

REVISIÓN DE LITERATURA

Características Generales del Trigo.

El origen del trigo no se conoce con certeza, aún cuando una buena cantidad de evidencias indican que se desarrolló en las regiones áridas de Asia Menor. El trigo Emmer se considera generalmente como uno de los ancestros de los trigos actuales, ya que se asemeja estrechamente a las especies silvestres encontradas en las regiones montañosas de Siria y Palestina (Pomeranz, 1978).

El trigo generalmente se clasifica de acuerdo a la especie, tipo comercial y hábito de crecimiento. Dentro del género Triticum se reconocen 16 especies, pero sólo dos de ellas (Triticum aestivum y Triticum durum) se cultivan en gran escala.

La característica genética que unifica a todos los miembros del género Triticum es la de poseer 14 cromosomas (7 pares) o un múltiplo de 14. Por ejemplo, el trigo Einkorn (T. monococcum) tiene 14 cromosomas y se le conoce como diploide porque tiene dos series de 7 cromosomas; el trigo cristalino tiene 28 cromosomas, por lo tanto es tetraploide, y el trigo harinero tiene 42 cromosomas siendo considerado hexaploide (Morales, 1985).

Los dos principales tipos de trigo comercial son el trigo harinero (T. aestivum) y el cristalino (T. durum). El harinero cubre cerca del 90% del área sembrada en todo el mundo y produce alrededor del 94% de la cosecha

mundial total, mientras que el trigo duro cubre cerca del 5% de la producción mundial (Hansen, 1985).

Estructura del Grano de Trigo

El grano de trigo es de forma alargada y en su ápice tiene un haz de pequeños filamentos o pelusa (Figura 1). Si se hace un corte transversal del grano, éste presenta una forma redondeada en un lado, que es conocida como dorso, y una forma de vientre en el otro. En la estructura del grano se consideran tres partes fundamentales: el afrecho o salvado, el endospermo y el germen o embrión (Pomeranz, 1978; Mattern, 1991). A continuación se describen cada una de sus partes.

Salvado

Es la parte externa del grano y sirve de cubierta protectora y constituye aproximadamente el 14%; está formado por una capa externa y otra interna. La capa externa recibe el nombre de pericarpio y a su vez se compone de la epidermis, epicarpio, células transversales y endocarpio. La capa interna está compuesta por la testa, que contiene los pigmentos que dan color rojo a las variedades rojas; el epispermo, que es una cubierta delgada y ligeramente coloreada; y por último la capa aleurona, que está constituida por células grandes bien definidas sin almidón; esta capa, además, sirve como barrera entre el endospermo y pericarpio.

El epicarpio es removido durante la molienda; sus capas interiores (testa, epispermo, aleurona) se separan más fácilmente que las exteriores debido a

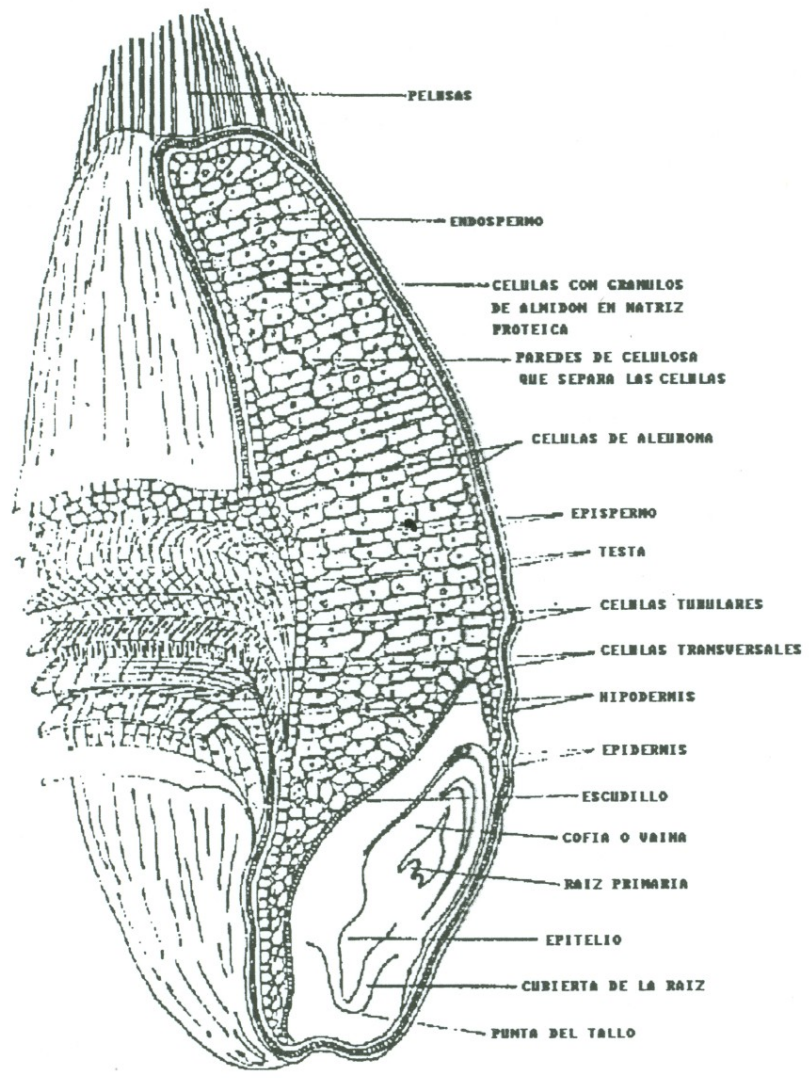


Figura 1. Estructura del grano de trigo.

que tienen una textura más firme, ocasionada por su alto contenido de fibra (Kent, 1984); a esta fracción se le conoce como salvado y, en la mayoría de los casos, es destinado casi completamente para alimento de animales y sólo muy pequeñas cantidades para consumo humano, principalmente como fuente de fibra dietaria.

Endospermo

Constituye el 83% del grano de trigo en peso seco; generalmente existen dos tipos de endospermo, uno llamado endospermo almidonoso que es la fuente principal de harina, y el llamado endospermo vítreo, el cual se encuentra en la capa superior del endospermo justo debajo de la capa aleurona. Sus gránulos de almidón están embebidos en una matriz proteica. En él se encuentra material mineral y las proteínas de mejor calidad (principalmente las formadoras de gluten) se obtienen del endospermo almidonoso (Pomeranz, 1978).

Germen

• Constituye la menor porción del grano de trigo (2.5%), está situado en la parte inferior del dorso. El germen está formado por la plúmula o punta del tallo y la raíz. La plúmula se encuentra dentro de una cubierta llamada epitelia, y está rodeada por una capa de células epiteliales que forman el escudillo. La otra parte del embrión es la raíz, es muy pequeña y está provista de una cofia o vaina, también encerrada en el escudillo; éste segrega las enzimas durante la germinación y lleva el material alimenticio del endospermo durante el crecimiento. El germen contiene proteínas, azúcares y la mayor proporción de aceite del grano. Este es removido junto con el pericarpio en el proceso de molienda del grano recibiendo el nombre de salvado.

Composición Química del Grano de Trigo

Los diferentes tejidos del grano de trigo varían considerablemente en su composición. Es de particular importancia relacionar la composición de diferentes partes del grano con los productos de molienda. La composición de nutrientes de las harinas difiere considerablemente dependiendo de las operaciones seleccionadas para la molienda, con el fin de separar las distintas partes del grano de trigo (Tabla 1) (Inglett, 1974).

Almidón

El almidón es el mayor constituyente del grano, y entre 64 a 74% está localizado en el endospermo. La forma cristalina de los gránulos de almidón constituye casi el 70% del almidón del endospermo, mientras que los pequeños gránulos esféricos un 30%. La relación de amilosa y amilopectina es 1:3. El trigo durum contiene más amilosa que los trigos duros. La mayoría de los azúcares están concentrados en el embrión, mientras que las pentosanas y la celulosa en el pericarpio, testa y capa aleurona (Salunkhe, 1985).

Proteína

El rango del contenido de proteína es de 5.6 a 21.0%. El salvado y germen son generalmente más ricos en proteína que el endospermo, ya que el contenido de ella decrece hacia el centro del grano. El endospermo vítreo contiene 9.12% de proteínas, mientras que el endospermo harinoso tiene 5.76%. Las proteínas del trigo han sido fraccionadas de acuerdo a su solubilidad en albúminas, globulinas, gliadinas y glutelinas. Las albúminas y globulinas (10-

Tabla 1. Composición química del grano de trigo.

Constituyente	Rango (gr/100)
Humedad	9 a 18
Almidón (por diferencia)	60 a 68
Proteína (N x 5.7)	8 a 15
Celulosa (Fibra)	2 a 2.5
Azúcares	2 a 3
Materia Mineral	1.5 a 2.0
Grasa	1.5 a 2.0

Fuente : Salunkhe, 1985

15%), están presentes principalmente en el embrión y la capa aleurona, mientras que la gliadina y glutelina (85-90%), están en el endospermo y son denominadas proteínas de almacenamiento. En presencia de agua, la gliadina y la glutelina en igual proporción, forman una red viscoelástica llamada gluten, la cual es esencial para propósitos de panificación. La gliadina es un grupo heterogéneo de prolaminas, es soluble en alcohol etílico neutro al 70%, y tiene un rango de peso molecular de 25,000 a 50,000 daltons. Las gluteninas son un grupo heterogéneo de glutelinas, solubles en ácido o alcalí diluido y presentan un rango promedio de 100,000 a varios millones de daltons. Las diferentes partes de grano de trigo difieren en la composición de aminoácidos. Las proteínas del germen y la aleurona son ricas en arginina y lisina, pero como estas fracciones son removidas durante la molienda, las proteínas de la harina tienen menos arginina y lisina que las proteínas del grano entero (Salunke, 1985).

Las proteínas del trigo son deficientes en lisina. Tanto las gliadinas como las glutelinas son bajas en lisina, triptofano y aminoácidos sulfurados, mientras que presentan gran proporción en los aminoácidos prolina y glutamina. Generalmente, el alto contenido del trigo, es asociado con alta concentración de glutamina y prolina. El contenido de proteína y lisina están inversamente correlacionados.

Lípidos

El contenido total de lípidos en el grano está en rangos de 0.88 a 3.33% y están concentrados en el germen. Los aceites del germen de trigo, son principalmente triglicéridos. Los lípidos de la harina tienen una contribución importante en las propiedades de la masa, comportamiento de panificación y

retardamiento del endurecimiento del pan. Modificando la cantidad y proporción de fracciones lipídicas polares a no polares de la harina blanca, se pueden causar cambios sustanciales en el volumen de la hogaza. El alto contenido de aceite en el germen hace más susceptible al grano a la infestación y deterioración durante el almacenamiento principalmente por hongos.

Minerales y Vitaminas

Los minerales están concentrados en el salvado, siendo el fósforo y potasio los principales minerales en el grano de trigo. Cerca del 70% del fósforo está presente en forma de ácido fítico. El trigo es una fuente importante de ciertas vitaminas como tiamina, niacina y piridoxina, pero comparado con otros cereales es bajo en riboflavina. La mayor cantidad de niacina, piridoxina y residuos de ácido pantoténico están presentes en la aleurona (Salunkhe, 1985).

Producción Nacional y Estatal de Trigo

En México el trigo es cultivado en dos ciclos: Otoño-Invierno y Primavera-Verano, siendo el primero de ellos el que reviste especial importancia en cuanto a producción, debido a que en éste período se obtiene casi la totalidad de la producción del país.

Entre las principales áreas trigueras de México, el estado de Sonora reviste una gran importancia, tanto por la cantidad de hectáreas destinadas a su cultivo, así como por el volumen de producción; siendo las regiones del Valle del Yaqui, Valle del Mayo y la Costa de Hermosillo las de mayor contribución.

En lo que respecta al ciclo 86-90, Sonora contribuyó con el 27.4% de la superficie cosechada, lo cual representó un total de 299,772 Has. de un total de 1'091,488 Has. sembradas en el país; y un volumen de producción de 34.76%, equivalente a 1'446,422 ton, de una producción nacional de 4'218,490 ton. para este mismo período (Tabla 2) (S.A.R.H., 1991).

Factores que Afectan la Calidad del Grano Durante su Manejo Postcosecha

Los granos alimenticios constituyen la mayor fuente de energía y de nutrientes para la población humana. En la mayor parte del mundo, el 75% del alimento producido es almacenado y consumido en el área rural y los excedentes son comercializados llegando al consumidor a través del comercio y por las instancias gubernamentales.

En los últimos años la producción de granos se ha incrementado notablemente, sobre todo en lo que respecta a granos básicos, lo cual implica que grandes volúmenes de granos tengan que ser almacenados hasta que sean requeridos para su procesamiento. Los criterios aplicados para ello se basan en el uso posterior que se les dará al grano; sin embargo, el manejo del grano antes de su almacenamiento afecta su capacidad de almacenaje. Así, cualquier proceso que dañe o deje un alto contenido de humedad dentro de ellos, facilitará la deterioración del grano por diversos agentes biológicos.

Dentro de los factores responsables de deterioración en etapa de postcosecha, se puede mencionar: la composición y el comportamiento del grano; la exposición a factores físicos externos como la temperatura y humedad; factores bióticos como hongos, bacterias, insectos y roedores; el hombre con

Tabla 2. Participación de la superficie sembrada y volumen de producción de Sonora con respecto a la nacional (1986-1990)

Producto	Calificación Estado de Sonora		Participación de la Superficie Sembrada y Volumen de Producción Agrícola a Nivel Nacional.					
	Superficie	Volumen	Superficie (Hectáreas)			Volumen (Toneladas)		
			Nacional	Sonora	%	Nacional	Sonora	%
Trigo	1	1	1,091,488	299,772	27.4	4,218,490	1,466,422	34.8
Algodón	1	1	219,700	40,663	18.0	328,106	118,905	3.2
Oleaginosas	2	2	941,021	163,344	17.3	1,294,096	325,007	25.1
Soya	2	2	372,475	7,129	204	652,152	151,483	23.2
Ajonjolí	2	2	110,894	2,884	22.4	50,158	12,744	25.4
Cartamo	2	1	237,952	2,667	9.1	263,680	41,874	15.8
Papa	5	7	70,226	2,601	3.7	930,390	54,598	5.9
Chile	8	5	79,108	2,839	3.5	643,696	23,605	3.7
Cebada	11	7	299,379	4,945	1.6	488,328	18,058	3.7
Sorgo	13	12	1,904,043	20,392	1.0	5,541,566	73,688	1.3
Frijol	19	15	2,211,882	9,507	0.4	942,040	9,472	1.0
Maíz	29	18	7,958,539	50,643	0.6	11,435,336	163,495	1.4

Fuente: S.A.R.H., 1991

sus prácticas de manejo, almacenamiento, transporte y aplicación de productos químicos deficientes; infraestructura inadecuada y cuestiones políticas entre otros (F.A.O., 1983). Las pérdidas postcosecha en granos han sido y son de gran importancia en el suministro de alimentos en el mundo. Al hablar de pérdidas conviene primeramente definir o distinguir entre los diversos criterios existentes para su apreciación, así como cuales son los principales factores que contribuyen en gran magnitud, a elevar éstas pérdidas en granos a nivel mundial.

Que Constituye una Pérdida. Una de las dificultades mayores en la evaluación de las pérdidas en alimentos, es la inadecuada definición existente sobre el término “pérdida”. De acuerdo al destino del alimento o bien, al país donde se determine, éste término puede variar (F.A.O., 1983). Así, en el área comercial, el daño es a menudo descrito en términos de descoloración, pérdida de lustre, desarrollo de sabores indeseables, cambios en densidad, presencia de material pulverizado y materia extraña. En los países más avanzados, si el grano dañado excede de un porcentaje, éste es declarado inadecuado para consumo humano, e incluso, en ocasiones para consumo animal. La calidad puede ser determinada por inspección visual o física. Los factores críticos para derivar una definición práctica de pérdidas en alimentos, son parámetros de calidad y estándares de regulación (Mills y Pedersen, 1991).

Las pérdidas en calidad en granos alimenticios, han sido medidas en términos de atributos sensoriales, contenido de micotoxinas, valor nutritivo ó biológico y disminución de los constituyentes nutricionales; crecimiento de insectos en términos de fragmentos; mohos y microorganismos en términos de

la diferencia de la cuenta total final y la cuenta inicial; ácaros en términos de población y metabolitos como guanina; e insectos vivos en base de ácido úrico. Además, existen otros parámetros para determinar el status de calidad de granos alimenticios como son: fluorescencia en ultravioleta, pérdidas de viabilidad de la semilla y características de olor por el análisis de gases.

Las pérdidas postcosecha en granos, son un factor altamente significativo en el suplemento de alimentos en el mundo. Algunos países han reportado estimaciones de pérdidas totales de hasta un 50% (Parpia, 1976), de las cuales algunas han sido reportadas como resultado de la infestación de insectos, microorganismos, roedores y aves.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (F.A.O., 1983), estimó que las pérdidas mundiales durante el almacenamiento de cereales, leguminosas y oleaginosas eran del orden del 10% (5% producido por insectos y ácaros, 4% roedores y 1% hongos). Si esto fuera así, significaría que las pérdidas durante el almacenamiento en un año, con respecto solamente a cereales, ascendería a más de 100 millones de toneladas (F.A.O., 1960).

Factores Biológicos Determinantes de Pérdidas

Dentro de los factores biológicos responsables de pérdidas durante el almacenamiento de cereales se incluyen a los insectos, hongos, bacterias, roedores y aves. El daño causado por ellos afecta la calidad física del grano y su composición química. Las pérdidas físicas son generalmente medidas como pérdida de peso. Los daños en calidad, causado por agentes biológicos

a través de la contaminación y descomposición son considerados de mayor grado que el daño físico.

Las condiciones tropicales de algunos países en vías desarrollo, aceleran el crecimiento de estos organismos y proveen condiciones óptimas para su desarrollo a través de los años. Los ciclos biológicos de las plagas de insectos son relativamente cortos y su proliferación es rápida bajo condiciones tropicales, por lo tanto, la proporción de grano alimenticio dañado que toma lugar en los países del tropico, es mayor y de un grado más extensivo que el de zonas frías (Tabla 3).

Los organismos biológicos son comúnmente contaminantes de granos y productos de molienda. La identificación de especies de insectos y el conocimiento de su biología y comportamiento, proporcionan claves para evitar en algunas ocasiones pérdidas económicas o bien, para preveer medidas preventivas y/o de control. Ciertas especies de insectos infestan solamente a grano entero, mientras que otras sólo a productos de granos y algunas otras se alimentan de los hongos. El conocimiento del tipo de alimentación es importante en la localización de la fuente de problema del insecto y su control apropiado (Tabla 4).

Factores Físicos

Dentro de los principales factores físicos que se toman en cuenta para el almacenamiento, están la humedad y la temperatura. El origen de la humedad en los granos y semillas es muy variado; un alto contenido de humedad en el momento de ser almacenados, constituye uno de los factores de mayor influencia en la conservación de estos materiales, durante el período que dure el

almacenamiento. Además, cuando el grano es almacenado con un exceso de humedad, automáticamente se predispone a un calentamiento excesivo o espontáneo, debido a su alto rango respiratorio y simultáneamente, a la descomposición y pérdida de éste grano por el ataque de hongos, bacterias e insectos. Debido a esto, entre menor sea la humedad del grano almacenado y más baja la temperatura en el almacén, la conservación es mucho mejor. El contenido de humedad máximo para un seguro almacenamiento de cereales es de 12 - 13.5% (Tabla 5) (Hall, 1970).

Las condiciones ecológicas prevaletientes en el área de almacenamiento, ejercen también una influencia decisiva sobre los granos que allí se van a guardar, porque éste grano forzosamente tiene que alcanzar un equilibrio de humedad con la humedad relativa del aire. El contenido máximo de humedad con que un grano puede ser almacenado con seguridad, depende básicamente de tres factores: tipo y condición del grano, área ecológica donde están situados los almacenes y duración del período de almacenamiento (Moreno y Ramírez, 1983).

La temperatura atmosférica del grano, así como la temperatura del aire intergranular, son las variables cruciales para la seguridad y prolongación del grano en el almacén. Los efectos de temperatura dentro de un organismo, están correlacionados con la cantidad de humedad presente. Un ascenso en la temperatura, corresponde a una disminución en la cantidad de humedad relativa en la atmósfera (Salunkhe, 1985).

Tabla 3.- Cambios producidos por la infestación de plagas en granos alimenticios.

Tipos de plagas	Cambios
Bacterias	Deaminización, proteólisis, organismos entéricos, organismos patógenos, termogénesis, toxinas y putrefacción.
Acaros	Guanina, olores insoportables, alérgenos y vectores patógenos.
Hongos	Ac. úrico aparente, humedad, descoloración, micotoxinas, termogénesis, olor mohoso, pérdida de viabilidad en el germen.
Insectos	Ac. úrico, humedad, quitinas y contaminantes químicos*, insectos muertos, olor a infestado, germen muerto y microflora interna y externa.

*Compuestos fenólicos relacionados con benzopirona (emitido por los huevecillos y los insectos) tales como la quinona, benzoquinona y ac. fórmico.

Fuente: F.A.O., 1983.

Tabla 4. Nombres científicos y comunes de las principales plagas en granos de cereales y leguminosas

Nombre científico	Nombre común	Productos atacados
<i>Acarus siro</i> (L.)	Acaro de la harina	Granos y harinas de cereales
<i>Anagatha kuehniella</i> (S.)	Palomilla del Mediterráneo	Granos y salvado
<i>Ephestia cautella</i> (W.)	Polilla tropical del almacén	Cereales y oleaginosas
<i>Plodia interpunctella</i> (H.)	Palomilla india de la harina	Cereales, cacahuete y fruta seca
<i>Sitotroga cerealella</i> (O.)	Palomilla de los cereales	Granos de cereales
<i>Oryzaephilus surinamensis</i>	Escarabajo aserrado	Cereales y productos molidos
<i>Oryzaephilus mercator</i> (F.)	Escarabajo aserrado	Cereales y productos molidos
<i>Prostephanus truncatus</i>	Barrenador mayor de los granos	Cereales (maíz principalmente)
<i>Rhyzopertha dominica</i> (F.)	Barrenillo de los granos	Cereales (trigo principalmente)
<i>Sitophilus granarium</i>	Gorgojo de los cereales	Granos de cereales
<i>Sitophilus oryzae</i> (L.)	Gorgojo del arroz	Cereales (arroz, sorgo y trigo)
<i>Tenebroides mauritanicus</i>	Carcoma grande del grano	Cereales y productos molidos
<i>Tribolium castaneum</i>	Gorgojo de la harina	Cereales y productos molidos
<i>Tribolium confusum</i>	Gorgojo confuso de la harina	Cereales y productos molidos
<i>Trogoderma granarium</i> (E.)	Gorgojo Kapra	Cereales y leguminosas secas
<i>Acanthoscelides obtectus</i>	Gorgojo pardo del frijol	Frijol
<i>Zabrotes subfasciatus</i> (B.)	Gorgojo pinto del frijol	Frijol
<i>Callosobruchus maculatus</i>	Gorgojo del garbanzo	Garbanzo, chícharo y caupí
<i>Cryptolestes ferrugineus</i>	Escarabajo plano de los granos	Cereales y oleaginosas

Fuente: U.S.D.A, 1979; Jamieson y Jober, 1975; Davey, 1965.

Características Generales de los Insectos

Los insectos son artrópodos, con un cuerpo basal que consiste de un número de segmentos de apéndices articulados unidos y un exoesqueleto. Este último está compuesto por un material vítreo, el cual es la fuente de los fragmentos de insectos en harinas y otros productos procesados. La mayoría de los insectos encontrados en granos o harinas incluyen gorgojos, moscas y palomillas.

Los cuerpos vivos y muertos de los insectos y hongos, así como también la cutícula de las mudas, pueden contaminar los productos alimenticios. La biología y el comportamiento entre los insectos de productos almacenados varía considerablemente. Bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad relativa (27°C/70 % H.R.), los insectos típicos de productos almacenados, tales como los gorgojos, tienen un ciclo de vida de casi 30 días de huevecillo-adulto. La hembra pone alrededor de 200 a 300 huevecillos durante su vida y los adultos viven sólo pocos meses (Mills y Pedersen, 1991).

*Los granos con 12-14% de humedad son ideales para insectos de productos almacenados; cualquier reducción abajo del 12% disminuye su desarrollo. Granos con 10% de humedad o menos, no son dañados severamente por los insectos, aunque Rhyzopertha dominica F. puede dañar granos secos. En las harinas, los insectos pueden desarrollarse a contenidos de humedad muy bajos; mientras que los hongos tienden a desarrollarse cuando se exceda del 14% de humedad y la severidad dependerá tanto del contenido de humedad como de la temperatura.

Tabla 5. Contenido de humedad máxima de algunos granos para evitar deterioro en el almacén.

Grano	% de Humedad
Maíz (desgranado)	13.0
Maíz (harina)	17.5
Arroz (pulido)	12.0
Sorgo	13.5
Trigo (grano)	13.5
Trigo (harina)	12.0
Frijol	14.0
Lenteja	14.0
Chícharo	14.0
Frijol Soya	14.0

Fuente: Hall, 1970.

Los insectos tienen sistema hemolinfático frío, lo cual quiere decir que a diferencia de los mamíferos y las aves, no pueden mantener una temperatura corporal constante con los cambios de temperatura ambiente. Se cree que la mayoría de los insectos de productos almacenados, son de origen tropical o subtropical y por lo tanto, tienen dificultad de sobrevivir a temperaturas extremas. La temperatura óptima para la mayoría de los insectos de productos almacenados es entre 24 - 30°C; cuando la temperatura disminuye, el desarrollo y metabolismo es más lento. Abajo de los 10°C, los insectos no son muy activos y a temperaturas menores de 4°C, la actividad virtualmente cesa y sobreviven solo varias semanas, pero no se alimentará, reproducirá o desarrollará. Temperaturas arriba de 35°C retardan el desarrollo y reproducción, y a 40 - 45°C muchas especies mueren (Hill, 1990).

La temperatura, contenido de humedad y humedad relativa, tipo de alimento, tiempo de exposición y las especies, todas ellas interactúan haciendo imposible precisar la vida óptima. Sin embargo, el conocimiento de las condiciones óptimas aproximadas para el desarrollo de los insectos y la influencia de factores ambientales específicos, pueden ser de gran ayuda para manipular esas variables con el fin de limitar o prevenir el desarrollo de insectos.

Descripción del Insecto Rhyzopertha dominica.

El cuerpo del adulto es cilíndrico y mide cerca de 3 mm. El protorax forma una capucha que cubre la cabeza con puntos descendentes; las alas cubiertas tienen filos o indentaciones, pero aparecen generalmente brillosas; cada antena tiene una terminal trisegmentada libre, tubérculos distintivos en la

parte superior y cerca del margen frontal del protorax, pueden apreciarse con una lente de aumento o microscopio (Dobie y col., 1972).

La mayoría de las larvas se desarrollan dentro del grano entero y son raramente visibles, son blancas con tres pares de patas, su cuerpo es generalmente curvado en forma de una semi "C". La cabeza está parcialmente retirada del torax, parece ser más delgada en el centro que al final. Inmediatamente después de la pupación, la larva se endereza haciéndose la cabeza y el protorax visibles. La hembra pone de 300 a 400 huevecillos, estos pueden ser colocados entre los granos y agruparse en más de 45, pero no son depositados en el interior del grano, son blancos y se asemejan a una pera. Cada huevecillo se incuba en 6 - 10 días y se convierte en una larva muy pequeña, que busca un lugar para entrar al grano. Aunque la larva puede entrar muy fácilmente a través de una fractura del pericarpio, también puede masticar y hacer su camino hacia adentro del grano donde se alimentará y crecerá hasta la pupación. Si falla al entrar en el grano, puede alimentarse y desarrollarse fuera en granos quebrados y polvo presente (partículas del endospermo) (Figura 2).

El adulto recién formado permanece en el grano por 4 - 5 días. Desde la puesta del huevecillo hasta la emergencia del adulto en el grano, se requiere cerca de 38 días (Hill, 1990)

Una infestación con R. dominica es caracterizada por la presencia de mucho polvo, y el olor a hongos es perceptible si la infestación es muy pesada. R. dominica pertenece a los insectos perforadores de madera, los cuales expelen polvo cuando cavan, tal como lo hacen en los granos. El polvo

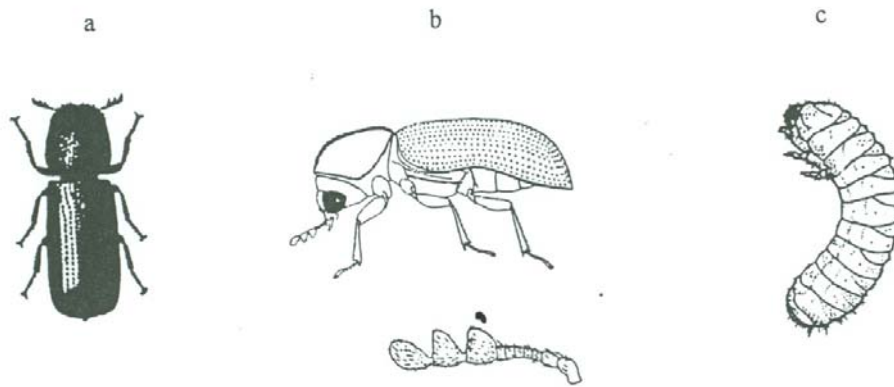


Figura 2. a) Vista superior de Rhyzopertha dominica F., b) Vista lateral y antena con segmentos, c) larva.

es principalmente materia fecal, pero también incluye parte de endospermo. Si una infestación no es muy pesada, el polvo puede ofrecer resistencia al flujo del aire durante la aireación y causar una distribución desigual y sorción de fumigantes (Mills y Pedersen, 1991; Ramírez, 1976).

Cambios Químicos y Funcionales en Trigo por Efecto de la Infestación de

Insectos.

Relativamente muy poca información ha sido publicado sobre este punto. Algunos estudios existentes hasta ahora sólo hacen referencia sobre aspectos particulares; por ejemplo, en algunos casos, se hace mención de que la infestación por insectos está asociada a la pérdida de peso, porcentaje de grano dañado y pérdida de germinación, así como con una reducción en la extracción de harinas de alto grado, la cual tiende a ser proporcional al grado de infestación (Salunkhe, 1986). Liscombe (1962) reportó una disminución en rendimiento de molienda del 45% en trigo infestado.

Generalmente la harina contaminada con insectos es rechazada más por razones estéticas y de salud, que por los efectos de las excreciones y secreciones, las cuales afectan las propiedades funcionales y la calidad organoléptica del producto contaminado. Sin embargo, actualmente el daño a la salud no está completamente claro, con la posible excepción de que se piensa que la secreción de quinona producida por Tribolium castaneum pudiera ser un importante carcinogénico (Pomeranz, 1992).

Chittenden (1986) observó que una fuerte infestación con Tribolium spp. convertía los productos de cereales en una masa gris y sin uso, caracterizada por un olor persistente y desagradable. Doane 1918 reportó que aún cuando Tribolium spp. impartía un olor fungoso y desagradable a la harina infestada, el pan hecho a partir de ésta, prácticamente perdía ese olor cuando éste se enfriaba. Payne (1925) encontró que las secreciones de Tribolium confusum afectaban la viscosidad de la harina y la elasticidad de la masa.

Smith y col. (1971) reportaron que el pan hecho a partir de harinas previamente infestadas con Oryzaephilus surinamensis (L.), Tenebrio molitor L., Tribolium castaneum (Herbst) y Tribolium confusum (du Val), presentaba cambios en sus propiedades de panificación y organolépticas después de 1, 2 y 3 meses de infestación. Aunque en el pan hecho con la harina infestada con O. surinamensis y T. molitor, revelaron cambios mínimos en los atributos físicos, también fueron detectados sabores y olores “quimo-fenólicos”. El pan preparado con la harina infestada con T. castaneum y T. confusum, mostró algunos cambios funcionales, tales como una reducción en el volumen de la hogaza, oscurecimiento progresivo de la corteza y un distintivo sabor y olor repulsivo, el cual se intensificaba después de un largo período de infestación.

Los datos anteriores confirman la hipótesis de que las secreciones de quinonas afectan adversamente las evaluaciones de calidad del pan elaborado con harina infestada por Tribolium, y lo cual, además, puede ser un factor importante en la disminución de la calidad de panificación. Estudios posteriores por Smith y col. (1972) mostraron que el pan preparado con harina infestada

con Tribolium audax (Halstead), T. brevitornix (Leconte), T. castaneum (Herbest), T. confusum (du Val), T. destructor (Uyttenboogaart) y T. madens (Charpentier), presentaban los mismos cambios anteriormente mencionados, y que éstos se presentaban más marcados en aquellas harinas infestadas con T. castaneum y T. confusum.

En otras investigaciones se ha encontrado que el gluten obtenido a partir de harina infestada durante 4 a 5 meses con el insecto rojizo de las harinas, era muy quebradizo, lo cual traía consigo un pan con hogaza de poco volumen, sin contar que además era inaceptable por su sabor amargo y mal olor (Salunkhe, 1960). Por otra parte, Girish y col. (1975) observaron un decremento en el contenido de gluten del 7.5 a 10% y un valor de sedimentación de 12% en trigo infestado con el gorgojo Khapra. Sin embargo, es claro que todos estos cambios funcionales, están asociados a cambios en los componentes del grano. Algunos estudios sobre este punto muestran que la infestación por el gorgojo Khapra en trigo almacenado disminuyen el contenido de proteína de 12.2 a 7.0%. Lo anterior se atribuye al consumo del germen por los insectos. Sharman y col. (1975) observaron incrementos considerables en el contenido de ácido úrico en grano infestado con el gorgojo del arroz, seguido por el gorgojo rojizo de las harinas y el gorgojo Khapra. Lo anterior es de gran importancia, dado que el nivel de ácido úrico ha sido sugerido como un índice confiable del nivel de infestación para la aceptabilidad y consumo de granos (Pomeranz, 1992; Salunkhe, 1986; Sharman y col., 1979).

El-Dessouki y El-Kifl (1976) reportaron una disminución en el contenido de proteína del 48 % en trigo infestado por la palomilla de los granos

Angoumois, durante 10 meses de almacenamiento. Así también trigo almacenado a 27°C y 70 % de humedad relativa e infestado con el gorgojo del arroz, exhibió un 18 % de pérdida en su contenido de proteína. Pero además de esta pérdida en contenido de proteína, el grano almacenado con insectos ocasiona una desnaturalización de las proteínas y por lo cual disminuye su solubilidad.

Aún más, debido a que en gran parte los insectos atacan además el endospermo, ésto trae pérdidas considerables en el contenido de almidón. Adams (1977) reportó que cuando se infestó trigo con el gorgojo del arroz a 27°C/70% H.R. por 14 semanas, se presentaron pérdidas cercanas al 38 % en materia seca y 43 % de almidón. Así mismo, El-Dessouki y El-Kifl (1976) y Pingale y col. (1954) reportaron que el contenido de almidón disminuyó en un 13 %, mientras que los azúcares reductores y no reductores se incrementaron en un 140 y 113 %, respectivamente, en trigo infestado con Angoumois, mejor conocida como “palomilla de los granos”, en comparación con grano no dañado.

• Sin embargo, Sharman y col. (1979) observaron que estos azúcares y los solubles en agua disminuían en el grano de trigo, cuando era infestado por el gorgojo del arroz, el gorgojo Khapra y el gorgojo rojizo de la harina, al compararlo con el control. Lo anterior se atribuía al consumo de los azúcares que son formados durante la hidrólisis del almidón como efecto del crecimiento y multiplicación de los insectos. Además de esto, debe de considerarse que el consumo de germen y endospermo pueden dar también como resultado pérdidas de minerales y vitaminas (Swaminathan, 1979).

Sudesh y Amin (1992) realizaron estudios sobre la digestibilidad de proteína y almidón en granos de maíz, trigo y sorgo, con poblaciones separadas de *R. dominica* F., *Trogoderma granarium* E. y una mezcla de ambos insectos hasta obtener niveles de infestación de 25, 50 y 75%. Los resultados mostraron que tanto la digestibilidad del almidón, como de la proteína se incrementaba marginalmente durante el almacenamiento en los tres tipos de granos. En el caso del sorgo la digestibilidad se incrementó significativamente después de los cuatro meses de almacenamiento. Además, se observó que tanto la infestación separada, como la mezcla de poblaciones afectaban adversa y significativamente los parámetros analizados. Por otro lado, se encontró que el tipo de alimentación de los insectos era determinante. Así la alimentación *T. granarium* caracterizado por alimentarse principalmente del germen, producía básicamente una reducción en la digestibilidad de proteína. Lo contrario sucede con *R. dominica*, la cual se alimenta del endospermo y la reducción que se aprecia es en la digestibilidad del almidón. Tomando en cuenta además, que ésta reducción fue dependiente de la distribución de proteína y almidón en las semillas analizadas (Sudesh y Kapoor, 1992)

Parámetros de Calidad en Harinas de Trigo

Al hablar de calidad en harinas, son numerosos los factores involucrados en este aspecto. Sin embargo, se asume que al menos dos son los factores más críticos de calidad involucrados: primeramente los que son inherentes al grano de trigo y que son el resultado de componentes genéticos de una variedad y clase en particular, además de cambios ocasionados por condiciones

ambientales (calor, heladas, lluvias, entre otras) y enfermedades, y en segundo término, aquellos que pueden presentarse durante la conversión del grano en harina, algunos de ellos controlables bajo ciertos límites.

Generalmente se ha aceptado que las propiedades mecánicas o reológicas de la masa juegan un papel importante en la calidad de los productos finales. Cuando una harina es reciente, tiene la particularidad de mejorar su calidad de panificación a medida que transcurre el tiempo. Sin embargo, hay un límite después del cual no se puede lograr una mayor mejoría, pudiendo, en cambio, existir una disminución en las cualidades logradas. Durante este período que se conoce como maduración, la harina adquiere características reológicas mejores, lo que hace posible obtener productos de buena calidad (Christensen, 1974).

De esta manera, las propiedades reológicas de las harinas, son de gran importancia en la industria de la panificación, y su conocimiento conduce a la obtención de productos cuya calidad puede controlarse durante su procesamiento.

Evaluaciones Físicas y Químicas de las Harinas

Actividad Amilásica. La harina de trigo contiene una diversidad de enzimas, siendo las más importantes la alfa y beta amilasa. La alfa amilasa ataca a los dos componentes del almidón, es decir la amilosa y la amilopectina, rompiendo las cadenas en sus diferentes uniones, así como en los puntos de ramificación de la amilopectina. De este modo se producen dextrinas que constan de cadenas cortas y de bajo peso molecular. Al producirse las dextrinas

cambia la consistencia de la masa, tornándose más suave y extensible, lo cual facilita su manejo, así como un gran esponjamiento del pan (Blish y col., 1983).

La enzima alfa amilasa no ejerce ninguna acción sobre el gluten, por ello, aunque la masa se suaviza, no pierde su estabilidad. La enzima beta amilasa sólo puede atacar al almidón por los extremos de las cadenas, desprendiendo cada vez una molécula de maltosa.

En las harinas para panificación, el valor fermentativo es un factor primordial para predecir su uso; éste es determinado por la actividad amilolítica de la misma (Geoffroy, 1980). La actividad amilolítica de la harina, la naturaleza del trigo y el tipo de molienda, se expresan mediante la actividad del índice de maltosa. El método de Blish y Standest establece un rango de 230-350 mg de maltosa por 10 gr de harina para producir un pan completamente satisfactorio (Bennion, 1969).

Actualmente existe un equipo conocido como ‘‘Falling Number’’, el cual es útil para la determinación de la actividad alfa amilásica, y es aplicable para grano, harina y otros productos que contengan almidón, en particular trigo y arroz. El método se basa sobre la rápida gelatinización de una suspensión de harina en un baño de agua caliente y la subsecuente medición de la licuefacción por la alfa amilasa del almidón contenido en la muestra. La medición se realiza tomando el tiempo en segundos requeridos para que el agitador colocado dentro del tubo del viscosímetro recorra una distancia estándar a través de la suspensión de almidón gelatinizado. Los valores obtenidos son utilizados para predecir la calidad de la harina obtenida.

Comportamiento Farinográfico. Los farinogramas de las harinas se llevan a cabo por medio del Farinógrafo, el cual determina el probable rendimiento del pan que puede producir una harina, midiendo tanto la absorción de agua, así como el acondicionamiento de la masa y la resistencia que presentará a su fermentación (Bennion, 1969). De igual forma, el farinógrafo se puede utilizar para estudiar la influencia de todo tipo de mejoradores sobre la consistencia y características de la masa (Kunerth, 1985).

La forma de la curva que se obtiene en el farinógrafo varía según el tipo de harina y la naturaleza de los aditivos. En general, se puede decir que cuanto más tiempo resiste una harina al proceso de amasado, tiende a ser más fuerte y la influencia del aditivo se demuestra del mismo modo. Mediante la interpretación del farinograma se puede deducir la siguiente información: consistencia, estabilidad, elasticidad y extensibilidad y debilitamiento de la masa. A continuación se detallan cada uno de ellos.

Consistencia. Este y la capacidad de absorción de agua se deducen de la cantidad de agua necesaria para producir una masa de consistencia correcta, que llega a la línea de 500 unidades Brabender. Esto, cuando se prueba una harina con buena capacidad de absorción, se tendrá que ajustar a dicha línea, pues el pico de la curva subirá bastante por encima de este nivel. El ajuste se ha de hacer con cada tipo de harina a probar, para mantener el pico de la curva en esta línea.

Estabilidad. Este factor indica el tiempo que transcurre hasta que se debilita la masa y, es una medida de la cantidad de fermentación que resistirá una harina, y en cierto modo, es una indicación de la tolerancia de la misma

al tiempo de fermentación. También es una medida del exceso de amasado que resiste una harina antes de que ésta empiece a debilitarse.

Elasticidad y Extensibilidad. La anchura de la banda es una medida de la dureza de la harina y de su elasticidad.

Debilitamiento. Queda representado por la caída de la curva por debajo de la línea de 500, durante un período determinado del amasado (Kunerth, 1985).

Alveogramas. La técnica alveográfica es una de las más utilizadas como prueba de rutina para las harinas de trigo. La masa preparada de una harina a prueba bajo condiciones estándar de adición de agua y mezclado, es extendida y cortada en piezas circulares. Después de un período de reposo, se sujeta a una extensión biaxial inflando la masa en forma de globo hasta que se rompe. La presión en el globo es medida por un manómetro y registrada en una hoja como función del tiempo. La masa es inflada por el aire desplazado debido al agua introducida a una cámara de cristal (Pratt, 1978).

- Las interpretaciones obtenidas de un alveograma en términos de calidad de la harina, están basadas en algunas relaciones establecidas empíricamente entre la forma del alveograma y el comportamiento de la masa durante el proceso de panificación.

Recientemente se aceptó que la presión interna (P) es un índice de la resistencia de la masa a la deformación (ISO, 1983). La abscisa de ruptura (L) es generalmente tomada como una medida de la extensibilidad de la masa. El cociente de la división entre la presión interna (P) y la abscisa (L) ha sido

sugerido por muchos investigadores como un medio útil para predecir la calidad de la harina (Maes y Pirotte, 1957; Chopin, 1972).

La energía de deformación (W) representa la energía necesaria para inflar la masa antes de la ruptura. Esta energía es frecuentemente tomada como una medida de la fuerza de la harina; el índice de hinchamiento (G) está relacionado principalmente con la viscosidad de la masa (Scott y Potel, 1937).

Comportamiento Amilográfico. Entre las propiedades más importantes del almidón está la de producir una pasta viscosa y que se forma cuando una suspensión de gránulos de almidón se calienta por arriba de su temperatura de gelatinización. El hinchamiento de los gránulos y su desintegración subsecuente por calentamiento prolongado, conduce a cambios significantes en la viscosidad y otras propiedades reológicas de la pasta, las cuales son características del tipo de almidón que se trate. Estos cambios ofrecen información clave de la calidad del almidón (Pratt, 1978).

El amilógrafo Brabender es un aparato que produce una pasta viscosa a partir de una suspensión acuosa de harina de trigo o cualquier otro material almidonoso. Este proceso de gelatinización se produce durante una agitación constante en el tazón del amilógrafo con un aumento de temperatura de 25 a 95°C a una velocidad constante de 1.5°C por minuto.

Los parámetros de importancia práctica obtenidos en el amilógrafo, son los siguientes: temperatura de gelatinización, máxima viscosidad al calentamiento, viscosidad de la pasta final del horneado, aumento de viscosidad al enfriado y viscosidad de la pasta fría (Bloksma, 1978).

Medición de Gluten. El “glutomatic” es un aparato automático el cual desarrolla el gluten de la harina de trigo. El mezclado de la masa y la separación subsecuente del almidón y otros componentes solubles de la masa, se lleva a cabo en la misma cámara de prueba bajo condiciones estandarizadas. La prueba del gluten da, en unos minutos, una medida de la cantidad de proteína y una indicación de su calidad permitiendo una decisión rápida para su uso. Las alteraciones ocasionadas por el calor y el daño por insectos son directamente revelados como en ninguna otra prueba simple. El gluten de la harina dañada es difícil de lavar, disminuyendo su cantidad y presenta obscurecimiento (Pratt, 1978).

La sencillez de la determinación del gluten provee información importante, y es una prueba práctica para la clasificación de trigos y harinas de trigo para su manejo y procesamiento.

Con el glutomatic, se puede obtener el gluten en forma seca y húmeda. En forma húmeda se puede examinar la elasticidad como un factor de calidad de las harinas, y en forma seca proporciona una buena correlación con la cantidad proteica del gluten (Manual del Glutomatic por Falling Number).

Color. Una de las propiedades físicas de la harina es la determinación de color. Su determinación puede ser usada para evaluar el grado de refinamiento de las harinas y para estimar posibles contaminaciones de material extraño.

La medición de color en las harinas de trigo se puede llevar a cabo por medio del fenómeno de reflectancia. Esta se basa en el principio de registrar la luz absorbida por el color negro o la reflejada por el color blanco, así como la descomposición de la luz en los colores básicos y la mezcla de ellos.

El instrumento Agron M-500 A es un espectrofotómetro de lectura directa de la reflectancia, diseñado para medir la calidad espectral relativa de productos, como son líquidos, pastas, polvos, cremas, granos, y cualquier otro material del cual se pueda preparar una muestra de consistencia uniforme.

Este espectrofotómetro tiene cuatro espectros a seleccionar: rojo, verde, amarillo y azul. Productos claros, tales como el papel, harinas, polvos y productos lácteos, dan generalmente los resultados más significativos en el espectro azul. En cada uno de los espectros, el aparato se calibra utilizando discos de reflectancia relativa estándar con el fin de que la muestra pueda ser comparada con los niveles de reflectancia conocida en el rango del espectro deseado. La lectura numérica de la reflectancia relativa se proporciona en una escala numérica del 0-100%. Los valores elevados indican la tendencia de la muestra a reflejar la luz y, por el contrario, a medida que disminuyen los valores, la muestra es más oscura o refleja menos luz (Manual del Agron M-500 A).