioro aumenta con el contenido de humedad superior al 9 ó 10%, para favorecer el crecimiento de insectos, tales como *Rhyzopertha dominica* y *Prostephanus truncatus* (Figura 21), señalando la importancia de monitorear al grano almacenado por largos períodos a fin de evitar que este incremente su contenido de humedad, además de vigilar el ingreso de estas especies.

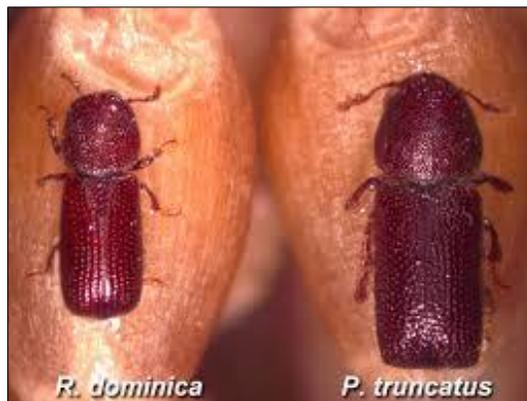


Figura 21. Insectos *Rhyzopertha dominica* y *Prostephanus truncatus*. Fuente: Rueda (2011).

• **Temperatura:** Los granos deben ser almacenados en condiciones tales que la temperatura permita su conservación. En el caso que el contenido de humedad sea alto deben ser almacenados con temperaturas de refrigeración, evitando que las reacciones químicas se aceleren con el aumento de temperatura y que los microorganismos e insectos puedan deteriorar los granos almacenados. Según Abalone *et al.*, (2006) el microclima que rodea al grano es afectado por la temperatura del ambiente y la misma cambia de acuerdo a los efectos de la radiación solar, sobre los silos de almacenamiento, dependiendo de los materiales de construcción.

Al respecto, estos autores afirman que en climas calientes la temperatura de algunos silos, pueden alcanzar niveles muy altos afectando el grano y si la temperatura en la noche es baja, la temperatura en el silo tiende a bajar; pero si la temperatura en el día es alta, la temperatura del silo aumentará. Esta última condición, puede conllevar a muerte germen y en otros casos a la germinación del mismo (brotación de granos) y hasta su fermentación aclarándose que temperaturas por encima de 40°C pueden reducir la germinación rápidamente.

Sin embargo, temperaturas mayores de 25°C, con un rango óptimo entre 28 y 32°C con alta tasa de humedad del grano (Figura 22) favorecen el desarrollo de microorganismos (hongos y mohos) que deterioran rápidamente al grano almacenado y en la medida que estos microorganismos se desarrollen, la temperatura irá en aumento debido a su metabolismo y crecimiento, causando la descomposición del grano. Los hongos mueren cuando la temperatura del grano está fuera del margen en que se efectúa su crecimiento. Su muerte es rápida si la temperatura sobrepasa su máximo de tolerancia y lenta, si está por debajo de la mínima.

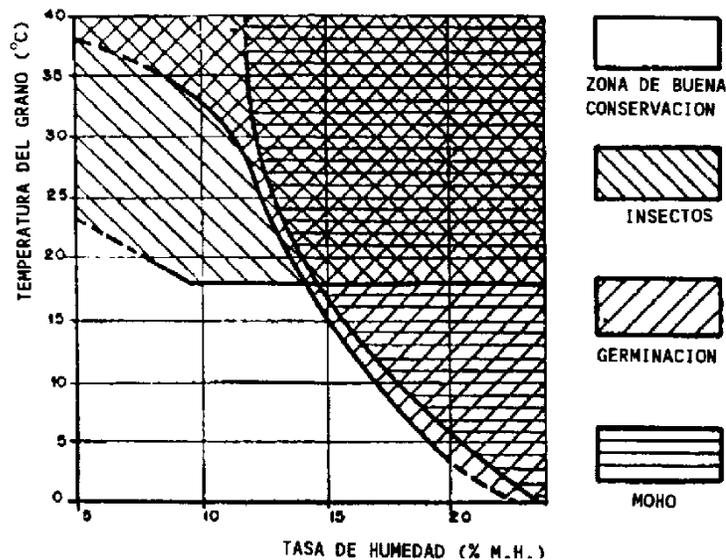


Figura 22. Temperatura Vs tasa de humedad del grano. (Fuente: Gastón *et al.*, 2007).

Según Bragachini *et al.* (2003), Cuniberti (2014) y Casini (2007) la temperatura también tiene un efecto importante en el desarrollo de insectos, los cuales afectan significativamente la calidad del grano almacenado. Al respecto, estos autores explican que las especies de insectos tropicales se desarrollan en un rango óptimo de temperatura entre 25 y 35°C (Figura). Sin embargo, existen otras resistentes a temperaturas mayores de 45°C, aunque la mayoría muere rápidamente en estas condiciones.

Es por ello, que antes de almacenar los granos, estos son sometidos a procesos de limpieza y principalmente de aireación para reducir rápidamente la temperatura de la masa de granos a fin de evitar su proliferación e incluso durante el tiempo de almacenamiento, se monitorea la temperatura y la humedad de la masa de granos con el objeto de controlarlas por medio de la aireación y movimiento del mismo (Figura 23).

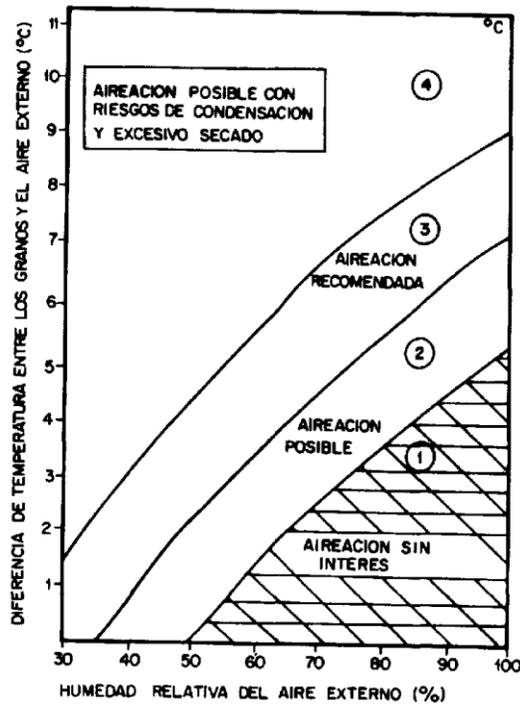


Figura 23. Aireación recomendada dentro de un silo, para reducir las bolsas de aire caliente en la masa del grano. (Fuente: Bragachini *et al.*, 2003; Cuniberti, 2014; y Casini, 2007).

Esta práctica por lo general se combina con operaciones de fumigación en los silos (utilización de pastillas de fosforo de aluminio como tratamiento al ingreso) para prever y asegurar, que no ocurra contaminación cruzada por un material anterior con problemas de insectos plagas (infestación in situ y la infestación migratoria). Por esta razón la importancia de la aireación de manera permanente, como parte del control de las temperatura dentro del silo y el monitoreo para prever los deterioros de la buena calidad el grano almacenado, considerando la formación constante de bolsas de aire caliente que se originan dentro de la masa de granos, debido a la baja difusividad del calor (Gastón *et al.*, 2007). Por otro lado, Castaño y Zepeda (2011) y IAOM (2014) señalan que mientras más entero y sano se almacene un grano, mayor será su conservación y menor serán las pérdidas registradas por daños ocasionadas por microorganismos e insectos plagas.

• **Contenido de oxígeno:** explican que la respiración de los granos, los insectos y microorganismos involucra el uso de **oxígeno**. Mientras menor sea el contenido de oxígeno de un almacén como ocurre en las estructuras herméticas de silos metálicos y concretos, menor será la respiración del grano y la actividad de los insectos como de los microorganismos, esto debido a que los niveles de oxígeno tienden a reducirse consumiéndose todo el oxígeno disponible, quedando un limitado contenido en los espacios inter-grano. Esta condición es reconocida como una alternativa para evitar el deterioro del grano almacenado.

• **Microorganismos:** Los hongos son los principales microorganismos que atacan a los granos almacenados por las condiciones favorables de humedad, se puede evitar su proliferación con el secado antes del almacenamiento. Por lo general, los hongos que atacan los granos se dividen en dos grupos:

✓ **Hongos de campo.** Así son llamadas las especies que contaminan los granos antes de la cosecha, durante su desarrollo en la planta. Estos hongos necesitan para su desarrollo un alto contenido de humedad, es decir, granos en equilibrio con una humedad relativa de entre el 90 y el 100%. Las esporas de estos hongos pueden sobrevivir durante mucho tiempo en los granos húmedos; sin embargo, no germinan cuando el contenido de humedad está en equilibrio con humedades relativas inferiores al 75%. Los hongos de campo pueden provocar pérdida de la coloración natural y del brillo de los granos, con lo que se reduce el valor comercial del producto. En las semillas, además de reducir el poder germinativo y el vigor, pueden ocasionar putrefacción de las raíces y otras enfermedades de las plantas.

✓ **Hongos del almacenamiento.** Estos hongos se desarrollan después de la cosecha, cuando el contenido de humedad de los granos está en equilibrio con una humedad relativa superior al 65 o 70%. Los hongos que proliferan con mayor frecuencia en los granos almacenados son algunas especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*. Las principales pérdidas ocasionadas por hongos en granos y cereales se deben a:

- ✓ Disminución del poder germinativo
- ✓ Decoloración de la semilla
- ✓ Calentamientos
- ✓ Cambios bioquímicos
- ✓ Posible producción de toxinas
- ✓ Pérdida de la materia seca.

• **Insectos y roedores:** Es importante evitar el daño de los granos por insectos (estos se reproducen en muy poco tiempo, una infestación del grano puede destruir parcial o total el grano), no debe haber presencia de roedores en los sitios de almacenamiento de granos ya que son la principal difusión de epidemias y pestes, además de las pérdidas que ocasionan, ya que consumen una parte del producto, contaminan y dañan el empaque, en el cuadro 8, se presenta las especies de insectos que infestan al grano de maíz en almacenamiento.

Cuadro 8. Especies de insectos que infestando en forma natural el grano de maíz en el almacén del productor. Guanajuato, México. 2002.

Nombre científico	Nombre común
<i>Sitophilus</i> sp.	Picudo
<i>Prostephanus truncatus</i>	Barrenador
<i>Tribolium</i> sp.	Gorgojo confuso de la harina
<i>Cryptolestes</i> sp.	Escarabajo plano del grano
<i>Orizaephilus</i> sp.	Gorgojo aserrado de los granos
<i>Cathartus</i> sp.	Gorgojo extranjero de los granos
<i>Gnathocerus</i> sp.	Escarabajo cornudo de la harina
<i>Ephestia</i> sp.	Palomilla de la harina del Mediterráneo
<i>Sitotroga cerealella</i>	Palomilla de los graneros
<i>Pharaxonotha kirschi</i>	Escarabajo mexicano de los granos
Psócido	Piojo de los libros
Tres especies de coleópteros no identificados	
Dos especies de palomillas no identificadas	

Fuente: García *et al.* (2007).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de la investigación

El trabajo de grado se realizará en dos de las principales zonas acondicionadoras de granos cerealeros a nivel nacional (planta silo), que disponen de receptorías de maíz desgranado, como se indica en el Cuadro 9.

3.2. Material objeto de estudio

El material de estudio corresponderá a granos maíz (*Zea mays* L.) para el consumo humano, procedente de la producción nacional del año 2015-2016 que serán sometidos al acondicionamiento y almacenamiento en las unidades de servicio antes mencionadas. Además de los granos que existan en los silos desde año 2013-2014 de producción nacional y que se acondicionaron en la misma receptoría donde se almacenan.

Cuadro 9. Número y ubicación de centros de receptorías de granos cerealeros al servicio del estado venezolano.

Nº SILOS	RECEPTORÍAS DE GRANOS CEREALEROS		
	PLANTA	ESTADO	ADSCRIPCIÓN
36	Araure	Portuguesa	MPPPAT
12	Guanare		
16	Sabaneta	Barinas	

Fuente: MPPPAT (Ministerio del Poder Popular para la Producción Agrícola y Tierras) (2015).

3.4. Plan de muestreo

Para el diagnóstico de la situación de las condiciones de la infraestructura para el acondicionamiento y almacenamiento de los granos en estudio, se tomará todos los silos de cada planta receptora (Cuadro 9) que corresponden a un total de 64 silos. Esta población igualmente será la utilizada para estudiar el resto de los objetivos específicos planteados.

3.5. Métodos.

3.5.1. Diagnosticar la situación de las condiciones de infraestructura de tres centros de receptorías nacionales asociadas a los riesgos de la calidad física de los granos de maíz destinado al consumo humano.

Para este diagnóstico se aplicará la inspección por el método de la observación, como una herramienta que permita conocer el estado físico actual de la infraestructura, considerando algunos aspectos que influyan sobre el riesgo de la calidad física de los granos de maíz. Este diagnóstico se apoyara en los criterios de Alvarado (2007), que recomienda aplicar una encuesta tipo cuestionario (planilla 1), que permita verificar la condición física y de buen funcionamiento de la infraestructura y la maquinaria. Además de otro formato, para registrar el cumplimiento de los controles de calidad de los granos almacenados (planilla 2), sustentando en lo establecido en las normas COVENIN 1935-87: Maíz para uso industrial.

Con esta información, se pretende corroborar el adecuado funcionamiento de la planta receptora para la prestación de servicio de acondicionamiento y almacenamiento de los granos en estudio. Es importante mencionar que adicional a estas planillas diagnósticas, se tomará en cuenta las siguientes variables: ubicación y condiciones climáticas de la zona, planes de mantenimiento, controles de movimiento

de granos (aireación del grano), control de plagas y enfermedades. Además de la calidad del grano en su recepción (Bolívar, 2007).

3.5.2. Identificar los problemas y causas asociados a los riesgos de la calidad física de los granos de maíz en las receptorías en estudio.

Previo a la identificación de los problemas y causas asociadas a los riesgo de la calidad del grano, se caracterizará el proceso tecnológico, siguiendo las recomendaciones de López (2005) y Ospina (2001), donde sugiere se esquematice en flujo vertical las operaciones del proceso, especificando las condiciones y los puntos de control para mantener la buena calidad física y funcional de cada operación de acondicionamiento de granos de maíz para consumo humano.

Con esta información y lo indicado por López (2005) y Hernández *et al.* (2006), se identificarán los problemas considerando los procedimientos correctos para las funciones, variables y aspectos que definen cada operación y su relación con la maquinaria involucrada en cada caso y condiciones de trabajo que afecten la calidad e integridad del grano para su almacenamiento y uso. Estas relaciones definirán los riesgos de la calidad del grano almacenado y sus causas.

Para el cumplimiento de este objetivo se tomará la información del periodo 2013-2014 y 2015-2016. Con los datos que surjan de estas relaciones se analizarán aplicando el diagrama de causa-efecto, Ishikawa o Espina de Pescado, que permite representar gráficamente la relación cualitativa e hipotética de los diversos factores que pueden contribuir al conocimiento del problema complejo, con todos sus elementos y relaciones claramente visibles a cualquier nivel de detalle (FUNDIBEQ, 2015).

3.5.3. Proponer alternativas de reducción o eliminación de los riesgos de la calidad física de los granos de maíz considerando los resultados de los objetivos anteriores.

Las alternativas para la reducción o eliminación de los riesgos de la calidad física de los granos de maíz, se plantearán considerando los resultados de los objetivos anteriores y lo sugerido por Michelena (2005) que plantean considerar la calidad física y sanidad de los granos, además de los deterioros que puedan ocurrir por efecto de los flujos másicos, tiempos de operación, variables de secado, capacidades de trabajo, controles de cambios de condiciones externas e internas en la masa de granos almacenados, ubicación de la receptoría y condiciones de infraestructura.

Referencias Bibliográficas

- Abalone, R., A. Gastón, A. Cassinera. M. Lara. 2006. Modelización de la distribución de la temperatura y humedad en granos almacenados en silos. Asociación Argentina de Mecánica Computacional 1(25): 233-247 (2006).
- Alabadan, B. y O. Oyewo. 2005. Temperature Variations within Wooden and Metal Grain Silos in the Tropics During Storage of Maize (*Zea mays*), Leonardo Journal of Sciences: 6(1), 59-67.
- Almacenamiento de granos (silo bolsa) y calidad .Trigo. 2014. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Disponible en línea: <http://inta.gob.ar/documentos/almacenamientodegranossilobolsaycalidad>. consultado el 26 marzo 2016.
- Alvarado, J. 2007. Establecimiento de sistemas de fabricación de silos hexagonales, diseño de su planta de producción. Tesis de grado, Universidad Simón Bolívar. México.
- Antropología Alimentaria El arroz (2003). Facultad de Medicina Departamento de Nutrición y Dietética. Bogotá D.C: UNAL.
- Arias, F. 2006. El Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica. (5ª ed). Caracas: Episteme.
- Arocha, J. 2004. Cultivos cerealeros en Venezuela. Consultado en <http://es.slideshare.net/AlfredoJavier1/cultivos-cerealeros-de-venezuela>. Fecha de consulta: 25 Enero 2016.
- Balestrini, M. 2001. Cómo se Elabora el Proyecto de Investigación. (5ª ed.). Caracas: BL Consultores Asociados.
- Bolívar, M. 2007. Manejo de granos en almacenamiento, causas de deterioro y prevención. XX Reunión ALPA, XXX Reunión APPA-Cusco-Perú. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 15(1):5-15 (2007).

- Bragachini, M.; Bongiovanni, R.; Peiretti, J.; Scaramuzza, F.; Méndez, A.; Casini, C.; Rodríguez, J.; Bartosik, R.; Peiretti, J. Cabral, G. 2003. Eficiencia de Cosecha y Postcosecha. Manual Técnico N° 1. INTA Manfredi.
- Briceño, G. 2010. Elementos Claves para el Conocimiento de la Cadena Alimentaria del Maíz en Colombia y Venezuela. Primer Congreso Binacional de Mercadeo de Alimentos y productos Agroindustriales. COBIMALPA.
- Cardoso, M; R. Bartosik; J. Rodríguez. 2007. Monitoreo de la Calidad de Granos Almacenados en Silo-Bolsa. Agrolluvia.com.
- Carrillo, P. 2012. Historia del maíz en Venezuela. Consultado en línea. <http://historiademaizvznla.blogspot.com/>. Fecha de consulta: 25 Enero 2015.
- Cassini, C. 2007. Factores a considerar para disminuir el deterior de granos de cereales y oleaginosas almacenados con alto contenido de humedad en bolsas plásticas. Programa Nacional Agroindustria y Valor Agregado (PRECOP). Disponible en línea: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/postcosecha/FactoresDisminuirDeterioroAlmacenamiento.asp> consultado el 24 marzo 2016.
- Castaño, J; J. Zepeda. 2001. Microorganismo asociados con granos almacenados de Arroz, Maíz, Frijol, Soya y Chile y efectividad del tratamiento químico de la semilla. Ceiba 28(1): 59-65 (2011).
- Cepeda, R. 1991. Módulo de Tecnología de Cereales y Oleaginosas. Santa Fé de Bogotá D.C: Universidad Nacional Abierta Distancia (UNAD).
- Charm, S. 2007. Food Engineering Applied to Accommodate Food Regulations, Quality and Testing, Alimentos Ciencia e Ingeniería: 16(1), 5-8.
- Cinuberti, M. 2014. Almacenamiento de granos (silo bolsa y calidad). Trigo. Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria (INTA).

- Codex Alimentarius. 2007. Organización Mundial de la Salud Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios (FEDEAGRO). 2015. Disponible en línea: <http://www.fedeagro.org/produccion/default.asp> fecha de consulta: 05 Febrero 2016.
- COVENIN 1935. Norma Venezolana sobre Maíz para Uso Industrial, 1-14, Caracas, Venezuela (1987).
- COVENIN 612. Norma venezolana sobre Cereales, Leguminosa, oleaginosa y productos derivados muestreo, 1-xx, Caracas, Venezuela (1982).
- Dendy, R. (2003). Cereales y Productos Derivados. Editorial Acribia. Equipos para secado en continuo.
- FAO. 2014. Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S01.htm#Prologo>. Consultado el 05 Febrero 2016.
- FONAIAP, 1982. El arroz: Alimento importante para dos mil millones de seres humanos. Material tomado del Folleto "El Cultivo del Arroz" CIARCO – FONAIAP. Número 03 Marzo-Abril 1982. Disponible en línea: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd03/texto/arroz.htm.
- Fundación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad (FUNDIBEQ). 2015.
- García, M. 2005. Tecnología de cereales. Universidad de Granada Facultad de Ciencias.
- García, M.; J. Aguirre; J. Sánchez; E. Cortés; J. Rivera. 2007. Silo hermético para el control de plagas de granos almacenados en Guanajuato, México. Agricultura Técnica en México 33(3): 231-239 (2007).
- Garnero, S. 2012. Calidad Intrínseca de los Granos en la Postcosecha. Universidad Católica de Córdoba. Facultad de Ciencias Químicas. Maestría En

Tecnología De Alimentos. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe. Córdoba-Argentina.

- Gastón, A; R. Abalone, A. Cassinera, M. Lara. 2007. Modelización de la distribución de la temperatura y humedad en granos almacenados en los silos-bolsa. Asociación Argentina de Mecánica Computacional I(26): 3547-3561 (2007).Córdoba Argentina.
- Guimaraes E. y Y. Ospina. 1997. Mejoramiento genético de arroz, mimeografiado curso de arroz en Calabozo, estado Guárico, realizado del 08 al 12 Septiembre 1997. 68 p.
- Hernández A.; A. Carballo. 2000. Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Sistemas de Agronegocios de la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). México: 1(1), 1-8.
- Hernández, J. 1998. Tecnologías apropiadas para el almacenamiento y conservación de granos en pequeñas fincas.
- Hernández, C., Y. Rodríguez, Z. Niño y S. Pérez. 2009. Efecto del Almacenamiento de Granos de Maíz (*Zea mays*) sobre la Calidad del Aceite Extraído. Información Tecnológica: 20(4), 21-30 (2009).
- Hernández, E. 2013. Procesos de Cereales y Oleaginosas. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Sogamoso-Colombia. Consulta en línea, disponible en:
http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211615/Modulo_exe/211615_Mexe/introduccion.html Fecha de consulta 12 de Julio del 2016.
- Hernández, J. y A. Carballo. 1995. Almacenamiento y Conservación de granos y semillas. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). México.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. 2006. Metodología de la Investigación. (4ª ed.). México: McGraw-Hill.

- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2015. Disponible en línea: http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n4/exto/mcerovich.htm
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2007. Conservación de granos: almacenamiento tradicional y en bolsas plásticas. 32(1): 10-20 (2007).
- International Association of Operative Millers IAOM. 2014. Perdidas en silos y en granos. Latinoamerica. Santo Domingo.
- Jiménez, H., J.L. Navarrete y E. Botello. 2004. Estudio Numérico de la Convección Natural de Calor y Masa 2-D en Granos Almacenados en Silos Cilíndricos, *Agrociencia*: 38(2), 325-342 (2004).
- Justino, O. 2009. Acondicionamiento de semillas. Facultad de ciencias Agrícolas de la Universidad Nacional de Colombia.
- Lázaro, A. 2012. Procedimientos y técnicas del diagnóstico en educación. *Tendencias Pedagógicas* 7, 2012.
- McCabe, W. Smith, J. y Harriot, P. 2007. Operaciones unitarias en ingeniería química. Séptima edición, Editorial McGraw-Hill, México.
- Méndez, G. 2005. Composición Química y Caracterización Calorimétrica de Híbridos y Variedades de Maíz Cultivadas en México, *Agrociencia*: 39(3), 267-274.
- Mngadi, P., R. Goviden y B. Odhav. 2008. Co-occurring Mycotoxins in Animal Feeds, *African Journal of Biotechnology*: 7(13), 2239-2243.
- Muñoz, R. 2010. Principales procesos y sistemas de acondicionamiento y almacenaje de granos. I Seminario Postcosecha de granos en la zona Sur.
- Olakojo, S. y T. Akinlosotu. 2004. Comparative Study of Storage Methods of Maize Grains in South Western Nigeria, *African Journal of Biotechnology*: 3(7), 362-365.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2005. Secado de los granos. Consultado 21 Junio 2016. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/X5027S/x5027S0d.html>
- Ospina, J. 2001. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Agrícola. Bogotá. Colombia. Características Físico Mecánicas y Análisis de Calidad de Granos. Libro en línea, disponible en: https://books.google.co.ve/books?id=2DWMqb6xP3wC&pg=PA5&lpg=PA5&dq=caracterizacion+del+proceso+tecnologico+de+secado+de+granos&source=bl&ots=IABmQiM6mv&sig=f5oC_Ji7ykT_86xwjkm2dp3CN10&hl=es&sa=X&ved=0CFUQ6AEwCWoVChMI0u2Dq6u0yAIVQzoCh05HQQd#v=onepage&q=caracterizacion%20del%20proceso%20tecnologico%20de%20secado%20de%20granos&f=false.
- Puzzi, D. (1986). Abastecimiento e armazenagem de granos. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Campiñas, Sao Pablo-Brasil.
- Ramírez, T. 2010. Cómo hacer un Proyecto de Investigación. Caracas: PANAPO.
- Ranzuglia, A. 2010. Errores conceptuales más frecuentes en el tratamiento de granos. Revista de granos, Colección Consulgran 99 Abril-Mayo. Argentina. Pág. 18-20.
- Rodríguez, J. 2006. Secado de granos. Proyecto eficiencia de cosecha y postcosecha. Precop16:28-32. Argentina. Disponible en: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/folletos/FolletoSecadoGranos.pdf>.
- Rodríguez, N.; Pérez A., y Urdaneta, L. 2005. Producción de semilla certificada de arroz en Venezuela. Revista Digital CENIAP HOY Número 8 2005. Maracay, Aragua, Venezuela. URL: www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n8/arti/perez_i1/perez_i1.htm Visitado en fecha: 10/07/2016.
- Rodríguez, J. 2007. Conservación de los granos. Proyecto eficiencia de cosecha y postcosecha de granos. Revista Postcosecha 32:1-6. Argentina. Disponible

en:

http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.cosechaypostcosecha.org/data/folletos/conservacionDeGranos.pdf&gws_rd=cr&ei=RqMkWKbhIsTDmwH7so6wDw

- Rosas, I. 2007. Calidad Física y Fisiológica de Semilla de Maíz Criollo Almacenada en Silo Metálico y con Métodos Tradicionales en Oaxaca, México, Fitotecnia Mexicana: 30(1):69-78.
- SEAGRO-Grainpro. 2015. Almacenamientos herméticos y más. Disponible en línea: http://es.slideshare.net/diosorto/seagrograinpro-almacenamientos-hermticos-y-ms?qid=0da9b139-5744-4db6-9cd7-a2720982b437&v=qf1&b=&from_search=3. Fecha de consulta 31 Enero 2016.
- Segovia, V.; Y. Alfaro. 2009. El maíz: un rubro estratégico para la soberanía agroalimentaria de los venezolanos. Agronomía Tropical 59(3) pág. 237-247. Maracay-Venezuela 2009. Bolívar M. 2007. Manejo de Granos en almacenamiento, causas de deterioro y prevención. XX Reunión ALPA, XXX Reunión APPA-Cusco-Perú. Arch. Latinoam. Prod. Anim. Vol. 15 (Supl. 1) 2007.
- Universidad Nacional Abierta a Distancia. 2014. Disponible en línea: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/232016/contLinea/capitulo_1_generalidades.html. Colombia.
- Velandria, O. 2011. Almacenamiento de cereales. Iedit Rodrigo De Triana. Bogotá. Disponible en línea: http://es.slideshare.net/fhilip_9401/almacenamiento-de-cereales. Fecha de consulta: 31 Enero 2016.
- Wagacha, J.M. y J.W. Muthomi. 2008. Mycotoxin Problem in Africa: Current Status, Implications to Food Safety and Health and Possible Management Strategies, International Journal of Food Microbiology: 124(1), 1-12.

- www.postcosecha.net, 2011. Disponible en línea:
https://www.shareweb.ch/site/Agriculture-and-Food-Security/focusareas/Documents/phm_postcosecha_factores_fisicos.pdf.
Consultado 11 Marzo 2016.
- Yanucci, D.a. 2014. Muestras representativas. El costo de no hacer es mayor que el costo de hacer. Revista de granos, Colección Consulgran 99 Abril-Mayo. Argentina. Pág. 20-24.
- Yanucci, D.b. 2014. Cambiando los paradigmas del manejo de granos. Refrigeración – una tecnología superadora. Post cosecha de precisión. Revista de granos, Colección Consulgran 99 Abril-Mayo. Argentina. Pág. 6-8.

ANEXOS

Planilla 1. Información general de la empresa acondicionadora de granos (Silos).
Fuente: Elaboración propia (2016).

1. Nombre de la Empresa/ Institución:		2. Ubicación:	
3. Objeto del Proyecto/Empresa:			
4. Estatus del Proyecto/Empresa:	Operativo	No operativo	% de Operatividad
5. Requerimiento/Necesidades de la Agroindustria:			
Materia Prima:	Insumos:	Mantenimiento de líneas de producción:	Otros (Especifique):
6. Capacidades de la Agroindustria:			
Almacenamiento de materia prima (t)		Procesamiento (t/h)	
Instalada	Operativa	Instalada	Operativa
Almacenamiento de producto terminado (t)		Procedencia de la Materia Prima	Producto Final
Instalada	Operativa	Nacional / Importada	
Destino de la Producción			
7. Parámetros para evaluar la calidad física del grano:			
Aplica medidas correctivas y preventivas sobre las condiciones inadecuadas de la infraestructura		Aplica medidas correctivas y preventivas sobre las condiciones inadecuadas de maquinarias y equipos	
Si	No	Si	No
Aplica limpieza	Que acciones aplican sobre el material de descarte proveniente de la operación de limpieza	Que acciones aplican sobre algún material contaminado que sea identificado a nivel de silos de almacenamiento	

Planilla 2. Información general de análisis de calidad en cada área del proceso de acondicionamiento de granos de maíz en los silos seleccionados para el estudio.

Fuente: Covenin 1935:87

PROCESO ESTADO DEL PRODUCTO	VARIABLE DE EVALUACIÓN	NORMAS COVENIN 1935:87		RESULTADO DE ANÁLISIS POR SILOS	% DESVIACIÓN
		LÍMITE DE ACEPTACIÓN MÍNIMO	LÍMITE DE ACEPTACIÓN MÁXIMO		
RECEPCIÓN / MAÍZ DE COSECHA	HUMEDAD (%)	13,5	24		
	IMPUREZA (%)	0	5		
	SEMILLAS OBJETABLES (%)	0	1		
	GRANOS DAÑADOS POR CALOR (%)	0	3		
	GRANOS GERMEN DAÑADO (%)	0	11		
	GRANOS DAÑADOS POR INFECCIÓN (%)	0	11		
	GRANOS AMILACEOS (%)	0	10		
	GRANOS DAÑOS TOTALES (%)	0	11		
	GRANOS DAÑADOS POR INFESTACIÓN (INSECTOS) (%)	0	11		
	GRANOS CRISTALIZADOS (%)	0	10		
	GRANOS PARTIDOS (%)	0	6		
	GRANO QUEMADO (%)	0	0,2		
	MEZCLA COLOR AMARILLO (%)	0	6		
	MEZCLA COLOR EN BLANCO (%)	0	3		
	NÚMERO DE INSECTOS VIVOS (UNIDAD)		0		
	PESO ESPECÍFICO (KG/L)	0,715	0,745		
	AFLATOXINA PRESUNTIVA (LUV)	NEGATIVO LUZ UV	POSITIVO REVEAL (20PPB)		
	ASPECTO				
OLOR					
COLOR					
LIMPIEZA					
SECADO	TEMPERATURA DEL GRANO SALIDA DE SECADORA (°C) 1ER PASE	35	38		
	TEMPERATURA DEL GRANO SALIDA DE SECADORA (°C) 2DO PASE	35	38		
	TEMPERATURA DEL GRANO SALIDA DE SECADORA (°C) 3ER PASE	35	38		
	HUMEDAD (SECO) DEL GRANO (%) 1ER PASE	17	19		
	HUMEDAD (SECO) DEL GRANO (%) 2DO PASE	14	16		

	HUMEDAD (SECO) DEL GRANO (%) 3ER PASE	12,5	12,9		
	TEMPERATURA DE SECADORA (°C) 1ER PASE	DIURNO 65 / NOCTURNO 65	DIURNO 75 / NOCTURNO 75		
	TEMPERATURA DE SECADORA (°C) 2DO PASE	DIURNO 50 / NOCTURNO 65	DIURNO 50 / NOCTURNO 65		
	TEMPERATURA DE SECADORA (°C) 3ER PASE	DIURNO 50 / NOCTURNO 50	DIURNO 60 / NOCTURNO 60		
	HUMEDAD (PARA ALMACENAMIENTO) (%) **	12,5	12,9		
	GRANOS CRISTALIZADOS TERMICO (%) **	0	7		
	GRANOS CRISTALIZADOS MECANICO (%) **	0	3		
	DAÑOS POR CALOR **	0	1,2		
LLENADO DE SILOS	GRANOS DAÑOS TOTALES (%)	0	11		
	GRANOS DAÑADOS POR CALOR (%)	0	3		
	IMPUREZAS (%)	0	5		
	GRANOS CRISTALIZADOS (%)	0	7		
	HUMEDAD (%)	12,5	12,9		
ALMACENAMIENTO MAÍZ SECO (SILO)	HUMEDAD (%)	12,4	12,9		
	IMPUREZAS (%)	0	3,0		
	SEMILLAS OBJETABLES (%)	0	1,0		
	GRANOS DAÑADOS POR CALOR (%)	0	3,0		
	GRANOS GERMEN DAÑADO (%)	0	11,0		
	GRANOS DAÑADOS POR INFECTACIÓN (%)	0	11,0		
	GRANOS DAÑADOS POR INFESTACIÓN (%)	0	11,0		
	GRANOS DAÑOS TOTALES (%)	0	11,0		
	GRANOS CRISTALIZADOS (%)	0	10,0		
	GRANOS PARTIDOS (%)	0	7,0		
	NÚMERO DE INSECTOS VIVOS (SECUNDARIOS) (%)	0	5,0		
	TEMPERATURA MAÍZ ESTABILIZADO (%)	0	<33		
	MEZCLA DE COLOR EN BLANCO (%)		3,0		
	MEZCLA COLOR AMARILLO (%)	0	6,0		
	PESO ESPECIFICO (KG/L)	0,715	0,780		
AFLATOXINA PRESUNTIVA (LUV)	NEGATIVO LUZ UV	POSITIVO REVEAL (20PPB)			
DESPACHO MAÍZ SECO	HUMEDAD (%)	12,2	12,8		
	IMPUREZAS (%)		<2		
	SEMILLAS OBJETABLES (%)	0	1,0		
	GRANOS DAÑADOS POR CALOR (%)		3,0		
	GRANOS GERMEN DAÑADO (%)		11,0		
	GRANOS DAÑADOS POR INFECTACIÓN (%)		11,0		
	GRANOS DAÑADOS POR INFESTACIÓN (%)		11,0		

	GRANOS DAÑOS TOTALES (%)		11,0		
	GRANOS CRISTALIZADOS (%)		15,0		
	GRANOS PARTIDOS (%)		7,0		
	NÚMERO DE INSECTOS VIVOS (SECUNDARIOS) (%)		0,0		
	MEZCLA DE COLOR EN BLANCO (%)		3,0		
	MEZCLA COLOR AMARILLO (%)		6,0		
	PESO ESPECÍFICO (KG/L)	0,715	0,780		
	AFLATOXINA PRESUNTIVA (LUV)	NEGATIVO LUZ UV	POSITIVO REVEAL (20PPB)		
	ASPECTO				
	OLOR				
	COLOR				
	LIMPIEZA				