

60794



ÁLVARO CASTILLO NIÑO

Almacenamiento de Granos

ÁLVARO CASTILLO NIÑO



Almacenamiento de Granos

4 Edición Actualizada
+ Capítulo adicional

Alvaro Castillo Niño

**ALMACENAMIENTO DE GRANOS
Aspectos Técnicos y Económicos**

4a. Edición, ampliada y revisada



EDIAGRO

ESTUDIOS Y DISEÑOS AGROINDUSTRIALES LTDA.

Cuarta Edición, Bogotá, D.C. 2009, preparada para FENALCE
® Derechos Reservados por Ediagro Ltda.

En caso de que este libro sea utilizado como fuente para trabajos de grado universitario, artículos de revistas o libros, los autores agradecerían el envío de una copia a su dirección en Colombia: Apartado Aéreo 58743, Bogotá, D.C.

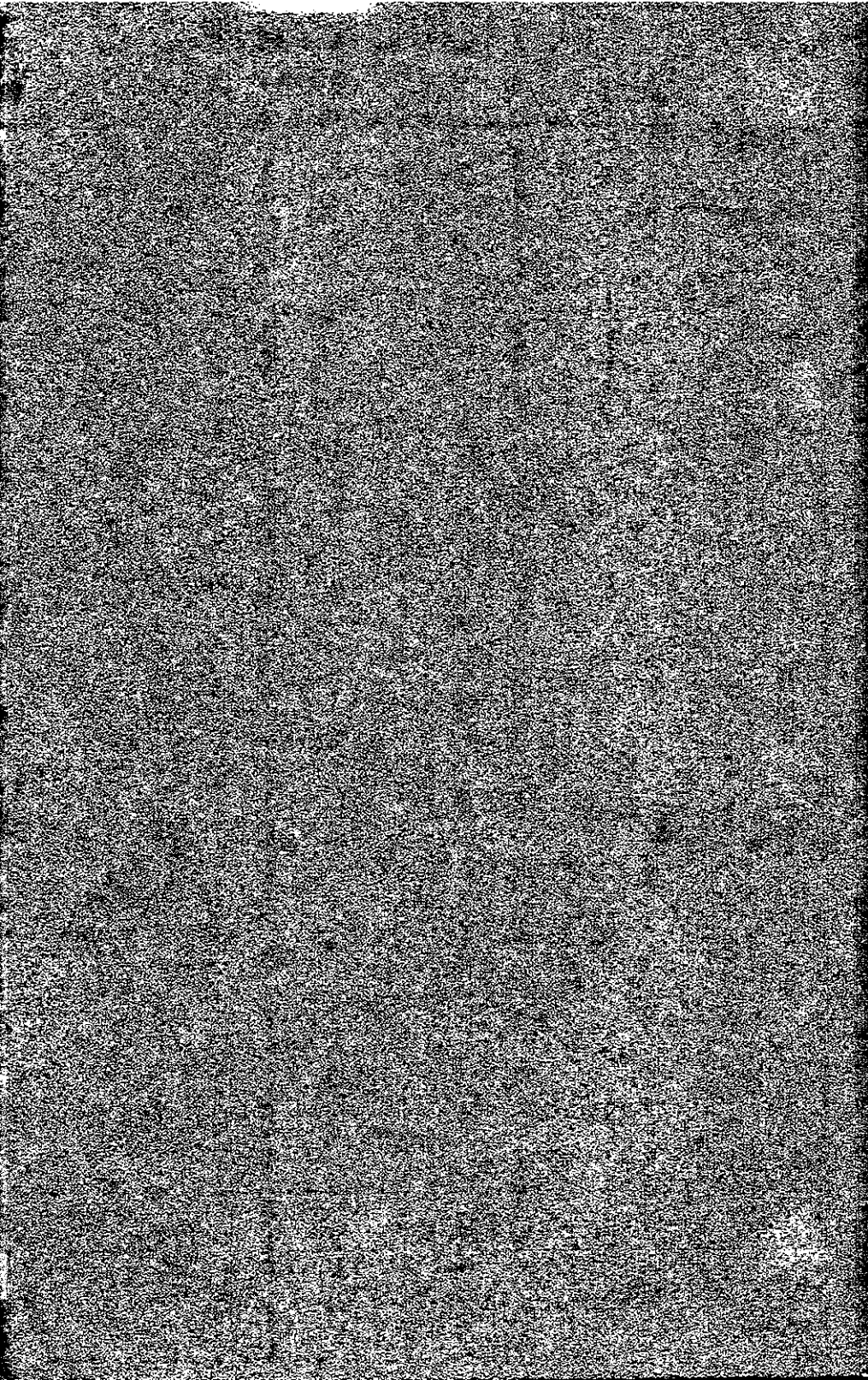
Ninguna parte de este libro puede ser reproducida sin permiso escrito de Ediagro Ltda.

Diseño y edición gráfica: manuelarmisenromo@yahoo.es

EDIAGRO LTDA.
Carrera 9a. No.94A-32 Oficina 307
Tel/Fax: (571) 6115254 - (571) 6115428
E-mail: ediagro@colomsat.net.co
Página Web: www.ediagro.com
Bogotá, Colombia

Impreso en Colombia - Printed in Colombia

A Gonzalo, mi padre



CONTENIDO

	Pag.
Prólogo: por Napoleón Viveros Arciniegas, Gerente de Fenalce	
Introducción	17
Capítulo 1: Producción y almacenaje de granos en América precolombina	25
Capítulo 2: Almacenaje de granos y estabilización de precios	39
Capítulo 3: Análisis económico de proyectos de almacenaje	67
Capítulo 4: Factores que inciden en la conservación de granos almacenados	103
Capítulo 5: Aspectos técnicos sobre secamiento	135
Capítulo 6: Aspectos teóricos sobre la humedad de los granos	151
Capítulo 7: Operaciones en plantas de granos, equipo mecánico, combustibles	179
Capítulo 8: Almacenamiento	239
Capítulo 9: Factores variables que afectan la fumigación de los granos	271

	Pag.
Capítulo 10: Recomendaciones para tratar y almacenar maíz y sorgo	293
Capítulo 11: Secado de Arroz	321
Capítulo 12: Recomendaciones para almacenar y tratar soya y Frijol	361
Apéndice: Proyecto para evaluación de pérdidas de post- cosecha de granos almacenados	379
Capítulo Adicional: Secado de Maíz para producción de Arepas	383

PROLOGO

La primera edición del libro de Álvaro Castillo sobre "Almacenamiento de Granos" se publicó hace cerca de 30 años. Posteriormente se han hecho varias ediciones y reimpresiones que lo han mantenido actualizado.

Fenalce se complace en ser partícipe de una nueva reimpresión que incluye un capítulo adicional sobre el "Secado de Maíz para Arepas".

Como es característico en los trabajos del autor, el libro nos ofrece un *panorama técnico y económico completo* de los cultivos de granos, enriquecido con datos históricos y anotaciones culturales de diferentes países de América Latina.

En ocasiones anteriores, quien esto escribe, ha dicho que: "aunque continuamos teniendo una dependencia muy grande de las importaciones, nuestro país es un privilegiado, porque tiene para donde crecer, hacia donde ampliar fronteras y enormes posibilidades para aumentar la producción de alimentos. La única forma de prevenir una futura crisis alimentaria es realizar ahora importantes inversiones, demostrarles a los productores señales claras de estabilidad y diseñar políticas de crédito, comercialización, e infraestructura. Todo, para que se pueda crecer en el campo".

Por la anterior razón Fenalce celebra toda *iniciativa nacional* de profundizar en temas técnicos y avanzar en teorías y análisis frente al cultivo de los cereales.

Deseamos resaltar especialmente una frase de John Hawthorn, que menciona el autor: "Como lo muestra la experiencia, en los últimos 25 años (casi 50 años, hasta nuestros días), los problemas de los países en desarrollo pueden ser únicamente resueltos por quienes en ellos viven. Los asesores internacionales, aún los mejor mencionados, inevitablemente tienden a recomendar soluciones que se acomodan a su propia cultura y al nivel tecnológico de su país de origen".

Napoleón Viveros Arciniegas

Gerente de Fenalce

Mayo 2009



ALMACENAMIENTO DE GRANOS
Aspectos Técnicos y Económicos

INTRODUCCION

“Como lo muestra la experiencia de los últimos 25 años, los problemas de *los países en desarrollo pueden ser* únicamente resueltos por quienes en ellos viven. Los asesores internacionales, aun los mejor intencionados, inevitablemente tienden a recomendar soluciones que se acomodan a su propia cultura y al nivel tecnológico de su país de origen.”

John Hawthorn, Interaction of Agriculture with food science⁽¹⁾

Colombia ha sido en toda su historia un país agrícola. Creo que la mayor parte de mi generación (la nacida en los años 40) y la anterior, recordará la figura del padre o la del abuelo, que dividía el tiempo en las dos actividades principales de su época: la agricultura y alguna de nuestras interminables guerras civiles; la del señor “feudal” criollo que vivía *austeramente en la casa de la hacienda, rodeado de labriegos humildes*, que cultivaban la tierra y producían apenas lo necesario para alimentar a sus señores, a sus propias familias y, en contadas ocasiones, un pequeño sobrante que se vendía en el pueblo vecino.

Quienes tuvieron oportunidad de recorrer los campos de Colombia hace 30 o más años y aun quienes hoy recorren las zonas de tierra fría, los cultivos de ladera de Cundinamarca, Boyacá, Nariño . . . recuerdan la imagen del campesino ignorante y pobre, vestido de remiendos, que cultiva su pequeña parcela con la ayuda de toda su familia, para recolectar una reducida cosecha, cuya mayor parte sería consumida por él

mismo. Pero al lado de este campesino se ha formado el agricultor-empresario, que utiliza máquinas y técnicas modernas para conseguir cosechas de altos rendimientos, que alimentarán gentes que viven en ciudades, y aun países, distantes.

Durante la imposición que el IICA hiciera en 1975 de la Medalla Agrícola Interamericana a Jorge Ortiz Méndez, como reconocimiento a su labor de creador de empresas e institutos agrícolas, el Ministro de Agricultura de Colombia, recordó: "Hace apenas 25 años todos estos cultivos y muchos otros apenas salvaban el umbral del letargo colonial, Colombia importaba todo el algodón con que se vestía su pueblo, buena parte del arroz con que se alimentaba y el sorgo era un cereal apenas conocido por los innovadores"⁽²⁾

LA AGRICULTURA MODERNA: La introducción de la agricultura moderna en Colombia se inició un poco antes de 1950; nuestro proceso de industrialización, consolidado durante los años de la guerra por las naturales dificultades de abastecimiento, se orientó hacia la producción de bienes de consumo relativamente simples: alimentos, textiles, bebidas, que utilizaban productos agrícolas como materia prima.

La aparición de esta agricultura ha modificado profundamente la estructura del sector agropecuario y, hasta cierto punto, la de todo el país. La emigración campesina a las ciudades, ha sido acelerada por la nueva agricultura y por la importación de alimentos, disfrazada inicialmente, en forma muy hábil, como ayuda desinteresada⁽³⁾.

La agricultura empresarial ha utilizado las mejores tierras desde el punto de vista de clima, facilidad de explotación, localización y fertilidad, en muchos casos desplazando explotaciones ganaderas, como ocurrió en el Valle del Cauca, Tolima y zonas del Cesar y Meta; aunque también se ha desarrollado en tierras nuevas que han sido "adecuadas": Saldaña, Roldanillo, María la Baja, Upía, o tierras naturalmente aptas del Cesar, Magdalena, Meta.

La agricultura moderna se caracteriza por su alta utilización de maquinaria, uso de sistemas de riego, semillas mejo-

radas de mayor vigor germinativo, mejores características genéticas de rendimiento y resistencia a las plagas, elevado uso de fertilizantes para mejorar los rendimientos, corregir anomalías del suelo y reponerle nutrientes extraídos, amplia (y, con frecuencia, indiscriminada) utilización de plaguicidas, que permiten el desarrollo de los cultivos sin competencias parásitas, pero que pueden causar daños biológicos y ecológicos difíciles de evaluar en corto plazo.

LAS COSECHADORAS COMBINADAS: En los cultivos tecnificados de granos, la recolección se efectúa con máquinas autopropulsadas, "combinadas", que en una sola operación efectúan la siega y la trilla y que permiten recolectar grandes extensiones en poco tiempo y poner a cubierto del clima, las aves, y los robos, el producto de la cosecha. Al mismo tiempo, estas máquinas han creado nuevos problemas de manejo y tratamiento, pues recolectan granos con mayor contenido de impurezas y humedad, que deben ser tratados en lapsos angustiosamente cortos, recargando no sólo las plantas de secado y almacenaje, sino los sistemas financieros y de transporte.

La simple producción de mayor cantidad de alimentos, no necesariamente aumenta la cantidad de alimentos disponibles para el consumo, ni reduce su costo de producción, ni mejora el nivel de vida de los pobladores de un país. Las pérdidas posteriores a la cosecha, los costos de producción y la desigual distribución de los ingresos, anulan o reducen los beneficios.

La agricultura moderna, por sus mismas características, imprime mayor dinamismo a todo el sistema económico: valoriza tierras, exige maquinaria, semillas, insumos agroquímicos, necesita sistemas de transporte, manejo, tratamiento y almacenaje ágiles; no puede subsistir sin sistemas financieros y comerciales adecuados y sin técnicos y empresarios capaces.

EL ALGODON EN COLOMBIA: Es ilustrativa la historia del algodón en Colombia, relatada por uno de sus principales

gestores: algunas compañías textiles consideran utópica la empresa de conseguir la autosuficiencia en la producción de la fibra. "Quién alcanza lo inalcanzable?; Colombia no podrá producir su propio algodón", fue el encabezamiento de un aviso de página completa, publicado por una de las principales fábricas de telas en un importante diario. En aquella época el consumo de algodón oscilaba entre 10.000 y 12.000 toneladas por año y nuestra producción era apenas de 4.000. Menos de 10 años después se había realizado el "milagro" . . . el consumo nacional se había elevado a más de 45.000 toneladas por año y además exportábamos una cantidad apreciable a pesar del aumento de la demanda interna⁽⁴⁾. Como se hizo el "milagro"? . . . simplemente integrando todos los factores que tenían incidencia en el programa, desde la parte técnica, hasta la comercialización del producto, con la participación decidida de todos los grupos: agricultores, industriales y Gobierno. Se atacaron y solucionaron problemas en el área de semillas, insumos agroquímicos, maquinaria, técnicos, mercadeo nacional e internacional.

El panorama anterior se descompuso nuevamente en los últimos años del decenio de 1970, los grupos se desintegraron y una difícil coyuntura fitosanitaria, condujo a la quiebra del sector algodonero, a la hipoteca de departamentos enteros, y a la pugna de los sectores industrial y agrícola, con la consabida aplicación del adjetivo ineficiente de un grupo al otro, y la inevitable discusión sobre las ventajas comparativas de producción del país.

LA INTEGRACION DE POLITICAS Y OBJETIVOS: La agricultura moderna es, por definición, artificial, y no medra eficazmente en ambientes desintegrados. Esta agricultura no es viable si no cuenta con apoyo financiero adecuado, si no está respaldada en forma continua por investigación científica, adecuada al medio y a las necesidades, si los sistemas de mercadeo son inadecuados y si no cuenta con respaldo del Gobierno en las épocas difíciles.

Una muestra de los resultados de una política agrícola incoherente, que desintegra los esfuerzos de cada grupo, fue

la discusión sobre el papel del IDEMA (Instituto de Mercadeo Agropecuario) sostenida entre los gremios, el Gobierno y otras entidades interesadas, en 1983 y 1984:

Para evitar la exagerada depresión de precios, originada en cosechas abundantes, se ha utilizado en Colombia la intervención parcial del Estado a través de los precios de sustentación. Con el uso de esta herramienta, principalmente, se ha intentado reducir las variaciones en los precios de los productos agrícolas de mayor importancia. La efectividad de las intervenciones, realizadas por el Idema, ha variado según la situación general de cada temporada de cosecha. El establecimiento de precios de sustentación, debe llevar consigo el compromiso estatal de adquirir a dicho precio todas las cantidades que se ofrezcan en condiciones de calidad aceptables, de lo contrario, ¿cuál sería el objeto? Parece obvio suponer que al darle al Idema dicha función, el Gobierno en alguna forma debe proporcionar al Instituto los recursos financieros necesarios, a los costos adecuados y en los momentos oportunos, condiciones que, generalmente, no se cumplen.

Los Gobiernos colombianos de los últimos años no han tenido una idea clara y estable sobre el papel que deben cumplir en la búsqueda de la estabilización de precios agrícolas, ni en el papel que debe cumplir el Idema. La orientación del Instituto ha cambiado de un extremo a otro; desde ofrecer (generalmente sin respaldo suficiente) la máxima protección a los agricultores contra descensos de los precios, hasta hacer de la búsqueda de unas utilidades su objetivo central. El Decreto 133 de 1976, que reestructuró el Idema, trata de compaginar los dos extremos; según él: el Instituto "tiene a su cargo la resolución del mercadeo de productos de origen agropecuario, mediante la compra, venta, almacenamiento, importación y exportación de los mismos". El diccionario define resolución, resolver, como "desatar una dificultad, hallar la solución a un problema" y, el mismo Decreto 133, en su artículo 45 dice que: la intervención del Idema en el mercado nacional e internacional, se hará en forma tal que resulte "rentable a nivel comercial". En ninguna parte del Decreto se explica cómo hacer compatible la resolución de

los problemas del mercado con la obligación de intervenir sólo en forma rentable.

En 1983, desde el más alto nivel del Gobierno, se manifestó que el Idema era la "vena rota de la economía" y sede de la más grande desorganización. La contraloría General de la República, meses después, "descubrió" que los precios de venta, de productos nacionales, del Instituto no alcanzaban a cubrir los costos de adquisición y sostenimiento de inventarios. Nuevas directivas del Idema manifestaron que el Instituto, en adelante, se limitaría a ser sólo comprador de "última instancia", ¡como si este no hubiera sido siempre su papel! Al mismo tiempo los Gremios agrícolas reclamaban mayores aumentos en los precios de sustentación y mayor agilidad en los pagos de las compras de Idema.

Mejores precios de garantía, prontitud en los pagos, compra con precios de sustentación y venta con precios de mercado, costos exagerados de sostenimiento de inventarios causados por medidas monetarias tomadas con análisis incompleto de sus efectos, prohibición de realizar operaciones no rentables, disminución del tamaño de una burocracia crecida desproporcionadamente por solicitudes de políticos, a lo mejor los mismos que después, desde el Gobierno, clamaban por la mejora en la eficiencia del Instituto. ¡Imposible integrar en un mismo programa solicitudes tan dispares!

LA SEGUNDA EDICION: En la primera edición de este libro se manifestaba el deseo de "ofrecer una visión global del proceso de producción moderno de granos, de su mercadeo, de las instituciones que intervienen en estos procesos, para facilitar la apreciación, con adecuada perspectiva, del sitio que ocupan las técnicas de conservación y su importancia relativa".

El título original de la obra "Secamiento y Almacenamiento de Granos, en Colombia y América Tropical" ha sido cambiado por el menos ambicioso "Almacenamiento de granos, aspectos técnicos y económicos", pues el tiempo transcurrido me ha permitido ver, con mayor claridad, que los

aspectos técnicos no tienen mayor relieve si no se dan las condiciones económicas y que el almacenaje mismo puede cumplir varias funciones diferentes: entre ellas, transferir los productos en el tiempo, y contribuir a la estabilización de precios, es decir a la disminución del riesgo agrícola.

Al igual que en la primera edición, debo manifestar que "El capítulo I —Aspectos de producción agrícola en la América Precolombina— tal vez parezca fuera de lugar a los interesados en los aspectos puramente técnicos y económicos; sin embargo quise desarrollar el tema, así fuera en forma sucinta, pues es interesante conocer cómo civilizaciones tan apartadas en el tiempo de la nuestra, solucionaron problemas similares, en ocasiones en forma sorprendentemente eficiente como los Incas y los Mayas. Tengo la intención de presentar el mismo tema, algún día, en forma más completa y en sitio más apropiado".

El capítulo X —Factores variables que afectan la fumigación de los granos— contiene el mismo material escrito para la primera edición por Luis José Lizarazo.

Aunque se ha tratado de mantener coherencia y unidad entre los diversos capítulos que componen este libro, se ha tenido, también, cuidado de facilitar la lectura de capítulos independientes, a quienes tenga interés sólo en algunos de los temas tratados, de tal manera que en algunos capítulos se repiten ideas y conceptos expresados en otros.

REFERENCIAS

- (1) HAWTHORN, J. Interaction of Agriculture with Food Science. Singapur, Feb. 1971.
- (2) IICA, Consejo Técnico Consultivo —Medalla Agrícola Interamericana, Bogotá, 1975.
- (3) CASTILLO, A. Comercio Internacional de Granos. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario, 1981.
- (4) ORTIZ, M.J. Discurso de aceptación de —Medalla Agrícola Interamericana, IICA, Bogotá 1975.

CAPITULO I

PRODUCCION Y ALMACENAMIENTO DE GRANOS EN AMERICA PRECOLOMBINA

Se conoce hace mucho tiempo la relación entre el avance de la cultura de un pueblo y el desarrollo de su agricultura.

Para Gordon Childe⁽¹⁾, la civilización fue el resultado de una revolución económica producida por la agricultura de riego, durante la cual los pequeños poblados de los valles del Tigris y Eufrates, del Nilo y del Indo, se convirtieron en ciudades; los agricultores produjeron alimentos y otras materias primas, en cantidad que excedía notablemente sus necesidades domésticas.

Los excedentes se utilizaron para alimentar la nueva población urbana formada por artesanos, sacerdotes, comerciantes y funcionarios públicos. La cultura urbana, y en consecuencia, la civilización, tal como se concibe hoy, es exclusiva de pueblos agricultores.

Los testimonios de los conquistadores y cronistas, y las investigaciones arqueológicas, han demostrado la existencia de núcleos urbanos importantes, de verdaderas ciudades en la América Precolombina; en México, Tenochtitlán tuvo en la época de la llegada de los españoles, una población que, se estima, no fue inferior a 100.000 habitantes, cifra que algunos autores hacen superior a 300.000. Este número, en esta época de crecimiento desmesurado de las ciudades, no impresiona demasiado, sin embargo para apreciarlo realmente y

comprender el asombro de los conquistadores ante la visión de Tenochtitlán, es necesario mencionar que entre las ciudades europeas de aquel tiempo, sólo 4 de ellas: París, Nápoles, Venecia y Milán tenían más de 100.000 habitantes⁽²⁾.

En menos de 200 años, la tribu Azteca, nómada y guerrera, fundadora de Tenochtitlán, dominó la región central de México, y su ciudad capital adquirió el esplendor y magnificencia que asombró a los conquistadores españoles de 1519.

Además de México, en América Central, existían otras ciudades importantes; Cempoala, por ejemplo, que ha sido investigada por arqueólogos en fecha reciente, llegó a tener una población de 80.000 a 120.000 habitantes y su construcción fue típicamente urbana: casas, palacios, templos, calles, plazas, sistemas de distribución de agua, etc.

En Suramérica existieron verdaderos centros urbanos en el actual Perú y ciudades de cierto desarrollo en los territorios que hoy conforman Ecuador y Colombia.

Las organizaciones más primitivas: tribus o simples asociaciones de familia, consiguen su alimentación con la recolección de frutas y caza de animales salvajes. Si la tribu deja de ser nómada y puede asentarse en un sitio, así sea en forma temporal, es porque posee los rendimientos técnicos para desarrollar una agricultura incipiente, pero por falta de conocimientos suficientes, se encuentra expuesta a catástrofes causadas por plagas, agotamiento del suelo, etc. Se ha dicho, con alguna razón, que la antropofagia, frecuente en estas tribus, corresponde realmente a un sistema primitivo de almacenaje de alimentos: los esclavos conseguidos se someten a un proceso de engorde para consumirlos en momentos de escasez.

La agricultura, es durante mucho tiempo en este proceso de desarrollo, una actividad complementaria, que realizan, generalmente, las mujeres. La recolección de frutos silvestres y la caza continúan suministrando la mayor parte de los alimentos.

Tal vez la primera técnica que se domina es la Roza o "Milpa"; se tala una sección del bosque, a veces totalmente,

y en ocasiones sólo con el corte de los árboles a la altura de un hombre, sin tocar las especies útiles ni descepar; se permite que la vegetación seque para después quemarla. Con chuzos o arados de pie como la Chaquijtalla Inca (Fig. 1.1), se abren hoyos en los cuales se depositan algunos granos de semillas; con azadas se hace una escarda periódica, con cuidado de no remover muy profundo el suelo para que no aflore la tierra profunda, generalmente mineral y estéril. Las dos primeras cosechas son abundantes, pues la quema controla eficazmente el desarrollo de malezas. Algunas zonas, después de producir dos o tres cosechas se agotan y la tribu las abandona por 10 o más años, para permitir su recuperación. En la región húmeda en el actual territorio de Guatemala, donde habitaban algunas tribus Mayas, el número de cosechas de maíz dependía, no de la fertilidad del terreno sino de la rapidez de la invasión de las malezas, incontrolable por medios manuales.



Fig. No. 1.1- El indio abre un hueco con la chaquijtalla donde la india deposita algunos granos de maíz que otra india tapa con la tanca (de Guaman Poma).

Cuando las Rozas se alejaban demasiado de la aldea, ésta se trasladaba total o parcialmente. El clima tropical y la abundancia de materiales utilizables para construcción, explican por qué en muchos casos se prefería emigrar, y construir un nuevo poblado, en lugar de continuar explotando un cultivo enmalezado⁽³⁾.

En los lugares donde las lluvias son casi permanentes, como el territorio del actual Departamento del Chocó, las siembras se hacían, y aún se hacen "al tapado", limpiando el terreno de ramas y arbustos, para permitir la siembra "al voleo" de los granos. Después de la germinación se terminaba la labor de desmonte⁽⁴⁾. El comercio con este tipo de agricultura tuvo, naturalmente, poca importancia y no requería casi ningún tipo de organización política.

Los métodos indígenas de agricultura en zonas tropicales y de ladera no son absurdos; experiencias dolorosas han probado que el hierro y el arado causan en la tierra de ladera mayores daños que el mismo fuego. El empobrecimiento dramático y las catástrofes de las zonas andinas del Ecuador sirven de ejemplo. "Antes de la conquista, como no había arado, no había erosión, o ésta era insignificante. Pero luego de algunos siglos de cultivar la tierra se produjo la primera catástrofe"⁽⁵⁾. La tierra fué incapaz de alimentar sus pobladores. Conforme se erosionaban las tierras de los declives inferiores, los cultivos y las habitaciones de los indios trepaban por las laderas de las montañas, llegando al límite físico de los cultivos y, aun, de las nieves.

Algunas tribus de inclinaciones belicosas y conquistadoras llegaron a dominar tribus vecinas; la disponibilidad de mano de obra adicional y el desarrollo de la organización social, permitieron construir obras de infraestructura y beneficio común: caminos, canales de irrigación, etc. Los sistemas de cultivo se tecnificaron; a las "Milpas" siguieron los barbechos con tala, quema y períodos de descanso más cortos, para las tierras situadas en la periferia de la aldea. Las habitaciones se complementaron con huertas aledañas, abonadas con desperdicios, y cuya producción permanente de alimentos contribuyó a estabilizar la población.

Obras de irrigación: En las sociedades urbanas más complejas, en América Precolombina, gradualmente, aparecieron nuevas estructuras: plazas para reunir la mayor población, templos religiosos, graneros para almacenar los excedentes de producción y los tributos. El granero reemplazaba la antropofagia, donde esta práctica hubiere existido, y permitía superar las crisis de producción con las reservas en ellos almacenados. El aumento de tamaño de las ciudades y de su población, en cualquier tipo de sociedad, hace indispensable incrementar la producción, especialmente de las tierras vecinas. El problema en América Precolombina no podía resolverse con el simple aumento de las áreas sembradas y la aplicación de un sistema de "secano extensivo"; la carencia de la rueda, de animales grandes de carga y de tiro y de una metalurgia relativamente avanzada, no permitía arar en corto tiempo extensiones grandes, y transportar desde distancias relativamente lejanas hasta los centros de consumo, una producción mayor. La agricultura de riesgo es, por el contrario, aplicable con una metalurgia relativamente primitiva, pero exige una mayor centralización política y la organización de trabajos cooperativos.

Para utilizar con éxito sistemas de regadío, en una sociedad pre-tecnológica, se requiere una dirección fuerte. La supervivencia del grupo depende de mantener todo el sistema de riego en buen estado. "Una fuerte organización sociopolítica parece ser el único recurso de un pueblo con tecnología poco desarrollada para realizar obras importantes"⁽⁶⁾. Es necesario organizar la distribución equitativa del agua, construir y mantener las obras de beneficio común: presas, canales, etc.

Es muy probable que la cultura urbana en América Precolombina, haya nacido en lugares con agricultura de riego, y desde estos lugares se haya difundido a otras zonas.

La mayoría de los sistemas precolombinos de regadío, parece haber tenido sólo importancia local y no haber requerido obras demasiado grandes —Hoy los llamaríamos mini-districtos de riego—. Sin embargo debe nombrarse, como excepción, el sistema llamado "Maravilla" en la antigua Teoti-

huacán en el valle de México (la nación donde nacieron los dioses, según los Aztecas), cuyo dique principal, parcialmente destruido hoy día, medía 530 metros de largo, 11 metros de alto y 7 de ancho en su parte central⁽⁷⁾.

No todos los sistemas de riego precolombinos son del mismo tipo de los construidos actualmente: las varias tribus del Valle de México desarrollaron las "chinampas", islas artificiales flotantes formadas con barro extraído del fondo del lago de Texcoco y, en las cuales, según Torquemada, México florecía, al sembrarse en ellas maíz, fríjol, calabazas, flores, chile, tomates y árboles.

Se construyeron, también, en México otros sistemas relativamente complicados para captar las aguas lluvias caídas en los cerros, con el fin de cosechar el maíz en la época más apropiada, antes de la llegada de las heladas.

El crecimiento del imperio de Tenochtitlán se debió a una combinación de varios factores: en primer lugar, al carácter mesiánico de los aztecas, a su conciencia de sentirse pueblo elegido para crear un gran imperio; después factores económicos, técnicos y políticos que les permitieron sostener una población creciente, con los recursos limitados del Valle, complementados con las conquistas que aseguraban un flujo permanente de tributos al imperio. La "matrícula de tributos", hermoso ejemplo de la pintura-escritura Azteca, muestra en algunas de sus páginas largas listas de tributos pagados por pueblos vencidos. La provincia de Chialpan, por ejemplo, entregaba 3.600 mantas, 100 hojas de hacha fundidas en cobre, 200 jarras de miel, 400 canastas de incienso, una cantidad grande de maíz y fríjoles, provisiones amplias de jadeíta (piedra utilizada principalmente con fines ceremoniales) y 1.200 vasijas de cerámica, además de cantidades grandes de atuendos guerreros, adornados con plumas de Quetzal⁽⁸⁾. Por la época de la conquista española los pueblos sometidos por los Aztecas, en total, enviaban a la ciudad anualmente, entre otros tributos, alrededor de 10.000 toneladas de maíz, 7.800 de fríjol, 6.000 de chíá (un grano pequeño), de acuerdo con los recuentos del código mendocino.

El mercado de Tenochtitlán llegó a reunir diariamente a más de 60.000 personas que comerciaban toda clase de artículos manufacturados y materias primas y, con justa razón, causó pasmo a los conquistadores en 1519⁽⁹⁾.

Más al sur, en los Andes, otro pueblo, al igual que el Azteca en el norte, recibió y aglutinó las herencias milenarias de otros pueblos y creó el imperio de Tahuantisuyo (las 4 partes del mundo), el más avanzado políticamente de todos los americanos, desarrollado en un país de topografía y clima difíciles. Por alguna de las extrañas fuerzas que regulan el desarrollo de las civilizaciones, estos pueblos optaron por vivir en las altas regiones andinas y no en zonas planas y bajas, donde, tal vez, la vida hubiera sido un poco menos difícil.

Con verdadero ingenio, el hombre de los Andes ideó formas de riego compatibles con sus escarpadas tierras que, mediante un elaborado sistema de andenes, además de contener la erosión, distribuía el agua económicamente. Inventó la terraza agrícola, el cultivo en escalones separados por caballones y *construidos con piedra partida en el fondo, mezcla de arena y tierra después y, por último, tierra vegetal*. La tierra contaba, así, con aireación adecuada y con riego conducido de las montañas por canales y acequias (Figura No. 1.2). Algunos autores (Pérez de Barradas, Paul Rivet . . .) (10-11), suponen que las terrazas agrícolas pudieron tener origen en las islas de Oceanía. En Indonesia, Filipinas y Malasia, las terrazas agrícolas alcanzaron gran desarrollo. En los trópicos americanos, se han encontrado vestigios de terrazas precolumbinas en las Sierra Nevada de Santa Marta y en Mérida (Venezuela)⁽¹²⁾.

La civilización Maya, que habitó zonas de los actuales territorios de México y Venezuela, tiene todavía enigmas en su desarrollo agrícola, al igual que en su aparición y desaparición.

Su florecimiento en zonas de "bosque tropical lluvioso", debió estar precedido por un largo período de desarrollo. La agricultura de Roza no podría haber sido la base de su desa-

rollo económico y florecimiento cultural. Se ha dicho que su repentina desaparición, el abandono de los centros ceremoniales, se debió al descenso de la productividad de sus tierras, agotadas por las continuas Rozas, pero sus 500 años de esplendor parecen demasiado tiempo, para aceptar la tesis del repentino empobrecimiento de los suelos.

Sistema Inca de irrigación

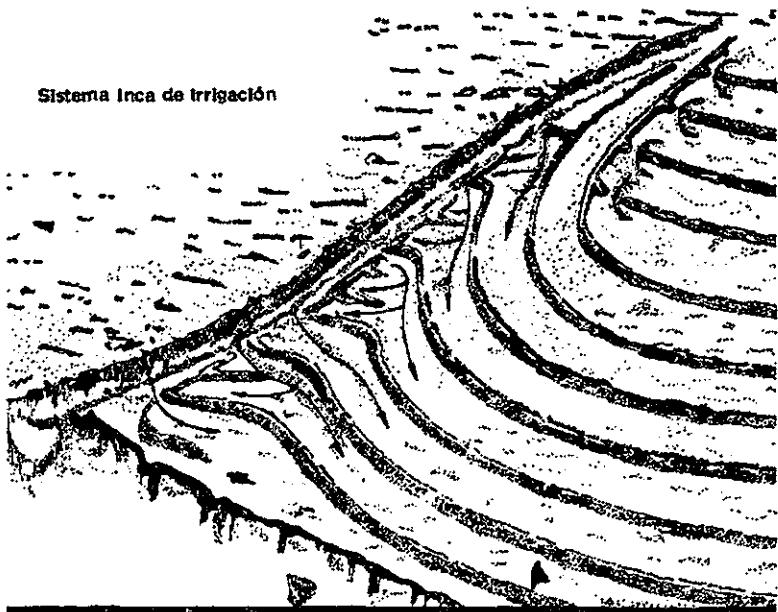


Fig. No. 1.2- Irrigación de los andenes agrícolas Incas

Los centros Mayas no eran realmente ciudades como las concebimos hoy día, sólo sitios en los cuales se congregaban para cumplir ceremonias religiosas y políticas. La fuerza de trabajo que alimentaba a los cuidadores de los templos, vivía dispersa y desarrollaba una agricultura mixta, Rozas, Barbechos y probablemente cultivos de tubérculos en regiones pantanosas, en las cuales los Mayas desarrollaron técnicas de cultivo parecidas a las usadas en las "Chinampas" del Valle de México.

En las zonas tropicales, mejor dotadas de aguas, las obras hidráulicas no alcanzaron la importancia de Mesoamérica o el

actual Perú, sin embargo se tiene noticia de acequias agrícolas en la Costa del Caribe y en la región de los Guanes en el actual territorio de Santander. Los Chibchas sin duda aplicaron la irrigación a sus cultivos, pues se sabe que conducían agua por largos canales para explotar las minas de esmeraldas de Somondoco⁽¹³⁾.

El abastecimiento de los centros urbanos con poblaciones importantes, exigió la construcción de vías de comunicación y centros de acopio y distribución; Gómara habla de 200.000 barquillas que transportaban gente y bastimentos en Tenochtitlán⁽¹⁴⁾. Las guerras y conquistas establecieron contactos entre pueblos que habitaban climas diferentes; se desarrollaron redes de tráfico que atendían las demandas de productos propios de otros climas. Se construyeron grandes depósitos del Estado, para permitir alimentar el número creciente de funcionarios públicos y religiosos. En México aparecieron los comerciantes propiamente dichos ("Cal-pullis") que ocuparon puesto destacado en la economía.

El imperio Inca se sostuvo sobre una estructura legal más complicada que le permitió agrupar y absorber reinos independientes, y utilizar las experiencias de otros pueblos de la Costa, la Puna, la Sierra.

El Estado Inca controlaba la producción en general; para almacenar los diversos productos que llegaban de Tahuantinsuyo construyó depósitos y graneros, "el tributo era sembrar las chacras del Inca . . . y lo que dellas cogían lo encerraban en sus depósitos y a su tiempo lo llevaban a poner en los tambos de los caminos reales para cuando pasaba gente de guerra"⁽¹⁵⁾.

Los depósitos del Imperio fueron muy importantes, pues, como lo cuenta Garcilaso en el párrafo anterior, en ellos se acumulaban los tributos pagados. Sarmiento de Gamboa narra que el Inca Tupac Yupanqui hizo construir en los alrededores del Cuzco, multitud de graneros y depósitos para alimento y ropas⁽¹⁶⁾.

Todas las rutas hacia los cuatro puntos ("tahuan . . .") del Imperio ("suyos"), tenían "tambos" o graneros separados a distancias equivalentes a una jornada de camino.

Generalmente los Tambos se construían de acuerdo con un modelo muy sencillo, con piedra sin labrar unida con argamasa; su propósito primordial era servir a los ejércitos en sus marchas por el Imperio; almacenaban toda clase de productos: víveres, pertrechos de guerra, vestidos e instrumentos de labranza. En algunas zonas secas, donde el nivel freático lo permitía, se almacenaba maíz y otros productos agrícolas en depósitos subterráneos, con una entrada pequeña, fácil de clausurar (tal vez para crear una atmósfera relativamente confinada - ver capítulo No. 8), o en grandes zanjas junto a los paredones de algunos edificios; estos "silos" recibían el nombre de "piruas". En Cajamarquilla, Perú, todavía pueden apreciarse los pozos hechos en cuartos o plazuelas, con acceso angosto y ensanchamiento como de botella en el fondo, cuyas profundidades llegan hasta 6 metros⁽¹⁷⁾. Estas técnicas primitivas, descubiertas al azar, y apenas perfeccionadas por artesanos, se aplican hoy día, no sólo entre grupos humanos primitivos, sino en países avanzados en momentos de emergencia: en 1973, en la Rusia Central, más de 250.000 toneladas de cereales se guardaron durante varios meses, en simples hoyos abiertos, cubiertos con nieve, a la espera de ser movilizadas, por falta de silos y depósitos.

Control de insectos: Los insectos, predadores de los granos almacenados, en esta América primitiva se controlaban en ocasiones almacenando el grano en los "zarzos" de las viviendas, donde recibía el humo de las cocinas; en otros casos se mezclaba con cenizas o arena, materiales que afectan su supervivencia. Cobo en su Historia del Nuevo Mundo⁽¹⁸⁾ dice que "estaban hechos por mandato del Inca grandes depósitos y graneros, que los indios llamaban "colcas", en todas las provincias del Perú en que se encerraban y guardaban tributos . . . Los peruanos se aprovechaban de la arena . . . para encolcar el maíz, porque no le diese gorgojo; y llaman encolcar guardarlo en la troja revuelto con arena menuda".

La previsión Inca y el cuidado en su organización, se aprecian en el siguiente párrafo de Garcilaso, el cronista Inca, "por todo el Reino había tres maneras de pósitos donde se encerraban las cosechas y tributos. En cada pueblo grande o chico había dos pósitos; en el uno se encerraba el mantenimiento que se guardaba para socorrer naturales en años estériles. En el otro pósito se guardaban las cosechas del sol y del Inca. Otros pósitos había por los caminos reales de tres a tres leguas (los tambos) . . . los bastimentos que sobraban de los gastos de la guerra y de la corte se guardaban en las tres maneras de pósitos que hemos dicho, para repartirlos en años de necesidad a los vasallos"⁽¹⁹⁾.

Harth Terre en un artículo publicado en el Perú⁽²⁰⁾, sostiene que en Piki Llacta "ciudad de pósitos y bastimentos", la capacidad de almacenamiento calculada en forma conservadora, era suficiente para 16.000 toneladas métricas de granos.

El Imperio Inca se desarrolló en un territorio inhóspito. "Jamás ninguna civilización de la antigüedad tuvo a su disposición medios tan reducidos, desiertos de hierbas, de rocas o de arena, falta de agua en la costa, falta de calor en la meseta, escasez de animales"⁽²¹⁾. Sin embargo se ha sostenido por mucho tiempo que ninguna provincia durante la vida del Imperio fue desolada por el hambre. Si las cosechas se perdían en alguna zona, los trojes del Inca abundantemente provistos pronto remediaban la situación⁽²²⁾. El sistema de almacenamiento funcionó con tal perfección que el conquistador La Gasca, en Jauja, consumió maíz que había sido almacenado tres o cuatro años antes⁽²³⁾.

El indígena de las zonas tropicales, hábil agricultor, como puede comprobarse por el tamaño de la población que habitaba la Sabana de Bogotá, no tuvo aparentemente necesidad de acumular excedentes alimenticios, por la mayor abundancia de lluvias de que disponía y la organización social más simple resultante. Sin embargo existen constancias de que almacenaban algunas cantidades, no sólo en sencillas vasijas y graneros, sino en verdaderos silos excavados, como los encontrados por Alonso de Herrera en la expedición del Orinoco⁽²⁴⁾ y en el

territorio de Santander del Norte, en Colombia, la expedición de Ambrosio Alfinger, bautizó con el nombre de silos un pequeño poblado provisto de abundantes trojes "nombrado (así) por la gente forastera, por los que ven aquí de su manera"⁽²⁵⁾.

Para aprovechar los pocos terrenos fértiles, los Incas construyeron sus ciudades exclusivamente sobre terrenos estériles; sobre pendientes rocosas se levantaron Cuzco y Ollante. La ciudad fortificada de Pachacamac y Chíncha, situadas en tierras bajas, están fuera de las vegas fértiles de los ríos⁽²⁶⁾. Contrastan estas costumbres con las actuales: se acabará por urbanizar toda la zona fértil de la sabana de Bogotá y Cali continuará desplazando a la agricultura en el Valle del Cauca.

REFERENCIAS CAPITULO I

- (1) CHILDE, G. Citado por PALERM, A. WOLF, E. *Agricultura y Civilización en Mesoamérica*. México, Septentag, 1972.
- (2) BERNAL, W. *Ciudades de Destino*. Editado por ARNOLD TOYNBEE. Madrid, Aguilar, 1967.
- (3) PATINO, VM. *Historia de la actividad agropecuaria en América Equinoccial*. Cali, Imprenta Departamental.
- (4) CALDAS, FJ. *Obras de . . .*, recopiladas y publicadas por Eduardo Posada. Bogotá, Imprenta Nacional, 1917.
- (5) GONZALEZ, S. *Historia General de la República del Ecuador*. Guayaquil, 1960.
- (6) PALERM, A. WOLF, E. *Agricultura y Civilización en Mesoamérica*. México, Septentag, 1972.
- (7) *Ibid.*
- (8) PASZTORY, E. *The function of art in Mesoamérica*, en *Archaeology*, AIA, Boston, Jan/Feb 1984.
- (9) PALERM, A. WOLF, E. 1972.
- (10) *Ciudades de Destino*. Editado por ARNOLD TOYNBEE. Madrid, Aguilar, 1967.
- (11) PEREZ DE BARRADAS, J. *Pueblos indígenas de la Gran Colombia*, 1951, citado por PATINO, VM, 1965.
- (12) PATINO, VM.
- (13) *Ibid* p. 108.
- (14) GOMARA, F. *Conquista de México*. México, Escalante & Cia.
- (15) GARCILASO. Citado por TOVAR, H. *Notas sobre el modo de producción precolombino*. Bogotá, 1974.
- (16) SARMIENTO DE GAMBOA. Citado por TOVAR, H. *Notas sobre el modo de producción precolombino*. Bogotá, 1974.
- (17) KAUFFMAN, F. *Arqueología peruana*. Lima, Paisa, 1971.
- (18) COBO, B. *Historia del Nuevo Mundo*. Madrid, Biblioteca de autores españoles, Madrid, 1956.

-
- (19) GARCILASO. Comentarios Reales. Barcelona, Bruguera, 1968.
(20) HARTH TERRE. Pikillacta-Ciudad de pósitos y bastimentos. Revista del Museo e Instituto Arqueológico de Cuzco, No. 18. Cuzco, 1959, p. 23.
(21) BAUDIN, L. El Imperio Socialista de los Incas, Santiago de Chile, Zig Zag, 1970.
(22) GONZALEZ SUAREZ, 1960.
(23) POMA DE AYALA, G. Primer crónica y buen Gobierno, citado por PATINO, VM.
(24) CASTELLANOS, J. Obras, citado por PATINO, VM.
(25) Ibid, p. 143.
(26) BAUDIN, M. 1970.



CAPITULO II

EL ALMACENAJE DE GRANOS Y LA ESTABILIZACION DE PRECIOS

Los estudios de mercadeo agrícola, realizados en países en vía de desarrollo, por lo general concuerdan en atribuir la mayor parte de las dificultades y desorganización encontradas, a la carencia de lugares adecuados para almacenar la producción y a la influencia desmedida de los intermediarios en el mercado. Como resultado, en forma simplista, algunos gobiernos deciden, para corregir la situación, adelantar la construcción de silos y bodegas y ofrecer a los agricultores precios de sustentación que les aseguren una rentabilidad mínima, o cuando menos la recuperación de sus costos, y eviten su ruina al entregar su producción a "intermediarios inescrupulosos y abusivos".

Normalmente los planes de estabilización de precios se sustentan con estudios cuidadosos y más o menos completos, a pesar de esto pocas veces se alcanzan los resultados de estabilidad previstos, e instalaciones gubernamentales muy grandes se utilizan en forma reducida y terminan por ser ofrecidas al sector privado, para su traslado a otras partes. Cuál, o cuáles pueden ser las razones que expliquen estos frecuentes fracasos, y las dificultades económicas crónicas de los Institutos de estabilización de precios?

Es posible que los problemas tengan dos tipos de origen, en primer lugar el desconocimiento de la forma como realmente funciona el mercado en cada país y en cada región,

por parte de los formuladores de políticas y proyectos y, en segundo, dificultades de tipo técnico, originadas generalmente también en desconocimiento de las condiciones de producción y mercadeo y en el intento resultante de transplantar tecnologías inadecuadas o demasiado costosas para el medio.

La estabilización de los precios agrícolas: Uno de los objetivos centrales de la política agrícola en el país, ha sido la búsqueda de la estabilidad de los precios para los productores. Se supone que la disminución del "riesgo comercial" contribuye a disminuir los costos agrícolas, a incrementar la producción y a estabilizar los precios para los consumidores finales.

Las variaciones de los precios de los productos agrícolas tienen múltiples orígenes: razones climáticas, o fitosanitarias, pueden inducir variaciones en la producción y modificar los precios; la mayor o menor rentabilidad, resultante de estos precios, afecta el área sembrada en la temporada siguiente; la nueva producción afecta nuevamente los precios que a su vez contribuyen a modificar el área sembrada en la siguiente cosecha. La situación de la producción en los países vecinos, y en el mercado externo en general, afecta los precios internos, estimulando importaciones o exportaciones (legales o no). La mayor importación de trigo, por ejemplo, afecta no sólo los precios de la harina; dependiendo de la relación de precios puede afectar el mercado del arroz y aun del sorgo (por ejemplo, hace algunos años, en Colombia, importaciones desmedidas de trigo, facilitaron su uso en la preparación de alimento para animales).

Herramientas disponibles: Para conseguir el objetivo de estabilizar los precios es posible utilizar varias "herramientas", cuyos resultados, y costos, son diferentes de acuerdo con las condiciones del país donde se utilicen; entre ellas se encuentran:

a) Intervención estatal en las compras (y ventas) de productos; en forma parcial cuando se deprimen los precios, como se hace en Colombia, o compra total de la cosecha con

precios de garantía, como se hace en Perú, Venezuela y Malasia con el arroz, por ejemplo.

b) Promoción de exportaciones, subsidiándolas si es necesario, como se optó por hacer en los Estados Unidos en la década de 1950 con La Ley Pública 480.

c) Controles a la oferta de productos, en su origen limitando su producción, si el problema es de manejo de excedentes, como se hace con mucha frecuencia en los Estados Unidos, o con importaciones de alimentos si el problema es causado por reducción en la producción; o controlando la oferta en forma temporal, con el ALMACENAMIENTO de productos agrícolas.

d) Escalonamiento de la producción, para así contar con una oferta más estable y evitar la sobrecarga de los recursos físicos y financieros. Su aplicación exige inversiones en infraestructura de riego, en contraposición a las inversiones en infraestructura de mercadeo que exige la producción concentrada en unos pocos meses del año. Las ventajas económicas de este método de estabilizar los precios han sido analizadas ampliamente en otros trabajos del autor⁽¹⁾.

El almacenaje de granos como herramienta para estabilizar precios: El almacenaje de granos es uno de los instrumentos más utilizados para estabilizar las fluctuaciones de precios de los productos agrícolas. Su utilización, con frecuencia se plantea en forma muy simple: la compra a precios de sustentación y el "retiro" del mercado de una parte significativa de una cosecha abundante, debe tonificar los precios del mercado. Este grano almacenado, teóricamente, deberá servir para estabilizar los precios al consumidor en época de escasez.

El anterior esquema, que así de simplemente enunciado se ha utilizado para definir políticas de intervención del Estado, en las condiciones reales de cada país tropieza con una serie de inconvenientes que dificultan su aplicación y producen, para sorpresa de quienes decidieron su realización, enormes pérdidas en los Institutos encargados de realizar los alma-

cenajes. Entre los principales aspectos que los formuladores de políticas de muchos países olvidan considerar se encuentran:

— El almacenaje de cualquier producto es costoso, no solo se requiere inmovilizar cantidades de dinero muy importantes, sino que la conservación en buen estado de los productos exige inversiones grandes en equipos, personal capacitado y organización administrativa. No se trata simplemente de secar los granos y depositarlos en silos o bodegas.

— Para que el almacenaje sea “rentable a nivel comercial” (como lo exige, para todas las operaciones del Idema, el Decreto 133 de 1976, Artículo 45), toda decisión de realizarlo debe apoyarse en la posibilidad de que el precio del grano en el futuro sea mayor, y en que dicho aumento de precio cubra los costos de almacenaje.

— La localización tropical, condiciones climáticas y el mismo desarrollo que el país ha tenido en los últimos tiempos, han permitido que durante la mayor parte de los meses del año, en alguna región se esté cosechando un grano determinado, o un producto que lo sustituye. Los consumidores, en consecuencia, no siempre tienen necesidad de pagar los costos de almacenajes de más de 2 ó 3 meses de duración.

— No siempre una cosecha abundante, que haya obligado a almacenar cantidades grandes, es seguida por una mala que permita la venta de las reservas con precios más altos.

— El efecto del almacenaje de granos en la estabilización de los precios es, en el mejor de los casos, temporal. Con costos altos de almacenaje, y la siguiente cosecha en camino, el Instituto estabilizador, más pronto que tarde, tiene la necesidad de desocupar sus almacenes y vender sus productos.

— En el caso específico colombiano, las compras directas del Idema, y su almacenaje, generalmente producen un efecto limitado. Estas compras no pueden asimilarse a una REDUCCION efectiva de la oferta; el resto de entidades que

conforman el "mercado" conoce las limitaciones, de todo tipo, del Instituto, y puede "esperar que el Idema se llene" para reanudar sus compras, con los precios correspondientes al tamaño total de la cosecha, sin considerar como reducción en la misma las compras del Instituto. La actitud de los comerciantes mayoristas, ante compras muy grandes del Idema, contribuye, por otro lado, a desestabilizar el mercado, haciendo nulos posiblemente los efectos de las compras gubernamentales. Se ha comprobado que los mayoristas, en estos casos, prefieren reducir el tamaño promedio de sus compras, disminuyendo así la demanda, para disminuir sus riesgos ante la venta masiva de productos con precios "políticos".

— Para que una política de compras y almacenaje tenga efectos de estabilización en los precios de los agricultores, duraderos y completos, es indispensable que el grano comprado por el Gobierno, DESAPAREZCA y disminuya efectivamente el tamaño de la oferta. En consecuencia es indispensable complementar las compras con programas que permitan el consumo de dichos granos en otros mercados, por ejemplo, nuevamente en el caso colombiano, reemplazar parte de las importaciones de sorgo por "arroz integral" (cómo se propuso repetidamente desde septiembre de 1982 para solucionar el problema de los excedentes de arroz) o con exportaciones hacia mercados externos.

Como política de largo plazo, para estímulo de la producción agrícola, la compra con precios de sustentación y el almacenaje de dichas compras, es insuficiente y, posiblemente, demasiado costosa. Se requiere el uso de otros instrumentos, como por ejemplo:

— Pago DIRECTO de COMPENSACIONES a los agricultores cuando los precios de mercado sean inferiores a los de sustentación (aunque parezca increíble, esta alternativa puede resultar más económica que la de compras y almacenaje del Gobierno).

— Subsidios para promover el almacenaje por parte de los particulares; en la forma de, por ejemplo, recursos financieros

baratos, y créditos de fomento para construcciones de instalaciones de almacenaje.

— Secado y almacenaje de granos por parte de los mismos productores, y, en caso de que los precios de mercado no cubran los costos, pasado un período determinado (posiblemente 4 ó 5 meses en el caso colombiano) el Gobierno (Idema) reciba los productos secos, cubriendo los costos de secado y almacenaje. Aunque parezca sorprendente, un estudio patrocinado por la Sociedad de Agricultores de Colombia SAC y COLCIENCIAS⁽²⁾ encontró que el Instituto de Intervención perdería menos dinero, si terceras personas reciben y acondicionan las cosechas húmedas, que si el mismo Instituto opta por construir plantas de secado que se utilizarán a plena capacidad sólo en las temporadas de precios bajos, mientras la capacidad instalada de la industria privada permanece relativamente ociosa, en espera de que el “Idema se llene”.

— Medidas que permitan la desaparición efectiva de los granos excedentes: promoción de exportaciones (subsidiándolas si es necesario, pues se ha comprobado —de aquí el invento de la PL 480 de los EE.UU.— que un subsidio razonable es más barato que el almacenaje), o reemplazo de granos que se importen para otros usos, cuando sea técnicamente posible, como en el caso mencionado de arroz y sorgo.

Políticas seguidas en Colombia: Como se mencionó, en Colombia se ha utilizado la intervención parcial del Estado, con precios de sustentación, en las épocas de depresión de precios, como herramienta principal para reducir las variaciones en los precios de los productos agrícolas de mayor importancia. La efectividad de las intervenciones, realizadas por intermedio del INSTITUTO DE MERCADEO AGROPECUARIO, IDEMA, ha variado según la situación de cada cosecha, y, es posible que en algún momento (por ejemplo en 1982, 2o. semestre, compras de arroz) después de unos resultados iniciales positivos, los inventarios acumulados por IDEMA hayan contribuido a desestabilizar aún más el mercado, pues introdujeron un aspecto de incertidumbre adicional entre los comerciantes: el temor a la intervención en cual-

quier momento, en el mercado de arroz blanco, del Idema con precios políticos, es decir que no obedecieran a los costos de compra y almacenaje.

El establecimiento de precios de sustentación, y su divulgación, debe llevar consigo el compromiso de adquirir por parte del Estado (IDEMA), a dicho precio, todos los productos que se ofrezcan en condiciones de calidad aceptables. Parece obvio suponer que al imponer al Idema dicha función, el Gobierno en alguna forma debería proporcionar al Instituto los recursos financieros necesarios, en los momentos oportunos, o, por lo menos prever líneas de crédito para situaciones de emergencia. Desafortunadamente las emergencias han llegado y el Idema no ha contado con recursos financieros adecuados para atenderlas.

La forma como se ha diseñado hasta el momento la intervención del Idema en el mercado: principalmente en momentos de emergencia, cuando se depriman los precios, hace inevitable que la magnitud de las compras del Instituto sea muy variable y, hasta cierto punto, de difícil predicción. El mecanismo financiero para proveer los recursos necesarios, se esperaba que estuviera claramente definido y fuese de aplicación muy ágil, sin embargo, en la realidad el "mecanismo" como tal no existe.

Efectos de las compras de Idema: Con las compras directas del Idema se buscan dos efectos principales, una parte de los agricultores se beneficia directamente con la venta al Idema con precios de sustentación; los precios del "mercado" se tonifican con la mayor demanda y los agricultores que no venden sus productos al Instituto, se benefician con estos mejores precios.

Recursos financieros para almacenaje de granos: Aunque los recursos del sistema de Bonos de Prenda pueden ser utilizados por agricultores o industriales (se encuentran cerrados para los comerciantes), la experiencia indica que son muy pocos los agricultores que los utilizan. Prácticamente sólo los industriales descuentan Bonos de Prenda para financiar sus inventarios.

El producto se entrega, al cuidado de un Almacén de Depósito, como garantía de un préstamo hecho por un Banco cualquiera, con intereses que generalmente son inferiores a los comerciales normales. El banco intermediario "redescuenta" el crédito en el Banco de la República con un interés inferior y recupera parcialmente, el dinero prestado.

La Junta Monetaria, máxima autoridad en esta materia del país, controla totalmente el sistema pues, además de fijar los cupos totales disponibles para redescuento de los bancos, determina semestralmente los precios básicos de los granos, que sirven como base tanto para los préstamos a los usuarios como para el mismo redescuento de los bancos.

En reciente estudio preparado para Idema⁽³⁾ se analiza la "acción deliberada encaminada a reducir la financiación a través de bonos de prenda . . . Los precios básicos, luego de representar en 1970 casi el 100% de los precios comerciales, en 1980 apenas correspondían al 51%. Adicionalmente, los cupos máximos se han venido reduciendo en términos reales. Los resultados de este manejo se observan claramente . . ., la participación del saldo de bonos de prenda en la base monetaria bajó de 4.4% a 1.3% entre 1970 y 1980. . . El comportamiento anotado ha rendido frutos positivos en cuanto ha permitido mantener un menor crecimiento de los medios de pago. También ha tenido costos como es usual en todas las decisiones económicas. Las existencias de los productos financiados tradicionalmente con los bonos de prenda se han reducido. Los intermediarios al verse obligados a acudir a fuentes de financiación con tasas de interés más altas que las institucionales, han aplicado acciones que tienden a elevar la inestabilidad estacional de los precios."

ASPECTOS TECNICOS: Al igual que el desconocimiento de la complejidad del funcionamiento de los mercados puede conducir a fracasos en los programas de estabilización, con mucha frecuencia errores técnicos en la concepción general de los "planes de silos" son causa de mayores problemas.

La mayor dificultad estriba en la falta de una adecuada perspectiva del lugar que, en países más desarrollados, ocupan

los silos y estructuras de almacenaje. Las primeras plantas de silos (elevadores) del tipo que hoy se conocen, fueron construidas en Europa y los Estados Unidos en los últimos años del siglo pasado, para satisfacer la necesidad de almacenaje de alimentos de la población que se concentraba en grandes ciudades. Inicialmente se atendían demandas regionales, posteriormente, con el desarrollo de las vías y el comercio, una zona más amplia y, finalmente, se utilizaron para atender el comercio internacional.

Se reemplazó el granero tradicional de las haciendas y granjas, por el silo de campaña para acopiar y tratar los granos de zonas bien comunicadas, y las simples bodegas de los sitios de consumo por los silos terminales, capacitados para manejar, en forma ágil y eficiente, las crecientes necesidades de las aglomeraciones de población, de su industria transformadora en desarrollo y del comercio internacional en aumento. Pero la construcción de los silos, además, obedecía a las facilidades que daba la topografía, los ríos navegables que intercomunicaban en forma económica las regiones productoras con muchas ciudades y puertos, la facilidad de construcción de ferrocarriles y carreteras por sus territorios planos.

La Guerra de Secesión de 1862 precipitó, en los Estados Unidos (especialmente en el norte del país) el desarrollo de la agricultura mecanizada y la creación de industrias alimenticias; "una vez restablecida la paz, las máquinas hacían posible la explotación de las inmensas tierras aún disponibles en Missouri, Iowa, Nebraska, Kansas . . . El fin de la guerra creó unos inmigrantes atrevidos y aguerridos para conquistar aquella frontera. Pero primero era necesario hacerla accesible. Esto fue obra de un nuevo tipo de pionero: el constructor de vías férreas"⁽⁴⁾.

El fin de la guerra, la cultura y técnica de los inmigrantes y el amplio y fértil territorio, modelaron un tipo de agricultor único en el mundo: el farmer, permeable a las más avanzadas técnicas agrícolas, independiente e individualista y, fundamentalmente, contrapuesto, como anota Echavarría Olóza-

ga⁽⁶⁾, al Mujik ruso y al campesino latinoamericano, que producen principalmente para su propio consumo.

PRODUCTIVIDAD: En términos estadísticos, cada agricultor norteamericano (que habite en el campo) alimenta hoy día a 70 ó más de sus conciudadanos, mientras hace apenas 20 ó 25 años alimentaba a 35. Sus exportaciones de granos representan más de la mitad de la totalidad del comercio mundial de los mismos. Con entonación más típica de un ambiente tropical, la revista Newsweek decía en 1976⁽⁶⁾: "La gran maravilla de los Estados Unidos no es la conquista del espacio, sus 100 millones de vehículos o los rascacielos, es el farmer".

No puede olvidarse, a pesar de lo anterior, que la productividad de los agricultores norteamericanos parece ser mayor de lo que realmente es, pues parte de la producción agrícola se realiza fuera del campo: es innegable que el obrero que participa en la fabricación de un tractor, o en la producción de un herbicida químico, está realizando una labor que en otros países se lleva a cabo directamente en el campo.

El farmer, la geografía y las industrias procesadoras y exportadoras, han desarrollado sistemas de acopio, elaboración y distribución acordes con sus necesidades; sistemas que no pueden ser trasplantados a otros lugares, en forma parcial, sin ajustes a las necesidades, al modo de producción, clima, mercado, etc.

El sistema de mercadeo de Norteamérica, utilizado con frecuencia como modelo en países en vía de desarrollo, se apoya sobre bases definidas, algunas de las cuales se enumeran a continuación para visualizar, con adecuada perspectiva, las principales etapas del proceso y realizar algunas comparaciones con nuestra situación.

Geografía y clima: Las zonas donde se producen granos en Norteamérica son casi en su totalidad planas y fáciles de mecanizar. Su apertura se realizó con la construcción de los ferrocarriles: "La verdadera historia de los Estados Unidos

entre 1865 y 1890, es la historia de los transportes, en la cual los nombres de los Presidentes de ferrocarriles son más importantes que los de los Presidentes del país⁽⁷⁾.

En la región sur del Canadá, continuación geográfica de las praderas estadounidenses, el Gobierno fomentó hacia 1880, la inmigración de agricultores de todas partes del mundo, al ofrecer tierras y ayuda. El desarrollo de los ferrocarriles para movilizar las cosechas de granos a los centros de consumo, fué casi simultáneo con la llegada de los inmigrantes.

En los primeros años se almacenaba el trigo en bodegas comunes construidas en madera. Los ferrocarriles de Norteamérica (empresas privadas), para aumentar su capacidad de transporte, decidieron estimular el transporte a granel y ofrecieron, a los interesados en participar en sus programas, terrenos situados en las vecindades de las carrileras, financiación, y privilegios especiales en los servicios de cargue. Gradualmente las bodegas tradicionales fueron reemplazadas por estructuras diseñadas y equipadas para acumular grano a granel en tanques elevados, que permitían el cargue rápido de los vagones (Fig. No. 2.1). Se denominaron "Country elevators" por estar situados en los campos y tener como principal función la elevación del grano. Los incentivos y facilidades ofrecidos, y la mayor eficacia demostrada por el sistema, aumentaron las 90 instalaciones construidas en 1890 a cerca de 2.000 en 1910⁽⁸⁾.

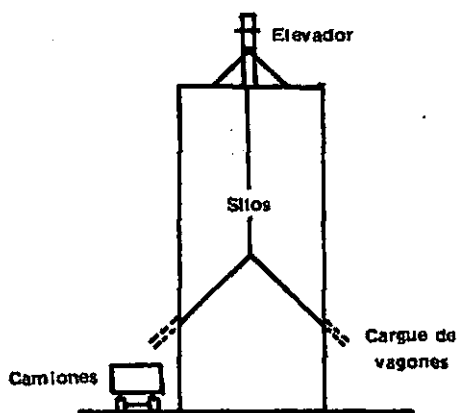


Fig. 2.1- Cargue rápido de vehículos desde un elevador.

En Colombia, la agricultura se desarrolló en las cordilleras desde los tiempos coloniales; la conquista de las tierras bajas para la agricultura es una empresa nueva. Las vías de comunicación en los inmensos territorios de la Costa Atlántica y los Llanos Orientales son aún muy precarias. No existen carreteras transversales que crucen el valle del bajo Magdalena. Para hacer el recorrido de Córdoba hasta el sur del Cesar, es necesario hacer un rodeo por Barranquilla que triplica la distancia.

A diferencia de lo que ocurría en los países norteamericanos, en los últimos años del siglo pasado, los ferrocarriles colombianos fueron construidos y operados por el Estado en su mayoría, y carecieron, en general, de capacidad de innovación y empuje.

El país permaneció al margen del desarrollo mundial por la carencia de transfusiones importantes de sangre europea nueva, trabajadora y conocedora de técnicas agrícolas más avanzadas, y por su dedicación casi total a la guerra que dejaba los arados anclados en los barbechos y apagaba los fogones para prender poco a poco "la fiesta general entre aguardientes y mozas de partido, música de tiple y disparos, bendiciones y blasfemias . . ." (9).

La localización tropical del país y la amplia disponibilidad de lluvias en muchas zonas, permiten la siembra y recolección de cosechas durante casi todo el año. Apenas exagerando un poco podría decirse que, en cualquier día del año, en alguna zona del país, se recolectan cosechas de alimentos. La necesidad de desarrollar sistemas de almacenaje, transporte y mercadeo más refinados, ha sido así menor que la de los países situados en las zonas templadas.

Mecanización: La agricultura norteamericana de los últimos 90 años, se caracteriza por el uso intenso de maquinaria e insumos agroquímicos, con los cuales se suple la escasez de mano de obra. Escasez que nunca alivió, en forma permanente, la continua inmigración europea; los granjeros o artesanos recién llegados venían para instalarse por su cuenta: "se expandían para ser libres, no para servir a nuevos dueños" (10).

El agricultor actual de Norteamérica, el "farmer", administra sus tierras con criterio de empresario y, tradicionalmente, aprovecha sus épocas de bonanza para la mejora y tecnificación de sus fincas, "las máquinas nuevas son los Cadillac de la vida del granjero", se afirma en la revista Time en 1973, año de bonanza agrícola y de escasez mundial de granos⁽¹¹⁾.

La mecanización de la agricultura colombiana es más reciente pero ha sido rápida, especialmente después que en las tierras planas del Valle del Cauca, Tolima, Huila, etc., se empezó a reemplazar la ganadería por los cultivos. Un índice de su tecnificación es el hecho de que los costos de maquinaria, semillas, pesticidas, fertilizantes . . ., representan entre 50% y 70% de los costos por hectárea, en los principales cultivos de tipo comercial.

Dentro de los países del Grupo Andino (Colombia, Perú, Venezuela, Ecuador y Bolivia), Colombia cuenta con el mayor número de tractores. Un estudio, desafortunadamente un poco antiguo del CIPE⁽¹²⁾, determinó que en los años 1968, 69 y 70, se importaron a Colombia tractores agrícolas por un valor promedio anual de 13.3 millones de dólares, mientras Venezuela importó 1.8 millones, Chile 4.3, Perú 3.2 y Bolivia sólo 200.000 dólares.

En los Estados Unidos, durante la guerra civil, se mecanizó la agricultura con la utilización principalmente de caballos; los inventos mecánicos como el arado de acero, la máquina segadora, la sembradora y la trilladora, fueron desarrollados en herrerías de pueblo. En los últimos años del siglo XIX, se organizaron las primeras fábricas de implementos agrícolas y la adopción generalizada de maquinaria movida por caballos produjo lo que se ha llamado la primera revolución agrícola. La segunda guerra mundial, y las mayores necesidades de producir alimentos, dieron gran impulso a la utilización de maquinaria agrícola motorizada, sin embargo sólo hasta 1954, la cantidad de tierra preparada con tractores fue superior a la preparada con animales.

En la producción de cosechas de granos, después del tractor, ninguna máquina como la cosechadora combinada, es responsable de afectar tan profundamente todo el proceso de producción y comercialización. Antes de la aparición de las trilladoras mecánicas de tipo estacionario, la recolección se efectuaba en dos etapas: la siega se realizaba cuando los granos alcanzaban su punto óptimo de maduración y antes que se presentase el desgrane natural; el trigo se segaba por medios manuales, y con la ayuda de cuchillos y hoces de muy diferente forma, cuando su humedad era de aproximadamente 16%. Se tenía cuidado en dejar en la espiga trozos largos de paja para facilitar su atado en gavillas. Estos atados se dejaban en el terreno colocados en forma tal que las espigas no tuviesen contacto con la tierra. En climas apropiados se dejaba "madurar" el grano por períodos de 24 horas. Más tarde las gavillas se agrupaban en hacinas de forma piramidal, con las espigas colocadas hacia el centro, y cubiertas exteriormente con paja para evitar la entrada de humedad. Los hacinamientos debían efectuarse con buen clima, para que las gavillas tuvieran el mínimo contenido posible de humedad. En ocasiones, especialmente cuando las hacinas no se armaban sobre un asiento apropiado (paja o madera), se podían presentar deterioros en el grano inferior.

La trilla, o separación del grano del resto del tallo, se hacía, semanas o meses después, en las eras, terrenos limpios y firmes en los cuales se extendían las espigas, para luego pisarlas con mulas o caballos que trotaban en círculos, amarrados a un pivote central*.

El grano tenía tiempo de perder su humedad en la mata y en la gavilla, y el almacenamiento se hacía en la misma gavilla. La introducción posterior de la trilladora estacionaria

* "La trilla del trigo, de la avena, de la cebada, se hacía aún a yegua. No hay nada más alegre que ver girar las yeguas alrededor de la parva de grano. La trilla es una fiesta de oro. La paja de oro se acumula en montañas doradas". Pablo Neruda(13).

(1910-1920), (Fig. 2.2), permitió mecanizar y acelerar la labor de separación del grano, pero el sistema en sí, especialmente en cuanto a sus demandas de espacios para almacenamiento y equipo de secamiento permaneció inalterado.

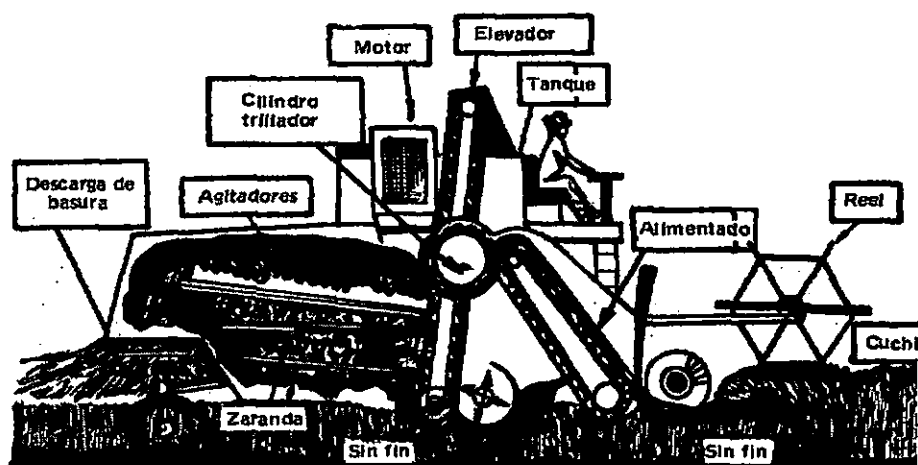


Fig. No. 2.2- Partes principales de una Cosechadora Combinada Moderna

En Norteamérica, las combinadas se empezaron a utilizar en forma amplia desde 1930. Durante la segunda guerra mundial el Gobierno autorizó que las fábricas de maquinaria agrícola continúen su producción, exonerándolas de la obligación de fabricar equipo bélico que tuvo el resto de la industria. Los compradores de maquinaria, por su parte, obligatoriamente debían colaborar en la preparación de las tierras de los vecinos no propietarios. Terminada la guerra muchos agricultores continuaron la práctica de recoger las cosechas de otros agricultores, haciendo algunos de ella su actividad principal; así aparecieron los "cosechadores nómadas"⁽¹⁴⁾ característicos de las zonas productoras de granos de Norteamérica. Algunos de estos empresarios son dueños de 10 o más combinadas; su trabajo se inicia normalmente en los últimos días del mes de abril, cuando el primer trigo sembrado

en invierno madura en los campos de Arizona y Texas; avanza hacia el norte durante el verano hasta Montana, Dakota, y las provincias canadienses del sur. En noviembre regresa al sur y recolecta la cosecha tardía de soya de Arkansas y Missisipi.

La combinada para maíz es de introducción más reciente. En 1956 en la faja maicera de los Estados Unidos, sólo 2% del grano producido se desgranó en el campo con estas máquinas. En 1960 la cantidad superó el 12% y en 1970 el 67%.

El maíz es una cosecha de verano en Norteamérica; el clima, en las principales zonas productoras, no permite el secado seguro en la mata. Tradicionalmente el maíz, con humedad cercana al 20%, se depositaba en recipientes con ventilación natural, los denominados "cribs" durante 6 o más meses. La baja temperatura ambiente del invierno, retardaba la actividad metabólica de los granos y microorganismos y permitía que el secado natural se realizara sin mayor deterioro.

La recolección con máquinas combinadas de granos húmedos y con algunos daños físicos causados por la operación mecánica, necesita de secado artificial para evitar mayores daños. El impulso definitivo al secado artificial de los granos y al desarrollo de secadoras eficientes, ha nacido de la necesidad de secamiento de maíz en los Estados Unidos.

El uso de las combinadas en otros granos, hizo también necesario su secado artificial al suprimir el tiempo que permite el secamiento natural en las gavillas, las hacinas y los "cribs". La humedad promedio de recolección se aumenta con la recolección mecánica. En algunas zonas muy lluviosas son reducidos los días que permiten la entrada de la máquina al campo, de tal manera que se trata de aprovechar el tiempo disponible al máximo y se recolectan granos con alta humedad. Las combinadas, hasta cierto punto, permiten, además, recoger grano volcado, cuya humedad es normalmente más alta. Por otro lado, las malezas presentes en los cultivos se recolectan mezcladas con los granos, su naturaleza generalmente higroscópica contribuye al humedecimiento de la cosecha.

El uso de semillas de calidad contrada, alto rendimiento y período de maduración uniforme, unido a la rapidez con que las combinadas hacen la recolección, reduce el tiempo de cosecha, aumenta las necesidades de transporte y recarga los sistemas de recibo y secado.

En Colombia se cosecha con combinadas la mayor parte del arroz, sorgo y soya que se produce. En maíz, por la importancia del grano que producen los agricultores de tipo tradicional, el uso de las combinadas se reduce a una parte del grano que se siembra en forma mecanizada.

La falta de vías, equipos de transporte y manejo de granos a granel, hace necesario el empaque inmediato en la cosechadora. El proceso de manejo se hace más engorroso y menos eficiente, sin que sea posible obtener la totalidad de las economías del manejo mecanizado.

En algunas zonas donde la cosecha principal debe recolectarse en temporada de lluvias, en razón de la larga duración del período invernal, como los Llanos Orientales de Colombia, la sobrecarga que se impone a los sistemas de secado y transporte, es muy alta, pues, además de que el grano se recolecta con mayor humedad, el plazo hábil para recolectar y secar la cosecha es menor, dado que en los días en que el clima permite el trabajo de las combinadas, todos los agricultores tratan de recolectar su grano rápidamente.

Semillas: Prácticamente la totalidad de los granos que se producen en forma comercial en los Estados Unidos, proviene de semillas que han sido mejoradas en alguna forma y producidas por empresas especializadas; el uso de este tipo de semillas, unido a la aplicación de insumos agroquímicos y mejores prácticas agronómicas, produce granos de alto rendimiento por hectárea, de calidad uniforme y en número reducido de variedades. Se facilitan así operaciones tales como transporte y almacenaje a granel, secado continuo, comercialización sin necesidad de muestra física, etc.

En Colombia el uso de semillas mejoradas aumentó en forma rápida, a partir de 1952 cuando la Caja Agraria inició

la producción de las mismas, en colaboración con el Ministerio de Agricultura. En 1953 se produjeron los primeros volúmenes comerciales importantes: 65 toneladas de semilla de maíz y 147 de trigo.

La forma como se facilita el mercadeo con el uso de semillas mejoradas, se aprecia mejor con la descripción de las dificultades de operación que tuvo la planta de silos de concreto (20.000 toneladas) que construyó en Villavicencio, hacia 1965, Almaviva (Almacén de Depósito): la multiplicidad de variedades de arroz sembradas en la zona, hacía imposible llenar cada silo, 1.000 toneladas, sin efectuar mezclas. Hoy, el uso de semillas mejoradas, permite la recolección y manejo de sólo 2 ó 3 variedades. Debe reconocerse, por otro lado, que la siembra de una sola variedad en extensiones de terreno demasiado grandes, puede causar problemas fitosanitarios imprevistos. Como sucedió en el Meta en 1981 con el monocultivo de la variedad de arroz Cica 8, en una extensión superior a 60.000 Ha.

Transporte: Los principales medios de transporte utilizados para movilizar las cosechas de granos en Norteamérica son camiones, vagones de ferrocarril y barcazas de río. Los granos se recolectan en la mayoría de los casos en granel, en los tanques de las cosechadoras combinadas, de donde se los traslada, por medio de transportadores sin fin inclinados, a camiones de 5 a 8 toneladas (Fig. No. 2.3) cuando las condiciones del terreno lo permiten, o a vagonetas de menor peso en terrenos difíciles, especialmente en los cultivos de arroz. En los elevadores de campo se hace su clasificación y adecuación preliminar, para, después de un almacenaje generalmente corto, embarcarlos a granel hacia los elevadores terminales, en grandes camiones de 30 ó 40 toneladas, o en vagones de ferrocarril, del tipo tradicional, o del nuevo tipo de tolva que permite descargue automático y cuya capacidad puede ser de 80 o más toneladas.

Los elevadores situados en las orillas de los ríos despachan grano en barcazas, algunas de las cuales se pueden cargar directamente en los puertos marítimos, en grandes buques

transoceánicos, evitando así la operación de transvase de grano. Estas barcazas se construyeron con capacidad hasta para 1.000 toneladas de grano y se conocen con el nombre de "Lash Barges" (lighter aboard ship).

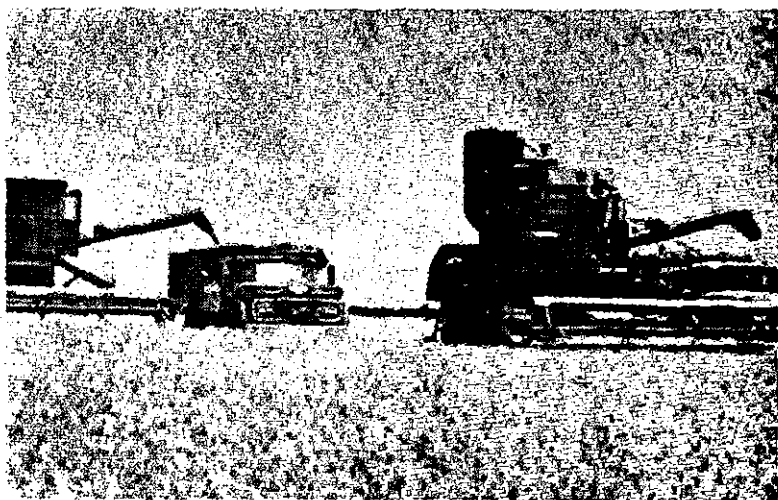


Fig. No. 2.3- Combinadas con entrega de grano a granel.

Los sistemas de transporte a granel exigen instalaciones de recibo y entrega adecuadamente diseñados. La amplia utilización de cosechadoras combinadas y la necesidad económica de mantenerlas ocupadas la mayor parte del tiempo de cosecha, hace que la humedad promedio de los granos sea elevada, y que la duración promedio de la temporada de recolección en una zona determinada sea extremadamente corta. Por ejemplo la recolección del trigo de invierno en la zona central de las grandes praderas, puede durar entre 10 y 15 días, y hasta 22% del grano total puede recibirse en un solo día⁽¹⁵⁾. El hecho de que se produzca un número reducido de tipos de granos (con frecuencia uno solo), permite mezclar directamente los de humedades similares para preparar lotes más grandes, que puedan acondicionarse fácilmente en secadoras y limpiadoras en forma continua, y almacenarse en silos de 1.000, 2.000, y aún más, toneladas cada uno.

En el medio colombiano la utilización plena de los sistemas de manejo y tratamiento de granos modernos, y de silos

de gran capacidad, no ha sido fácil, en primer lugar por el transporte que aún se efectúa casi totalmente en sacos (pues el transporte a granel, en forma difícil de explicar, no se ha desarrollado con el mismo ritmo de otros servicios de comercialización), y, en segundo lugar aunque con menor gravedad cada vez, por la multiplicidad de variedades y calidades de grano y la falta de un sistema de clasificación y normalización que sea aceptado en los sectores público y privado en forma amplia.

Clasificación y normalización: El desarrollo de los sistemas de transporte, especialmente de los ferrocarriles hizo necesario que el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), estableciera, desde principios de este siglo, normas de clasificación de granos de aplicación relativamente fácil. Cuando se inició el gran cambio en los sistemas de transporte, los agricultores debieron entregar su grano a los "elevadores" en las condiciones que fijaban estos últimos. Para evitar los frecuentes abusos, el gobierno fijó normas cada vez más completas.

En Canadá la "Ley general de inspecciones", definió por primera vez los grados de calidad, y autoriza inspectores para resolver disputas y ejercer el arbitramento.

En los Estados Unidos, durante los últimos años del siglo pasado, la Secretaría de Agricultura estableció un servicio voluntario de clasificación e inspección de granos, que se convirtió en obligatorio hacia 1917. Las inspecciones de grano, y su clasificación, son efectuados actualmente por funcionarios particulares que han obtenido licencia del Departamento de Agricultura. Problemas, que han sido divulgados ampliamente por la prensa internacional, desacreditaron en parte el sistema norteamericano de clasificación. A pesar de las fallas, no puede negarse su utilidad, pues permite una gran agilidad y eficiencia no sólo en los procedimientos técnicos, sino en los aspectos comerciales: transacciones rápidas sin inspección de muestras, operaciones en Bolsas de Productos, etc.

En Colombia, y países vecinos, no existen normas de aplicación general. Las transacciones entre agricultores, comerciantes e industriales, se realizan con criterios subjetivos. Para las compras del Gobierno (Idema), se aplican normas técnicamente definidas, pero que, desafortunadamente, no tienen demasiada credibilidad entre los agricultores, en parte por su relativa complejidad, y, en parte, por los cambios en el rigor de su aplicación, que el Idema utiliza en ocasiones de estrechez financiera (muy frecuentes en los últimos años), para reducir el flujo de grano hacia sus instalaciones.

Información: Los sistemas de información sobre precios, producción, disponibilidad, etc., disponibles para los agricultores, industriales y comerciantes norteamericanos son muy amplios. Las Bolsas de productos son la fuente de información más importante, donde confluye, por multitud de canales, información al día sobre el estado de la producción mundial. Puede decirse que no hay sequía en el Asia o terremoto en Centroamérica, que no se refleje en alguna forma en los precios de las Bolsas de productos —el corredor de Bolsa, así, se convierte en los ojos y oídos de productores y vendedores—.

Una Bolsa de productos, por sí misma, no compra ni vende, no transporta ni ejecuta ningún procesamiento a los productos; no fija precios; simplemente facilita la forma de que éstos se determinen y registren en forma rápida y de abierta competencia. En pocos minutos un vendedor puede recibir múltiples ofertas, determinar el precio del mercado y cerrar el negocio si lo encuentra conveniente.

Las compañías comercializadoras, por su parte, tienen establecidos sistemas de diverso tipo, que sirven para difundir las variaciones de precios en las Bolsas de Productos, entre los Elevadores de Campaña localizados en las zonas productoras que actúan como acopiadores. En los Estados agrícolas, los periódicos y emisoras de radio y televisión, informan diariamente sobre las fluctuaciones de precios en los principales mercados, además de realizar análisis sobre los factores que pueden afectar los precios futuros. El Departamento de Agri-

cultura, con la información de muchas fuentes, efectúa periódicamente estimativos del área sembrada y producción, que se revisan y ajustan en forma continua de acuerdo con las variaciones del clima y dificultades de diversa índole que pueden afectar los resultados finales.

En Colombia las estadísticas del sector agropecuario han experimentado alguna, aunque lenta, mejoría. La Oficina de Planeamiento del Sector Agropecuario OPESA, publica anualmente estimativos anuales de producción del año siguiente, cifras que tienen relativa solidez cuando corresponden a cultivos mecanizados que utilicen insumos agroquímicos, semillas y crédito bancario, tales como arroz, sorgo, soya . . . , pero que son realmente sólo estimativos cuando corresponden a cultivos tradicionales, como yuca, maíz, etc. La falta de información más completa puede causar grandes perjuicios y, aun, alterar la orientación de la política general en relación con un cultivo. Es indudable, por ejemplo, que la imprecisión en las cifras de producción, consumo e inventarios de arroz, en el segundo semestre de 1981, afectó las decisiones que el Idema (o el Ministerio de Agricultura?) tomó en la disyuntiva de almacenar algunos meses sus enormes compras de dicho semestre, reservándolas para consumo interno posterior, o decidir su exportación o consumo inmediato, simplemente descascarado, para reemplazo de sorgo importado. Los estimativos indicaban que los inventarios y producción apenas cubrirían las necesidades del siguiente semestre. La realidad mostró que el país tenía un excedente de 150.000 o 200.000 toneladas; que Idema debió almacenar, durante más de un año, con enormes costos financieros y grandes pérdidas físicas.

A pesar de los avances realizados en el desarrollo de los mecanismos de información de precios, en el país la información personal continúa siendo el medio de mayor utilización para la divulgación de precios, con la inexactitud, ineficiencia y distorsiones que son de esperar. En algunos cultivos, especialmente maíz de producción tradicional, el acopiador es la principal fuente de información de precios para el campesino, al mismo tiempo que, con frecuencia es su proveedor de artículos básicos y otros alimentos.

Un estudio realizado en 1970 por el ICA⁽¹⁶⁾, que, a pesar del tiempo transcurrido probablemente sigue siendo válido, mostró que, la comunicación interpersonal suministraba el 70% de la información recibida por los productores. Este 70% estaba formado por 35% de otros campesinos, 20% de camioneros y 10% de intermediarios.

La Bolsa Agropecuaria de Colombia, organizada hace algunos años para reemplazar la establecida en 1973 y liquidada en 1978, cumple un papel todavía limitado como mecanismo de formación y divulgación de precios en la mayor parte de los productos. La participación demasiado alta del Idema en el volumen total de ventas, hace que su campo de acción esté reducido a productos importados (sorgo) y, esporádicamente, a aquellos donde Idema intervino en forma apreciable por razones de momento.

Financiación del almacenaje: En Norteamérica sobresalen dos organismos financieros gubernamentales, la Commodity Credit Corporation (CCC) en los Estados Unidos y la "Bolsa de Trigo" en Canadá.

La Corporación estadounidense, adscrita a la Secretaría de Agricultura, proporciona los servicios financieros necesarios para las compras del Gobierno, alquiler de instalaciones, contratación de servicios y "pagos compensatorios" relacionados con los precios de garantía (sustentación). Su importancia fue mayor cuando, en los años de 1950, los excedentes de granos aumentaron desproporcionadamente, con enormes costos financieros, y el Gobierno buscó restringirlos, con subsidios a los agricultores que aceptaran limitar el área de sus cultivos.

En Canadá, la Bolsa de Trigo, a diferencia de la CCC, compra todo el grano que se le ofrezca, paga en el momento de recibirlo un anticipo, cuyo monto ha sido anunciado con anticipación a la cosecha. Después de terminada la recolección y una vez se ha vendido todo el grano, se reparte entre los productores el excedente que pueda quedar proporcionalmente al grano entregado. Si no queda ningún excedente, en

razón de variaciones en los precios internacionales, la Bolsa absorbe la diferencia, otorgando a los agricultores un verdadero subsidio.

Los excedentes: La segunda guerra mundial afectó la producción agrícola de los países europeos y asiáticos participantes en la contienda. Estados Unidos con su enorme capacidad productora, abasteció primero a sus aliados y posteriormente, durante los primeros años de post-guerra a todos los países afectados.

El Plan Marshall y los esfuerzos internos de cada país, devolvieron en pocos años la capacidad productiva a Europa y Japón. La disminución de exportaciones hizo aparecer en los campos y puertos norteamericanos verdaderas montañas de excedentes.

En los primeros años del decenio de 1950, una parte importante de la población norteamericana todavía vivía en los campos, su influjo electoral y político era mayor que el de hoy en día. Los sobrantes de granos gravitaban peligrosamente sobre la estabilidad económica y política de las zonas agrícolas.

Los costos de almacenamiento y la magnitud de la infraestructura necesaria, pronto obligaron al Gobierno (la Commodity Credit Corporation —CCC—) a buscar alternativas más económicas. En 1954 se promulgó la ley pública 480 (PL 480) que vino a facilitar la colocación de millones de toneladas en países considerados necesitados, mediante créditos blandos (Title I) y donaciones (Title II). En esta forma se disminuyeron los sobrantes sin afectar los precios remunerativos del comercio con los países desarrollados.

Políticas: El “programa de reserva en fincas” (“Farm owned reserves program” —FOR—), iniciado en 1973, es un complemento a políticas como la expuesta, pues, mientras mantiene reservas, de importancia comercial en un país EXPORTADOR de granos, releva al gobierno de las dificultades, y mayores costos, del almacenaje directo. El programa

funciona para la mayor parte de los cereales; para Trigo, por ejemplo, se estableció un tope de aproximadamente 11 millones de toneladas y dos franjas de precios variables de US\$148 y US\$180 por tonelada. Los costos TOTALES de almacenaje (es decir intereses, más fumigaciones, más costo del capital invertido) son cubiertos por el Programa FOR, si los precios del mercado internacional (FOB) son inferiores al límite de US\$148, la totalidad de los costos financieros se cancela si el precio se encuentra entre el precio anterior y US\$180 por tonelada. Más de la mitad de los almacenajes comerciales ("Carryover stocks") de trigo del país entre 1977 y 1979, se beneficiaron de estos subsidios.⁽¹⁷⁾

En Brasil el programa de "precios mínimos" ofrece a los agricultores, comerciantes, e industriales, una serie de opciones para facilitar el almacenaje de los granos, también con el objetivo final de estabilización de precios e ingresos para los agricultores. Es posible realizar ventas directas al gobierno con precios mínimos aunque, desde hace varios años estas ventas directas ha tratado de reducirlas a un mínimo. Se estimulan, más bien, los préstamos del gobierno (Emprestito do Governo Federal —EGF—) que pueden otorgarse en dos modalidades: la primera con opción de venta al Gobierno y la segunda sin ella:

Con la primera modalidad el agricultor debe entregar el grano en una planta de almacenamiento aprobada por el Gobierno, donde se clasifica para determinar su grado comercial. Sobre el grano recibe en préstamo el 100% del valor, calculado con los precios de sustentación (anunciados antes del período de siembras y reajustados con la inflación) por un período hasta de seis meses, y con interés de 18% anual (en la década de 1970-80, la inflación promedio fué de 25% y el "Costo de Oportunidad" del dinero en 1980 se estimaba de 40%). Si el precio de mercado, en el lapso mencionado, permite la venta del grano con precios que cubran los gastos de almacenaje (que se pagan sólo al final del mismo) y costos financieros, el agricultor puede realizarla y guardar las utilidades extras. Si el precio no permite la venta, simplemente pone el grano a disposición del gobierno como pago de su préstamo y se le condonan los intereses y demás costos de almacenaje.

Con la segunda alternativa de crédito el agricultor puede almacenar el grano en su finca, sin necesidad de que la calidad sea establecida, y recibe un crédito hasta por el 80% del valor liquidado con el precio de sustentación. El gobierno no adquiere ninguna obligación de comprar el grano y los intereses deben ser cancelados al final del período.

En la fijación de los precios de sustentación en Brasil, además de los costos de producción, se tiene en cuenta la evolución del mercado, para evitar fijar precios irreales. Además no se fija un solo precio nacional, sino se tienen en cuenta criterios como costos de transporte, variaciones de costos entre las regiones, etc.

La gran diferencia entre el costo comercial del dinero (40%) y el interés del préstamo (18%), garantiza que en la mayor parte de los casos sea posible realizar utilidades almacenando los granos algunos meses; el aumento de precios del mercado cubre los costos.

La operación descrita, claramente se realiza con ayuda de subsidios que, de acuerdo con diversos estudios⁽¹⁸⁾ pueden tener menor costo que el que tendrían las compras y el almacenaje directo del Gobierno.

Bonos de prenda: El descuento de bonos de prenda constituye, en Colombia en el momento, la principal fuente de recursos para financiar los productos almacenados. La política que, sobre valor total de los recursos disponibles y costo de los intereses, han seguido las autoridades monetarias, ha sido bastante variable. En el fondo la actividad se ha tratado como una "industria volátil", que no realiza inversiones fijas y de la cual es posible "entrar y salir" sin mayores costos.

Como ya se mencionó, Eduardo Sarmiento, en estudio preparado para el Idema⁽³⁾ anota que "en los últimos años se observa una acción deliberada encaminada a reducir la financiación a través de los Bonos de Prenda . . . , la participación del saldo de Bonos de Prenda en la base monetaria bajó de 4.4% a 1.3% entre 1970 y 1979".

Hacia finales de 1982 los intereses de descuento de los Bonos se redujeron a 24% anual, cifra que, aunque a primera vista parece reducida, conduce a un costo ANUAL total de almacenaje de 38%, cuando se incluyen las otras partidas que lo conforman, especialmente los "timbres" de 3 por mil y los "bodegajes", en BODEGA PROPIA de 0.6% mensual. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, con los intereses de 30% que estaban vigentes anteriormente, el costo total del almacenaje ascendía al 42% anual, aproximadamente.

El almacenaje de granos es una Industria que exige continuidad en las políticas económicas relacionadas; no se trata simplemente de las decisiones de unos pocos comerciantes que, con el deseo de "especular" con la posibilidad de aumento futuro de precios, deciden guardar unas cuantas toneladas en bodegas improvisadas.

La falta de continuidad en la política monetaria, si se analiza con algún detenimiento, ha dificultado la consecución del objetivo de mayor estabilidad de precios y explica, por lo menos parcialmente, las grandes compras de arroz que Idema debió hacer en 1982, que condujeron a las enormes pérdidas de 1983.

REFERENCIAS

- (1) CASTILLO. A. La producción continua de arroz, consideraciones sobre su rentabilidad. En Revista Nacional de Agricultura. No. 861 Bogotá, Diciembre de 1982.
- (2) CASTILLO. A. El secamiento y almacenaje de arroz en fincas productoras —su factibilidad técnica económica— Bogotá, SAC-COLCIENCIAS, No publicado en forma completa, 1983.
- (3) SARMIENTO. E. Objetivos del Idema, Mimeógrafo, Bogotá, 1982.
- (4) MAUROIS. A. Historia de los Estados Unidos, Barcelona, Círculo de Lectores, 1982 p. 388.
- (5) ECHAVARRIA. H. Economía Latinoamericana, Bogotá, Carvajal. 1972.
- (6) Newsweek (Revista EEUU) Junio 1976.
- (7) MAUROIS. A. Op.Cit.
- (8) Grains and oil seeds, Canadian Grain Institute, Winnipeg 1975.
- (9) LLERAS. A. Mi Gente, Volumen I, Bogotá, 1976, p. 16.
- (10) MAUROIS. A. Op.Cit.
- (11) Time Magazine (EEUU), Nov. 5 1973.

- (12) OEA-CIPE, Estudio del mercado latinoamericano de maquinaria e implementos agrícolas, Bogotá, 1971.
- (13) NERUDA. P. Confieso que he vivido, Barcelona, Círculo de Lectores, p. 29.
- (14) PRESTBO, This abundant land, Princeton 1975.
- (15) USDA, Selecting Dump Pits and elevator legs for Country Elevators. ARS 52-6-1965.
- (16) GALEANO ROSA, Servicio de información de mercados de productos agropecuarios, Bogotá, ICA, Boletín de investigación No. 12.
- (17) MORROW. D. The Economics of the International Stockholding of wheat. IFPRI, Washington 1980.
- (18) FOX. R. Brazil's Minimum Price Policy and the Agricultural Sector of Northeast Brazil. IFPRI, Washington, 1979.

CAPITULO III

ANALISIS ECONOMICO DE PROYECTOS DE ALMACENAMIENTO

Causa desconcierto comparar los objetivos que se plantean en los estudios preliminares para la ejecución de proyectos gubernamentales relacionados con mercadeo agropecuario, y los logros reales que se consiguen algunos años después. Una parte grande de estos proyectos termina en el fracaso, o muy cerca de él. Un reciente trabajo adelantado por CEGA⁽¹⁾ sobre la Corporación de Abastos de Bogotá, por ejemplo, dice:

“Estos objetivos (los iniciales) suponían una gran capacidad financiera de Corabastos, decisiva participación estatal en su manejo, y conciliación de intereses entre productores y mayoristas y consumidores. Los resultados encontrados . . . permiten concluir que de todos los objetivos propuestos inicialmente, sólo uno se ha llevado a cabo parcialmente, y es el de la provisión de infraestructura física para actividades de comercialización de alimentos . . . Corabastos se ha convertido en una empresa de carácter comercial, con servicios precarios para los mismos mayoristas y sin medios que la hagan trascender hasta productores y consumidores”, el mismo estudio incluye, en otras partes, frases como las siguientes: “Los ingresos de Corabastos han demostrado ser insuficientes para la generación de ahorros internos que contribuyan a financiar su expansión (p. 2) . . . el amplio poder de los mayoristas para oponerse a reajustes (en los arriendos) . . . el problema más serio lo constituye la carencia de una posición homogénea

y elaborada del Estado frente a Corabastos (su misma asistencia a las reuniones de Junta Directiva ha sido esporádica p. 47) . . . el fracaso de la intervención de Corabastos en planes de comercialización directos y las grandes posibilidades de que se repita en caso de volver a intentarlo”.

Frases similares se escuchan, en Colombia, en relación con organismos como Idema, Caja Agraria, Almagrario. Es enorme la distancia entre los objetivos inicialmente planteados para la mayoría de sus proyectos y los logros recolectados algunos años después.

Cuáles son las razones de los múltiples fracasos?, qué podría hacerse para disminuir el despilfarro de recursos y de esperanzas?

Para preparar las proyecciones de utilización de las instalaciones en años futuros, se suponen hechos que con mucha frecuencia no se cumplen. La inestabilidad política, y seguramente el mismo subdesarrollo administrativo, hace que no siempre exista continuidad en los programas. Con un cambio de Gobierno, y aun con un simple cambio de Ministro, se abandonan campañas de producción de determinados cultivos, de desarrollo de semillas y mejora de infraestructura, se cambia el significado de los precios de sustentación, la orientación de organismos como el Idema. Se fijan, sin mayor análisis y sin recursos muchas veces, metas de intervención gubernamental en las compras de determinados cultivos.

Se recuerda, como ejemplo de características dramáticas, el caso de la decisión de suspender, hace pocos años, la construcción de una represa, que había sido ampliamente estudiada durante varios años, tomada al calor de una manifestación política y unos cuantos “aguardientes”, organizada por los campesinos cuyas tierras se inundarían, por el Ministro de turno (quien permaneció en el cargo sólo 8 meses, para evitar inhabilitarse en las elecciones parlamentarias siguientes).

A veces la inexperiencia y desconocimiento de las realidades más elementales del país, hace que nuevos funcionarios

acometan, o anuncien con gran pompa, proyectos que ellos mismos deben abandonar poco después. En Colombia los molineros de trigo conocen de sobra que casi todo Ministro de Agricultura, o Gerente del Idema, en las primeras semanas, o meses, de su administración, al enterarse de la magnitud de las importaciones de trigo, propone sustituirlas con el incremento de la producción de grano en Colombia, país que no dispone de suficientes zonas frías mecanizables, y en el cual las escasas investigaciones que se hacen para desarrollar trigos para clima cálido, se han realizado en el Valle del Cauca, zona de tamaño limitado, y utilizada totalmente con cultivos de mayor rendimiento económico, como la caña de azúcar y soya. Y en fecha más reciente se recuerdan las declaraciones de un Ministro recién posesionado, sobre el "desmante" del Idema por las ingentes pérdidas causadas por su intervención en la cosecha de arroz, y la multitud de explicaciones que debió dar posteriormente para aclarar que el proceso sería gradual, y que se crearían otros mecanismos alternativos, para asegurar una relativa estabilidad a los precios. Pocos meses después, los industriales del arroz, quienes habían aplaudido sus anuncios sobre el desmante del Idema, apreciaron, con sorpresa, durante su Congreso anual, que la posición del Ministro había cambiado, y que reconocía para la labor del Idema, beneficio social, de tal manera que sus pérdidas financieras no necesariamente correspondían al "desangre" de la economía nacional, predicado escasamente 5 meses atrás.

A pesar de toda esta maraña de dificultades e improvisaciones, y de políticas de corto plazo inadecuadamente analizadas (o a lo mejor por ellas precisamente), es necesario realizar esfuerzos para mejorar la calidad y validez de los estudios de factibilidad que soporten, y justifiquen toda clase de proyectos agrícolas, entre los cuales se encuentran los de almacenaje de granos.

Son varias las razones que explican la dificultad de la preparación de un proyecto (especialmente en países en vía de desarrollo) que refleje la realidad del mercado. Una de las más importantes es la falta de información; en países como Colombia la información estadística es insuficiente, y no

siempre digna de confianza, sobre producción, consumo, mercados y precios. Aunque se ha avanzado en este campo, todavía se tienen variaciones muy grandes, para un mismo cultivo, según la fuente. En 1960, por ejemplo, las cifras sobre la producción de maíz variaron así: el Censo Agrícola de ese año arrojó un total de 1.054.000 toneladas; la Caja Agraria informó de 891.000 toneladas, cifra semejante a la del Idema de 857.000 toneladas, y el Agregado Agrícola de los Estados Unidos, con utilización de las mismas fuentes, calculó únicamente 650.000 toneladas, cifra que corresponde a 60% de la del Censo.

Como se mencionó anteriormente, la falta de información más completa puede causar grandes perjuicios y, aun, alterar la orientación de la política general en relación con un cultivo. Es indudable, como se mencionó en un capítulo anterior, que la imprecisión en las cifras de producción, consumo e inventarios de arroz, en el segundo semestre de 1981, (21 años después de la situación descrita del maíz) afectó las decisiones que el Idema (¿o el Ministerio de Agricultura directamente?) tomó en la disyuntiva de almacenar algunos meses sus enormes compras de dicho semestre, reservándolas para consumo interno posterior, o decidir su exportación o consumo inmediato, en forma integral, para reemplazo de sorgo importado. Los estimativos indicaban que los inventarios y producción apenas cubrirían las necesidades del siguiente semestre. La realidad mostró que el país tenía un excedente de 150.000 ó 200.000 toneladas, que Idema debió almacenar durante más de un año, con enormes costos financieros y grandes pérdidas en la calidad del grano, almacenado por períodos prolongados, en bodegas apenas apropiadas para conservación por 3 ó 4 meses.

En un artículo publicado en 1976 en la revista Coyuntura Económica⁽²⁾ se determinan algunas cifras que bien pueden utilizarse a manera de ejemplo: con base en datos estadísticos, para el maíz se encontró un índice de "inestabilidad" de precios de 8.38%, dado por las fluctuaciones año por año de los precios observados (??) con respecto a la tendencia de la serie, y una "elasticidad de la demanda" (aumento o disminución del consumo al variar el precio 1%) de 0.25%. El produc-

to de estas cifras, teóricamente, permitiría determinar el tamaño, medido porcentualmente, de las existencias requeridas para estabilizar los precios dentro de unas variaciones iguales a su tendencia histórica, en este caso 2.1%. De acuerdo con las cifras de OPESA (Oficina de Planeamiento del Sector Agropecuario)⁽³⁾, el consumo interno programado para ese año fue de 916.500 toneladas y, en consecuencia, la cantidad necesaria para estabilizar los precios, con un "índice de inestabilidad" no mayor a 2.1%, sería de 19.200 toneladas. La validez de estas cifras dependerá de la exactitud de las estadísticas mencionadas como punto de partida. Pero, de dónde provenían los datos de variaciones de precios?; qué significado tiene un índice de precios nacional, es un país donde el maíz se produce y mercadea en forma totalmente diferente en 10 o más regiones?, cómo se estimó la producción y el consumo? Si se recuerda la variación mencionada de las cifras de maíz de 1960, y de arroz de 1981, se concluye que las existencias determinadas no serían sino una primera aproximación muy burda.

Preparación de proyectos de almacenaje de granos

Para la preparación de un proyecto que refleje la realidad con alguna aproximación, todas las estadísticas deben cotejarse con encuestas de opinión calificadas, que aprovechen los conocimientos y experiencia de quienes están vinculados a la producción y al mercado, datos de retenes de carreteras (una fuente desaprovechada casi totalmente), navegación fluvial, cabotaje, ferrocarriles, etc., para, cuando menos, estimar en alguna forma el grado de discrepancia entre las estadísticas y la realidad.

Objetivos: Los objetivos de un proyecto de almacenamiento gubernamental, obviamente, no pueden ser los mismos que persiga un proyecto de empresa privada. La clarificación de estos objetivos es, posiblemente, la labor más difícil, pero de gran importancia.

Especialmente para los proyectos del Gobierno, es conveniente, antes de iniciar cualquier paso en firme, dedicar el

tiempo que sea necesario al análisis de la forma como se realiza el mercadeo, hasta tener una idea clara de la manera como encajaría el nuevo proyecto y sus posibles efectos. La visión preliminar debe realizarse desde una distancia adecuada, sin dar demasiada importancia a los detalles, con el fin de obtener una mejor perspectiva. Deben plantearse y analizarse, en forma descarnada, interrogantes como los siguientes:

De qué sirve construir la mejor red posible de silos, si la situación financiera del país no va a permitir que el organismo almacenador realice compras de importancia?

Qué objeto tiene disponer de una excelente infraestructura, si los vicios políticos del país la van a colocar en manos de "ahijados", de "caciques", o de personajes que compran el cargo, deseosos únicamente de recuperar las inversiones hechas?

De qué manera podría protegerse la organización; existiría alguna alternativa de acción directa del sector privado con algún estímulo y control gubernamental, que evite la repetición de experimentos como el de Corabastos?

PROYECTOS GUBERNAMENTALES ANÁLISIS ECONÓMICO

Objetivos económicos cuantificables

Los principales beneficios, directos para la entidad almacenadora, e indirectos para el conjunto de la economía, que se derivan de un proyecto de almacenamiento y beneficio de granos son:

Economías en costos de secado: De beneficio directo para el Instituto almacenador; en los sitios donde no disponga de suficiente capacidad de secado, deberá pagar a empresas particulares la prestación del servicio. La disponibilidad de secamiento propio evitaría estos pagos.

Reducción de pérdidas de post-cosecha: Conseguidas por un mejor manejo del grano; secamiento oportuno y almacena-

miento adecuado. Parte de las economías conseguidas serían de beneficio directo (especialmente las de almacenamiento) y parte para los agricultores (las de secamiento principalmente), pues al reducir el tiempo de espera antes del secado del grano, el producto entregado recibiría una mejor clasificación de laboratorio.

Economías en costo de almacenamiento: Al igual que sucede con el secado, el Instituto almacenador debe pagar el almacenaje de los granos, y su fumigación, en aquellas regiones donde no dispone de suficiente capacidad. La realización de un proyecto permitiría reducir estos costos y hacer directamente el almacenaje y las fumigaciones necesarias. Como se aprecia claramente estas economías constituyen beneficio directo para la entidad almacenadora.

Economías en fletes: Las economías en fletes que el proyecto traería consigo se configurarían de varias maneras:

a.- **Economías por despacho de granos a granel.** Se reduciría el costo de cargue y descargue de los camiones y el tiempo de espera de los mismos mientras son cargados. El valor total economizado por este concepto no tiene mayor importancia en las condiciones actuales de mercadeo, pues los granos se manejan en su gran mayoría en sacos. Es posible que en el futuro inmediato (próximos 3 ó 4 años) no se presente un cambio grande en los sistemas de manejo, pero en un plazo un poco más largo, las economías del sistema a granel deberían inducir su mayor uso. Estas economías pueden beneficiar al Instituto almacenador directamente cuando transporta grano de su propiedad de una planta a otra, o producir beneficios indirectos si el grano es comprado por particulares.

b.- **Economías por reducción de "doble" flete:** En algunos de los sitios donde se planea construir nuevas instalaciones, posiblemente es necesario despachar hasta sitios distantes los granos húmedos para su secado y almacenaje; el grano regresa algunos meses después para su consumo en la región de producción. El flete que se economizaría sería un beneficio del proyecto. Al igual que las economías del punto anterior, las correspondientes a este punto pueden beneficiar al Ente

almacenador directamente, o a particulares, según la propiedad del grano que se esté transportando.

c.- Economías por disminución del grano evacuado en la temporada "pico" de la cosecha: En los meses de recolección máxima, la mayor demanda incrementa los precios de transporte. La mayor capacidad que con el proyecto tendría el Instituto para retener grano almacenado mientras finaliza la época de alta demanda, evitaría la contratación de transporte, con los altos costos mencionados, hacia otros sitios donde se pueda disponer de capacidad de almacenaje. Estas economías, en general, constituyen un beneficio directo para el Instituto almacenador.

d.- Economías en los fletes de los agricultores: Este punto constituye, en cierta forma, la contraparte del punto anterior, pues se refiere a la reducción en los fletes que los agricultores pueden conseguir dada la disminución de los largos períodos de espera para entregar el grano húmedo en las instalaciones. Estas economías claramente constituyen un beneficio indirecto del proyecto. Un análisis detallado de los aspectos técnicos del recibo de granos se hace en el Capítulo 7.

Mejoría en los precios de mercado: El propósito principal de la intervención del Gobierno en el mercado de productos agrícolas, es la estabilización de los ingresos de los agricultores. Las compras realizadas, y el almacenaje de los granos así adquiridos, disminuyen la presión de la oferta en el mercado y producen una elevación general de los precios. El logro de este objetivo constituye un beneficio indirecto del proyecto. La acertada estimación del efecto estabilizador, tiene la mayor importancia en el cumplimiento de los objetivos del proyecto, y en su viabilidad económica.

Economías por disminución de empaque deteriorado: Las demoras en el recibo de los granos verdes aumentan el deterioro de los empaques que los agricultores utilizan para transportar su grano verde. La mayor agilidad en el recibo, consecuencia de las mejoras en infraestructura, disminuye este deterioro.

Beneficios de la producción adicional inducida por la seguridad que da a los agricultores la construcción de instalaciones de acopio y beneficio; puesto que uno de los principales riesgos que corren los agricultores, especialmente en las regiones de rápido crecimiento, es el de encontrar un mercado insuficiente o inadecuado para sus productos, la construcción de instalaciones fijas, contribuye a disminuir dicho riesgo y, en consecuencia, estimula el aumento del área sembrada y la producción. Se puede considerar, de acuerdo con las circunstancias de cada región, que las utilidades que realizarán los agricultores con la mayor producción, constituyen un beneficio del proyecto.

Beneficios no cuantificables

Además de los beneficios anteriores se debe tener en cuenta que la realización de un proyecto del tipo considerado, trae otra serie de beneficios de difícil cuantificación, tales como la difusión de mejores tecnologías de secado y almacenaje, especialmente en zonas agrícolas "nuevas". Las plantas de silos propiamente dichas permitirían además, en caso necesario, realizar almacenajes de larga duración (más de un año) con la seguridad de conservar los granos en buenas condiciones. La mayor parte de la capacidad instalada de almacenamiento de granos de Colombia está formada por bodegas para almacenaje en sacos, o en granel, que si bien son adecuadas para los almacenamientos inter-cosechas, cuya duración sea de apenas 3 ó 4 meses, han demostrado ser inadecuadas para períodos mayores.

Estimación de los volúmenes procesados y almacenados

Dado que la intervención de los Institutos estabilizadores de precios en el mercado no es permanente, por la misma forma como se concibe generalmente su función, no es realista suponer unas compras y utilización constante de las nuevas instalaciones. Para apreciar mejor la incidencia de las variaciones de cantidades manejadas en los resultados financieros y económicos de cada proyecto, es conveniente considerar varias alternativas, con diferentes compras anuales:

En una alternativa podría considerarse, por ejemplo, que las compras del Instituto, y en consecuencia la utilización de las nuevas instalaciones, variarían con un ciclo de tres años, en el primero de los cuales sería necesario hacer uso de toda la capacidad instalada de cada planta, en el segundo se tendría una utilización intermedia, en el tercero una sensiblemente menor. Esta sugerencia se apoya en el hecho de haber encontrado que, en las condiciones de los últimos años, en Colombia, los precios de los granos han tenido un ciclo de unos tres años de duración. Una temporada de precios altos, causada por demanda insatisfecha, es seguida por una de precios de descenso, producida por el aumento de la producción inducido por los precios altos de la temporada anterior. En cada ciclo de tres años es, además, posible tener un año de precios estables, tal como se aprecia en la figura No. 3.1 que corresponde a los precios de arroz paddy en tres zonas de importancia del país, desde 1978 hasta 1982.⁽⁴⁾

Una segunda alternativa podría considerar la utilización continua de las nuevas instalaciones que se construyan, como resultado de compras altas permanentes. El resultado económico de la evaluación de estas condiciones sería el mejor posible, en las condiciones más optimistas.

La proyección de compras, para cada sitio, puede determinarse, con las salvedades indicadas sobre la confiabilidad de las estadísticas, con los registros históricos de compras en la zona correspondiente, considerando además su potencial agrícola de desarrollo en corto y mediano plazo, y la opinión de acopiadores con experiencia en la zona.

Quantificación de los beneficios

— Disminución en los costos de secado: Puede considerarse como un ingreso del proyecto el valor de la tarifa comercial para el secado de una tonelada de grano verde.

— Disminución de pérdidas: Para apreciar con alguna claridad la magnitud de las pérdidas de post-cosecha que el Instituto (y los empresarios particulares) pueden sufrir, dado que

generalmente no se dispone de estudios completos y confiables sobre el tema, puede ser necesario organizar un grupo de trabajo que trate de determinar algunas cifras orientativas, con base, inicialmente, en registros históricos disponibles sobre la magnitud y origen de pérdidas experimentadas en el pasado, bajo distintas condiciones climáticas y en distintos tipos de estructura de almacenaje.

Además de estudios como el descrito, puede ser útil el análisis detallado de algunos casos particulares. Por ejemplo, para la preparación de un estudio realizado para Idema en 1983, se aprovechó la circunstancia de que el Instituto, por primera vez en muchos años, había almacenado cantidades importantes de arroz por un período relativamente largo, en zonas de alta humedad relativa y alta temperatura. El grano se había comprado en los meses de Agosto y Septiembre de 1982, de tal manera que para la fecha en que se hizo la evaluación (Septiembre 1983) se había completado un año de almacenaje. Los daños encontrados fueron relativamente altos, y permitieron apreciar las dificultades especiales que implica hacer almacenajes durante períodos largos, en bodegas insuficientemente equipadas (sin sistemas de control de temperatura, ni posibilidades de aireación o "trasiego" del grano).

En la tabla siguiente se indican algunos de los valores estimados de la reducción de pérdidas post-cosecha que, en definitiva, se utilizaron para el análisis del proyecto de Idema mencionado, valores determinados con los resultados de un estudio de informes de pérdidas de años anteriores, y con análisis de algunos casos de especial interés. (Año 1: compras máximas, 2 medias, 3 mínimas).

En el mismo trabajo de Idema se supuso, para la segunda alternativa considerada (compras altas del Idema en todos los años), que la reducción de las pérdidas de post-cosecha sería, en todos los años, similar a la más alta de la primera alternativa.

	REDUCCION DE PERDIDAS %			REDUCCION DE PERDIDAS %		
	(1) Por almacenaje adecuado			(2) Por secado oportuno		
	Año			Año		
	1o	2o	3o	1o	2o	3o
— Villavicencio	3.00	3.00	2.00	2.00	2.00	1.50
— Pasto	1.00	1.00	1.00			
— B/manga						
a- silos	2.00	1.50	1.00	2.00	1.50	1.00
b- bodega	1.50	1.50	1.50			
— S. Marcos	3.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.00
— Yopal	2.00	2.00	1.50	2.00	1.50	1.50

Tabla No. 3.1- Reducción de pérdidas de post-cosecha estimadas para algunos sitios del proyecto, Idema 1983

La estimación de las pérdidas de recolección, manejo, tratamiento y almacenaje de granos, en ausencia de estudios detallados no pasa de ser simple especulación. En años pasados, antes del desarrollo de metodologías y preparación de estudios en muchos países, sobre la magnitud real de las pérdidas, éstas tendían a ser sobrevaloradas, y por sí solas justificaron económicamente muchos proyectos, en Colombia y otros países.

Por ejemplo, la Cepal, en un estudio realizado en 1960 estimó que los daños totales en Colombia podrían alcanzar el 10% del total de la producción en años normales, y valores muy superiores en años húmedos.

Un estudio preparado para el Ina (antiguo Idema) por el Ilma en 1964⁽⁵⁾, coincidía en estimar las pérdidas en 10% y suponía que la ejecución de un "plan de silos" podía reducirlas, para el grano tratado en ellos, a 2%, es decir la sola reducción de pérdidas de almacenaje produciría un beneficio equivalente al valor de 8% de la producción.!!

En Colombia en 1961, cuando aún muchos molinos de arroz no disponían de instalaciones mecánicas para secar el grano, y buena parte se secaba al sol, se calculaba que "la falta de secamiento adecuado causa la pérdida de aproximadamente el 30% del valor de la cosecha anual".⁽⁶⁾

En Ecuador el Cendes⁽⁷⁾ estimaba que en 1970, las pérdidas de la cosecha de maíz alcanzaban el 20% de la producción total.

Un estudio realizado por consultores brasileros en Bolivia en 1971⁽⁸⁾, trató de determinar las pérdidas en cada una de las etapas de comercialización de arroz, con los siguientes resultados: durante el almacenaje temporal realizado en las fincas productoras, las pérdidas varían entre 3% y 8% del total producido; en los almacenajes hechos por los intermediarios, aparentemente en condiciones muy malas, se encontraron pérdidas hasta del 15%.

Para sustentar futuros proyectos de almacenaje y determinar las causas de los deterioros principales que sufren los granos después de la cosecha, es necesario adelantar algunos estudios detallados, que cubran diferentes zonas y condiciones y abarquen, cuando menos, períodos de almacenaje de 1 año. En el Apéndice No. 1 se presenta un resumen de un proyecto para el cual se ha buscado financiación de alguna entidad internacional.

— Reducción de costos de almacenaje: En aquellos lugares donde el Instituto no disponga de suficiente capacidad de almacenaje, debe pagar costos de "bodegajes"; en Colombia la tarifa actual, aplicada en la mayoría de los casos, es la de los Almacenes de Depósito: 0.60% mensual del valor de la mercancía almacenada para Bodegas y 1.00% para Silos.

— *Economías de fletes:*

a- *Economías por entrega a granel:* Se puede suponer, de acuerdo con el conocimiento que se tenga de la forma como haya evolucionado el mercadeo de granos en las zonas consi-

deradas, en los últimos años, que una parte, diferente posiblemente en cada alternativa de análisis, del grano que se entregue en los nuevos SILOS, se manejará a granel. Las reducciones en el valor de los fletes pueden estimarse evaluando las reducciones en el tiempo de espera de los camiones tanto para cargue como para descargue (ver Capítulo 7). Es recomendable en estos estimativos, pecar un poco por pesimista que ser demasiado optimista, la experiencia ha demostrado que la difusión de un cambio radical en el mercadeo de productos agropecuarios, como el transporte a granel, es un proceso lento.

b- Economías por reducción de "doble" flete: Para calcular este punto, se debe estimar el consumo propio de las regiones donde se puede presentar el "doble" flete y calcular su valor total con la tarifa de transporte hasta el centro de proceso actual.

c- Economías por disminución de transporte en "pico" de cosecha: Los aumentos de valor de los fletes en la temporada "pico" de cosecha se pueden determinar con datos de transportadores y comerciantes. Es necesario, además, estimar las cantidades de grano que NO será necesario movilizar en cosecha con la ejecución del proyecto:

d- Economía para los agricultores en fletes: En los meses de cosecha es frecuente que los transportadores cobren a los agricultores un mayor valor por el servicio de transporte hasta las instalaciones del Idema. El sobrecosto se debe a la larga demora que, con frecuencia, se tiene para la entrega del grano, causada por las limitaciones de infraestructura del Instituto. Las cifras correspondientes pueden determinarse con las empresas transportadoras y los comerciantes de cada región. Obviamente, dicho recargo debe ser variable, de acuerdo con la magnitud de las compras que se proyecte.

— Mejora en los precios de mercado: Generalmente no se dispone de estudios detallados sobre el efecto estabilizador en los precios de los agricultores, de las compras de entidades gubernamentales. Para el proyecto mencionado de Idema, se

utilizaron datos tomados del comportamiento real del mercado en sitios como Villavicencio. Cuando Idema se ha retirado del mismo por alguna razón (por ejemplo si sus bodegas se encuentran llenas) en los picos de cosecha, se encontró, con base en series de precios tomadas en los mismos molinos arroceros, que los precios de grano verde descienden inmediatamente entre 7 y 10%; además, para dicho proyecto, se utilizaron algunos de los resultados de un proyecto de la SAC⁽⁴⁾ sobre la factibilidad técnico-económica del secado y almacenaje de granos en fincas productoras, presentados más adelante.

— Deterioro de empaque: Aunque la evidencia parece indicar que las pérdidas por empaque deteriorado son mayores, para la evaluación del proyecto mencionado de Idema se utilizaron cifras que oscilaban entre 2% y 0.5% del valor del empaque, que fueron estimadas, en forma conservadora, con registros directos de algunos agricultores.

— Beneficio de la producción adicional: En la mayor parte de las zonas agrícolas que se considera en los proyectos de almacenaje, la incertidumbre en la venta de sus productos es la dificultad principal que deben enfrentar los agricultores. Se considera que la construcción de instalaciones del Gobierno para manejo de granos, y la mayor seguridad que tendrán los agricultores de contar con mercadeo apropiado, inducirá la extensión del área sembrada y el aumento consiguiente de la producción.

Si no se dispone de estudios detallados que permitan cuantificar el incremento esperable en la producción (la experiencia ha demostrado que se produce este aumento), parece razonable suponer que, en ausencia de circunstancias especiales como violencia, o aislamiento casi total, el incremento después de algunos años puede ser igual al volumen promedio de las compras que el Instituto realizaba en la zona, antes del proyecto, pues así, en el peor de los casos, la situación de los agricultores que no le vendan al Instituto después de construido el proyecto, sería la misma que antes del mismo.

Puede considerarse como "beneficio" del proyecto (de tipo "social" obviamente) el valor total, o una parte, de las utilidades que realicen los agricultores sobre la producción adicional; utilidad que podría estimarse, en ausencia de datos más precisos, como un porcentaje del valor de la producción, de acuerdo con los márgenes promedio que incluya el precio de sustentación según las políticas fijadas por el Gobierno.

Evaluación financiera

a- Con precios de mercado:

Los beneficios y costos descritos deben cuantificarse para evaluar la Tasa Interna de Retorno del proyecto (u otro indicador de su bondad económica), en las condiciones de las diferentes alternativas consideradas. La proyección debe realizarse por un período suficientemente largo, que refleje la vida útil de las construcciones.

Es conveniente determinar la Tasa de Retorno, en forma separada, con los beneficios totales (directos más indirectos) y con beneficios directos únicamente, para cada una de las alternativas.

b- Con precios de eficiencia (o precios sombra).

En ocasiones, cuando la importancia del proyecto lo justifique, o existan dudas sobre los efectos de algunas distorsiones introducidas a los precios, es conveniente realizar la evaluación económica con unos precios que reflejen el verdadero costo para la economía, considerada como un todo, de los recursos utilizados. La metodología de los precios de eficiencia, recomendada por el BID para la evaluación de los proyectos que se presenten a su consideración, permite aislar de los precios, aspectos de distorsión como aranceles de aduana, costo artificial de mano de obra, subsidios pagados por el uso de energía eléctrica o combustibles, etc. El resultado de la evaluación financiera, hecha con estos precios, en consecuencia, reflejará el verdadero costo/beneficio del proyecto.

OTRAS CONSIDERACIONES SOBRE PROYECTOS GUBERNAMENTALES

Para que las compras del Gobierno tengan efectos de importancia, su magnitud debe ser tal que afecte los precios de los granos que se negocian independientemente. Estudios y cifras publicados en México, Costa Rica y otros países con larga trayectoria en intervención gubernamental en los mercados de productos agropecuarios, parecen indicar que las compras hechas con precios de sustentación de cantidades que varíen entre 10% y 20% de la producción de cada grano, serían suficientes para mantener los precios de los agricultores en niveles adecuados. Para granos con canales comerciales bien establecidos compras de apenas 8% a 10% serían suficientes. Sin embargo, la experiencia colombiana de los últimos años, especialmente con arroz, no parece corroborar estas cifras.

En desarrollo del trabajo mencionado de la SAC, donde se analizó la conveniencia de promover el secado y almacenaje de granos en las mismas fincas productoras⁽⁴⁾, el autor trató de cuantificar los efectos de las compras del Idema en tres zonas del país, desde 1978 hasta 1982. A continuación se presentan las cifras de mayor significación encontradas:

Como las series de datos disponibles (suficientemente confiables y detalladas) fueron relativamente cortas (únicamente 5 años), la evaluación de los efectos del almacenaje de granos en fincas productoras por procedimientos econométricos se limitó al planteamiento de las variables que, se cree, inciden principalmente, y a la descripción del orden de magnitud de la incidencia de cada una.

El "modelo" que relaciona los precios de mercado con la magnitud de los retiros de la oferta por almacenaje, se cree que es del mismo tipo del que evaluaría los efectos de las intervenciones del Idema, con las salvedades hechas a lo largo del estudio, sobre sus limitaciones.

La inspección de la relación "histórica" de los precios de mercado, precios de sustentación, producción, etc., muestra que el "modelo" tendrá la siguiente forma:

$$PM = f(I, IGD, C.Alm, Inc Prod)$$

Donde PM es el precio de mercado, medido como un porcentaje del precio de sustentación.

I indica la magnitud de la "Intervención", expresada como un porcentaje sobre la producción de la zona. Esta "intervención" correspondería a compras de Idema para almacenaje o a grano almacenado en fincas.

IGD es el Índice del "Grado de Desarrollo" de la infraestructura de mercadeo total de la zona considerada. Un alto Grado de Desarrollo (que correspondería a un Índice bajo), implica que se dispone de un excedente de recursos (físicos, empresariales y financieros) que permitiría absorber incrementos de producción de tamaño relativamente importante, sin que se presenten trastornos grandes en los precios y mercadeo.

C.Alm es un Índice de Costos de Almacenamiento. En 1982, antes de la reducción de los intereses de los bonos de prenda, el Costo de Almacenamiento de grano era de aproximadamente 4.5% mensual, del cual 2.5% correspondía al costo de los Bonos y 2% a costos de otro tipo (Timbres, bodegajes, fumigaciones, manipuleos, costo del dinero para financiar la parte no cubierta por Bonos, etc.).

Inc Prod corresponde a los incrementos de la producción arrocerá, entre semestres comparables. Se encontró que el simple incremento de la producción en la zona, no era suficiente para explicar variaciones de importancia en los precios. Se acudió al concepto de variaciones en la producción regional, que abastecerían un mismo mercado. Así el Huila, Tolima y Meta conformarían una sola región por abastecer principalmente el mercado de Bogotá; su proximidad geográfica permite además alta movilidad de la materia prima, de tal manera que cuando en el Tolima se presenta escasez de paddy verde, los industriales desplazan sus compras al Meta.

Se encontró que era necesario medir los incrementos de producción en tres áreas diferentes: 1) la zona que se esté considerando, por ejemplo el Meta, 2) la región que conforma con la zona un solo mercado (sin incluir la producción de la zona). El Tolima y Huila para el caso del Meta, o el Meta y el Tolima para el Huila.

Variación de los costos de almacenaje: Los intereses de los bonos de prenda han tenido la variación indicada en la Tabla No. 3.2 en los últimos años:

1978:	17 ^o o anual (1.42 ^o o mensual)
1979	17 ^o o anual (1.42 ^o o mensual)
1980 SEM A	24 ^o o anual (2.00 ^o o mensual)
SEM B	28 ^o o anual (2.30 ^o o mensual)
1981	30 ^o o anual (2.50 ^o o mensual)
1982	30 ^o o anual (2.50 ^o o mensual)

TABLA No. 3.2 VARIACION DE INTERESES DE BONOS DE PRENDA

Si, en el costo TOTAL de almacenaje, se considera constante el costo de los OTROS conceptos (bodegajes, fumigaciones, etc.), y se toma el costo de 1982 = 1, se tiene que los demás años registran los siguientes INDICES:

1978:	0.76
1979:	0.76
1980 A:	0.88
B:	0.95
1981:	1.00
1982:	1.00

TABLA No. 3.3 INDICES DE COSTOS DE ALMACENAJE-COLOMBIA

Es posible que los índices anteriores simplifiquen demasiado la medición del Costo de Almacenaje, pues, además, de los intereses, las decisiones de la Junta Monetaria, han afectado el monto total financiable con Bonos, y, además, el costo del dinero para financiar la parte no cubierta por los Bonos

ha variado en estos años. Sin embargo las cifras anteriores se consideran adecuadas para el propósito explicativo del "modelo".

Índice del grado de desarrollo: El Grado de Desarrollo, del mercadeo de arroz en el Huila es claramente mayor que el del Meta o Santander. En consecuencia el efecto del almacenaje de granos, para disminuir la oferta, es menor en el Huila que en los otros Departamentos mencionados. Por ejemplo, como una primera aproximación para la evaluación del "modelo", podrían proponerse valores como los siguientes para el IGD:

Huila:	IGD = 1.1 (efecto reducido)
Cesar, Santander	IGD = 1.3 (efecto un poco mayor)
Meta:	IGD = 1.5 (efecto más apreciable)

Tabla No. 3.4- Índice del grado de desarrollo del mercadeo de arroz en algunas zonas del país

Magnitud de las intervenciones: Para la prueba del "modelo" podría utilizarse la magnitud de las intervenciones del Idema, determinadas con datos del Instituto y resumidos en las tablas No. 3.5 y 3.6.

Incrementos de la producción: Las tablas 3.5 y 3.6 indican las variaciones en producción de cada semestre, en relación con el mismo semestre del año anterior, para cada Departamento zona, cada región (sin considerar la zona considerada) y el país, descontando las exportaciones estimadas. No se dispone de datos confiables sobre las exportaciones, pues las diferentes fuentes consultadas (Incomex, Idema, Federaciones de molineros, Proexpo) tienen cifras muy diferentes. Las cifras precisas será necesario determinarlas directamente con los exportadores en el futuro.

Aplicación del modelo: Para visualizar la forma como están relacionadas las variables descritas, y evaluar la posible magnitud de la incidencia de cada una, a continuación se analizan las variaciones observadas en el Meta y en el Huila.

META

	P.M. % de PS	I	IGD	C.Alm.	Inc Prod		
					Zona	Región	Nal
79	81%	15%	1.5	0.76	1.03	1.00	1.05
80	83	24	"	0.95	1.02	1.02	0.94
81	96	2	"	1.00	1.21	0.92	1.00
82	75	32	"	1.00	1.22	1.12	1.18

Tabla No. 3.5- Resumen de algunas variables que afectan el mercadeo de arroz en el Meta

Análisis

1) 1980: El incremento de la intervención del Idema (24%), necesario para sostener los precios en el nivel de 83% del precio de sustentación, se explicaría por el aumento del Costo de Almacenamiento (0.76 a 0.95), pues las variaciones observadas en la producción no tienen demasiada importancia.

2) 1981: Aunque se presentó un aumento de importancia en la producción de la zona (21%), el descenso de la producción REGIONAL, (en este caso en el Tolima principalmente) fue suficiente para incrementar los precios del paddy verde, prácticamente sin intervención del Idema, hasta 96% del precio de sustentación efectivo, compensando el aumento del costo de almacenaje.

3) 1982: El descenso de los precios de mercado hasta 75% del PS, fue motivado por los incrementos de producción observados. La intervención de Idema de 32% (la más alta registrada) no fue suficiente para estabilizar los precios en una cifra mayor. La elasticidad de la curva de oferta, debió ser ese año muy alta, pues posiblemente se sobrepasó la capacidad instalada de secado de la zona y su capacidad financiera.

HUILA — SEMESTRE B.

	P.M. % de PS	I	IGD	C.Alm.	Inc Prod		Nal
					Zona	Región	
79	86%	0.8%	1.1	0.76	1.01	1.01	1.05
80	87	0.2	"	0.95	1.03	1.02	0.94
81	95	0.0	"	1.00	1.03	1.03	1.00
82	76	4.0	"	1.00	1.16	1.17	1.18

Tabla No. 3.6 Resumen de algunas variables que afectan el mercadeo de arroz en el Huila

Análisis:

1) 1980: El aumento del costo de almacenamiento pudo ser compensado por el incremento de la disponibilidad para el consumo nacional.

2) 1981: El nuevo aumento del costo de almacenamiento, no afectó los precios de los agricultores, la reducción de la producción en el Tolima, no apreciable en las cifras presentadas, produjo el mismo efecto en los precios de los agricultores que en el Meta.

3) 1982: El gran incremento de la producción en todas las regiones del país, redujo los precios del arroz blanco y afectó los precios del paddy verde. La reducida intervención de Idema, a pesar del descenso apreciable de los precios recibidos por los agricultores, muestra el efecto del Grado de Desarrollo de la Industria (medido en este caso, posiblemente, por la "prontitud" en los pagos del arroz).

ORDEN DE IMPORTANCIA DE LAS VARIABLES

De acuerdo con las consideraciones anteriores, la incidencia de las variables independientes podría ordenarse en la siguiente forma (de mayor a menor):

- 1- Las variaciones en la producción regional parecen tener la mayor incidencia, como factor desestabilizador de los precios, afectadas por el Índice del Grado de Desarrollo.
- 2- Variaciones en la producción zonal.
- 3- Costos de almacenaje.
- 4- Disponibilidad para consumo nacional.

El efecto estabilizador de la intervención de Idema queda como el gran interrogante. Sorprende, a primera vista, el reducido efecto de las compras de 32% de la cosecha zonal del Meta en 1982. Es posible que, pasado cierto límite de "intervención", el efecto sea contraproducente, por la incertidumbre que introduce en el mercado el gran tamaño de las existencias del Idema.

El efecto del almacenaje en fincas: Posiblemente sea mayor que el de compras del Idema, al no producir en los comerciantes el temor de ventas con precios "políticos". De todas maneras no puede olvidarse que el almacenaje de granos es una medida de efectos estabilizadores de corto plazo.

Como se mencionó, la experiencia ha demostrado que la intervención del Gobierno no es eficaz si, además de fijar precios de sustentación calculados adecuadamente para cada región, de acuerdo con los costos de producción, estímulo deseado, etc., no se complementa con medios financieros para hacer los pagos dentro de plazos razonables, y con convencimiento por parte de los funcionarios y laboratoristas que intervienen en las compras, de la importancia de su labor. La actitud de estos funcionarios es, en ocasiones, la de quien concede un favor al agricultor. Las normas gubernamentales de calidad con frecuencia son, además, poco prácticas, de aplicación difícil y generalmente no coinciden con las que aplica la industria, o los intermediarios. Así, maíz clasificado como de regular calidad por el organismo gubernamental, puede ser considerado de primera clase por parte de la industria que utiliza el grano, y conoce realmente sus factores de calidad.

COMPONENTE CICLICO PRECIOS PADDY

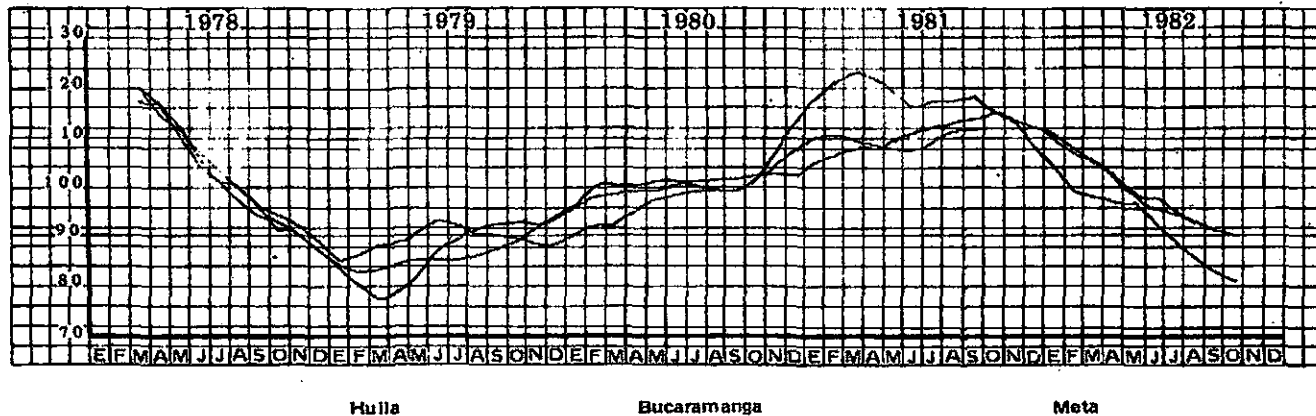


Fig. 3.1- Precios constantes enero de 1975

Los intermediarios

Intermediarios: Uno de los argumentos que se menciona con mayor énfasis para justificar la necesidad de intervención del Gobierno y la construcción de silos, es la influencia "desmedida" de los intermediarios en la fijación de los precios.

La acción de los intermediarios no puede juzgarse a la ligera. No siempre las culpas que se atribuyen a ellos son ciertas (y, en consecuencia su desaparición no soluciona los problemas): se les culpa de elevaciones de precios, acaparamiento . . ., simplificando algunas veces la realidad, por desconocimiento del papel que están cumpliendo en el mercado. Los acopiadores, por ejemplo, son muchas veces verdaderos especialistas en la búsqueda de canales de venta para sus productos. La existencia de un margen de comercialización elevado, puede simplemente estar reflejando la carencia de adecuada infraestructura: vías, transporte, etc.

Cuando la influencia de los intermediarios es verdaderamente desproporcionada, se encuentra, normalmente, alguna o algunas de las siguientes condiciones:

1- Fraccionamiento de la oferta en muchos pequeños productores con escasos recursos económicos.

2- Desconocimiento de los productores de los rudimentos de la clasificación y tratamiento de los granos.

3- Poca información sobre los niveles de precios en las zonas productoras.

4- Carencia de vías adecuadas.

5- Compromisos financieros de los agricultores con comerciantes por "avances" recibidos durante el desarrollo del cultivo.

6- Demasiada distancia entre las fincas productoras y el puesto de compra más cercano. El productor encuentra preferible vender sus productos a quienes los compran cerca de las fincas.

Con tantas causas, es natural que la solución no puede ser una sola. La formación de cooperativas de productores, que permita presentar un frente unido frente a los compradores, puede solucionar los problemas causados por el fraccionamiento de la oferta. Los sistemas de información pueden mejorarse utilizando la radio comercial y por medio de las mismas cooperativas. La simple construcción de una vía "carreteable" puede transformar el mercadeo de una zona. Los créditos agropecuarios canalizados y controlados por el sistema bancario pueden tener un efecto muy grande. Puestos de compra más cercanos que faciliten los transportes y la misma venta, atraerán un mayor número de agricultores.

Aun en zonas de agricultura moderna, los intermediarios pueden cumplir labores muy importantes, por ejemplo en muchas regiones las industrias prefieren negociar con intermediarios, acopiadores o comisionistas, en lugar de tratar con 50 o más agricultores dispersos. Algunas de estas industrias organizan su red de compras con los principales intermediarios de las zonas agrícolas, a quienes suministran con anticipación los empaques, para que estos a su vez los entreguen a los agricultores. Estos acopiadores otorgan pólizas de seguros a las fábricas para garantizar el adecuado manejo de los empaques y de los anticipos que a veces reciben.

La experiencia de los acopiadores e intermediarios tradicionales no debe ser desconocida. No es fácil sustituirlos por un solo gran comprador gubernamental, como recomendaba alguno de los estudios mencionados anteriormente, en forma simplista y aun ingenua: "la Empresa de Silos desplazará al intermediario y las utilidades de este se traducirán en beneficios para el agricultor". En el caso descrito los agricultores quedarían en poder de un solo comprador fuerte, expuestos a los caprichos y presiones indebidas de los laboratoristas y jefes de planta de la Empresa de Silos. El Gobierno no necesariamente es mejor administrador que los particulares, especialmente si se tiene en cuenta la inestabilidad de las políticas derivadas de Ministros que permanecen en su cargo 8 meses.

El plan desarrollado por el Ilma para Inagrario⁽⁹⁾, suponía que los agricultores harían uso en forma continua de los servi-

cios del Almacén de Depósito, al contratar el secado de sus granos y almacenar sus productos en la época de máxima cosecha, durante 10 ó 15 días, para luego venderlos en un mercado menos "ofrecido" con conocimiento de su clasificación y peso exacto. Sin embargo, la realidad, 20 años después, continúa mostrando, en todos los Almacenes de Depósito, que sólo en circunstancias especiales los agricultores efectúan algún almacenaje o pignoración directamente; el pago de los créditos del cultivo los presiona y el menor "papeleo" y pago más rápido, los motiva a vender su grano inmediatamente se termina la cosecha.

La promoción del almacenaje en fincas, como herramienta estabilizadora, requeriría el diseño de políticas claras, orientadas hacia tal fin. El estudio mencionado de la SAC⁽⁴⁾ plantea los siguientes aspectos:

Conclusiones y recomendaciones:

a- De carácter general:

1- Los precios del arroz han tenido en los últimos años una marcada inestabilidad. El encarecimiento del costo de almacenaje (bonos de prenda, etc.) ha contribuido a aumentar la inestabilidad, al disminuir la posibilidad de recuperar los costos de almacenaje con los aumentos de precios del mercado. La intervención del Idema, con grandes costos, en el mercado, para disminuir el tamaño de la Oferta, y el almacenaje de los granos adquiridos, no ha sido solución suficiente para disminuir la inestabilidad de precios y, más bien, algunos resultados de este estudio parecen mostrar que las compras demasiado grandes del Idema contribuyen a prolongar la inestabilidad del mercado.

2- Los problemas de comercialización del arroz son, actualmente, diferentes de los que se presentan en otros granos (sorgo, maíz. . .) pues, a diferencia de lo que sucede con estos últimos cultivos, la producción de arroz abastece las necesidades del país y deja algunos remanentes para su exportación.

3- Aspectos financieros: El desarrollo de un Plan de Almacenamiento en fincas, que pueda tener alguna significación, y resultados positivos de estabilización de precios, debe formar parte de un Plan General de Estabilización, desarrollado y coordinado por el Ministerio de Agricultura, con participación de todas las entidades vinculadas, en una u otra forma a dicha actividad. Como se analizó en capítulo anterior, el almacenaje en general, es sólo una de las herramientas disponibles, y sus efectos, necesariamente, son de corto plazo. Si no se cuenta con mecanismos que hagan "desaparecer" efectivamente los productos almacenados, en un plazo relativamente corto, los costos totales de los almacenajes pueden ser mayores que los beneficios que puedan obtenerse con la estabilización de precios.

4- El sistema debe disponer de recursos financieros suficientes y económicos para permitir la inmovilización de cantidades relativamente grandes de grano.

5- El papel del Idema: Los resultados del estudio muestran claramente que, en las condiciones actuales del país, no siempre es factible almacenar granos en forma económica, aun por períodos cortos. El comportamiento del mercado en los períodos "intercosechas" no refleja claramente el costo del mantenimiento de inventarios. Así la alternativa propuesta de almacenar granos en fincas productoras, debería contar con mecanismos de "sustentación" operados por el Idema, que permitan a los agricultores participantes cubrir sus costos adicionales, en las temporadas relativamente frecuentes en que los movimientos del "mercado" no los reflejen adecuadamente.

6- La efectividad de la retención de grano en las fincas productoras, para sostener los precios de mercado que reciben los agricultores no participantes, será, probablemente, mayor que la que se conseguiría con una intervención directa del Idema de la misma magnitud, al despojar a estos inventarios del carácter "político" que tienen cuando están en manos del Idema.

7- Las compras de arroz de 1983, que dejaron en manos del Idema la mayor parte de los inventarios del país, parecen haber agudizado las dificultades del mercado, pues los inventarios de trabajo ("pipeline") de los comerciantes, que normalmente son de 15 días, o más, de sus ventas, se redujeron apreciablemente. Estos inventarios de trabajo, que quedaron en manos de los industriales, contribuyeron a aumentar la impresión de abundancia adicional.

8- Aspectos técnicos: La tecnología para secado en fincas más adecuada parece ser la misma utilizada en los pequeños molinos arroceros: "albercas de secado". Se dispone de amplia experiencia para su manejo en todas partes y su costo es reducido.

b- De carácter específico:

Los resultados del estudio muestran que la propuesta de secar arroz y almacenarlo en las fincas productoras es financieramente viable, siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones básicas principales:

1- Si pasado un tiempo determinado (3 ó 4 meses) los precios del mercado no cubren los costos de almacenaje en que incurrió el agricultor, se debe contar con la opción de entregarle grano seco al Idema, quien, además, pagaría los costos mencionados con una tarifa que, se demuestra, sería inferior a sus costos actuales, pero rentable para el agricultor.

2- Dada la magnitud de las economías de escala determinadas en el estudio, toda instalación que se programe debería contar con la posibilidad de tratar cantidades no inferiores a 1.000 toneladas por año.

3- La administración y dirección técnica de los procesos de secado y almacenaje, debe ser realizada por el mismo equipo que administra y maneja la finca. La rentabilidad y bondad del proyecto se disminuye sustancialmente si se requiere emplear personal administrativo, o técnico, adicional.

4- La alternativa tecnológica escogida debe ser, en todos los casos, la más simple y económica posible.

5- Los agricultores deben contar con asistencia técnica, financiera y administrativa de su gremio y del Idema.

6- Las instalaciones deben construirse con recursos financieros de fomento, con plazos no inferiores a 4 años y un año de gracia.

7- Cuando el mercado lo exija, o permita, los agricultores podrán vender, a la industria, el grano seco inmediatamente se termine el proceso de secado. El solo servicio de secado, sin incluir almacenajes, hace el proyecto viable financieramente, aunque no demasiado rentable.

Ubicación de las plantas de recibo y tratamiento:

Para seleccionar la ubicación y tamaño de las plantas, es necesario efectuar estudios cuidadosos, en los cuales tengan intervención directa, además de técnicos y economistas, personas que conozcan la forma como opera realmente el mercadeo en cada zona, la forma como actúan los agricultores y compradores principales, para, de esta manera, disminuir la posibilidad de construir plantas que permanezcan ociosas por años, como la construida por Inagrario en Mercaderes, hacia 1971.

En Mercaderes, pequeño poblado del sur de Colombia, multitud de pequeños agricultores producían maíz en abundancia antes de 1970, los compradores particulares y las industrias de la cercana Cali, compraban en forma rápida y con pagos oportunos casi la totalidad de la producción antes de que se terminara su recolección. Que razón podría tener, así, un campesino para almacenar su pequeña producción en la Planta de Almagrario?, la cual, además, se construyó lejos de la principal zona de producción y de la ruta normal que siguen los granos hacia las zonas de consumo.

La ubicación preliminar de una nueva instalación puede determinarse, con la identificación, con ayuda de datos esta-

dísticos corroborados por comerciantes locales experimentados, de los puntos locales de acopio, principales centros de consumo y cantidades de grano que se reciben o consumen en cada sitio. Posteriormente se debe confirmar si los sitios seleccionados están realmente integrados comercialmente a las zonas productoras, por vías que funcionen, tradición comercial, etc. La labor de acopio será más difícil, especialmente en las zonas de agricultura tradicional, si se decide ir contra la tradición comercial, y cambiar los sitios de mercado usados hasta el momento.

PROYECTOS PRIVADOS ANÁLISIS ECONOMICO

La justificación económica de los proyectos de almacenaje privados tiene como "ingresos" sólo algunas de las partidas consideradas para los proyectos gubernamentales.

Claramente los ingresos de tipo "social" (mejoramiento de los precios de los agricultores, etc.), no se pueden considerar en la evaluación económica de proyectos privados.

Objetivos económicos:

Entre los principales se encuentran los siguientes:

- Economías en costos de secado
- Control de las mermas de secado y almacenaje
- Reducción de pérdidas de post-cosecha
- Economías en costos de almacenaje y reducción de doble flete; al Almacén de Depósito, por ejemplo.
- Mejora de las posibilidades de compra de grano. Recibo ágil que tiene atractivos para los camioneros.
- Beneficios de la compra de granos con bajos precios en la época de cosecha. Su factibilidad depende del costo total de almacenaje que se calcule y de las expectativas de aumento de los precios que tenga el industrial.

Cálculo de los costos de almacenaje:

A continuación se presenta, explicada con la ayuda de un ejemplo que utiliza cifras cercanas a las de 1984 (tipo de cam-

bio US\$ = \$95), un procedimiento para calcular el costo estándar de almacenaje de granos, desarrollado por Ediagro Ltda., de acuerdo con las prácticas colombianas:

a- Costos de empaque (costal):	\$80 (62.5 kg/cu - se necesitan 16 por tonelada)
b- No. de usos de cada empaque	4 (veces: 25%)
c- No. de manipuleos en almacenaje:	2 (cargue y descargue del arrume)
d- Costo de cada manipuleo:	\$80 (por tonelada)
e- Costo de bonos de prenda:	1.5% mensual
f- Porcentaje pignorable:	80% (del total)
g- Timbres del pagaré de bonos:	3 por mil
h- Costo de oportunidad del capital propio	3% mensual
i- Seguro de incendio	
j- Costo de cada fumigación	\$50 (por tonelada)
k- Días entre fumigaciones	30 (clima medio)
l- Duración del almacenamiento	4 (meses)
m- Bodegaje Bodega Propia	0.3% (mensual)
n- Instalaciones externas	0.6% (bodegas-mes)
o-	1.0% (silos-mes)
p- Tipo de construcción, silo o bodega:	Bodega-propia (ejemplo)
q- Precio del grano	\$20.000 (tonelada)

Resultados:

A- Costo de Manipuleos:	\$ 160 (c x d)
B- Capital propio necesario	\$4.000 (100-f%) x q
B' Inversiones en empaque	\$1.280 (a x 16)
C- Costo/mes de capital propio utilizado	\$ 140 (B + B' x h)
D- Costo de reposición de empaque:	\$ 320 (a x 16 x b = .25)
E- Costo de bonos de prenda/mes	\$ 300 (q x e)
F- Timbres	\$ 60 (q x g)
G- Fumigaciones	\$ 50 (j x k/30)

H- Bodegajes	\$ 60 (q x m)
I- Costo total 4 meses:	\$2.740 = (4x(C+E+G+H))+ A+D+F
J- Costo mensual:	\$ 685 / tonelada de grano

Como se puede apreciar, en el análisis anterior se encuentra implícito que el "ingreso" que genera la construcción de instalaciones propias es igual a la diferencia en los costos de bodegajes, en instalaciones propias o en instalaciones ajenas:

$0.6\% - 0.3\% = 0.3\%$ para bodegas, \$ 60 mensuales en el ejemplo.

$1.0\% - 0.3\% = 0.7\%$ para silos, \$140 mensuales en el ejemplo

Cifras que no necesariamente justificarían la inversión.

Determinación de las necesidades de almacenaje:

En la determinación del tamaño óptimo de las instalaciones de secado y almacenaje de granos, de una industria procesadora de granos, inciden aspectos de tipo técnico, y consideraciones de mercadeo derivadas del conocimiento de situaciones pasadas y predicciones del futuro.

Aspectos técnicos y de mercadeo:

Para determinar el tamaño óptimo de las instalaciones de almacenaje de una industria debe recolectarse, por lo menos, la siguiente información:

— Distribución mensual de la recolección de los granos considerados (% de cada mes) en la zona. Datos de las siembras, datos de créditos, etc.

— Utilización de la materia prima por parte de la industria. Depende de las ventas (estacionalidad de las mismas).

— Alternativas de abastecimiento durante las épocas de no cosecha en la zona. Granos provenientes de otras zonas. Compras al Instituto estabilizador, ofertas en la Bolsa Agropecuaria . . .

— Alternativas para secado y almacenaje de granos en la zona. Almacenes de Depósitos, etc. Tipo de construcciones, número de movimientos necesarios, etc.

— Costo de los fletes de las bodegas de almacenaje alternativas hasta la industria. Puede ser preferible pagar este flete y los bodegajes correspondientes, para almacenaje de un inventario esporádico, que construir bodegas o silos.

— Determinación de los inventarios de seguridad de materias primas, en función de las alternativas de aprovisionamiento, distribución de cosechas, etc.

Procedimiento:

Los pasos para determinar la capacidad más adecuada de almacenaje, podrían ser los siguientes:

— Determinación de las necesidades anuales para el proceso industrial.

— Análisis mensual de las siguientes cifras:

- Compras mensuales (% de las necesidades anuales)

- Conversión de grano húmedo a seco

- Compras mensuales acumuladas (A)

- Consumo industrial mensual

- Consumo mensual acumulado (B)

- Diferencia de compras y consumos acumulados

(A) - (B)

- Determinación de valor máximo de la diferencia de acumulados (C).

- Inventario mínimo admisible, nivel de seguridad, etc.

- Capacidad mínima de almacenaje, desde el punto de vista técnico-financiero: Valor máximo (C) + inventario mínimo admisible.

— Determinación de los costos de almacenaje en Bodega propia.

— Análisis de alternativas de almacenaje de parte de las compras en instalaciones propias o en instalaciones externas (por ejemplo el pico máximo durante 3 ó 4 meses).

— Costo de almacenaje en bodega externa + costos de transporte adicionales.

REFERENCIAS

- (1) SUAREZ, R. Análisis de la Corporación de Abastos de Bogotá, CEGA, 1983.
- (2) JUNGITO, R., BETANCOURT, J., SALDARRIAGA, OSSA. C y VILLAVECES, El Idema y la política de comercialización de productos agrícolas en Colombia, Bogotá, en Coyuntura Económica, Fedesarrollo, Abril 1976.
- (3) OPSA, Programas agrícolas, Bogotá, 1975.
- (4) CASTILLO, A. El secamiento y almacenaje de arroz en fincas productoras —su factibilidad técnico económica— Bogotá, SAC-COLCIENCIAS, No publicado en forma completa, 1983.
- (5) LORINEZ, L., BADIE, O. Estudio de viabilidad para un ensache de la red de almacenamiento de granos del INA, Bogotá, ILMA, 1964.
- (6) CRUZ, L., RUIZ, J. Mercadeo de arroz en Colombia, Bogotá, CEDE (U. Andes), 1967.
- (7) HERDOIZA, MOREANO, Sistema nacional de silos para maíz, Quito, CENDES, 1971.
- (8) TRANSCON, Consultoria Brasileira de Transporte Ltda. y Prudencio Claros & Asociados, Estudio de factibilidad para almacenamiento y transporte de arroz en Bolivia, La Paz (Bolivia), Mimeografiado, 1972.
- (9) ILMA, Instalaciones de tratamiento y almacenaje de granos y papa para Inagrario, Bogotá, 1967.

CAPITULO IV

FACTORES QUE INCIDEN EN LA CONSERVACION DE LOS GRANOS ALMACENADOS

El almacenaje de granos en zonas tropicales no ha sido aún suficientemente estudiado. En los trópicos, en general, las temperaturas ambiente son más elevadas y no se dispone, como en las zonas templadas, de las bajas temperaturas del otoño e invierno, después de las cosechas, que permiten enfriar en forma fácil y económica los granos, con la utilización de los sistemas impropiamente denominados de aireación.

En Colombia el aumento de la producción de granos, ha obligado al desarrollo y adaptación de técnicas de almacenamiento, con resultados diversos, que, aunque deben todavía mejorarse bastante, constituyen una acumulación de experiencia valiosa.

En todos los granos almacenados se producen cambios, que, con muy pocas excepciones, son perjudiciales. El objeto principal de las técnicas de almacenamiento es mantener la calidad, disminuyendo los cambios.

Son varios los factores que determinan el comportamiento de los granos almacenados y, aunque ellos se relacionan y afectan entre sí, es conveniente analizarlos separadamente. Los principales son: humedad, temperatura ambiente, temperatura del grano, presencia de microorganismos e insectos, nivel de impurezas y grano partido, forma y duración del almacenaje.

El acondicionamiento más apropiado se selecciona de acuerdo con los factores anteriores, con las condiciones del sitio de almacenamiento y el uso para el cual se destinará el grano: semilla, molienda fina, alimento para animales, etc.

Humedad: Es el factor más importante que controlar para que un grano se conserve en forma adecuada. La actividad biológica depende principalmente del contenido de humedad. Para que se presente la germinación se necesita gran cantidad de agua que acelere reacciones químicas importantes en el interior del grano: aumento de ácido ascórbico, transformación de los hidratos de carbono . . . Si la humedad disponible es inferior a la necesaria para germinación, pero aún alta, se puede presentar desarrollo de bacterias; si es todavía más baja se puede presentar desarrollo de insectos y ácaros; los insectos pueden sobrevivir con humedades muy bajas.

Es creencia general que el calentamiento espontáneo de granos húmedos, se debe a su respiración, pero realmente los insectos y hongos son responsables de la mayor parte del calor generado. Experimentos realizados en 1954⁽¹⁾ determinaron que la velocidad de respiración de los granos sin presencia de hongos, aumenta sólo en forma ligera al aumentar el contenido de humedad de 12% a 20%.

La reducción de humedad de los granos (secamiento), es la forma más práctica y económica para facilitar su conservación, aunque desde hace más de 10 años se han conseguido avances importantes en la utilización de productos químicos que inhiben el desarrollo de hongos en granos húmedos. El almacenaje de granos con bajas temperaturas, también ha sido una práctica corriente en Europa, y más recientemente (desde 1950) en los Estados Unidos.

Los mohos —hongos microscópicos que se desarrollan en las superficies de los granos— son la principal causa de deterioro. Su acción afecta la capacidad de germinación, además de producir cambios físicos y químicos. Los residuos de su metabolismo, las toxinas, pueden hacer los granos totalmente inapropiados para consumo.

El desarrollo de las esporas de hongos, presentes prácticamente en cualquier zona agrícola, y especialmente en los alrededores de silos y bodegas, depende fundamentalmente de la humedad relativa del aire que circunda el grano. Los granos de cereales y oleaginosas, son organismos higroscópicos, que reciben o entregan humedad al aire que los rodea hasta alcanzar un nivel de equilibrio. El agua en estado líquido rara vez entra en contacto con el grano almacenado, de tal manera que es más importante estudiar los movimientos del agua en estado gaseoso en las masas de grano.

La velocidad de intercambio de humedad entre grano y aire, depende de la magnitud de la diferencia entre la humedad relativa del aire y la humedad relativa de equilibrio que corresponde a la humedad del grano, además depende del grado de contacto de los granos individuales con la atmósfera que los rodea. El tiempo que se requiere para alcanzar el equilibrio es mayor que el que se supone generalmente, en especial si el grano se encuentra almacenado a granel (una simple capa de grano se equilibra en pocos días) y la superficie expuesta es pequeña, como sucede en silos altos.

Se ha determinado en forma experimental, que el desarrollo de hongos se detiene prácticamente en forma total cuando la humedad del ambiente es inferior a 62%. Sin embargo algunos trabajos, entre ellos uno del ingeniero colombiano Gabriel Renjifo⁽²⁾, han arrojado algunas dudas sobre la validez del dato anterior en condiciones tropicales extremas. Con temperatura ambiente superior a 40°C, Renjifo encontró desarrollo de hongos en ambientes de humedad relativa inferior a 60%.

Los resultados de análisis de laboratorio de muchos años, coinciden en general en describir la relación entre el contenido de humedad del grano y la humedad relativa del aire circundante, como una curva sigmoide, cuyo punto de inflexión se encuentra cercano a la humedad relativa de 80% (Figura No. 4.1).

Los valores de humedad del grano que corresponden a una determinada humedad relativa difieren, según se realice

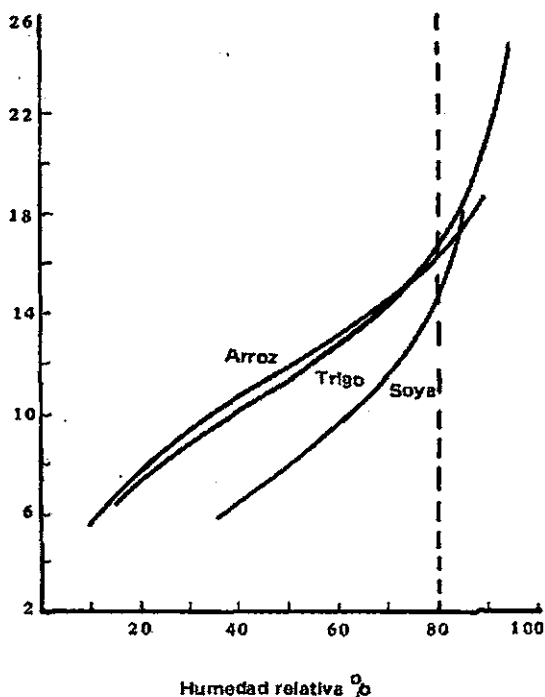


Fig. No. 4.1- Equilibrio de humedades

una ganancia o una pérdida de humedad. Esta discrepancia, conocida hace bastantes años, se denomina efecto de "histéresis", por similitud con el comportamiento de los metales al magnetizarse o desmagnetizarse. La humedad de equilibrio puede variar en 0.5% o más, según el nivel de humedad. Con alta humedad del grano al efecto de histéresis no es tan importante como cuando la humedad es baja. Este aspecto se analiza con mayor detalle en el Capítulo 8.

Como es más fácil medir la humedad del grano que la humedad relativa del aire que lo circunda, se utiliza el contenido de humedad como criterio principal para definir la capacidad de conservación de un grano.

En general puede decirse que contenidos de humedad inferiores a 13% en granos almidonosos (maíz, arroz, sorgo . . .) y 12% en soya, impiden el crecimiento de hongos en casi cualquier circunstancia climática normal. Debe tenerse en cuenta que en los granos oleaginosos, la reducción de humedad, además de controlar el desarrollo de hongos, disminuye la actividad de las enzimas que degrada sus aceites.

En granos con humedad relativa circundante de 70% o menos, el desarrollo de hongos es muy lento, especialmente si la temperatura ambiente es baja. Si la humedad relativa es mayor que 75% se acelera el desarrollo de los hongos y la generación de calor, que, a su vez, contribuyen a acelerar la respiración y todo el proceso de deterioro.

Humedad: En todo organismo biocoloidal como los granos, se puede considerar que la humedad se encuentra presente en cuatro formas principales:

1- Humedad superficial, depositada por lluvias recientes o por condensación de humedad del aire producida por cambios de temperatura. Esta humedad superficial se mantiene adherida al grano sólo por fuerzas capilares y de tensión superficial.

2- Humedad absorbida, ocupa espacios intergranulares y poros. Proviene de humedad superficial que ha penetrado en el grano, o de humedad de formación que aún no ha desaparecido con el proceso de maduración. Se mantiene dentro del grano principalmente por la acción de fuerzas capilares.

3- Humedad adsorbida, unida más íntimamente, en forma coloidal, a la sustancia del grano. Fuerzas de atracción molecular de magnitud importante la mantienen en su sitio.

4- Humedad de constitución, unida a la materia seca en forma química; forma parte, en consecuencia, de la propia sustancia del grano y no es posible removerla sin desnaturalizarlo.

No existen límites exactos que separen cada una de las humedades anteriores. Si se considera un grano muy seco que se humedece lentamente, las fuerzas de adsorción que retienen la humedad se disminuyen en cada capa adicional, hasta que se igualan con las fuerzas capilares de absorción. El comportamiento de la humedad se modifica, en consecuencia, según las fuerzas de atracción que la mantengan adherida al grano. La presión de vapor de la humedad interna, y la influencia que sobre la misma ejerce el aire circundante, se disminuye con el aumento de las fuerzas de atracción. Se explica así la menor humedad relativa de equilibrio de los granos más secos.

Medición de la humedad: Las consideraciones del párrafo anterior explican la razón por la cual es difícil determinar el contenido de humedad real del grano; la división no muy clara entre humedad adsorbida y de constitución hace necesaria la definición de sistemas empíricos que establezcan un límite artificial. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) exige para la calibración de los medidores de humedad de lectura indirecta, el uso de métodos normalizados. Por ejemplo, para maíz debe determinarse la humedad, con la pérdida de peso de una muestra representativa de 15 gramos, en un horno con temperatura de 103°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) durante 72 horas.

Para cada clase de grano se tienen normas oficiales semejantes. Para arroz se debe moler de 30 a 40 gramos hasta conseguir una finura que permita el paso de todas las partículas por la criba No. 18. La muestra se coloca en un horno a 130°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) durante una hora, después se transfiere la muestra a un recipiente hermético que contenga algún material desecante apropiado. La pérdida de peso se determina cuando la muestra se ha enfriado hasta la temperatura ambiente.⁽³⁾

Los métodos de los Estados Unidos están actualmente relacionados con la prueba de Karl-Fisher, que mide la reacción química del reactivo Fisher con la cantidad de humedad presente.

En otros países se utilizan normas diferentes, cuyos resultados no siempre concuerdan entre sí, pero que son igualmente adecuadas siempre y cuando su utilización sea consistente.

En la definición de los métodos empíricos, la temperatura y el tiempo en el horno se pueden combinar para conseguir los mismos resultados. Para cereales, por ejemplo, es posible utilizar alguna de las siguientes combinaciones: 130°C y una hora; 120°C y 4 horas; 105°C y 16 horas. Para granos de oleaginosas el tiempo debe ser el más corto posible, para minimizar la pérdida de aceites volátiles que altera los resultados. Se usa 102 a 105°C y tiempo de 2 a 3 horas. Se ha encontrado, además, que los granos de tamaño grande deben molerse previamente, pues los resultados se afectan con el tamaño de las partículas.

Cálculo de la humedad: El cálculo del contenido de humedad, por medio de la pérdida de peso en un horno, es sencillo de efectuar si se tiene en cuenta que la cantidad de materia seca permanece constante durante el proceso:

$$1- \text{Materia seca en el grano húmedo: } P_1 = \frac{(100 - H_1)}{100}$$

$$2- \text{Materia seca en el grano seco: } P_2 = \frac{(100 - H_2)}{100}$$

Donde P = peso, H = humedad.

$$\text{En consecuencia: } P_1 = \frac{(100 - H_1)}{100} \quad P_2 = \frac{(100 - H_2)}{100}$$

Ecuación de donde puede despejarse cualquiera de los valores.

Aparatos medidores de humedad: Para transacciones comerciales no resulta conveniente la utilización de hornos para determinación de humedad, y se prefiere usar sistemas de medición rápidos, que proporcionan en poco tiempo resultados útiles y relativamente confiables si se sabe interpretarlos.

1- Método de destilación: Sus resultados toman relativamente poco tiempo: 10 ó 20 minutos. Son lo suficientemente precisos para calibrar aparatos medidores de lectura indirecta. Para realizar una medición se sumerge el grano en aceite calentado a más de 100°C (de acuerdo con el tipo de grano), de tal manera que se produzca una rápida evaporación de la humedad. Un sistema de destilación permite condensar y recolectar el agua evaporada en una probeta graduada y calcular fácilmente el contenido de humedad. Como el punto de ebullición del aceite varía con la altitud sobre el nivel del mar, los resultados cambian y es necesario realizar algunos ajustes y correcciones.

2- Hornos de vacío: Utilizan un vacío parcial para conseguir evaporación rápida con temperaturas relativamente bajas. Son especialmente útiles con productos sensibles al calor, o que contengan cantidades apreciables de aceites volátiles.

3- Medidores eléctricos: Utilizan las variaciones que sufren las características eléctricas de los granos, con los cambios en el contenido de humedad. Sus resultados son bastante aproximados cuando la distribución de la humedad dentro del grano es uniforme. Con granos cosechados en un día soleado, o provenientes de un sistema de secado artificial, en los cuales la distribución de la humedad no es pareja, los resultados pueden ser erróneos por la tendencia de estos aparatos a medir la humedad de la parte externa de los granos.

Con cualquier sistema de secado, incluyendo el que utiliza directamente los rayos solares, el proceso de evaporación se inicia lentamente, hasta cuando la superficie del grano se calienta y aumenta la evaporación de la superficie y capas externas, para disminuir nuevamente cuando la humedad debe extraerse desde el centro del grano. Si el contenido de humedad se mide en este momento con un medidor eléctrico, especialmente si es del tipo resistivo, se obtendrá un resultado inferior al real. Por ejemplo en una medición realizada por el autor, una muestra de arroz que se tomó de la descarga de una secadora de flujo continuo y cuya temperatura fue de 36°C , marcó inicialmente una humedad de 15.1% en un medidor portátil de tipo resistivo; seis horas después el resul-

tado de la misma muestra fue de 15.8%, y 16 horas después de la lectura inicial se obtuvo un resultado estable de 16.3%. El operario de cualquier tipo de secadora debe tener siempre presente esta característica y analizar con cuidado los resultados antes de tomar alguna decisión que incluya almacenamiento o mayor secado. Las precauciones deben extremarse con la cantidad de grano y la duración del período de almace-
naje.

Con el tiempo y la ayuda de unos simples ensayos, se puede adquirir suficiente experiencia y elementos de juicio para interpretar las lecturas del medidor eléctrico. Basta comparar las mediciones que se realicen inmediatamente después del secamiento, con las que se tomen, para la misma muestra, después de varias horas de reposo en recipientes herméticos. No debe olvidarse, además, al interpretar las lecturas que los patrones contra los cuales compara el medidor la resistencia, o capacitancia, de la muestra, han sido desarrollados por los fabricantes para muestras promedio, y que factores como el tipo de suelo, abonos, variedades, etc., pueden desviar los resultados. Igualmente el uso de fumigantes o inhibidores químicos de hongos y la presencia de granos dañados o fermentados en la muestra, pueden dar lecturas completamente falsas.

Medidores de resistencia: Estos aparatos proporcionan resultados confiables para humedad que varíe entre 8% y 22% aproximadamente. Un dispositivo eléctrico mide la resistencia de una muestra de peso, o volumen, fijo, que es necesario comprimir hasta un espesor determinado para obtener resultados consistentes (la resistencia eléctrica disminuye al aumentar la presión). El medidor "Gann" portátil y el "Universal" son los más conocidos en el medio colombiano.

Medidores de capacitancia: Miden la constante dieléctrica de los granos, que varía con el contenido de humedad. Sus límites de medición son más amplios que los de los aparatos resistivos. Posiblemente proporcionan resultados bastante aproximados cuando la humedad varía entre 6% y 26%. Para conseguir lecturas que den siempre resultados similares se

debe llenar la celda de medición, conformada por las placas del condensador, siempre en la misma forma. Todos los aparatos de este tipo están provistos de una compuerta de apertura rápida que normaliza el llenado. Las marcas más conocidas son "Motomco", "Steinlite", "Burrows" etc. En los últimos años han sido provistos de varias mejoras y refinamientos, tales como impresores, indicadores digitales, corrección automática de las variaciones de temperatura del grano, etc., pero no puede olvidarse que todo medidor hace un trabajo al correlacionar con datos estadísticos, la lectura de las propiedades dieléctricas del grano y su humedad, y que su precisión se afecta con cualquier variable que se separe de los promedios estadísticos utilizados.

La difusión de los medidores capacitivos es actualmente mayor que la de los resistivos, por su mayor precisión con granos secados artificialmente.

Ensayos con el medidor Motomco: Este aparato, fabricado en los Estados Unidos, tiene bastante difusión en el mundo entero por su utilización como medidor estándar en los manuales del USDA. Se trata de un aparato de tipo capacitivo que proporciona buenos resultados, especialmente con granos secos, de tal manera que sus lecturas producen resultados bastante seguros para tomar las decisiones de almacenaje; desafortunadamente la precisión de sus lecturas es baja cuando mide la humedad de granos bastante húmedos, de tal manera que los cálculos sobre descuento de peso por remoción de humedad son bastante imprecisos. El Centro de Investigaciones de Granos y Semillas de la Universidad de Costa Rica, CIGRAS, encontró, por ejemplo, que con frijol húmedo, la diferencia entre el Motomco y el Horno, podía ser hasta de 4% (esta vez el Motomco marcó la humedad más baja). En la figura No. 4.2 se aprecia claramente la forma como se desvía la lectura del medidor, en relación con la prueba estándar de un horno, a medida que aumenta la humedad del grano.

Además de las consideraciones anteriores, debe tenerse en cuenta que las tablas de interpretación de humedad de aparatos

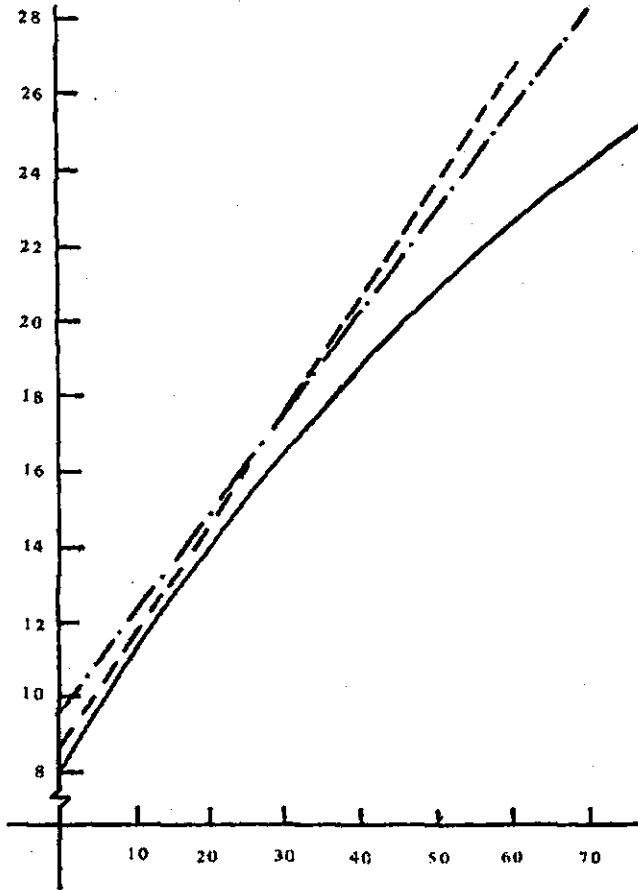


Fig. No. 4 2- Lectura del Motomco. Humedad de arroz en cáscara(1) (2)

tos como el *Motomco*, son modificadas todos los años, por los fabricantes, para ajustarlas a las condiciones promedias de la cosecha de cada grano en ese año, en los Estados Unidos. Las variaciones de lectura entre dos cosechas pueden llegar a ser de 1%, o más.

Migraciones de humedad: La seguridad de una masa de grano almacenada depende del contenido de humedad de su parte más húmeda; desafortunadamente, en un grano que haya sido almacenado algún tiempo, la humedad rara vez es uniforme. La presencia de insectos, impurezas, factores climáticos, granos almacenados calientes, etc., produce movimientos internos de humedad que pueden provocar acumulaciones de la misma en ciertos puntos.

En silos con trigo, depositado con humedad más o menos uniforme, se ha encontrado diferencia de humedad entre diversas zonas del silo hasta de 6%, después de algún tiempo de almacenaje. Estos movimientos de humedad son muy notorios durante los cambios de estaciones en los países de la zona templada, pero también se presentan en los trópicos. La humedad se desplaza de los lados calientes a los fríos, ya sea que la pared del silo se encuentre más caliente o más fría que la masa de grano, en algunos días el grano que tiene contacto con la pared habrá adquirido la misma temperatura y se tendrá un gradiente de temperatura entre el centro y la parte periférica. Si la masa de cereal tiene una temperatura superior a la del silo (aire ambiente frío), el aire que ocupa el espacio intergranular ascenderá, mientras desciende el de la parte periférica para reemplazarlo. Este movimiento realiza un verdadero "bombeo" de humedad desde la parte inferior y periférica hasta la parte central, con la posible formación del conocido "copete" de granos húmedos. Si, por el contrario, la temperatura ambiente es superior a la del grano, el movimiento de humedad se invertirá presentándose el deterioro de grano en la parte inferior del silo. La presencia de un foco caliente, causado por la actividad de insectos o de hongos, en el centro del silo, produce migraciones de humedad similares a las del primer caso mencionado y el daño, o germinación del grano, sucederá en la parte superior del silo. En la figura No. 4.3 se ilustran estos movimientos.⁽⁴⁾

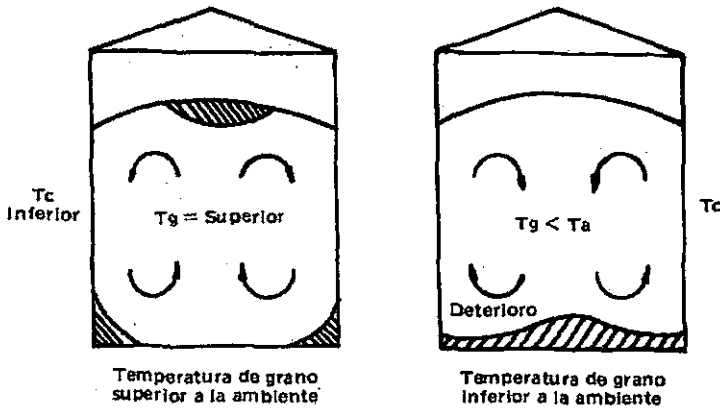


Fig. No. 4.3 Movimientos de humedad en silos

Experimentos realizados en diversas partes han permitido determinar la importancia de las migraciones internas: por ejemplo, en una capa de grano de 1.80 mts. de espesor, almacenada con una humedad uniforme de 14.6% y expuesta en su parte superior a una temperatura de 35°C y en la inferior a 0°C, aumentó la humedad en la parte más fría hasta el 20%, en un lapso de varios meses.

Las migraciones de humedad se producen por el gradiente de presiones de vapor de la humedad contenida dentro del grano y de la humedad del aire. La humedad tiende a desplazarse del sitio de mayor presión al menor.

La utilización inadecuada de los sistemas de aireación de los silos, o el mal diseño de los mismos, puede contribuir a que se presenten variaciones de humedad importantes dentro de la masa de grano. Así la aireación en silos altos, con un ventilador que succiona desde la parte superior del mismo por una sola boca, produce, con frecuencia, el fenómeno conocido como "tunelización". Sólo la parte central de la columna recibe aire para evacuar el calor que el grano desprende, mientras la parte exterior continúa calentándose. El diferencial de

temperatura que se establece aumenta el problema al inducir movimientos de humedad.

En climas fríos, si se efectúa la aireación con succión por la parte superior, el aire caliente, después de atravesar el grano, puede condensarse al llegar al espacio vacío superior del silo, cuya temperatura es inferior.

Temperatura: El nivel de actividad metabólica de los granos aumenta con la temperatura y, cuando se combina con humedad elevada, acelera el desarrollo de hongos e insectos.

La tasa de crecimiento de los hongos varía con la temperatura, como puede apreciarse en la figura No. 4.4, adaptada de un diagrama de la FAO,⁽⁵⁾ que muestra los resultados obtenidos con dos especies de hongos: A. Flavus y A. Chevalieri, con humedad controlada en condiciones de laboratorio.

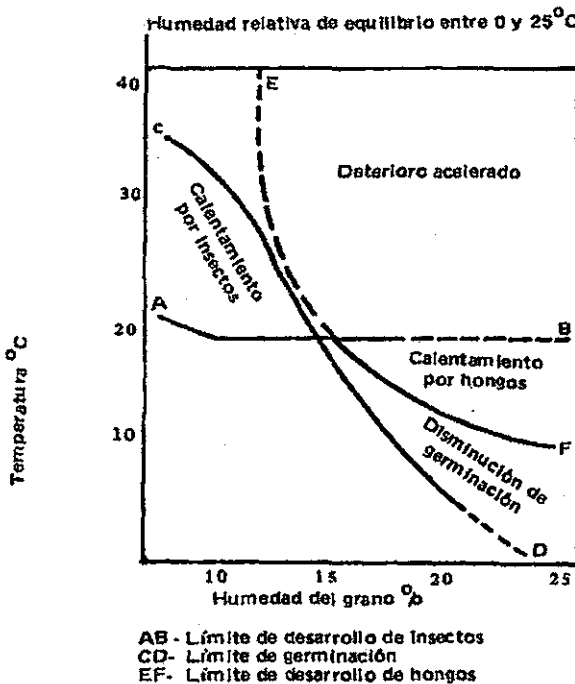


Fig. No. 4.4- Desarrollo de hongos

La mayoría de los hongos se desarrolla con temperatura de 4 a 49°C, aunque algunos pueden desarrollarse con temperaturas más bajas y otros soportan hasta 76°C. Sin embargo la mayor parte de los hongos comunes en el almacenaje de granos tiene su desarrollo óptimo con temperaturas de 20 a 35°C.

Los insectos aumentan su actividad hasta aproximadamente 42°C. Expuestos a esta temperatura por largo tiempo mueren. A 15°C su desarrollo se retarda en forma notoria y pueden morir a 10°C o menos.

La temperatura a la cual se reciben los granos del campo es, normalmente, un buen indicador de su estado. En tierras calientes esta temperatura no debería ser superior a 30°C.

Para grano que destine a un almacenaje largo (más de 3 ó 4 meses), se debe controlar la temperatura de almacenaje. Si las secadoras utilizadas cuentan con sección enfriadora ésta debe utilizarse para finalizar el último paso de secado; si carecen de ella es conveniente realizar un paso rápido con solo aire frío. La temperatura del grano no debería ser mayor en 5°C a la ambiente, con el fin de disminuir el riesgo de migraciones de humedad. El transporte del grano de la secadora a los silos normalmente reduce la temperatura 1 ó 2°C, de tal manera que la descarga de la secadora podría ser superior a la ambiente en 6 ó 7°C.

Durante el almacenaje, especialmente cuando se realiza a granel en silos o bodegas, la temperatura del grano se utiliza como indicador de su estado, pues cualquier aumento de su temperatura sobre la que tenía al iniciar el almacenaje, aun de unos pocos grados centígrados, es señal de deterioro causado por la actividad de hongos o insectos. Es indispensable mantener un registro diario cuidadoso de la temperatura del grano, con lecturas tomadas a la misma hora del día. Si se conoce la "historia" del grano, una persona experimentada puede determinar el tipo de actividad que ocurre dentro del silo, y decidir el tratamiento más adecuado.

Temperaturas elevadas, por sí mismas, no son indicio de problemas; es posible que el grano se haya almacenado caliente y permanezca así. Igualmente grano cuya temperatura parezca relativamente baja, no necesariamente se encuentra en buenas condiciones, puede tener focos calientes no detectados por los sensores.

En una masa de grano, aumento de temperatura de 1 ó 2°C en un período de 1 ó 2 semanas, es indicio casi seguro de iniciación de deterioro. Si el calentamiento es incipiente, y ha sido causado por actividad de insectos, una fumigación bien aplicada puede solucionarlo.

Focos de calentamiento no demasiado grandes se pueden combatir con circulación forzada de aire fresco, o con trasiegos de un silo a otro (en ningún caso al mismo silo); además de mezclar los granos y deshacer focos de calentamiento, se puede reducir la temperatura promedio del grano en 1 ó 2°C, aunque puede causar algún deterioro mecánico en el grano.

En todas las circunstancias es conveniente tener, en una planta de silos, un silo vacío, que permita efectuar trasiego o procesos de secado. Hacer un trasiego o secado con retornos del grano al mismo silo, puede ser peligroso por la característica de los silos comunes que hace que su descarga se realice con la formación de una columna, de tal manera que el primer grano en salir sea el de la columna central. Si se retorna grano por la parte superior del silo, el de la periferia no tendrá ninguna oportunidad de salir.

Los sistemas de control de temperatura en instalaciones grandes, normalmente están provistos de tableros indicadores y registradores de temperatura. En las instalaciones pequeñas las lecturas se toman generalmente con aparatos indicadores portátiles que se enchufan en la terminal de cables de cada uno de los silos. Estos equipos son auxiliares valiosos en sitios donde se almacena grano, pero no debe olvidarse que son simplemente ayudas y no sustitutos para procedimientos inteligentes y cuidadosos.

Impurezas y grano partido: La recolección mecanizada de los cereales ha aumentado el contenido de impurezas y grano partido en relación con el de los granos recolectados manualmente y trillados con máquinas estacionarias. Para economizar tiempo, generalmente el operario de la cosechadora combinada no cuida de ajustar la altura de la cabeza recolectora de la máquina de acuerdo con las irregularidades del terreno, de tal manera que es posible que recoja más tallos e impurezas de los que puede separar en forma efectiva la máquina. Así mismo pocas veces los operarios efectúan graduaciones cuidadosas en la velocidad del "cóncavo" desgranador y en la aspiración del sacapajas, de acuerdo con el tipo de grano.

La práctica normal de pagar el valor de la recolección según el número de bultos, y el número relativamente insuficiente de combinadas disponible en el país, contribuye también a demeritar la calidad promedio.

Algunos tipos de granos cuyo secamiento en la mata no es uniforme se recolectan con mayores impurezas que otros. Así la soya de la variedad Davis (cultivada hace algunos años en Colombia), tenía el tallo todavía verde cuando el grano ya estaba listo para recolección. Sus raíces, además, eran profundas y al arrancar las matas manualmente para formar las "churras" (hileras) típicas del Valle del Cauca, y sobre las cuales pasa luego la combinada para hacer el desgrane, traían terrones que ensuciaban el producto.

El manejo mecanizado del grano, en las plantas de acondicionamiento produce golpes que contribuyen a quebrarlo, especialmente si ha sido sometido a secado rápido, con alta temperatura que aumenta su fragilidad. Los sistemas de tuberías de conducción mal diseñados, con pendientes demasiado fuertes, sin amortiguadores adecuados, contribuyen también al aumento de las quebraduras.

El manejo y secado de granos sucios se dificulta; la capacidad efectiva de las secadoras se reduce pues, además de utilizar parte del calor disponible para secar basuras, el flujo normal del aire se restringe y exige frecuentes limpiezas del equipo.

Durante el almacenaje, las partículas porosas (basuras, tallos) tienden a absorber humedad del grano circundante, formando puntos calientes que ponen en peligro la seguridad de todo el grano almacenado.

Durante el llenado de silos grandes el polvo tiende a flotar sobre la superficie, cuando se suspende el polvo se decanta. Si posteriormente el llenado se reinicia, la presión del nuevo grano compacta el polvo e impurezas livianas que forman "costras" que impiden el paso del aire de eventuales aireaciones. Este efecto es especialmente notorio con el polvo de trigo. El polvo de maíz, posiblemente por el mayor tamaño de sus partículas, no se compacta tan fácilmente, sin embargo por sus características higroscópicas puede ser invadido por hongos y contaminar el grano adyacente.⁽⁶⁾

Se ha determinado que, con igual temperatura y humedad, el maíz americano promedio No. 2 (cuyo contenido de grano partido y materia extraña debe ser inferior a 3% del peso total), se deteriora tres veces más rápido que grano de la misma calidad recolectado y desgranado manualmente.

Los ataques de hongos e insectos en el campo debilitan las cubiertas del grano y facilitan su daño posterior. Los granos inmaduros, incompletamente formados, o aquellos que por características varietales tengan separadas las cutículas (algunas variedades de arroz) son también susceptibles al ataque fácil de los insectos. Así el gorgojo de los cereales (*Rhizoperta Dominica*) ataca fácilmente los granos de paddy inmaduro o verdes en los cuales puede entreabrir un poco las cascarillas; el gorgojo del arroz (*Sitophilus Orizae*) sólo puede alimentarse y poner huevos en paddy seco cuando la cascarilla está rajada, o abierta, más de 0.12 mm.

Con maní es especialmente importante que la cáscara esté intacta para reducir la penetración de esporas de hongos; la película interna, o "testa", en buenas condiciones impide la decoloración de los cotiledones por oxidación, pues contiene antioxidantes que protegen las grasas del oxígeno.

Las impurezas y materias extrañas contienen mayor cantidad de esporas, de mohos, de bacterias y de excrementos de insectos. Su humedad de equilibrio con una humedad dada, es normalmente más elevada que la de los granos sanos.

Limpieza: Todos los granos deberían limpiarse antes de su secado y, si fuere posible, limpiarse nuevamente después de este proceso y antes de depositarlos en silos, con el fin de eliminar parte del polvo que no puede removerse mientras el grano esté húmedo.

La selección del tamaño de las cribas de las limpiadoras debe hacerse con cuidado: si la criba inferior, utilizada para separar las impurezas finas, es demasiado "abierta" se perderá grano, si es muy cerrada se corre el peligro de enviar grano quebrado a los silos, con las consecuencias mencionadas.

El almacenaje de granos limpios, en resumen, permite aprovechar mejor el espacio disponible, facilita el flujo de aire durante las aireaciones y fumigaciones, da mayor movilidad al grano en las tuberías y conductos (disminuyendo el riesgo de atascos). Además se disminuye el peligro de explosiones de polvo, desconocidas hasta el momento en Colombia, pero cuyo peligro es real y aterrador.

Microorganismos: Diversas clases de hongos y bacterias causan daño en los granos almacenados. Su presencia y desarrollo depende de varios factores. Los hongos son plantas multicelulares, formadas por multitud de filamentos que forman el micelio o cuerpo. Carecen de raíces, hojas y clorofila y, por lo tanto, deben nutrirse con productos que les suministren energía, como los granos. Los hongos se reproducen principalmente por medio de pequeñas esporas asexuales, que son fácilmente transportadas por el viento. Las esporas se convierten en nuevas plantas en cualquier momento en que las condiciones de humedad, temperatura, oxígeno y nutrientes disponibles sean adecuadas.

Se conoce alrededor de 100 tipos de hongos que crecen en los alimentos almacenados, y que pueden producir toxinas

como resultado de su metabolismo. Aproximadamente 20 de estas toxinas se ha encontrado que afectan, en una forma u otra, a los animales que las ingieran. Ciertos tipos de hongos se desarrollan en el cultivo mismo (*Alternaria*, *Fusarium*, *Cladosporium*, *Helminthosporium* . . .), hongos que, sin embargo desaparecen después de la cosecha. Su actividad puede producir manchas y daños en las cubiertas con anterioridad a la recolección, pero se suspende totalmente durante el almacenaje.

Hongos de campo: La separación entre hongos de campo y de almacenaje es, hasta cierto punto, arbitraria; la diferencia básica se encuentra en que los hongos clasificados como de campo no se desarrollan cuando la humedad es mayor de 20%, circunstancia que rara vez se da en granos almacenados.

Los principales hongos de campo son:

a- **Alternaria:** Generalmente no produce efectos negativos en la calidad del grano. Si la magnitud de la invasión es muy grande, puede contribuir a manchar de color oscuro el grano. Su identificación se facilita por las cadenas características que forman sus esporas.

b- **Cladosporium:** Es un hongo menos común que el anterior y, normalmente, no produce daño comercial en el grano.

c- **Helminthosporium:** Tampoco causa demasiado daño en el grano, su efecto principal se presenta en la planta. Es común en los cultivos de arroz y cebada.

d- **Fusarium:** Se desarrolla especialmente en maíz, puede manchar de colores rojizos los granos y causar algún demérito en su calidad comercial.

Hongos de almacenaje: Otros hongos, los causantes de los mayores daños, se desarrollan casi exclusivamente en granos almacenados: la magnitud de la invasión de hongos y de los daños que causen, depende principalmente de la humedad del grano. Cada especie de hongo tiene una humedad óptima para su desarrollo.

a- *Aspergillus*: Familia de hongos bastante grande que causa, posiblemente, los mayores daños. Entre los más importantes se encuentran: *A. Candidus*, característico por su color siempre blanco, *A. Ochraceus*, de color amarillo-marrón, productor de las Ochratoxinas, muy tóxicas pero no carcinógenas (a diferencia de las Aflatoxinas), *A. Fumigatus*, causante de efectos dañinos en el hombre y animales, facilita el desarrollo de infecciones en las aves. *A. Terreus*, de color terroso característico, *A. Niger*, de color marrón oscura y esporas grandes fácilmente identificables, y *A. Flavus*: de colores blanco, amarillo o verde, productores de Aflatoxinas. Requieren para su desarrollo humedad relativa superior a 85% y temperatura relativamente alta (24°C), con menor humedad y baja temperatura pueden desarrollarse pero, difícilmente, producir toxinas.

b- *Penicillium*: Este grupo incluye muchas especies de hongos, generalmente de colores azules, verdes o grises; pueden desarrollarse aún con baja temperatura (en alimentos refrigerados) y medrar en colonias de otros hongos como *A. Flavus*, *A. Niger*, etc.

c- Otros grupos: como *Mucor*, *Rhizopus*, *Scopulariopsis* tienen menor importancia relativa.

Los principales daños que causan los hongos en los cereales son disminución de la germinación, decoloración de la semilla, calentamientos, daños biológicos, posible producción de toxinas y pérdida de materia seca. Estos daños pueden ocurrir en magnitud apreciable económicamente, sin que se aprecien a simple vista.

Quasem y Christensen (1968)⁽⁷⁾ encontraron que los hongos de almacenaje son, posiblemente, los principales causantes de la pérdida de viabilidad en semillas almacenadas. Las semillas libres de hongos conservan mayor tiempo la viabilidad.

El valor óptimo de temperatura para desarrollo de hongos es, normalmente, muy cercano al determinado como máximo

tolerable. La figura No. 4.5⁽⁸⁾ ilustra las condiciones que permiten el fácil desarrollo de algunas especies de hongos. El conocimiento de las condiciones límites en las cuales pueden desarrollarse los hongos, permite determinar el grado de secado que debe darse a un grano para inhibir el desarrollo de determinados hongos, y para encontrar las causas de ciertas clases de daños. Es posible deducir, por las especies presentes, las condiciones previas de almacenaje y descartar la ocurrencia de determinados fenómenos.

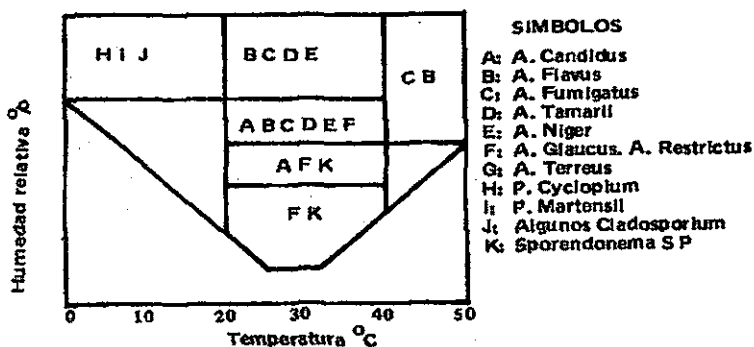


Fig. No. 4.5- Efecto de la temperatura y la humedad

En la tabla No. 4.1⁽⁹⁾ se anotan algunos límites de condiciones para desarrollo de algunos hongos.

Hongo	LIMITES FISICOS		VALORES OPTIMOS	
	Temp °C	Humedad relativa (%) (mínima)	Temp °C	Humedad relativa (%)
A. Ruber	5 - 38	72 ^o b	24	93 ^o b
A. Flavus	12 - 45	80	35	99
A. Fumigatus	12 - 52	83	40	24
Penicillium	5 - 32	80	24	99

TABLA No. 4.1 CONDICIONES PARA DESARROLLO DE HONGOS

Algunas especies del género *Aspergillus Restrictus* tienen la mayor tolerancia a baja humedad relativa y pueden desarrollarse en condiciones de menos de 65%.

La disminución de calidad que se presenta en granos recién cosechados, atacados por hongos, es generalmente leve en los primeros días, pero el deterioro es acumulativo y aumenta rápidamente. Debe ser diferente el tratamiento, y las precauciones de almacenaje, para grano afectado por hongos, según se reciba en etapas iniciales o avanzadas de deterioro. Grano que se haya "calentado" por invasión de hongos, puede ser recuperado hasta cierto punto con secamiento; pero debe tenerse en cuenta que es mayor la probabilidad de que presente problemas durante almacenaje posterior. El "calentamiento" indica la presencia de abundantes esporas de hongos que entrarán en actividad en la primera oportunidad. Estos granos deben manejarse con las mayores precauciones: consumirlos a la mayor brevedad, secarlos a niveles inferiores a los recomendados para los granos sanos, limpiarlos para remover materia extraña y grano partido y, al primer indicio de recalentamiento, deben ser aireados o secados nuevamente.

Toxinas: Durante muchos años se creyó que la presencia de hongos en los granos era sólo un inconveniente de poca importancia; en Estados Unidos se aceptaba comercialmente daño por hongos hasta de 5% en maíz y 2% en soya; pero a partir de 1962, después de la muerte en Inglaterra de 100.000 pavos que habían sido alimentados con torta de maní contaminada por hongos, se identificaron varias toxinas asociadas con su desarrollo.

Uno de los hongos más comunes de almacenamiento, el *Aspergillus Flavus* (Fig. No. 4.6), puede producir, en circunstancias aún no bien determinadas, varias toxinas denominadas Aflatoxinas (*Aspergillus Flavus* toxinas). Su efecto es tan potente que, sólo unas pocas partes por mil millones de Aflatoxina B₁ (B = Blue, G = Green, en el cromatógrafo), pueden causar efectos patológicos notorios en ciertos animales. El *Penicillium*, otro hongo muy común, puede producir la Rubra-toxina, cuya ingestión no produce efectos externos hasta

poco antes de la muerte del animal, que es causada por hemorragia, pérdida de peso y deterioro del hígado.



Fig. No. 4.6- Maíz contaminado con hongos (*A. Flavus*)

Otra línea de *Penicillium* produce la toxina Zearalenone, que se acumula generalmente cerca del germen de los granos y cuyos efectos, al contrario de los de las Aflatoxinas, parecen ser reversibles. El *Fusarium* produce toxinas que afectan el sistema nervioso, aves que las ingieran acusan pérdida del equilibrio que les impide pararse durante 15 ó 20 minutos, y, también, corrosión en el pico.

Las líneas tóxicas del *Aspergillus Ochraceus*, pueden producir la Ochratoxina, que, además de causar daños en el hígado de los animales, afecta los riñones y las funciones reproductivas. La Ochratoxina se encuentra frecuentemente asociada con la Aflatoxina y se considera que puede ser precursora o continuadora de la misma.

Existe la posibilidad de que queden residuos de toxinas en las carnes de animales alimentados con granos contaminados, situación potencialmente muy grave si se tiene en cuenta que algunas micotoxinas (del Griego Mikes, hongos) entre ellas la Aflatoxina, en dosis altas actúan en algunos animales como potentes carcinógenos.

Hasta el momento no se han desarrollado sistemas efectivos para remover toxinas de granos afectados. En general el

secamiento artificial no las afecta, ni lo hacen otros tratamientos como la exposición a ácidos, alcalis, sulfuros, rayos gamma. Sólo se ha obtenido algún éxito con semilla de algodón tratada con amoníaco.

En Colombia se ha utilizado con algún éxito el "perlado" mecánico de granos invadidos, proceso que remueve las cubiertas donde se localiza la contaminación.

El daño económico que causan las micotoxinas es enorme, con frecuencia se oyen rumores y noticias, que van desde simples bajas en la postura de las aves, hasta la desaparición de planteles avícolas completos.

Hasta el momento se han aislado e identificado más de 200 micotoxinas, pero la investigación sobre sus aspectos nocivos es todavía incipiente. En los países más desarrollados la mayor parte de los controles se hacen para detectar Aflatoxinas y con menor frecuencia Ochratoxina, Rubratoxina y ácido penicilínico. La Aflatoxina ha sido la más estudiada, se sabe que en aves una dosis alta de maíz contaminado puede causar la muerte en solo 48 horas. En pollos para asar disminuye el crecimiento, si la intoxicación no es muy severa se puede conseguir la recuperación con una buena dieta. La fragilidad de los capilares sanguíneos aumenta y, al romperse uno de ellos, la sangre se coagula. La aflatoxicosis además disminuye las defensas naturales de los animales y el efecto protector de las vacunas, haciéndolos más susceptibles a infecciones. En la nutrición de pollos aumenta los requerimientos de proteína (niveles altos de proteína reducen sus efectos nocivos) y afecta la eficiencia de utilización de los carotenos, sustancias pigmentadoras de la yema de los huevos y de la carne.

La determinación cuantitativa de la presencia de Aflatoxinas en los granos requiere un proceso costoso y relativamente lento. Para determinar en forma rápida la posible presencia de Aflatoxinas en una muestra, se usa una lámpara ultravioleta, pues ellas pueden producir bajo esta luz, reflejos característicos. Este sistema aunque rápido y fácil de inter-

prejar, no es totalmente seguro ni proporciona datos sobre el grado de contaminación. Es recomendable someter el grano que se sospeche contaminado con las indicaciones de la lámpara, a exámenes de laboratorio más precisos, como los hechos con cromatógrafo.

Insectos: Los insectos además de consumir directamente cantidades importantes de grano, contribuyen con su calor y respiración a la proliferación de hongos. Se estima que 70 gorgojos pueden elevar la temperatura de un kilo de trigo 1°C en sólo 5 días. Como los insectos pueden desarrollarse en granos bastante secos (9%), el secado artificial, aunque ayuda algo al endurecer los granos, no permite su control completo.

Cerca de 200 especies de insectos atacan los granos almacenados, de las cuales unas 20 causan los mayores daños.

Las principales clases de insectos que atacan a los cereales pueden clasificarse como gorgojos y polillas, las dos clases atraviesan por 4 estados diferentes en su vida: huevo, larva u oruga, crisálida y adulto perfecto. Los mayores daños los causa en el estado de larva; el insecto perfecto se dedica principalmente a reproducirse y causa daños menores.

La mayor parte de los insectos de los granos completa su desarrollo en 30 días aproximadamente (un poco menos en climas cálidos), si son favorables las condiciones. El gorgojo del arroz (*Sitophilus Orizae*) y el del granero (*S. Granarius*), poseen fuertes mandíbulas que les permiten taladrar el endospermo de los cereales. Las hembras depositan sus huevecillos en los orificios así abiertos, para luego taparlos con material gelatinoso. El grano parece sano, a menos que se examine con cuidado, el insecto en su desarrollo consume la mayor parte del endospermo, hasta que cumple su ciclo y emerge. Por esta razón se tiene a veces la impresión de que las infestaciones aparecen repentinamente. Un día el grano tiene apariencia normal, pero al siguiente, en él pululan los insectos.

Principales insectos que atacan granos almacenados: Figura No. 4.7.

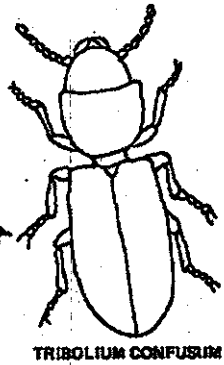
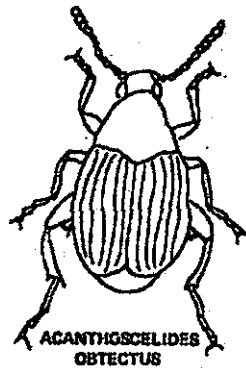
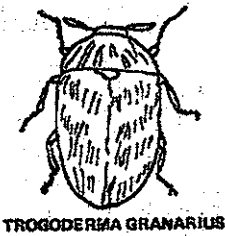
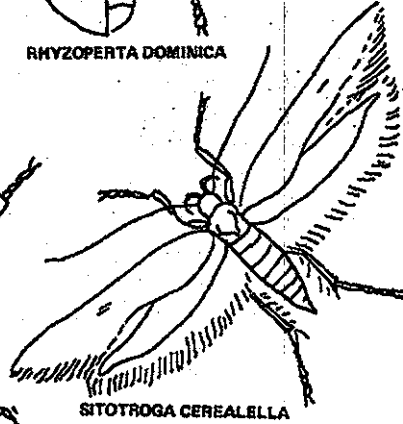
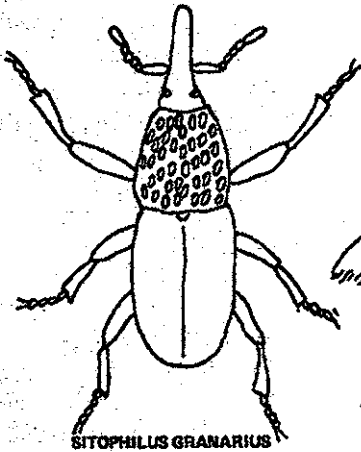
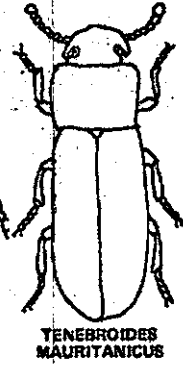
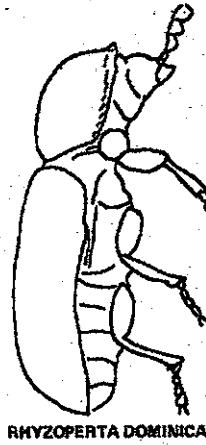
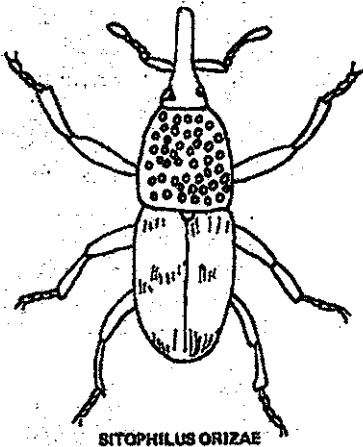


Fig. No. 4.7- Principales insectos de los granos almacenados

a- Plagas internas: *Sitophilus Orizae*, conocido como gorgojo del arroz, picudo o 4 manchas; tiene buena capacidad para volar, de tal manera que puede trasladarse de un sitio a otro e infestar directamente los campos del cultivo, especialmente de maíz. La hembra puede depositar en toda su vida entre 50 y 500 huevecillos. *Sitophilus granarius* de apariencia similar pero de mayor tamaño que el anterior, no vuela y en general prefiere ambientes un poco más fríos que el *Orizae*; al igual que en dicha especie la hembra deposita los huevos dentro del grano y tapa la abertura con una secreción cerosa. *Rhizoperta Dominica* de tamaño menor que los anteriores, no taladra el interior del grano, sino deposita sus huevos en los granos quebrados, posteriormente la larva rompe el grano y penetra en su interior, para emerger como adulto. Produce un olor característico y mucho polvo en los granos que invade. *Acanthoscelides obtectus* ataca el frijol corriente y la soya; sus huevos sueltos los deposita entre los granos, la larva rompe la cutícula externa y penetra en el grano para completar su desarrollo; su capacidad de vuelo le permite invadir campos de cultivo. *Sitotroga cerealella* es una de las pocas plagas que puede atacar el arroz en cáscara; se desarrolla dentro del grano, la larva abre una ventana antes de transformarse, para facilitar la salida del adulto. En grano almacenado a granel no puede penetrar más de unos pocos centímetros, los costales puede recorrerlos completamente.

b- Plagas externas: *Plodia interpunctella*: La larva se desarrolla en las capas exteriores de los granos almacenados y consume principalmente el embrión del grano; con frecuencia pasa su estado de pupa en las costuras de los empaques. La larva, en su movimiento deja un hilo fino que recuerda el de las arañas, que facilita su identificación; el adulto se alimenta fuera de los arrumes o graneles y consume principalmente grano partido. *Tribolium confusum* ataca principalmente las harinas, aunque también puede causar daños a los granos enteros. *Tenebroides mauritanicus* es el más grande entre los insectos que atacan granos (tamaño: 1.5 cm), tiene color negro y fuertes mandíbulas que le permiten hacer túneles en madera; su ciclo de vida es bastante largo y la hembra deposita más de 1.000 huevos durante su vida. *Trogoderma granarius* conocido con el nombre común de Kapra, su larva puede

permanecer en latencia, sin comer, durante varios meses; el adulto vive poco tiempo (2-3 semanas), sus cuerpos se acumulan en forma característica en los sitios iluminados, ventanas, etc., pues después de acoplarse busca la luz.

Para detectar una infestación en su etapa preliminar puede utilizarse una prueba de flotación en una solución de silicato de sodio (relación 1:1)⁽¹⁰⁾, en un procedimiento que refina un poco el sistema de las amas de casa colombianas, quienes separan los frijoles y lentejas que floten en un recipiente de agua común, antes de prepararlos.

Otros insectos no disponen de mandíbulas apropiadas para taladrar y se alimentan únicamente con las partes más suaves de los granos (el germen) o de granos quebrados y polvo. El gorgojo común (*Rhizoperta Dominica*) se desarrolla en granos o harinas; las sabandijas de la harina (*Tribolium*) se alimentan con harinas o con granos dañados por otros insectos.

El desarrollo de las plagas, la forma de combatirlas y la posibilidad de reinfestación, son diferentes según el almacenaje se verifique en sacos, en bodegas abiertas, en bodegas herméticas, a granel, etc.

En las bodegas abiertas son mayores las posibilidades de una rápida reinfestación, no solo por la llegada de nuevas plagas provenientes de instalaciones vecinas, sino por la dificultad de exterminar todos los adultos y larvas presentes en la bodega. Normalmente los arrumes se cubren con carpas para confinar la acción de los fumigantes, pero alrededor de 1% de la población adulta de insectos se encuentra permanentemente fuera del arrume; de tal manera que en una bodega que contenga 10.000 sacos, con una población adulta de 1.000 insectos por saco, alrededor de 10.000 adultos permanecerán indemnes después de la fumigación. El desove se puede hacer en las paredes, en las acumulaciones de impurezas, etc. El problema, en consecuencia será más difícil de resolver si, como es usual en Colombia, la fumigación se realiza sólo en algunos de los arrumes almacenados dentro de una misma bodega, y no se realizan, con antelación a la ocupación de la bodega, aplicaciones de insecticidas de acción residual.

En bodegas que puedan ser hermetizadas totalmente la fumigación es más efectiva, pues, al igual que en los silos herméticos, se puede lograr exterminar completamente las plagas.

Los fumigantes son insecticidas que tienen la propiedad de desprender vapores tóxicos a temperaturas ambientes y cuya acción es rápida. El Bromuro de Metilo (gas licuado) y las pastillas de Fosforo de Aluminio, son los fumigantes de mayor uso en Colombia, pueden utilizarse en silos, arrumes y en grano a granel depositado en bodegas, con las debidas precauciones.

El Bromuro de Metilo es un fumigante conveniente por su efectividad y bajo efecto residual después de una fumigación controlada. Como se trata de un gas un poco más pesado que el aire, se puede aplicar en la parte superior de arrumes de 5 ó 6 metros de altura cubiertos con carpas. En silos verticales, con profundidades mayores de 7 u 8 metros, la sola acción de la gravedad no es suficiente para asegurar la penetración hasta las capas inferiores y, por lo tanto, para lograr un buen tratamiento, es necesario dotar a los silos de sistemas de aire que permitan recircular el Bromuro, con la ayuda de una tubería externa o de uno de los silos vacíos. En Israel se han realizado ensayos aplicando el Bromuro con CO_2 , en forma de hielo seco, para aumentar su penetración por gravedad. Dosis de 50 gramos de Bromuro por M^3 de silo, aplicadas con 250 gramos de hielo seco, resultaron efectivas en profundidades hasta de 17 mts. ⁽¹¹⁾

Las pastillas de Fosforo de Aluminio utilizan como principio activo la Fosfina, que se libera cuando las pastillas entran en contacto con la humedad del medio ambiente. Si la humedad relativa es baja se retarda la acción de la Fosfina. En condiciones húmedas y calientes, por el contrario, ésta se acelera, dando origen a una rápida concentración de gas que puede estallar.

REFERENCIAS.

- (1) HUMMEL, CUENDET, CHRISTENSEN Y GEDDES, Grain storage studies, Cereal Chemistry No. 31, 1954.
- (2) RENJIFO, G., High temperature and high humidity grain storage, Tesis de grado no publicada, U. de Kansas, 1976.
- (3) USDA, Oven moisture determinations, Bulletin GR, Notice 1211, 1971.
- (4) HALL, C., Manipulación y almacenamiento de granos alimenticios en las zonas tropicales y subtropicales, Cuadernos de Fomento Agropecuario No. 90, FAO, 1971, p. 90.
- (5) HALL, Op. Cit, p. 63.
- (6) BAKES, en TPI No. 26, 1974, p. 36.
- (7) QUASEN Y CHRISTENSEN, citados en TPI, No. 30, 1958, p. 25.
- (8) HALL, Op. Cit, p. 97.
- (9) HALL, Op. Cit, p. 97.
- (10) En Agricultura de las Américas, No. 1969.
- (11) CALDERON, CARMI, Fumigation trials with a mixture of Methyl Bromide and carbon dioxide in vertical bins, Journal of Stored Products, 1973, Vol. 8, p. 315.



CAPITULO V

ASPECTOS TECNICOS SOBRE SECAMIENTO

El secamiento artificial de granos se desarrolló en sus comienzos sobre bases empíricas; las secadoras mecánicas se construyeron y mejoraron de acuerdo con resultados prácticos, sus fundamentos teóricos sólo se estudiaron años más tarde. Para completar la visión global del almacenamiento de granos, que se pretende dar en este libro, se desarrollarán en forma general en este capítulo los principales aspectos teóricos del secamiento y almacenaje de granos. Su lectura no se dificultará para quienes tengan conocimientos básicos de termodinámica.

Secado: Proceso que normalmente se define como la remoción por medios térmicos de agua contenida dentro de sólidos.

Prácticamente la totalidad de las secadoras utilizadas comercialmente para granos, transportan el calor para la evaporación por "convección" utilizando aire en movimiento. Naturalmente en toda secadora, una pequeña parte del secamiento se realiza por "conducción" de calor por sus paredes y aún por "radiación" en algunos casos.

La utilización del aire como medio desecante generalizado, hace necesario el estudio de sus principales características.

Psicrometría: El aire es una mezcla de proporciones variables de aire seco y vapor de agua. Se denomina Psicrometría (literalmente medición del frío) al estudio de las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco, que permiten determinar las variaciones de humedad del aire.

El aire seco contiene principalmente oxígeno y nitrógeno y algunos otros componentes menores; el vapor de agua, que además contiene el aire atmosférico, aunque no representa nunca más de un 10% del peso del aire, tiene efectos muy importantes en los procesos de secado; para indicar su contenido en él, se usan tres medidas principalmente: presión de vapor, humedad relativa, humedad absoluta.

Presión de Vapor (P. V.): La presión total que ejerce el aire atmosférico (barométrica), está formada por la suma de la presión parcial del aire seco, más la presión parcial del vapor presente, asumiendo que el aire y el vapor de agua se comportan como gases perfectos y de acuerdo con la ley de las presiones parciales de Gibbs-Dalton, que establece que la presión parcial es determinada únicamente por el volumen y temperatura de la mezcla sin influencia de los otros componentes. El error que se introduce al suponer que en el aire los componentes se comportan como gases perfectos para las temperaturas utilizadas en el secamiento de granos, —máximo 90°C—, no alcanza a ser del 1%.⁽¹⁾

El agua, como todos los líquidos, tiende a saturar con su vapor todo el espacio que la rodea; cuando se llega al nivel de saturación la presión de vapor depende únicamente de su temperatura. En las tablas de vapor de Keenan y Keyes⁽²⁾, se encuentran los valores de la presión de vapor a la saturación, para diferentes temperaturas.

La tabla No. 5.1, adaptada de Keenan, muestra los valores de P.V. al nivel del mar y para las temperaturas más utilizadas en el secado de granos.

Temperatura (bulbo húmedo)°C.	P.V. Psia	Temperatura (bulbo húmedo)	P.V. Psia
10	0.178	50	1.789
15	0.247	55	2.282
20	0.339	60	2.880
25	0.459	65	3.627
30	0.615	70	4.519
35	0.835	75	5.591
40	1.069	80	6.868
45	1.390	85	8.383
		90	10.168

Tabla No. 5.1- Presión de vapor para varias temperaturas

Presiones de vapor en aire saturado a diferentes temperaturas

La presión de vapor para aire no completamente saturado, se puede calcular simplemente multiplicando su PV saturado por su humedad relativa (HR) como se verá más adelante.

En la mayor parte de los casos prácticos, el vapor presente en el aire está recalentado, es decir tiene una temperatura superior a la de su saturación. Así aire a 80°C y 60% de la humedad relativa, tendrá una P.V. de $6.868 \times 0.6 = 4.120$ PSI, presión a la cual corresponde una presión de saturación de aproximadamente 68°C, como puede comprobarse en las tablas de Keenan. Es decir el vapor está recalentado en 12°C.

Humedad relativa (HR): La relación entre la masa de vapor presentes en un volumen dado de aire y la masa de vapor que existiría en el mismo volumen de aire, y en iguales condiciones de temperatura y presión, cuando está completamente saturado de agua, se denomina humedad relativa y es numéricamente igual a la relación de las presiones de vapor del aire de la muestra y del aire completamente saturado. La HR se expresa normalmente como un porcentaje.

Medición de la humedad relativa: Entre los sistemas más utilizados para medir la HR, se encuentran:

a- Método Gravimétrico: Es el más preciso y se utiliza como referencia para calibrar otros equipos; una muestra de aire se succiona a través de una sustancia muy higroscópica (por ejemplo Pentóxido de fósforo). El cambio en peso de esta sustancia y la masa de aire que la atravesó, permiten calcular la HR.

b- Punto de Rocío: Se utiliza un espejo provisto de un sistema que permita variar su temperatura; colocado dentro de la muestra de aire, el espejo se enfría gradualmente hasta que se presente el empañamiento que indica el inicio de la condensación. La temperatura correspondiente se denomina punto de rocío y permite calcular la humedad del aire. Este sistema no es aplicable en mediciones donde el aire contenga cantidad apreciable de polvo, como sucede con frecuencia en el secado de granos, pues el polvo volátil disuelto en el aire disminuye el punto de rocío (y la presión de vapor) de acuerdo con la Ley de Raoult.⁽³⁾

c- Higrómetro de bulbo seco y húmedo: Se utilizan dos termómetros de mercurio idénticos, uno de los cuales tiene su bulbo envuelto en una mecha humedecida con agua destilada. Cuando una corriente de aire, a una velocidad no inferior a 3 mts./segundo atraviesa el higrómetro, se produce evaporación de agua en la mecha húmeda, cuya magnitud y efecto de enfriamiento dependen de la humedad relativa del aire. La temperatura indicada por este termómetro se denomina de bulbo húmedo. Las lecturas del higrómetro tienen una precisión de alrededor del 3%. Si se dispone de algún sistema de ventilación que permita controlar la velocidad del aire, la precisión puede aumentarse al 2%.

d- Higrómetros de pelo: El pelo de algunos animales y ciertas fibras de origen orgánico, tienen la propiedad de variar de longitud en forma proporcional con la humedad relativa del aire que las rodea. Con sistemas mecánicos, se puede medir el cambio de longitud y deducir la humedad relativa;

con calibraciones frecuentes la precisión puede ser hasta del 3%. Estos higrómetros presentan el inconveniente de necesitar aproximadamente 15 minutos para proporcionar una lectura.

e- Sensores electrónicos como el modelo "Jason", que utiliza la naturaleza higroscópica del óxido de aluminio anodizado (producida por su estructura porosa y de gran superficie activa) y cuya constante dieléctrica varía proporcionalmente con la humedad relativa.

Humedad absoluta: Su valor indica directamente la masa de vapor de agua que contiene cada unidad de aire seco; para el secamiento de granos, su valor normalmente varía entre 0.005 y 0.2 kilos de agua por kilo de aire seco.

Temperatura y calor: La temperatura de un cuerpo indica su nivel de actividad molecular; en el aire es un índice de su capacidad desecante y de la cantidad de calor que transporta.

La unidad de medida de calor en el sistema métrico es la caloría, que se define como la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de un gramo de agua en un grado centígrado; en los cálculos prácticos se utiliza con mayor frecuencia la kilocaloría, para evitar el manejo de números muy grandes; en el sistema inglés de unidades se utiliza la BTU que equivale a aproximadamente 4 kilocalorías.

La cantidad de calor presente en el aire húmedo, por unidad de masa de aire seco se denomina entalpía (h) del aire, y está formada por la suma de las entalpías del aire seco y del vapor de agua asociado. Su valor en sí mismo no tiene ningún significado práctico, solamente su comparación con otras entalpías relacionadas en el proceso, proporciona resultados útiles. Normalmente la entalpía del aire seco se mide utilizando una temperatura de 17.8°C (0°F) como Datum, y la del vapor de agua con 0°C (32°F).

El calor específico (C) de una sustancia se define como la cantidad de calor que debe suministrársele a su unidad de

masa, para aumentar su temperatura en 1°C ; de tal manera que para un cuerpo de masa M y cuya temperatura se modifique en ΔT , la cantidad de calor (Q) suministrada, o extraída, será:

$$Q = M \times C \times \Delta T$$

El calor específico del aire seco es de 0.24 caloría/gramo $^{\circ}\text{C}$ numéricamente igual en $\text{BTU}/\text{lb}^{\circ}\text{F}$), de tal manera que la entalpía correspondiente al aire seco por libra (h_a) será de: $h_a = 0.24 (T - T_o)$.

Como ya se mencionó, el vapor asociado a el aire está normalmente recalentado, en un valor igual a la diferencia entre su temperatura y la de su punto de rocío ($T - T_r$), de tal manera que su entalpía (h) será igual a la suma de la entalpía del agua líquida, a la temperatura de rocío (h_f), más el calor que fue necesario añadirle para convertirla en vapor (h_{fg}), denominado calor latente de evaporación, más el calor necesario para recalentar el vapor en $T - T_r$ grados.

La cantidad de agua presente por kilo de aire seco es la humedad absoluta H_{abs} ; el calor específico del vapor es 0.45 calorías/gramo $^{\circ}\text{C}$ y el del agua es igual a 1 por definición. En consecuencia:

$$h = 0.24 (T - T_o) + H_{abs} [0.45 (T - T_r) + h_{fg} + (T_r - T'_o)]$$

más adelante se desarrollará un ejemplo de utilización de esta fórmula, conjuntamente con las tablas de vapor.

Para facilitar la determinación de las diferentes propiedades de la mezcla aire-vapor, se han desarrollado las cartas psicrométricas.

En los Estados Unidos son muy utilizadas las cartas psicrométricas, que utilizan en uno de los ejes coordenados la humedad absoluta y en el otro la temperatura de bulbo seco.

En Europa se utiliza principalmente la gráfica de Mollier en la cual la humedad absoluta y la entalpía se utilizan como ejes de coordenadas.

Las tablas psicrométricas son aplicables sólo para la presión atmosférica para la cual fueron calculadas. En elevaciones sobre el nivel del mar de cierta importancia (más de 1.000 mts), las cartas estándar no son utilizables sin error apreciable.

Como ejemplo de utilización de los conceptos anteriores, a continuación se estudian las características del aire a 80°F, a la presión estándar, inicialmente completamente saturado y posteriormente con una humedad relativa del 60%. El ejemplo se desarrolla en unidades inglesas, para permitir la aplicación directa de las tablas de Keenan.⁽²⁾

Aire a 80°F saturado: $PV = 0.05069 \text{ PSI}^{(2)}$
calor latente de evaporación $h_{fg} = 1.048.6 \text{ Btu/libra de aire seco}^{(2)}$

La humedad absoluta para esta temperatura se encuentra en cualquier tabla de propiedades del aire como la No. 5 del Capítulo primero de Fan Engineering⁽⁴⁾ $H_{abs} = 0.0222 \text{ libras agua/1 b. de aire seco.}$

La entalpía en consecuencia es de:

$$h = 0.24 (T - T_o) + 0.0222 [0.45 (T - T_r) + 1.048.6 + (T_r - T'_{o})]$$

donde $T = 80^\circ\text{F}$, $T_o = 0^\circ\text{F}$ (Datum para aire), $T_r = 80^\circ\text{F}$
pues el aire está saturado, $T'_{o} = 32^\circ\text{F}$ (Datum para agua).

En consecuencia $h = 43.6 \text{ BTU/libra de aire seco}$

$$\text{Aire a } 80^\circ\text{F y HR } 60\% - PV = (0.5069) \times (0.6) \\ = 0.3041 \text{ PSI}$$

a la presión anterior corresponde en las tablas de vapor⁽²⁾ una temperatura de saturación de aproximadamente 65°F, que corresponde al punto de rocío en este caso

$$H_{abs} = 0.60 \times 0.0222 = 0.01332.$$

entalpía $h = (0.24) (80) + 0.01332 [0.43 (80 - 65) + 1.048.6 + (65 - 32)] = 33.7 \text{ BTU/libra; si este aire se calienta a } 180^\circ\text{F}$ su humedad absoluta permanecerá constante pues

no se le ha añadido ni removido agua; igual cosa sucede con el punto de rocío.

A 180°F el calor latente de evaporación, de acuerdo con las tablas de Keenan es de: $h_{fg} = 990.2$, de tal manera que la entalpía es de:

$$\begin{aligned} h &= 0.24(180) + 0.01332[0.45(180-65) + 990.2 + (65-32)] \\ &= 57.71 \text{ BTU/libra lo cual indica un aumento de } 24.01 \\ &\text{ BTU/libra de aire seco.} \end{aligned}$$

Humedad absoluta a la saturación: $0.6558^{(4)}$
 y en consecuencia la humedad relativa es de: $HR = \frac{0.01332}{0.6558}$
 $= 0.02\%$

P.V. = 7.51 PSI (a 180°F — saturado)⁽²⁾
 en consecuencia $PV = (0.02)(7.51) = 0.1502$ PSI
 valor inferior a la PV del aire a 80°F y 60% HR (0.3041)

Los valores anteriores pueden hallarse con mayor rapidez con la ayuda de una carta psicrométrica apropiada.

En la figura No. 5.1, adoptada de Brooker⁽⁵⁾ se ha dibujado, sobre la silueta de una carta psicrométrica, el proceso de secamiento de granos en condiciones adiabáticas, es decir utilizando toda la disminución en calor sensible del aire para evaporar humedad del grano convirtiéndolo en calor latente (representado en el aumento del vapor asociado), sin ninguna pérdida de calor por radiación, convección o conducción.

Durante el secado adiabático, en consecuencia, la entalpía total y la temperatura de bulbo húmedo permanecen constantes, mientras la temperatura de bulbo seco disminuye y la presión de vapor, humedad (absoluta y relativa) y punto de rocío aumentan.

Ejemplo: En la figura No. 5.2 dibujada sobre una carta psicrométrica, el punto No. 1 representa aire ambiente con una temperatura de 20°C y una humedad relativa del 80%; el punto No. 2 representa el mismo aire que ha sido calentado a

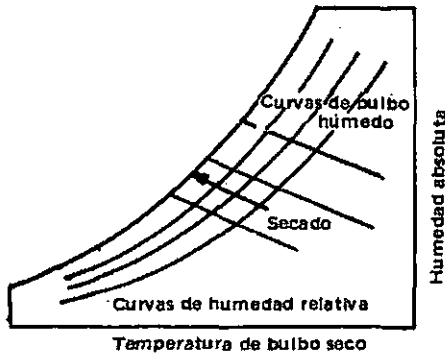


Fig. No. 5.1- El proceso de secado en una carta psicrométrica

50°C; puede apreciarse que su humedad absoluta permanece constante (11.8 gm. de agua/kg. de aire seco) y su humedad relativa disminuye (16%). Si se dispone, antes de calentar el aire, de un volumen de 10 m³/minuto de aire, utilizando el valor del peso específico en el punto 1 que indica la carta psicrométrica 0.845 m³/kg., se dispondrá de 8.45 kg. de aire/hora.

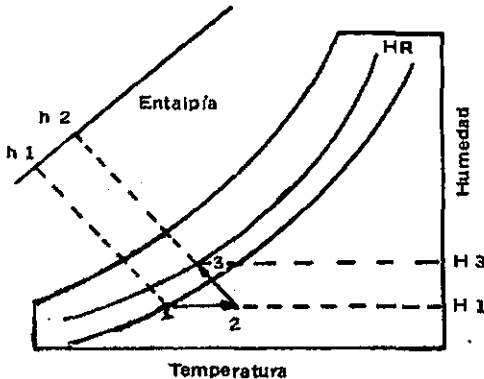


Fig. No. 5.2- Calentamiento de aire y absorción de humedad durante el proceso de secado

Si el aire en las condiciones del punto 2, atraviesa una masa de grano húmedo, su humedad y temperatura se desplazan a un punto como el 3, donde la temperatura de bulbo seco es de 30.8°C , la humedad absoluta de 20 mg/kg. y la relativa de 70%.

La cantidad total de humedad removida es de $8.45 \times (20 - 11.8) = 69.29$ gramos de agua.

El secamiento por convección, analizado, puede realizarse únicamente, cuando la presión de vapor ejercida por el agua situada en la superficie de los granos, es mayor que la presión parcial del vapor en el aire circundante; la velocidad de secamiento será función de la diferencia de estas presiones, del coeficiente de transferencia de masa y del área expuesta del grano.

El coeficiente de transferencia de masa es análogo al de transferencia de calor familiar a los ingenieros. Ambos coeficientes son medidas de resistencia al flujo por unidad de área, el primero al paso de masa (agua) y el segundo de calor, a través de la fina película de aire estancado que rodea los granos y dependen de la velocidad del aire circulante que modifica el espesor de la película.

La presión de vapor de los granos varía con su humedad y temperatura. Los granos húmedos presentan en su superficie una presión de vapor aproximadamente igual a la del agua líquida libre. Cuando se va removiendo la humedad por secamiento y la superficie no se encuentra totalmente húmeda, la presión de vapor va disminuyendo en forma acelerada.

Ejemplo: Aire: a 60°F y 73% de humedad relativa

punto de rocío $T_r = 51^{\circ}\text{F}$

$PV = 0.185$ PSI (equivalente al punto de rocío — también calculable por la presión de saturación a 60°F multiplicada por la HR).

Grano: con la superficie completamente humedecida, temperatura 60°C PV = 0.02563 (saturación).

Diferencia de presiones: 0.0713 PSI

Si el grano se calienta a 140°F (por un sistema de "conducción" de calor) su presión de vapor superficial aumenta a 2.88 Psi. Y la diferencia de presiones será de: 2.703, mayor 37 veces a la diferencia anterior. A medida que el secamiento progresa se va disminuyendo la presión de vapor del grano afectando la velocidad de secado.

Calor consumido: La cantidad total de calor que consume un proceso de secado de granos incluye además de calor latente utilizado en la evaporación, calor para recalentar el vapor del aire, para compensar las pérdidas por radiación, para calentar el producto y el agua que contenga, para calentar el aire y el vapor que contenga y el calor adicional que se requiera para promover la difusión de la humedad de los granos hasta su superficie.

Calor latente: $Q_1 = hfg \times W \times \Delta H$

donde W es la cantidad de producto a secar y ΔH = humedad removida por Kg. de producto.

Calor de recalentamiento: $Q_v = (0.45) \times T \times \Delta H \times W$

Calor de radiación: Depende del material de construcción y características de la secadora, régimen de vientos circundante, etc.

Calor para calentar el producto:

$Q_p = W (C_p + C_a \times H_f) \Delta T$

donde W = cantidad de producto que se calienta, C_p calor específico de la sustancia, C_a calor específico del agua = 1
 H_f = humedad final del producto en base seca
 ΔT = variación de temperatura del producto.

Calor para calentar el aire:

$$Q_a = W_a (C_a + C_v \text{Habs}) \Delta T$$

donde W_a = flujo de aire en kilogramos,

C_a = calor específico del aire = 0.24,

C_v = calor específico del vapor = 0.45

Habs = humedad absoluta

T = variación de temperatura del aire.

En la tabla No. 5.2, se anota el calor específico para los principales granos y algunos materiales utilizados corrientemente en su manejo.^{(6) (7)}

Producto	Calor específico	Producto	Calor específico
Maíz amarillo (humedad 14.7%)	0.484	Ladrillo	0.22
		granito	0.19
Maíz amarillo (humedad 20.1%)	0.531	concreto	0.18
		madera dura	
Arroz paddy (humedad 12%)	0.284	acero	0.115
		aluminio	0.23
Arroz paddy humedad 17%	0.337		
Soya humedad 19.7%	0.47		

TABLA No. 5.2 CALOR ESPECIFICO DE VARIOS PRODUCTOS

La cantidad de calor para evaporar en granos húmedos, es ligeramente mayor que la necesaria para evaporar agua libre, pero aumenta en los granos más secos, especialmente si han sido sometidos a un proceso de secado largo y se encuentran francamente en la fase de velocidad de secado decreciente, en la cual la velocidad de evaporación está controlada por la velocidad interna de difusión de la humedad, y no por la

capacidad desecante del aire. Haynes (1961)⁽⁸⁾ preparó una tabla para el calor de vaporización de varios cereales según su contenido de humedad y temperatura, la tabla No. 5.3 se adoptó de la tabla de Haynes.

Producto	Humedad (base húmeda)	Temperatura		
		10°C	21°C	38°C
Agua (hfg)		1.065	1.055	1.037
Trigo	9%	1.218	1.207	1.186
	13%	1.163	1.152	1.133
	16.6%	1.091	1.081	1.062
Sorgo	9%	1.214	1.203	1.182
	13%	1.154	1.144	1.124
	16.6%	1.097	1.087	1.068
Maíz	9%	1.371	1.359	1.335
	13%	1.292	1.280	1.258
	16.6%	1.191	1.180	1.160

Tabla No. 5.3- Calor de vaporización BTU/lb, de granos en varias condiciones

Se aprecia que para humedades bajas, el calor necesario aumenta en un 25% - 30% en relación con el agua libre. Granos pequeños como sorgo o trigo requieren menos calor que granos grandes como maíz.

Se puede mejorar en forma apreciable la eficiencia térmica de un proceso de secado largo, dividiéndolo en dos o más etapas o "pasos", separadas por un período de reposo que permita la redistribución de la humedad dentro del grano por un proceso de difusión; durante los períodos de reposo la cantidad de humedad permanece constante y la temperatura del grano normalmente no sufre variación importante.

Combustibles: En los procesos de secamiento industriales, para la generación de calor se utilizan varios tipos de combus-

tibles; los de tipo líquido y gaseoso (diesel, fuel oil, LPG, gas natural), además de proporcionar una combustión térmicamente eficiente, facilitan el control automático de la temperatura del aire de secado, el cual si se utiliza adecuadamente, además de mejorar la utilización del combustible permite obtener una mejor calidad de grano.

El combustible Diesel (No. 2 — denominado en Colombia ACPM) tiene una capacidad calórica de aproximadamente 9.190 kilocalorías por litro (139.000 BTU por galón).

El Fuel Oil (No. 5) aproximadamente 10.000 kilocalorías por litro (148.000 BTU por galón).⁽⁹⁾

Eficiencia térmica: La relación entre la cantidad de calor efectivamente utilizada para evaporación (convertida en calor latente), y la cantidad total de calor utilizada, se define como eficiencia térmica. En equipos secadores de granos bien diseñados, se obtienen eficiencias de aproximadamente 60% — 65%.

El costo mundial del combustible, relativamente bajo hasta antes de la crisis de 1972, y la necesidad de disponer de secamiento de gran capacidad, motivada por el cambio en los sistemas de recolección de granos de 1950-1970, hicieron que en el criterio de diseño de las secadoras, la capacidad tuviera mayor importancia que la calidad del grano y la eficiencia térmica. Sin embargo el precio actual de los combustibles ha obligado a los diseñadores a buscar medios para mejorar la eficiencia; se están utilizando sistemas que permiten recircular parte del aire de descarga de la máquina, el cual contiene aún una cantidad apreciable de calor sensible utilizable, para conseguir un mayor grado de saturación en el aire que se descarga finalmente.

Se están investigando otros sistemas, un poco más complicados, pero de alta eficiencia, como el "intercambiador de calor de tubos" combinado con una "bomba de calor". El "intercambiador" es un sistema cerrado de evaporación-condensación, formado por varias hileras de tubos capaces de

transferir una alta cantidad de energía térmica; dentro de los tubos se coloca un fluido apropiado y una mecha de material capilar de tal manera que se tenga dentro de ellos una circulación cerrada de líquido que se convierte en vapor y nuevamente en líquido. En uno de los extremos del intercambiador se aplica el aire caliente proveniente de la descarga de la secadora, vaporizando el líquido interno que se desplaza al otro extremo del dispositivo, extremo que no se encuentra sometido a la acción del aire caliente y del cual se puede remover la energía térmica, utilizando por ejemplo la corriente de aire frío que succiona el ventilador de la secadora; el enfriamiento produce la condensación del líquido que retorna al extremo caliente. La eficiencia del sistema depende de la diferencia de temperatura entre sus extremos.

Si el "intercambiador" se complementa con la "bomba" de calor, la recuperación de energía puede ser casi total, como se ha demostrado en escala experimental⁽⁹⁾. El calor recuperado por el intercambiador se utiliza para vaporizar líquido de refrigeración a baja presión, la producción de "frío" de uno de los extremos de la bomba permite ampliar la diferencia de temperatura entre los extremos del intercambiador.

Energía Solar: En los últimos años se han ampliado las investigaciones sobre la aplicación de la energía del sol, al secado artificial de granos. Además de la necesidad de disponer de superficies muy grandes para captar cantidades apreciables de calor, se requiere contar con algún sistema económico que permita almacenar el calor captado para utilizarlo cuando se necesite. Se han utilizado grandes masas de piedras cubiertas con techos pintados de negro; con la ayuda de ventiladores se hace circular aire a través de las piedras calientes, para extraer el calor almacenado y utilizarlo en sistemas secadores.

En otros experimentos⁽¹⁰⁾ se han utilizado grandes tubos contruidos en polietileno negro, colocados en la succión de los ventiladores para captar calor del sol y disminuir las necesidades de combustibles.

Los sistemas de utilización de la energía solar para el secamiento, se encuentran en etapa incipiente, probablemente se producirán desarrollos importantes en el curso de los próximos años.

REFERENCIAS

- (1) BROOKER, BAKER, HALL, Drying cereal grains, Avi publishing co. connecticut - 1974, p. 37.
- (2) KEENAN, KEYES, Thermodynamic properties of steam, Wiley New York, 1962.
- (3) PERRY, Chemical Engineers Handbook, MC Graw Hill, New York, 1950, p. 317.
- (4) JORGENSEN, Fan Engineering, Buffalo Forge Co. New York, 1970, p. 17.
- (5) BROOKER y Colaboradores. Op. Cit. (1974), p. 41.
- (6) JORGENSEN, Op. Cit. (1970), p. 43.
- (7) ASAE, Agricultural Engineers Yearbook, 1974, p. 360.
- (8) HAYNES, Vapor pressures in hygroscopic grain seeds, USDA, Technical bulletin No. 1229.
- (9) Architects and Engineers Handbook, Industrial Combustion Co. Wisconsin, 1967.
- (10) MOREY, CLOUD, NELSON, Field evaluation of a solar Energy grain drying system, ASAE, paper No. 75 - 3515, 1975.

CAPITULO VI

ASPECTOS TEORICOS SOBRE LA HUMEDAD DE LOS GRANOS

Humedad: Los cereales y semillas oleaginosas están formados, como todo ser viviente, por proteínas, carbohidratos, grasas y lípidos, sales inorgánicas y agua, elemento este último que se asocia con facilidad a las proteínas y carbohidratos.

Un grano contiene una determinada cantidad de agua, que usualmente se expresa como un porcentaje de su peso total (base húmeda) o de su peso de materia seca (base seca), estas mediciones de la humedad, útiles para fines prácticos, sin embargo ignoran la composición real del producto.

En todo organismo biocoloidal, como los granos, pueden distinguirse tres tipos de agua, según el tipo y magnitud de las fuerzas de adherencia que actúan entre el agua y la materia seca: agua libre o absorbida: depositada simplemente en la superficie del grano, o en sus espacios intergranulares y poros, no tiene ninguna vinculación con las moléculas de la sustancia absorbente, salvo que las utiliza como estructura de apoyo.

Agua adsorbida: Unida más firmemente a la materia seca; las moléculas de agua interactúan con las de la sustancia y en consecuencia sus propiedades se afectan. El agua absorbida se comporta en forma diferente al agua líquida, su presión de vapor es menor, como puede comprobarse por el hecho de que la cantidad de agua que contiene una atmósfera en equilibrio con grano, es menor que la que tendría, si estuviese en

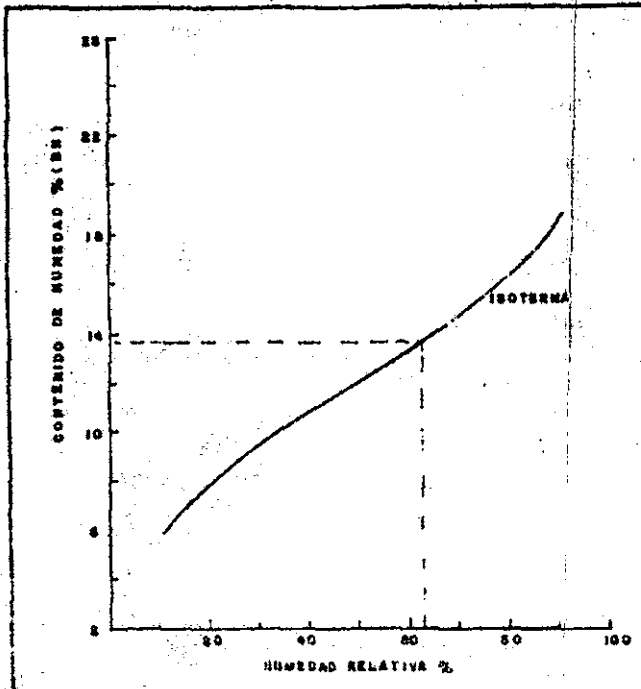
equilibrio con agua libre. Cuando el contenido de humedad del grano es menor, más fuerte es la unión entre la sustancia y el agua y menor la influencia que esta ejercerá sobre la atmósfera circundante. El agua adsorbida puede separarse del grano variando las condiciones de humedad del aire que la rodea.

Agua de constitución: Combinada en uniones químicas formando parte de la misma sustancia.

No existe una separación clara entre los tipos anteriores de agua. En granos de humedad baja, el agua se une firmemente a la sustancia por fuerzas de atracción molecular pues tiene un dipolo grande por unidad de superficie que, es fuertemente atraído por la variedad de iones y grupos polares que contienen los cereales. Si se incrementa la cantidad de agua adsorbida, disminuyen las fuerzas de atracción hasta que iguallen a las fuerzas capilares de absorción. Ha sido necesario normalizar los métodos de medición de la humedad, para que el agua se extraiga en cada ensayo en igual grado. Se busca definir un límite que separe toda el agua absorbida sin afectar la de constitución, cuya extracción desnaturaría el grano. Todo método de medición de humedad tiene, en consecuencia, bases empíricas definidas en forma tal que los resultados sean reproducibles e indiquen con adecuada aproximación, cualquier cambio en el contenido de humedad causado por secamiento o humedecimiento.

Higroscopicidad: Los granos, como organismos coloidales, tienen características higroscópicas: absorben o entregan humedad a la atmósfera que los circunda hasta que encuentran el equilibrio con ella. Los materiales higroscópicos contienen humedad adsorbida que ejerce una presión de vapor inferior a la del agua líquida a la misma temperatura. La relación que existe para cada tipo de grano, entre el contenido de humedad y la humedad atmosférica de equilibrio ha sido estudiada por diversos investigadores; Osley (1948)⁽¹⁾, observó que la relación: humedad relativa-humedad del grano, a una determinada temperatura, se puede representar por una curva sigmoide, cuya pendiente aumenta sensiblemente cuando la humedad relativa es del 80% aproximadamente. La figura

No. 6.1 tomada de Pixton⁽²⁾ ilustra una de estas curvas, conocidas generalmente como Isotermas.



Las Isotermas tienen forma sigmoide para las celulosas, proteínas, cereales y subproductos. Cada curva puede dividirse en tres segmentos: los extremos curvos y el tramo central, en cada uno de los cuales predomina un tipo diferente de humedad. En la porción curva correspondiente a baja humedad, predomina la energía química de unión entre las moléculas de agua y la sustancia seca. En la parte intermedia actúan las fuerzas de adsorción y en la parte curva superior, de humedad alta, las fuerzas son muy reducidas.

Humedad de equilibrio: Dada la importancia práctica de la determinación de la humedad de equilibrio, se han realizado multitud de experimentos, cuyos resultados no siempre coinciden, utilizando sistemas con aire estático, en los cuales se necesita tiempo suficiente para que las humedades se equi-

libren naturalmente, o con aire en movimiento forzado a través del grano para acelerar el proceso de equilibrio. Cuando los valores de la humedad relativa son superiores al 90% el desarrollo rápido de hongos, ha impedido la determinación precisa de las humedades de equilibrio.

En el comportamiento de los granos almacenados, la humedad relativa de equilibrio tiene mayor importancia que el contenido de humedad del grano, pues indica la disponibilidad de humedad para el desarrollo de los microorganismos, de cuyo nivel de actividad depende la seguridad del grano.

Los cambios de temperatura afectan la humedad de equilibrio, puede apreciarse en la figura No. 6.2 tomada de Pixton y Warburton (1971)⁽³⁾ que para granos húmedos el efecto de los cambios de temperatura es casi nulo pero aumenta con la disminución de la humedad. La Isoterma ilustrada, tiene además datos sobre temperaturas de rocío y presiones de vapor, que permiten determinar rápidamente las circunstancias en las cuales se puede producir condensación.

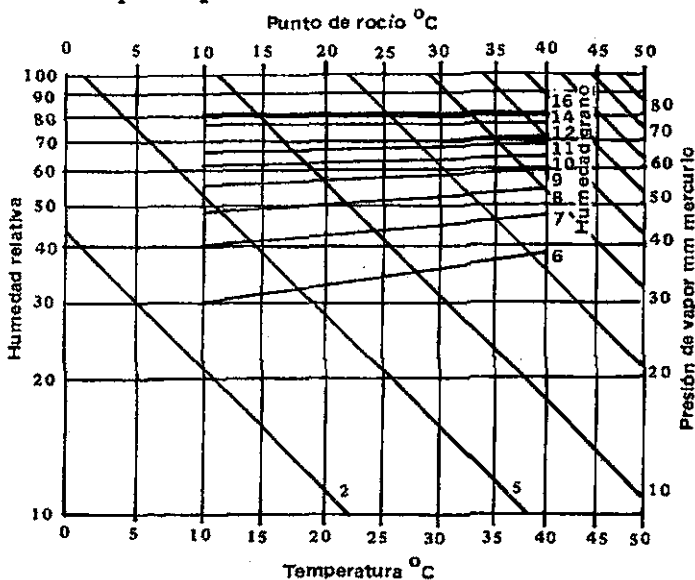


Fig. No. 6.2- Relación de la HR para diferentes contenidos de humedad de soja a diferentes temperaturas - proceso de adsorción

La tabla No. 6.1, adaptada de ASAE⁽⁴⁾ muestra los valores de la humedad de equilibrio a 25°C, para diferentes granos, con humedad relativa del 60 y 75%.

Grano	Humedad Relativa	
	60%	75%
Maíz Blanco	12.9	14.7
Maíz Amarillo	12.9	14.8
Arroz	11.8	14
Sorgo	12.0	15.2
Soya	9.7	13.2

Tabla No. 6.1- Humedad de equilibrio (Base húmeda) de diversos granos a 25°C (ASAE)

Se observa que grano con elevado contenido de aceite (soya) adsorbe menos humedad que los granos con mayor contenido de carbohidratos; la soya en consecuencia, debe almacenarse con humedades menores que el maíz para que se conserve adecuadamente. El contenido de aceite actúa como un factor de contrapeso; si la humedad se determina descontando el contenido de aceite del peso de la materia seca, se tiene que las curvas isotermas de granos oleaginosos son muy similares a las de los cereales.⁽⁵⁾

Los valores de la humedad de equilibrio, pueden diferir de los datos de la tabla No. 6.1, no sólo por diferencias de tipos y variedades de grano; se ha encontrado que el secamiento artificial produce cambios físicos y químicos en los granos, que pueden afectar en forma significativa sus características higroscópicas.⁽⁶⁾

En maíz cuya temperatura física durante el proceso de secamiento, haya sido superior a 60°C, se disminuye la capacidad para adsorber humedad de la atmósfera.

Esta capacidad se afecta notoriamente y se hace permanente si el grano se somete a temperaturas más elevadas. En consecuencia, maíz secado artificialmente debe almacenarse con humedad inferior en 0.5% a 1%, que maíz secado en forma natural, pues la humedad del aire intersticial será más alta en el primero. Tuite y Foster (1973)⁽⁷⁾ determinaron experimentalmente los siguientes datos, para muestras de maíz secadas natural y artificialmente, colocadas en un ambiente de humedad relativa y temperatura controlada en 80% y 24°C durante 5 semanas: el maíz secado naturalmente se equilibró con una humedad de 15.52%, mientras el grano secado a 93°C y cuya temperatura física durante el proceso fue superior a 60°C, se equilibró con una humedad de 15.07%. La diferencia se presentó cuando el experimento se realizó con el grano perdiendo o ganando humedad, de tal manera que no puede explicarse por el efecto denominado de "histeresis"; tampoco se trataba de un caso de endurecimiento superficial de la corteza del grano, que impediría la salida o entrada de humedad, causado por la elevada temperatura de secamiento, pues los resultados fueron similares con granos enteros o molidos.

Pese a los esfuerzos de los investigadores y matemáticos, no se ha desarrollado aún una ecuación teórica para la curva sigmoide, que permita predecir los valores de humedad de equilibrio, correspondientes a una variación amplia de temperatura y humedad relativa. Se han preparado algunas ecuaciones semi-empíricas de relativa precisión.

En la tabla No. 6.2 adaptada de la tabla 4-1 de Brooker (1974)⁽⁸⁾ se indica la humedad de equilibrio de arroz paddy a diferentes humedades y temperaturas, junto con la cifra correspondiente de presión de vapor, que se determinó a partir de la presión de saturación multiplicada por la humedad relativa.

Puede apreciarse que para las humedades de 80% y 90%, algunos de los datos presentan un comportamiento aparentemente errático; probablemente las discrepancias se deben a las 4 diferentes fuentes que el autor original utilizó.⁽⁹⁾

Temp. °C	Humedad Relativa			
	60%	70%	80%	90%
0	13.3% 0.00373	14.5% 0.00435	16.6% 0.00497	19.2% 0.00559
20	12.5% 0.0142	13.7% 0.0166	15.2% 0.0190	17.6% 0.0214
23	12.4% 0.0169	13.5% 0.0197	15.9% 0.0226	19.0% 0.0214
25	12.2% 0.0193	13.4% 0.0226	14.8% 0.0258	16.7% 0.0290
26.7	11.7% 0.0213	13.2% 0.0249	15.0% 0.0285	17.1% 0.0320
30	11.9% 0.0259	13.1% 0.0302	14.7% 0.0345	17.1% 0.0389
44	10.3% 0.0553	12.3% 0.0645	14.3% 0.0738	16.5% 0.0830

Tabla No. 6.2- Humedad y presión de vapor de equilibrio (KG/CM²) para arroz paddy a diferentes humedades y temperaturas (°C)

Dada su utilización en el almacenamiento de granos, a continuación se indica la humedad de equilibrio (base húmeda) de varios productos, Tabla No. 6.3 adaptada, de Buffalo⁽¹⁰⁾ para diferentes humedades relativas.

Difusión: La humedad interna de una masa de grano, sólo en casos especiales permanece constante; dentro de ella se presentan movimientos de humedad de un punto a otro causados por agentes internos o externos. Para propósitos prácticos es más importante comprender el comportamiento de la humedad en las masas de grano que en granos individuales.

Material	Humedad Relativa	
	60%	70%
Yute	10.9%	12.6%
Papel	7.4%	7.2%
Madera	10.15%	12.3%

**TABLA No. 6.3 HUMEDAD DE EQUILIBRIO (BASE HUMEDA)
PARA VARIOS PRODUCTOS**

Anderson y colaboradores (1943), demostraron que en granos almacenados la humedad se mueve a lo largo de gradientes de temperatura, de sitios de alta temperatura a sitios de baja. La difusión, con la ayuda de corrientes de convección causadas por diferencias de densidad de aire, es el mecanismo dominante en estas migraciones.⁽¹¹⁾

Los cambios de humedad producidos por difusión pura, en condiciones prácticas reales, son muy lentos; como sucede en la superficie de una masa de grano expuesta a una atmósfera con alta humedad relativa, o un "foco" húmedo de grano inmerso en un granel. La velocidad a la cual el grano gana o pierde humedad, en las situaciones anteriores, depende de la diferencia entre su humedad de equilibrio y la de la atmósfera circundante, y del grado de exposición de los granos. Para capas delgadas el equilibrio se puede alcanzar en una semana, o poco más; en graneles el equilibrio necesita mayor tiempo. Observaciones efectuadas en Colombia, con grano del mismo tipo e iguales condiciones, almacenado en silos y bodegas cercanas y sometido el primero a periódicas aireaciones, presentan tiempos de equilibrio diferentes, y mucho mayores para el grano de los silos.⁽¹²⁾

El ingeniero colombiano Axel Caro, en una investigación desarrollada en 1974, comprobó que "no existe absorción de humedad de la atmósfera de significado práctico en grano almacenado a granel, a menos que existan corrientes de aire que lleven la humedad más allá de las primeras capas de

grano". Estas corrientes de aire pueden ser causadas por ventiladores o por corrientes de convección motivadas por diferencias de temperatura.⁽¹³⁾

Los siguientes datos, tomados del trabajo de Caro (1974), permiten apreciar la importancia de la convección: aire a 85°F y 75% de humedad relativa tiene un peso específico de 0.07 libras/pie cúbico, mientras a 45° y 75% de HR, su peso es de 0.078 libras/pie cúbico con un aumento del 25%, esta diferencia de peso específico conduce una presión de 2.917 pulgadas de columna de agua, presión que extrapolada en las gráficas de Ensed (1953) indica un flujo de aire de 0.002 pies cúbicos de aire por minuto por bushell de grano (m^3 /minuto/ m^3 de grano) cifra que aunque baja es de indudable importancia. Sin la presencia de corrientes de aire la influencia de la atmósfera exterior es mínima, salvo en graneles de gran superficie expuesta, como sucede en las 'bodegas-silo'.

Los trabajos de Caro (1974) corroboraron las experiencias de otros investigadores. El sorgo es más sensible que el trigo y el arroz a los cambios de humedad.⁽¹⁴⁾

La utilización de silos de metal, tiende a acentuar el problema de movimientos de humedad, pues transmite rápidamente el grano las variaciones de la temperatura ambiente; los silos de concreto o de ladrillo, por su baja conductividad térmica se comportan mejor.

En condiciones extremas un enfriamiento rápido de la atmósfera, causado por ejemplo por el "suraso" característico del oriente boliviano, puede reducir la humedad relativa del aire intersticial, del grano situado en las vecindades de la pared de silos metálicos, por debajo de su punto de rocío y hacer fluir verdaderos chorros de agua. Los problemas sin embargo, normalmente son mayores en el interior de las masas de grano.

La transferencia de humedad en masas de grano de contenido no uniforme de la misma, sin la acción de corriente de aire, es un proceso muy lento, gobernado por un proceso

de difusión de vapor causado por el gradiente de presiones de vapor, que resulta de las diferentes humedades y sus correspondientes presiones de vapor.

Pixton y Griffith (1971) realizaron experimentos a temperatura controlada, con "bolsas" de grano húmedas inmersas en graneles y para superficies expuestas. En el primer caso encontraron que la velocidad de difusión depende de la temperatura: un grano húmedo (22%), sumergido en grano seco (13.7%) a 22.5°C se equilibró totalmente en aproximadamente 65 días, mientras a 5°C no alcanzó el equilibrio en los 140 días de experimento, por esta razón, en el sistema de secado de arroz por "Pasos", los reposos para homogenización de humedad interna, son más cortos si el grano se mantiene caliente. La velocidad de transferencia de humedad es inicialmente muy elevada, con el grano a 22.5°C en 5 días se equilibró el 65% de la humedad y en 10 días casi el 80%. Los ensayos de difusión de humedad para superficies expuestas confirmaron también, que la velocidad de difusión depende de la temperatura. Igualmente la velocidad de transferencia de humedad va disminuyendo; el 90% del movimiento puede presentarse al adsorber humedad en los primeros 5 a 15 días, de acuerdo con la humedad relativa de control y el tipo de grano y, en los primeros 2 a 9 días cuando se pierde humedad. Los granos blandos tienden a equilibrarse más rápido que los duros y se consigue más rápido el equilibrio cuando los granos entran en contacto con una atmósfera de baja humedad y se secan, que cuando se humedecen por efecto de humedad alta en la atmósfera. Se verificó además que la velocidad de la difusión se reduce en forma apreciable, con granos cuya humedad es inferior al 11% ó 12%, como resultado de las fuerzas que actúan sobre el agua en los organismos bio-coloidales⁽¹⁵⁾.

Contenido de humedad: Para calcular cualquier cambio en contenido de humedad en grano, debe tenerse presente que su materia seca permanece constante durante los procesos de secamiento o humedecimiento. En consecuencia

$$\frac{100 - H_1}{100} \times P_1 = \frac{100 - H_2}{100} \times P_2 \quad \text{donde } H = \text{humedad}$$

P = peso

Ecuación de donde puede despejarse el valor que se necesita y que permite calcular los descuentos, o mermas, aplicables para cada caso.

Así, si se recibe una tonelada de maíz con una humedad del 18%, calculada sobre base húmeda según la práctica comercial normal, y la base de recibo establecida es de 14% se tiene:

$$\frac{100 - 18}{100} \cdot 1.000 = \frac{100 - 14}{100} P_2 \text{ de donde } P_2 = 953.48 \text{ kg.}$$

para una merma con el peso inicial de 46.52 kg. superior al 4% que a primera vista debería descontarse.

Humedad de base húmeda: Es el Sistema utilizado comercialmente para indicar el contenido de humedad de un grano; indica el porcentaje que representa el peso del agua en relación con un valor total que incluye el peso de la materia seca más la humedad. Así en la tonelada de maíz del 18%, la materia seca pesa 820 kilos y el agua 180 kilos.

Esta forma de medir la humedad, tiene el inconveniente de que hace necesario realizar algunos cálculos para conocer la pérdida de humedad por secamiento, pues la reducción numérica de humedad no es igual a la pérdida en peso. Es más frecuente de lo que podría suponerse, la confusión de secamiento y mermas, aún por parte de personas involucradas en el mercadeo de granos.

Humedad de base seca: Para facilitar los cálculos en los experimentos de laboratorio, es frecuente expresar la humedad como el contenido de agua en relación con el peso de la materia seca, de tal manera que su valor indica directamente el contenido de humedad. El técnico estudioso de estos temas, debe tener cuidado en la lectura de investigaciones científicas para evitar confundir las humedades.

La base seca puede convertirse fácilmente a base húmeda mediante la siguiente fórmula:

$$Hbh = \frac{Hbs}{100 + Hbs} \times 100; \quad Hbs = \frac{Hbh}{100 - Hbh} \times 100 \text{ donde:}$$

Hbh = humedad de Hbs = humedad de
base húmeda base seca.

Tabla de descuento: Para facilitar las operaciones comerciales se utilizan tablas de descuento por humedad e impurezas, que permiten leer directamente las mermas de humedad (o impurezas) de acuerdo con bases de recibo preestablecidas.

Histeresis: Se ha encontrado que la humedad de equilibrio para un grano difiere, en ocasiones en forma marcada, según esté ganando o perdiendo humedad. Este efecto se ha denominado histeresis (del latín "quedarse atrás") por similitud con el efecto que se presenta en el magnetismo que hace que la densidad de flujo en un material magnetizable, no dependa únicamente de la magnitud de la excitación eléctrica, sino también de su "historia" magnética; en cierta forma estos materiales tienen "memoria" y "recuerdan" que han sido magnetizados; y los granos "recuerdan" que han sido secados o humedecidos.

Las curvas isotermas, de granos que pierden humedad (desorción), están notoriamente desplazadas hacia la izquierda de las curvas de adsorción, su separación es mayor en granos secos que en húmedos, como puede apreciarse en la figura No. 6.3 tomada de Pixton (1966)⁽¹⁶⁾ en trigo y en la tabla No. 6.4 tomada de Chung y Pfof (1967)⁽¹⁷⁾ que indica la histeresis en maíz a 22°C.

Humedad relativa %	Desorción	Adsorción
88.5	24.2	23.2
67.6	16.5	15.2
46.5	12.9	11.5
25.8	9.8	8.0
9.4	7.0	5.6

TABLA No. 6.4 HISTERESIS DE MAIZ A 22°C

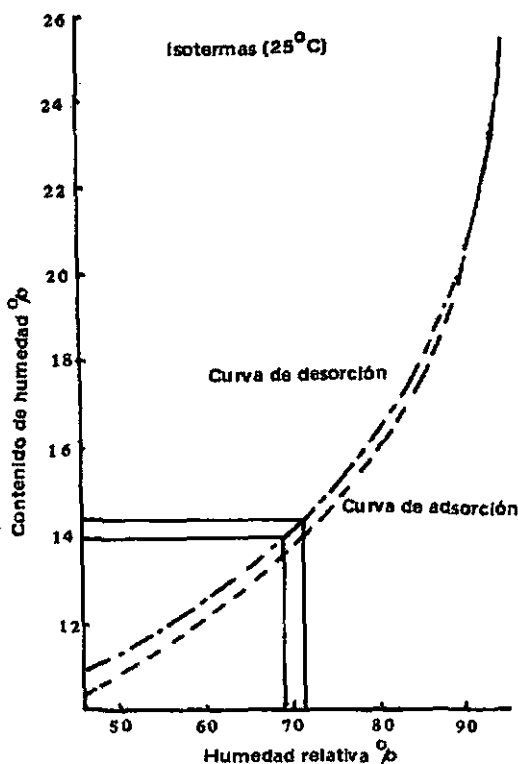


Fig. No. 6.3- Efecto de histéresis en trigo manitoba a 25°C

Se ha tratado de explicar el efecto de histéresis mediante diferentes teorías; la de la "botella", de Krasmer y Taylor (1931), es quizá la más conocida: supone que los capilares de los granos tienen forma de botella, con una salida angosta y un cuerpo cilíndrico de mayor diámetro. Durante la pérdida de humedad (desorción) las salidas de pequeño diámetro, controlan la salida de humedad, disminuyendo la humedad relativa en la superficie; por el contrario durante la adsorción de humedad la velocidad es controlada por el mayor diámetro de la parte interna de los capilares.⁽¹⁸⁾

Chung y Pfof (1967), sostienen la hipótesis de que la menor humedad de equilibrio característica de la adsorción,

se debe a que la pérdida de humedad que sufre todo grano por secamiento artificial o natural, reduce la disponibilidad de sitios polares de atracción, capaces de adherir más humedad. Estos mismos investigadores encontraron que después de someter un grano a tres ciclos sucesivos, de magnitud apreciable, de adsorción y desorción, el efecto de histeresis desaparece.⁽¹⁹⁾

Velocidad de secado: Generalmente se define el secado como la remoción de agua contenida en sólidos por medios térmicos; es un proceso diferente al desaguado en el cual la remoción se efectúa por medios mecánicos, prensas, rodillos, etc.

El secamiento comercial utiliza en casi todos los casos un proceso de convección forzada de aire caliente, para el transporte de calor y evacuación de la humedad.

La velocidad de secado es proporcional a la diferencia de presión de vapor del medio desecante y de la humedad en la superficie del producto, a la superficie expuesta y al coeficiente de transferencia de masa, coeficiente que, como se analiza en el capítulo anterior, indica la "resistencia" por unidad de área que ejerce la película de aire situada en la periferia del grano, al flujo de masa de agua.

Cuando se seca un grano, ocurren simultáneamente dos procesos diferentes: transferencia de calor para evaporar el agua, y transferencia de masa en forma de humedad interna que se difunde, y de líquido que se evapora y remueve de la superficie. Los factores que gobiernan cada uno de estos procesos determinarán la velocidad de secado.

Los movimientos internos de humedad pueden ser de varios tipos, dependiendo de la estructura del grano; algunos serán de difusión pura, otros de flujo capilar o causados por la acción mecánica de la contracción del grano.

Etapas de secamiento: Pueden distinguirse tres etapas principales durante el secado de granos.

La figura No. 6.4 relaciona la velocidad de secado con la duración del proceso y permite distinguir muy claramente las tres etapas.

La primera etapa, de calentamiento, se cumple entre los puntos A y B, en ella la velocidad de evaporación aumenta según el grano se va calentando.

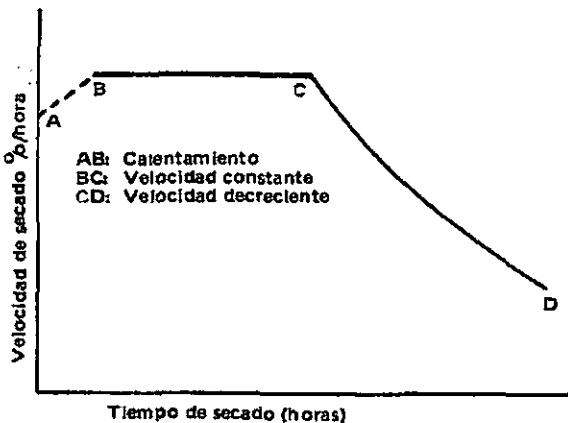


Fig. No. 6.4- Curva de secado de materiales higroscópicos

La segunda etapa, de velocidad constante, se lleva a cabo entre los puntos B y C; el secamiento tiene lugar en la superficie del producto que se mantiene húmeda en su totalidad; la velocidad de secado en esta etapa es independiente de las características internas del grano y es controlada fundamentalmente por las características del aire desecante. La velocidad está determinada por la rata de difusión del vapor de agua, a través de la película de aire estancado que envuelve los granos, hasta la corriente de aire principal.

$$v = \frac{Ct \times A \times (T_a - T_g)}{hfg} \quad (20)$$

donde Ct = Coeficiente total de transmisión de calor y de masa

A = Área expuesta

Ta = Temperatura del aire de secado

Tg = Temperatura del grano

hfg = Calor latente de evaporación

La temperatura del grano, tg, en esta etapa tiende a ser igual a la temperatura de bulbo húmedo del aire desecante, sin embargo la acción de la "conducción" de calor o de 'radiación' pueden elevarla.

El coeficiente de transferencia de calor y masa depende principalmente del espesor de la película de aire estancado que envuelve el grano, espesor que disminuye al aumentar la velocidad del aire.

El punto C, donde la superficie deja de permanecer completamente húmeda, se denomina en ocasiones punto crítico e indica el inicio de la tercera etapa, de velocidad decreciente, etapa que a su vez puede subdividirse en dos partes: una primera en la cual la superficie aun presenta partes húmedas y otra en la cual se encuentra completamente seca. En la primera parte la velocidad de secado depende de las condiciones tanto del aire como de las características físicas internas del grano; en la segunda parte depende de las características del grano, que determinan el tiempo de difusión de la humedad interna; todo intento que se haga por acelerar el secamiento, utilizando temperatura más elevada o mayor volumen de aire, produce daños internos, al obligar a la humedad a desplazarse más rápidamente, "abriendo" en cierta forma nuevos caminos, que producen inevitablemente daños físicos. (6) (21) (22) (23)

Durante la etapa de velocidad decreciente, la temperatura del grano es superior a la del bulbo húmedo, por la disminución de la conversión de calor sensible en latente. El aumento de temperatura contribuye al daño de los granos; acelerando la formación de fisuras y produciendo daños químicos y físicos de importancia.

Diferentes investigadores han desarrollado ecuaciones semi-empíricas, que representan el proceso de difusión interna de humedad en granos individuales, en forma aproximada.

Sabbah (1971), por ejemplo, encontró que para maíz el tiempo máximo teórico en el cual la humedad, concentrada inicialmente en un sólo punto en el centro del grano, se distribuye uniformemente en todo el grano, puede expresarse como

$$T_{\max.} = \frac{R_g^2}{60}$$

R_g = radio promedio del grano en pies

D = Difusividad de masa del grano en pies cuadrados por hora.

La difusividad es función de la temperatura y del contenido de humedad según la siguiente expresión:

$$D = 0.057 H_s \left(\frac{-4.812}{T + 460} \right)$$

H_s = Humedad en base seca

T = Temperatura en °F

La aplicación de esta fórmula para maíz con 19% de humedad y 140°F, durante el desarrollo del sistema de "Dry-ration" en Purdue indicó que: $T_{\max} = 12$ horas, cifra que no difiere demasiado de la de 10 horas, que se determinó experimentalmente como apropiada.⁽²⁴⁾

Efectos físicos del secado rápido: La extracción demasiado rápida de humedad, produce en los granos daños apreciables. En maíz, una velocidad de secado de 2 a 8 "puntos por ciento" de humedad por hora, produce pequeñas fisuras en el endospermo, que aumentan con velocidades mayores; con velocidad superior a 8 "puntos" por hora se producen cambios físicos notorios, el maíz se expande y aún en casos extremos se estalla⁽²⁵⁾, en arroz las extracciones demasiado rápidas

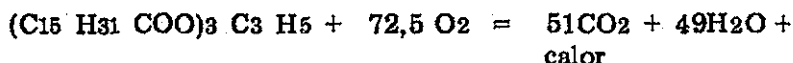
producen fisuras internas, que durante el proceso de pilado se convierten en fracturas que aumentan la catidad de grano partido.

Respiración de los granos: Normalmente en granos secos y sanos la intensidad de la respiración es muy baja y no produce incrementos notorios de temperatura en los mismos.

La respiración aeróbica, proceso de oxidación realizado en la presencia de oxígeno es más importante en los granos que la anaeróbica, sin oxígeno. Los productos de la respiración de cereales y granos oleaginosos son los mismos: bióxido de carbono (CO₂), calor y agua; sin embargo los procesos son diferentes.

La respiración de los cereales es semejante a la oxidación de un carbohidrato, tal como la glucosa: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O + \text{calor}$

La oxidación completa de 1 kg. de glucosa consume 1.06 kg. de oxígeno y produce 1.46 kg. de CO₂, 600 gramos de agua y 3.750 kilocalorías (14.900 BTU). En las oleaginosas el proceso respiratorio es comparable, para la fracción grasa, a la oxidación de una grasa y puede representarse por la siguiente ecuación de la tripalmitina.⁽²⁶⁾



La oxidación completa de un kilogramo de grasa consume 2.87 kg. de oxígeno y produce 2.76 kg. de CO₂, 1.1 kg. de agua y 9.450 kilocalorías (37.800 BTU), dos y media veces la cantidad de calor de los carbohidratos.

En la figura No. 6.5⁽²⁷⁾; se aprecia la mayor respiración de las oleaginosas que de los cereales y la disminución apreciable en temperatura baja; la producción de calor y de agua además de la acción de los microorganismos hacen que el proceso de respiración sea acumulativo, se acelere por sí mismo. Cuando el contenido de humedad de los granos es elevado, la velocidad de respiración es varias veces mayor que la correspon-

diente a la oxidación de la sustancia; la actividad de los hongos e insectos es la causante del incremento.

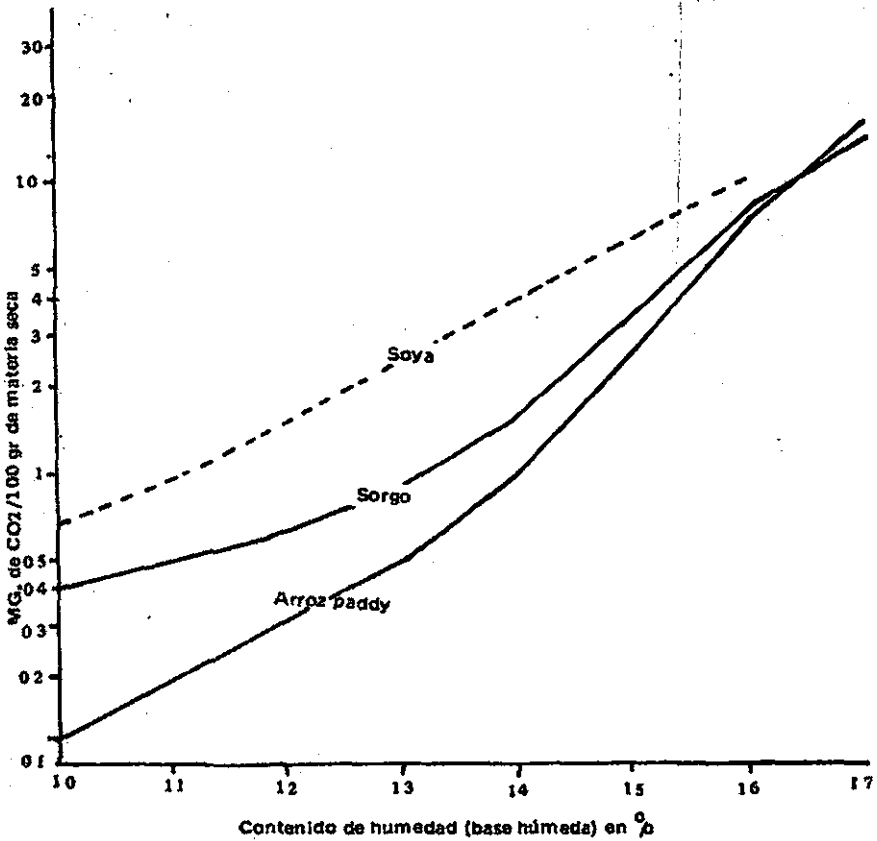


Fig. No. 6.5- CO_2 producido por granos a $38^\circ C$

Hummel y Colaboradores (1954)⁽²⁸⁾, encontraron que la respiración de grano libre de hongos, es prácticamente la misma cuando su humedad es de 12% ó de 18%. Aunque otros experimentadores han obtenido resultados diferentes, las conclusiones de Hummel parecen corroboradas por la experiencia de los últimos años con ácidos orgánicos, aplicados en granos húmedos, que no se calientan por la acción inhibitoria de hongos de los ácidos.

La tabla No. 6.5⁽²⁹⁾ permite apreciar la forma como varía la producción de calor en sorgo, con diferentes temperaturas y contenidos de humedad, incluyendo los efectos de la oxidación y la acción de los hongos, cuyas esporas se encontraban presentes. Como se ve es mayor el efecto de la variación de la humedad que el de la temperatura.

Humedad	TEMPERATURA			
	5°C	16°C	27°C	38°C
12.4	0	0	0	7
14.6	0	3	7	62
18.0	20	100	1920	2440
21.0	120	2060	7300	

Tabla No. 6.5- Kilocalorías producidas por la respiración de una tonelada de sorgo cada 24 horas

Maíz con el 14% de humedad produce 30 mg. de CO₂/kilo/día, que corresponden a 77 kilocalorías por tonelada; cuando la humedad es 17% a la misma temperatura, la producción aumenta a 185 mg. de CO₂/kilo/días.⁽³⁰⁾

El tipo de hongos que actúa varía con el nivel de humedad; entre 14% y 15% se desarrollan lentamente el *Aspergillus glaucus*; para humedad superior a 15% actúan el *Aspergillus Candidus* y el *Ochraceus*; sobre el 18%, el *A. Candidus* puede aumentar la temperatura del grano hasta 54°C. Con humedades mayores actúan bacterias termófilas que pueden aumentar la temperatura hasta 77°C y provocar la combustión espontánea en algunas sustancias. El aumento de temperatura de los granos puede estimarse utilizando el concepto de calor específico C, definido como la cantidad de calor (Q) que ha de suministrarse a un cuerpo de masa unitaria (m) para aumentar su temperatura en 1°C ó 1°F según el sistema de unidades.

$$Q = M \times C \times \Delta T$$

así para sorgo, con los datos de la tabla No. 6.6, si la temperatura es 16°C , la humedad 14.6% y el calor específico de 0.47, el aumento de temperatura en 10 días será de 0.06°C aproximadamente. Sorgo, con humedad de 18% y 16° , puede calentarse en 10 días aproximadamente 2.1°C .

En la tabla No. 6.6 se suministran valores de calor específico para varios granos y materiales relacionados. Para esta tabla se utilizaron datos de Pfof (1976).⁽³¹⁾

Material	Calor específico	Grano	Calor específico BTU/lb/ $^{\circ}\text{F}$; cal/gm/ $^{\circ}\text{g}$
Aire	0.238	Maíz (14%)	0.484
Ladrillo	0.22	Maíz (24.7%)	0.567
Concreto	0.156	Arroz	0.44
Acero	0.11	Soya	0.47
		Trigo	0.302

Tabla No. 6.6- Calor específico de varios productos

De acuerdo con la ecuación de respiración de cereales, cada kilocaloría producida, genera 0.010 gramos de agua.

En consecuencia, granos a 18°C y 11% de humedad producen aproximadamente 0.144 gramos de agua/ton/día; con humedad de 16.9% alrededor de 49 gramos/tonelada y con 20.5% , 64 gramos/ton/día.

Para adquirir una mejor idea de lo que esto representa, se puede calcular que una tonelada de maíz que se haya autocalentado 5°C durante su almacenamiento, ha producido aproximadamente 4 litros de agua que corresponden aproximadamente a un aumento de humedad de 0.4% .

Como medida de la respiración pueden utilizarse: los productos provenientes de la misma, las variaciones de tempe-

ratura en los granos a granel, (por medio de termocuplas o termistores), los niveles de concentración de CO₂ en ensayos de laboratorio.

Los efectos del agua y del calor en los granos son suficientemente conocidos, no así los del otro producto de la respiración: el bióxido de carbono CO₂. En granos depositados en recipientes confinados donde no existe la posibilidad de reemplazar el oxígeno consumido, el incremento de la concentración de CO₂ disminuye la respiración, los hongos por sus características de organismos aerobios sufren retardo en su desarrollo; sin embargo pueden desarrollarse otros organismos anaerobios, como las bacterias formadoras de ácido láctico, si encuentran suficiente humedad.

En el control de la respiración se fundan los principales sistemas utilizados para el almacenamiento de granos; aunque el secamiento es el más utilizado pueden lograrse resultados satisfactorios enfriando los granos para reducir su actividad metabólica, o almacenándolos en recipientes herméticos donde la respiración, o algún agente externo, disminuye el contenido de oxígeno (atmósfera confinada).

Rodríguez (1972) resume que "el objeto esencial de los sistemas de almacenamiento consiste en una disminución de la respiración, todos los medios por los cuales se logre esta finalidad pueden valer como medios de conservación".⁽³²⁾

Enfriamiento: En Europa se utiliza con éxito el enfriamiento para la conservación de granos no totalmente secos. En los Estados Unidos, principalmente después de los primeros años del decenio de 1950, se desarrolló y aplicó el sistema de aireación, que consiste simplemente en hacer circular aire frío (40°F — 50°F) a través del grano almacenado, aprovechando la temperatura ambiente naturalmente fría del otoño e invierno.

Atmósfera confinada: Sistema de conservación conocido y utilizado desde tiempos remotos; en Africa 4.000 o más años antes de la era cristiana, el grano se almacenaba en

hoyos en la tierra denominados por los árabes "syles", expresión originaria de silos⁽³³⁾. Sistemas similares se utilizaron en España, Italia . . . En años recientes, varios trabajos de investigación han reactivado el interés en el almacenamiento bajo tierra. Donahaye y colaboradores (1967)⁽³⁴⁾ realizaron experimentos en hoyos que fueron limpiados y tratados previamente con aspersiones de lindano, el fondo se cubrió, al igual que en los sistemas antiguos, con paja, el grano se envolvió en una tela plástica para garantizar la hermeticidad, el depósito se cubrió con tierra. En pocas semanas los insectos presentes murieron por falta de oxígeno, cuyo contenido inicial del 20% se redujo en dos meses y medio al 4%, mientras en el mismo período el CO₂ aumentó hasta el 17%.

En "syles", construidos siguiendo las prácticas antiguas, sin recubrimientos plásticos ni productos químicos, se alcanzan niveles de CO₂ del 5% ó 6%, que si bien son insuficientes para lograr el exterminio completo de insectos sí son efectivos para su control.

Calidad del grano: La calidad del grano es un concepto, hasta cierto punto, subjetivo; aún utilizando normas claramente definidas como los estándares oficiales de los Estados Unidos, es difícil que varios inspectores entrenados obtengan resultados idénticos con una misma muestra.

Se ha tratado de utilizar sistemas cuantitativos que permitan determinar con exactitud la disminución de calidad de un grano que se haya almacenado. Los métodos más utilizados son los siguientes:

Germinación: Es un buen indicador de daños producidos por calor y proporciona indicaciones sobre la calidad industrial del grano; maíz de alta viabilidad produce buenos rendimientos de almidón en el sistema húmedo de molienda, a diferencia de maíz de baja germinación; sin embargo la baja germinación puede ser causada por heladas, envejecimiento del grano, daños mecánicos, etc., factores que no necesariamente afectan los rendimientos de molienda.

Densidad aparente: La relación entre el peso de un volumen determinado de grano y el peso del mismo volumen de agua es un índice, hasta cierto punto, de la calidad del grano, aunque su valor lo afectan factores como la forma del grano (variedades cortas y redondeadas tienen mayor peso) y la rugosidad de las cutículas. Sin embargo esta medida permite determinar granos con un excesivo contenido de "vanos" o que han sido sometidos a un proceso de secamiento con temperatura muy elevada, pues el hinchamiento que sufre disminuye su densidad. Algunas enfermedades durante el desarrollo de la planta, pueden afectar sensiblemente la densidad del grano; de esta manera el trigo afectado por tizón reduce su densidad de 800 a 510 kg. por metro cúbico. Precisamente es en trigo donde esta medida tiene su mejor utilización, pues densidad elevada indica cutículas fibrosas delgadas y elevado contenido de harina.

Granos dañados por calor: El calentamiento excesivo, causado por secamiento o autocalentamiento por presencia de mohos o insectos, produce daños de importancia en los granos. El maíz recalentado durante el secamiento presenta daños superficiales, quebraduras y vencaduras; el calentamiento por hongos y respiración afecta también el interior de los granos⁽³⁵⁾ haciéndolo inapropiado para consumo. En arroz es conocido el efecto del autocalentamiento que "quema" el grano, cambiando su color y afectando su valor comercial.

Daños externos: Una inspección visual a granos tales como maíz, soya, sorgo . . . permite conocer, hasta cierto punto, la forma como fueron tratados durante los procesos de cosecha, secado y almacenaje. Maíz secado con excesiva temperatura sufre fisuras en su endospermo que afectan su calidad molinera, con la ayuda de un bombillo dentro de una caja cerrada y provista de orificios del tamaño del grano, pueden inspeccionarse todas las caras del maíz. El secamiento artificial hecho sin cuidado, aumenta la fragilidad del grano y su tendencia a quebrarse y a producir "finos" durante su manejo. La fragilidad puede medirse en forma cuantitativa en la máquina de "Stein", que somete el grano a un número de

golpes determinado; con ayuda de cribas se pueden separar los "finos" producidos y utilizar su peso como índice de fragilidad.

Valor nutritivo: Existe evidencia de que el secamiento artificial impropio, y otros factores, pueden disminuir la cantidad de Lysina, aminoácido de mucha importancia en la nutrición y relativamente escaso; en soya el almacenaje inadecuado eleva el contenido de ácidos grasos, que hacen más costoso e ineficiente el proceso de extracción de aceites.

Pérdida de peso: Steele y colaboradores (1969)⁽³⁶⁾ encontraron que, en maíz una pérdida de peso, por respiración, del 0.5%, produce deterioro suficiente para reducir su calidad en un grado, de acuerdo con las normas oficiales de los Estados Unidos, según los resultados de mediciones de la cantidad de CO₂ que produce el maíz en diversas condiciones de humedad, temperatura, y daños mecánicos. La cantidad de CO₂ producida es un buen indicador de la cantidad de materia seca que se pierde; un poco más de 7 gramos de CO₂ por kilo de grano, corresponden a una pérdida de peso de 1/2%.

Steele encontró que si maíz almacenado pierde más de 1% de peso, su calidad se disminuye hasta el punto de que se clasificará sólo como "muestra", fuera de normas.

El tiempo de almacenaje que corresponde a una pérdida de peso del 1/2%, de acuerdo con Steele es de $T = 230 \text{ horas} \times Ct \times Ch \times Cd$ ⁽³⁶⁾

Ct es un coeficiente de ajuste de temperatura en relación con la base de 15°C.

Ch es un coeficiente de ajuste de humedad sobre la base de 25%.

Cd es un coeficiente de daños mecánicos en relación con el 30% tomado como base.

Los daños mecánicos se expresan como el porcentaje, en peso, de granos rotos o con fisuras visibles en las cubiertas. El

artículo de Steele incluye unos gráficos y tablas que permiten calcular los coeficientes de ajuste para diferentes condiciones. Con el fin de facilitar su aplicación se puede usar el gráfico de la figura No. 6.6⁽³⁷⁾ que corresponde a un nivel de daños mecánicos del 30%. Para otro valor de daños el resultado debe afectarse por el valor correspondiente de la tabla siguiente. Tabla No. 6.7.

Daño	CD
2%	3.22
5%	2.90
10%	2.41
20%	1.60
30%	1.00
40%	0.55

Tabla No. 6.7- Coeficiente de daños (Steele) r

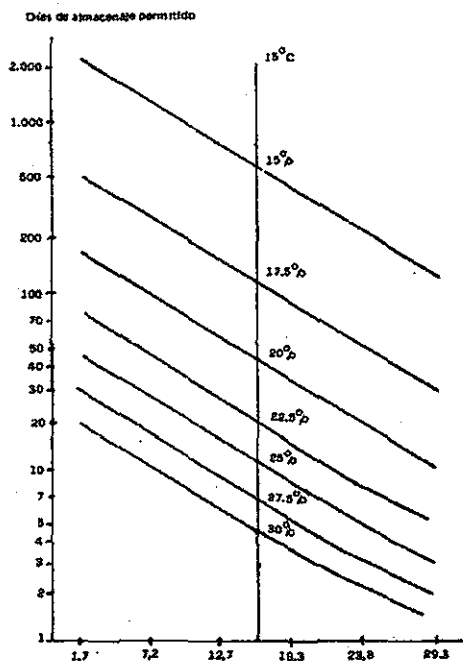


Fig. No. 6.6- Almacenaje permitido para grano con 30% de daño mecánico

REFERENCIAS

- (1) OSLEY. The movement of water and heat in Stored grain transactions of the American Association of Cereal Chemistry. 6, 1948, pp. 84 - 97.
- (2) PIXTON, (1966), Moisture content. Its significance and measurements in stored products. *Journal of stored products*. Vol. 3, 1967, p. 35.
- (3) PIXTON, WARBURTON, (1971). Moisture content, Relative humidity equilibrium at different temperatures of some oilseeds of Economic importance, *Journal of stored products*, Vol. 6 (1971, p. 264, Fig. 1).
- (4) ASAE. Yearbook. 1974, Op. Cit. p. 362.
- (5) PIXTON, WARBURTON, (1971). Op. Cit. p. 269.
- (6) TUTE, FOSTER, (1963), Effects of artificial drying on the hygroscopic properties of corn, *Cereal chemistry*, Vol. 4 No. 6.
- (7) TUTE, FOSTER, (1963), Op. Cit. p. 635.
- (8) RODRIGUEZ, ARIAS, (1956), Citado por Brokker, Baker, Hall, *Drying Cereal grains*. AVI Connecticut. 1975, Fig. 41, p. 75.
- (9) HOGAN y KARN, (1955), Bakharev (1960), Breese (1955), Henderson (1970).
- (10) JORGENSEN, Fan Engineering. Buffalo Forge Co. New York, 1970.
- (11) ANDERSON, BABBIT, MEREDITH (1943), The effect of temperature differential on the moisture content of wheat, citado por Pixton y Griffith, *Diffusion of moisture through grain*, *Journal of stored products*, Vol. 7, 1971, pp. 113-152.
- (12) Información recogida por el autor en la planta de silos de Almacén, Cali, 1975.
- (13) CARO, AXEL, Humedad de equilibrio en condiciones tropicales. Tesis de grado inédita, Universidad de Kansas, 1974, Traducción de Caro.
- (14) ASAE, Op. Cit., 1974, p. 364.
- (15) PIXTON, GRIFFITH, 1971. Op. Cit.
- (16) PIXTON, (1966), Op. Cit., p. 38.
- (17) CHUNG y FOST, (1967), Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products, citado por Brokker, Hall, 1974, Op. Cit., p. 82.
- (18) KRAEMEIR y TAYLOR, (1931), A treatise on physical chemistry, Citado por Brokker, Baker, Hall, 1974, Op. Cit., p. 83.
- (19) CHUNG y FOST, (1967), Op. Cit.
- (20) MARSHALL, FRIEDMAN, *Chemistry Engineers handbook*, Mac Millan, 1950, Sección 13, p. 802.
- (21) FOSTER en, *Grains storage*, part of a system, 1973, Capítulo 8.
- (22) USDA, Stress cracks and breakage in artificially dried corn. Research report No. 631, 1963.
- (23) BROOKER, BAKER, HALL, (1964), Op. Cit., p. 20.
- (24) SABBAAH, FASTER, HAUGH, PEART. Effects of tempering after drying on cooling shelled corn, transactions, ASAE, Vol. 15, No. 4, p. 763.
- (25) FOSTER, McKENZIE, Seminario sobre secado de granos y manipuleo de cereales con alto contenido de humedad, desarrollado en 1968 en la bolsa de cereales de Buenos Aires, Argentina.

- (26) MONROY, TEETER. La respiración de los granos, temas didácticos, Instituto Colombiano Agropecuario, Bogotá, 1974.
- (27) HALL, Manipulación y almacenamiento de granos alimenticios en las zonas tropicales y subtropicales, FAO, Cuaderno de Fomento Agropecuario, No. 90, p. 48, Fig. 6.
- (28) HUMMEL, CUENDET, CHRISTENSEN, GEDDES (1954), Citado por Brooker, Bakker, Hall (1974), Op. Cit., p. 65.
- (29) HERRERA, GALLO, MAVER, CEBALLOS, Análisis químico bromotológico de algunas materias primas colombianas empleadas en nutrición animal, ICA, Bogotá, 1970.
- (30) BROOKER, BAKKER, HALL (1974), Op. Cit., p. 13.
- (31) PFOST, Feed manufacturing technology, Manhattan, Kansas, 1976, p. 60, Fig. 3.3.
- (32) RODRIGUEZ, CESAR, Apuntes de conservación de granos, ICA, Bogotá, 1974, Volumen III-A-8.
- (33) CORN DAMAGE, Bulletin 1959, Kansas State University, 1971.
- (34) DONAHAYE, NAVARRO, CALDERON, Storage of barley in an underground pit sealed with a polyethylene liner, Journal of stored products, 1967, Vol. 3, p. 359.
- (35) RODRIGUEZ, CESAR, (1974), Op. Cit., Vol. III-A-9.
- (36) STEEL, SAUL, HUKILL (1969), Corn damage measured by its production of carbon dioxide Transactions, ASAE 1969, Vol. 12, No. 5, p. 885.

CAPITULO 7

EQUIPO MECANICO, COMBUSTIBLES DIAGRAMAS DE FLUJO

La primera consideración que debería hacerse, antes de empezar el diseño de una instalación para recibo y manejo de granos, se relaciona con el número de operaciones simultáneas que la planta puede realizar.

Operaciones entre las tareas principales que se realizan en una planta de recibo y manejo de granos se encuentran:

1- Recibo de grano verde (húmedo), incluye controles de laboratorio y pesaje y depósito en algún recipiente temporal, tolva de gran capacidad, silo, etc. Adicionalmente se considera como una operación adicional, el recibo de grano de otro tipo. Debe contarse también, para este segundo grano, con un recipiente de capacidad adecuada, que puede ser la misma tolva de recibo.

2- Prelimpieza de grano verde, debe incluir entrega de grano a un depósito.

3- Pesaje de grano húmedo prelimpiado.

4- Secado de grano, de primer paso si se trata de arroz; debe incluir, obviamente la entrega del grano a un recipiente.

5- Secado de grano de segundo paso (tercer paso, etc.).

6- Pesaje de grano seco, antes de su entrega final o traslado a almacenaje.

7- Recibo de grano seco proveniente de otra instalación, o directamente del campo.

8- Entrega de grano seco a planta de almacenaje. Esta entrega puede incluir la operación de empaque si el grano se almacenara en bodegas, o la simple entrega a granel por un sistema de transporte.

9- Trasiago de grano seco en la planta de almacenaje, para controlar puntos calientes incipientes, o aún para retornar a la secadora o prelimpiadoras.

10- Entrega de grano seco a granel, y/o empacado.

La descripción anterior no incluye ninguna operación que implique una transformación propiamente dicha.

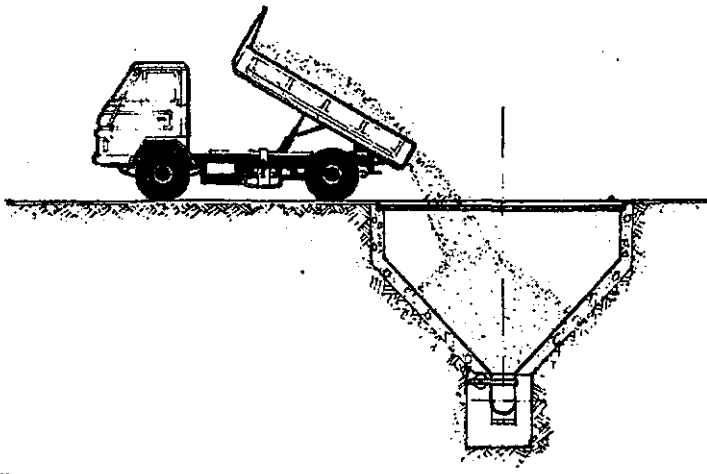
La realización de un mayor número de operaciones simultáneas, obviamente, implica la necesidad de utilizar mayor cantidad de equipo y aumentar la inversión, y su análisis debe hacerse con consideraciones de tipo técnico y económico.

Toda operación se realiza con ayuda de equipos, o mano de obra, interconectados en forma adecuada. A continuación se describen los principales equipos e instalaciones utilizados:

Recibo de granos: El grano húmedo debe recibirse en forma eficiente y económica; con frecuencia, cuando se debe competir para mantener un suministro adecuado de materia prima, un sistema de recibo ágil, que evite la demora exagerada para entregar grano, se convierta en un atractivo de importancia, especialmente para los transportadores.

Recibo en sacos: El sistema tradicional que implica descarga manual de los bultos y el amontonamiento de los mismos para su posterior vaciado en pequeñas tolvas de recepción, puede mejorarse con la construcción de tolvas más grandes, que permitan recibir directamente desde la plataforma del camión, equipadas con sistemas mecánicos de descarga ajustados a las necesidades. Figura No. 7.1. De acuerdo con la práctica comercial colombiana, el descargue está incluido en el

costo de transporte; si la tolva y el equipo de evacuación de la misma, no tienen capacidad suficiente para recibir y evacuar el grano vaciado directamente desde la plataforma, será necesario continuar el descargue de los bultos en el piso, con el sobre costo (para la planta) de arrastre y apertura posterior de los bultos en la tolva.



¹
Fig. No. 7.1- Tolva de recepción de capacidad apreciable

Para acelerar la operación de descargue del camión, algunas compañías facilitan al transportador un ayudante que, generalmente, se encarga de cortar y recoger las cabuyas de amarre de los sacos. Con dos "bultadores" y el ayudante mencionado es posible descargar un camión con 170 bultos (10 toneladas) en 25 ó 30 minutos; de tal manera que la capacidad mínima de evacuación de una tolva para recibir en forma continua grano que venga en sacos, debería ser de 20 toneladas por hora por cada línea de camiones que se reciba.

Utilización de la teoría de líneas de espera: Con la ayuda de técnicas estadísticas se facilita la comparación de diversas alternativas para construcción de sistemas de recibo.

En una planta de tratamiento de granos la llegada diaria de los camiones con grano, puede considerarse que se realiza completamente al azar (comportamiento que se representa matemáticamente con la distribución denominada de Poisson); la atención a cada camión, es decir su descarga, también se realiza al azar, pero la distribución matemática aplicable no es la Poisson, sino la denominada exponencial, por la razón de que mientras no haya camiones en la cola no se puede prestar servicio (las bases teóricas de estas distribuciones, y de la evaluación de líneas de espera se consiguen en cualquier libro de investigación de operaciones. En este caso se ha seguido el libro de Samuel B. Richmond, OPERATIONS RESEARCH FOR MANAGEMENT DECISIONS, COLUMBIA U, 1968. ⁽¹⁾)

La resolución matemática de las distribuciones anteriores permite determinar, para un caso dado, datos como el tamaño promedio de la cola de camiones, tiempo promedio de espera, y diversas probabilidades.

Aplicación práctica. Ejemplo: Se desea comparar, con ayuda de la teoría de líneas de espera, varios diseños alternativos de tolva de recepción, para una planta de granos.

DATOS:

— Capacidad de recibo diaria necesaria: 400 toneladas diarias, que llegarán en camiones de 10 toneladas de capacidad. (40 camiones diarios).

— Alternativas que se estudiarán:

Capacidad de evacuación del elevador: 50, 60 y 80 toneladas por hora.

Número de tolvas, colocadas en "paralelo" para atender simultáneamente el mismo número de camiones: 2 y 4.

Se asume que la llegada de los camiones será al azar (distribución de Poisson), y que la descarga de los mismos se hará

también al azar, pero bajo la dependencia, obviamente, de la llegada de los mismos (distribución exponencial).

— El número promedio de camiones que llega a la planta en la unidad de tiempo considerada, un día de 10 horas hábiles, es de 40 en todos los casos.

— La capacidad de recibo, con llegada continua de camiones, sería igual a la capacidad del elevador de evacuación, es decir 50, 60 y 80 camiones, de acuerdo con las capacidades que se considerarán para los elevadores.

— El número de camiones que pueden descargarse simultáneamente es de 2 y 4, de acuerdo con el número de tolvas que se construiría.

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
Recibo	40	40	40	40	40 T/H
Cap. Max.	50	60	80	50	60 T/H
No. Camiones "N"	4	4	4	2	2
(No. de tolvas para recibo simultáneo)					

RESULTADOS:

1- Probab. de que ningún camión esté en el sistema (P_0)	0.20	0.33	0.50	0.20	0.33
2- Probab. de "N" camiones en el sistema (P_n)	0.82	0.07	0.03	0.13	0.15
3- No. camiones promedio en el sistema (\bar{n})	4	2	1	4	2
4- Tiempo prom. en el sistema (T)	0.1	0.5	0.25	0.1	0.5
5- Tiempo prom. de espera, en la cola (T.P)	0.08	0.033	0.013	0.08	0.33
6- No. camiones prom. en la cola (N_c)	3.2	1.33	0.5	3.2	1.33

donde

$$P_0 = 1 - \left(\frac{1}{u}\right), \quad P_n = \left(\frac{1}{u}\right)^n \left(1 - \frac{1}{u}\right), \quad \bar{n} = \frac{1/u}{1 - 1/u}$$

$$T = \left(\frac{1}{u-1} \right), \quad TP = \frac{1}{u} T, \quad \bar{n}c = \frac{1}{u} \bar{n}.$$

y 1 = número promedio de llegadas en el intervalo

u = número de elementos atendidos por unidad de tiempo de servicio continuo.

Evaluación de resultados:

1- Probabilidad de que ningún camión esté en el sistema, es decir que las tolvas de recibo se encuentren vacías. Probabilidad muy alta indica baja utilización, mal aprovechamiento de la capacidad instalada. El CASO 3, del ejemplo anterior, tendría menor utilización que los anteriores, pues, probablemente, sólo la mitad del tiempo, algún camión ocuparía las tolvas.

2- Probabilidad de que "N" camiones ocupen las tolvas, es decir que se tenga plena ocupación de las mismas. Valores demasiado altos, como puede suceder con el CASO 1, además de indicar alta utilización de capacidad instalada, muestran mayor riesgo de saturación del sistema.

3- Número de camiones promedio en el sistema: Corresponde al número probable de camiones que se encontrarán en cualquier momento en las tolvas de recibo.

4- Tiempo promedio en el sistema, incluye el tiempo de descarga y el tiempo de espera en la cola de camiones. Se indica en fracciones de la unidad de tiempo utilizada. En este caso 1 día hábil de recibo, 10 horas:

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
— Tiempo prom. en el sistema	1 h	1/2 h	1/4 h	1 h	1/2 h

5 y 6 - Tiempo promedio de espera y número promedio de camiones en la cola. Estos dos valores deben analizarse en

forma simultánea. Su producto permite estimar el "costo económico" de la espera, que podría compararse con el valor de la inversión adicional en mayor número de tolvas, elevadores de mayor capacidad etc:

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
A- Tiempo prom. de espera, minutos	48 m	20 m	8 m	20 m	198 m
B- No. camiones prom. en la cola	3.2	1.33	0.5	3.2	1.33
A x B =	153	27	4	64	263
T T: min :	6.120	1.080	160	2.560	10.520 (40 veh.)
T T: horas	102	18	3	43	176

Donde T T horas, es el tiempo total que deben permanecer en la línea de espera los 40 camiones que se recibirían diariamente. Si, por ejemplo, se considera que el costo de una hora de espera adicional (mayor valor que el transportador cobraría al propietario del grano) es de \$1.000, el costo total de la espera, diario, y considerando días de temporada máxima de recibo en el año, en cada caso, sería el siguiente, en miles de pesos.

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
Costo diario K\$	102	18	3	43	176
Costo anual K\$	6.120	1.080	180	2.580	10.580

Si las cifras anteriores se desarrollan para el análisis económico de una planta construida por el Gobierno, en cuyo diseño debe tenerse en cuenta el costo total para la economía (o el beneficio social), los ahorros que pudieren hacerse con los diseños más completos (Casos 2 y 3) constituirían un "ingreso" del proyecto, y las mayores inversiones determinarían el mayor costo anual correspondiente. Si, por el contrario, se trata de un proyecto que será adelantado por una empresa privada, se deberá considerar si el costo de espera será, o no, aceptable para los proveedores, y la posibilidad de

que la instalación de sistemas de recibo más ágiles, por parte de la competencia cercana, pueda atraerlos.

Recibo a granel: Puede realizarse en las mismas tolvas de sacos, si su capacidad es por lo menos igual a la del camión, con la ayuda de varios dispositivos mecánicos: la pala mecanizada (Fig. No. 7.2) es el más simple; un solo operario puede descargar con su ayuda un camión de 6 toneladas en 6 ó 7 minutos (con un motor de 3 HP). Un malacate eléctrico montado sobre un pórtico metálico o de concreto (Fig. No. 7.3), de 5 — 7 HP puede fácilmente levantar camiones de 10 — 15 toneladas y descargar automáticamente el grano por la compuerta trasera (Fig. No. 7.4).

Este sistema sin embargo preocupa a los camioneros al observar su vehículo levantado y soportando la mayor parte de la carga sobre las ruedas traseras; la mayoría prefiere que se utilice el sistema hidráulico con plataformas de levante completas (Fig. No. 7.5) que de todas maneras introduce las mismas sobrecargas en la estructura del camión.

Las plataformas hidráulicas de suficiente longitud, permiten vaciar tractomulas de 15 ó 20 metros, pero su costo naturalmente es más elevado y tal vez en nuestro estado actual de desarrollo sólo circunstancias especiales pueden justificar su instalación.



Fig. No. 7.2- Descarga con pala mecanizada

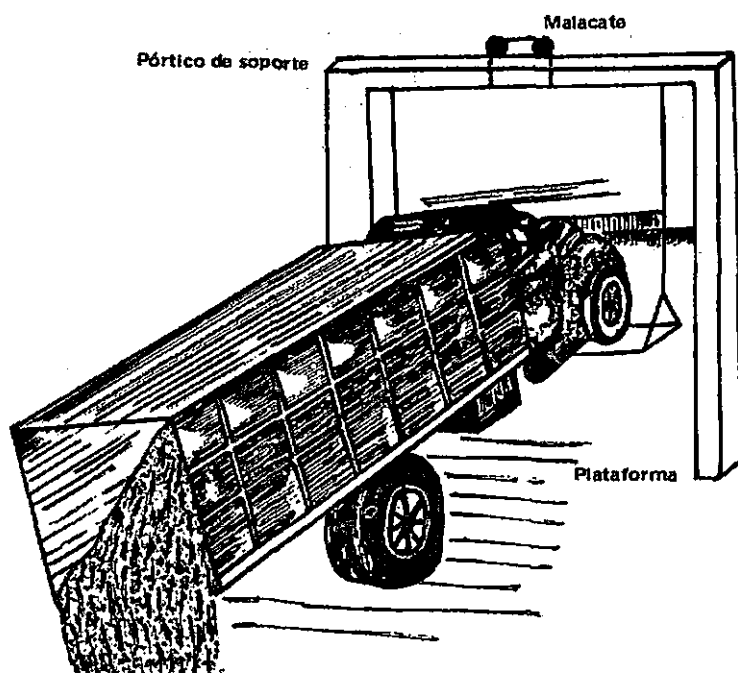


Fig. No. 7.3- Descargue de camión con malacate

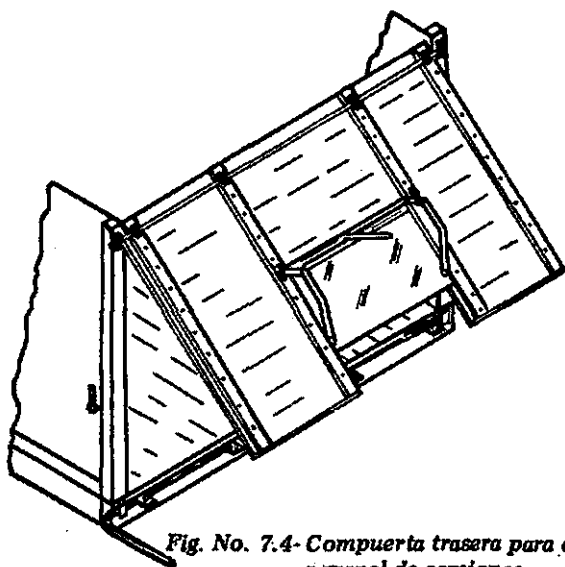


Fig. No. 7.4- Compuerta trasera para descargue a granel de camiones

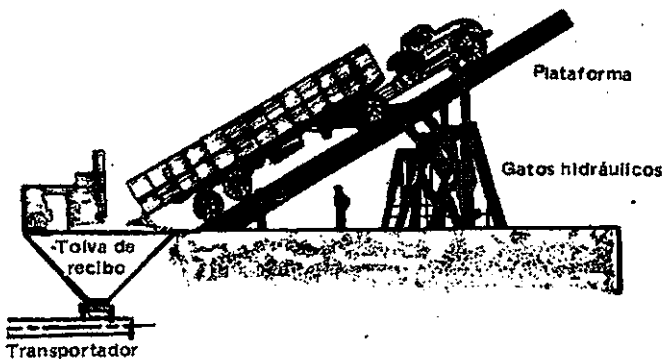


Fig. No. 7.5- Descarga hidráulica

Para recibo a granel de cantidades importantes de grano, con las implicaciones de estandarización, clasificación, pérdida de identidad que son indispensables, se debe estudiar cuidadosamente el tamaño de la tolva y la capacidad de los elevadores y transportadores de recibo. Es posible utilizar diferentes combinaciones de tamaños de elevador y tolva para recibir la misma cantidad de grano. El elevador proporciona una descarga constante de grano mientras la alimentación en la tolva es irregular de acuerdo con el arribo de los camiones; su tamaño debe ser adecuado para "absorber" las variaciones en la alimentación y retener suficiente grano para permitir una operación casi constante del elevador.

Es necesario, en consecuencia, determinar la máxima capacidad diaria de recibo y conocer los diversos tamaños de camiones utilizados y el máximo tiempo de espera que puede darse a un camión.

La alternativa más conveniente será la que exija una menor inversión inicial. Normalmente una tolva de pequeña capacidad requiere un elevador de mayor tamaño que una

grande. Varios estudios realizados en los Estados Unidos^{(2) (3)} (4) (5) (6) coinciden en afirmar que, el tamaño más económico de elevador, en condiciones normales, es el de capacidad más o menos igual a la cantidad promedio que se recibirá por hora, complementando con una tolva que permita almacenar la tercera o cuarta parte de la misma capacidad.

Para la selección definitiva del tamaño de la tolva se deben tener en cuenta, además de los anteriores, otros factores característicos del sitio como la confiabilidad del suministro de corriente eléctrica. Si esta falla con frecuencia, puede ser conveniente utilizar una tolva grande que además en caso de daño en los equipos permite efectuar reparaciones rápidas sin suspender el recibo. Esta combinación de tolva grande, y elevador pequeño, permite absorber variaciones amplias en la llegada de camiones, característica especialmente importante cuando se limpia y seca grano que se recibe directamente de la tolva y no se dispone de silos para grano húmedo. En instalaciones privadas en Colombia se puede encontrar tolvas de 60 a 100 toneladas de capacidad de las cuales se abastece directamente la secadora. Este sistema sin embargo dificulta el manejo de granos de tipos diferentes, a no ser que la tolva se encuentre subdividida en compartimientos independientes.

La localización de la zona de recibo, en relación con la báscula y demás instalaciones, es de mucha importancia: debe permitir el tránsito fácil de los camiones, ubicándola a suficiente distancia de la báscula de camiones para permitir el parqueo de los mismos antes de su descarga y la fácil circulación de los vehículos vacíos para el pesaje de salida. Si es posible, los camiones cargados y vacíos deben circular hacia la báscula como se indica en la figura No. 7.6.

Para recibo de grano a granel, en vagones de ferrocarril no provistos de tolva, pueden usarse palas mecanizadas del tipo ya descrito o cargadores pequeños, denominados "Bobcat" en los Estados Unidos, (Fig. No. 7.7) fácilmente maniobrables en el reducido interior del vagón.

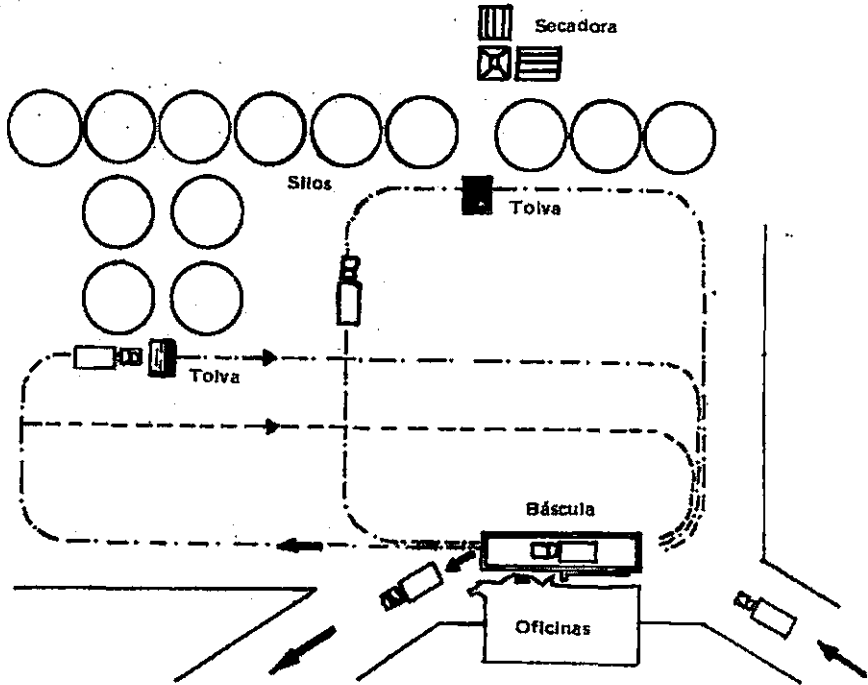


Fig. No. 7.6- Circulación de vehículos en una planta de silos

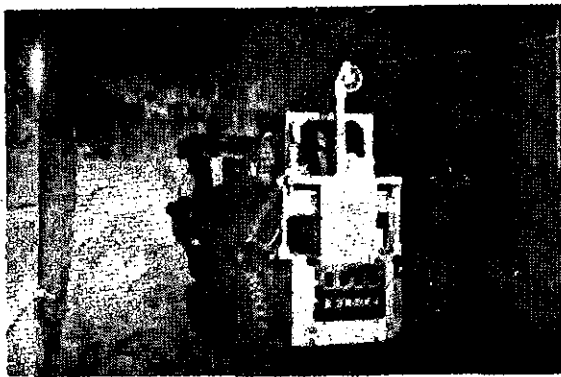


Fig. No. 7.7- "BOBCAT" para descarga de vehículos a granel

Para recibir grano transportado en buques, en las grandes instalaciones portuarias, preferentemente se utilizan sistemas neumáticos montados sobre torres móviles (Fig. No. 7.8); equipos más pequeños, de características portátiles, se utilizan en algunas ocasiones para desocupar camiones, vagones de ferrocarril o pequeños buques. El sistema neumático permite el vaciado completo de vehículos difíciles de desocupar en otra forma, pero puede causar deterioro en los granos, quebraduras, y vendeduras, especialmente cuando se operan a capacidad inferior a la de diseño, pues se aumentan la velocidad del grano y los golpes que recibe.

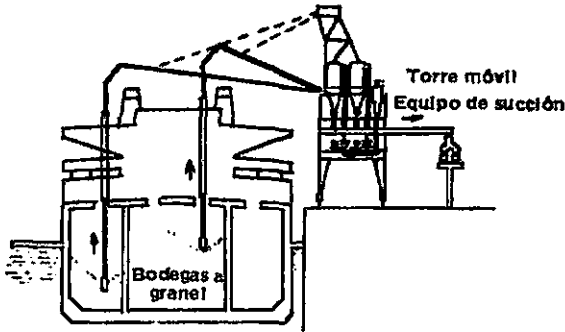


Fig. No. 7.8- Equipo neumático para recibo de grano en puertos

El transporte neumático, además, es ineficiente considerando su consumo de energía; para transporte vertical por ejemplo necesita alrededor de 10 veces más energía que un elevador de cangilones de capacidad similar.

Control de polvo en las tolvas: Para evitar la dispersión en la atmósfera del polvo que inevitablemente, se produce durante el vaciado de camiones, es muy frecuente, en países de agroindustria más desarrollada, ubicar las tolvas en recintos cerrados, de suficiente tamaño, y dotados de sistemas de aspiración adecuados (Fig. No. 7.9)

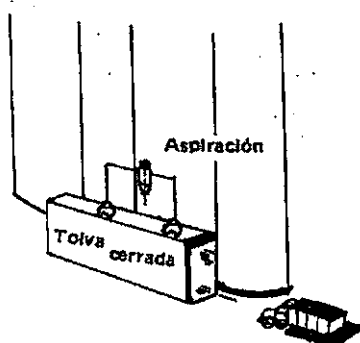


Fig. No. 7.9- Tolva de recibó cerrada y con sistema de aspiración

Transportadores: El transporte de granos en sentido horizontal, o con pequeñas inclinaciones, se hace principalmente con transportadores de tornillo sinfín, de banda y de arrastre.

Para seleccionar el tipo de transportador más conveniente para una aplicación determinada se debe tener en cuenta:

a) Tipo de grano; b) Longitud de transporte; c) Capacidad requerida; d) Espacio disponible; e) Importancia de evitar mezclas; f) Cantidad y localización de puntos de cargue y descargue; g) Facilidad de mantenimiento.

Tornillo sinfín (o de Arquímedes): Uno de los mecanismos de transporte más antiguos. Apropiado para el transporte de toda clase de granos comerciales, pero de uso restringido en el manejo de semillas pues además de someterlas a un tratamiento brusco, es casi inevitable que después de finalizar un movimiento de grano, quede un pequeño remanente en el fondo de la canal que puede producir mezclas inaceptables en ciertos casos. La máxima longitud económica de un sinfín es de 40 ó 45 metros; longitudes mayores necesitan ejes especiales para soportar los esfuerzos de torsión resultantes.

Aunque pueden construirse de casi cualquier capacidad, se aplican principalmente para manejar cantidades reducidas: 1-2 tons/hora y rara vez se usan para más de 60 u 80 tons/hora.

El cargue y descargue de producto en los sinfines se puede hacer en cualquier sitio, en forma económica y fácil de accionar, simplemente se instalan tubos provistos de compuertas (Fig. No. 7.10).

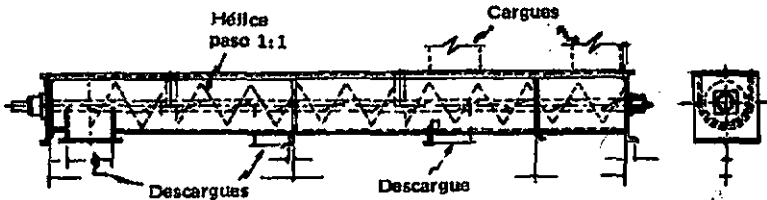


Fig. No. 7.10- Transportador sin-fín

Los transportadores sinfín ocupan muy poco espacio y es posible hacerlos herméticos al polvo y lluvia económicamente. Necesitan mayor mantenimiento que los transportadores de banda y de arrastre. Es necesario hacerles mantenimiento frecuente cuando transportan granos sucios y con cabuyas (usadas en el amarre de los sacos) pues éstas tienden a enredarse en los ejes y producir atascos. Su servicio normal es muy simple, se reduce a mantener bien lubricados sus rodamientos, inspeccionar su estado y en caso necesario limpiar los residuos del fondo de la canal. Su consumo de energía es mayor que el de los transportadores de banda o de arrastre de la misma capacidad; sin embargo su costo, en tramos cortos de 20 ó 30 mts. es considerablemente inferior a los de banda, pues no requiere sus costosas unidades de mando y tensoras. En relación con los transportadores de arrastre, el sinfín tiene un costo ligeramente inferior en unidades de más de 10 mts.

Los tamaños normalmente utilizados son los de 6", 9", 12" y 14" de diámetro (del sinfín), y cuyas capacidades con maíz, en tramos horizontales son respectivamente de 7, 24, 46 y 80 toneladas por hora, con velocidades de giro intermedias.

Para transporte de granos, generalmente la "hélice" tiene un "paso" igual a su diámetro (Fig. No. 7.10). De ser posible

la toma de fuerza debe estar situada en el extremo de descarga, de tal manera que su eje trabaje siempre en tensión; sin embargo cuando las circunstancias lo exigen, se puede accionar por el otro extremo; esta característica permite convertirlos fácilmente en transportadores reversibles.

No es conveniente llenar un sinfín con grano hasta cubrir su eje (50%), el efecto final es el de retardar el flujo del material y aumentar el consumo de energía desproporcionadamente, y se corre también el peligro de atascarlo y romperlo. Con granos se recomienda un llenado máximo de 45%.

Cuando sea necesario es posible instalar sinfines, de construcción normal, en tramos inclinados; teniendo presente que una inclinación de 15° reduce su capacidad de transporte a 75% de su capacidad horizontal y aumenta su consumo de energía en 25%. Si se inclina 25° su capacidad disminuye a 50% y su consumo aumenta en otro 25%. Para inclinaciones mayores es preferible utilizar sinfines con caja tabular, del tipo "bazooka".

El tamaño de los motores de accionamiento para sinfines puede calcularse en forma aproximada, en la mayoría de los casos normales, utilizando fórmulas empíricas como la siguiente:

$$HP = A \times C \text{ (sinfines horizontales)}$$

$$\text{donde } A = \frac{4.1 \times m^3 / \text{hora} \times \text{long (mts.)}}{1.000}$$

- y C = 2.0 cuando A = 1 ó menor
 1.5 cuando A mayor a 1 y menor que 2
 1.25 cuando A mayor a 2 y menor que 4
 1.1 cuando A mayor a 4 y menor que 5
 1.0 cuando A es mayor que 5

En la tabla No. 7.1 se resumen la velocidad de giro y capacidad en m³/hora correspondiente, de los diámetros más utilizados para transporte de granos.

sinfín	RPM	Capacidad (m ³ /hora)
6"	165	10
9"	150	33
10"	150	47
12"	140	75
14"	130	112
16"	120	156

TABLA No. 7.1 VELOCIDAD DE GIRO Y CAPACIDAD DE SINFINES

La potencia necesaria para sinfines inclinados puede estimarse en la siguiente forma:

$$HP_{(incl)} = HP_{(horiz)} + \frac{\text{tons/hora} \times \text{altura (mts.)}}{100}$$

Transportadores de arrastre: Por medio de una cadena sinfín, provista de aletas y situada dentro de una caja de sección cuadrada o en "U", se hace un arrastre "en masa" del producto; la aleta, generalmente de poca altura y de material elástico en los transportadores de sección "U" y metálica en los de caja cuadrada, pone en movimiento la capa inferior de granos, sobre la cual se desplaza el resto de la masa.

Los transportadores de sección "U" (Fig. No. 7.11) utilizan aletas flexibles que asientan directamente sobre el fondo del transportador haciendo un barrido completo. Las aletas deben construirse preferiblemente de "nylon" o algún otro material cuyo coeficiente de fricción con el acero sea bajo; debe evitarse el uso de aletas de caucho por su elevado consumo de energía. Los transportadores de caja cuadrada (Fig. No. 7.12), se deslizan sobre una platina recambiable, colocada en el fondo de la caja; para barrer totalmente el grano se instalan unas cuantas aletas de material flexible.

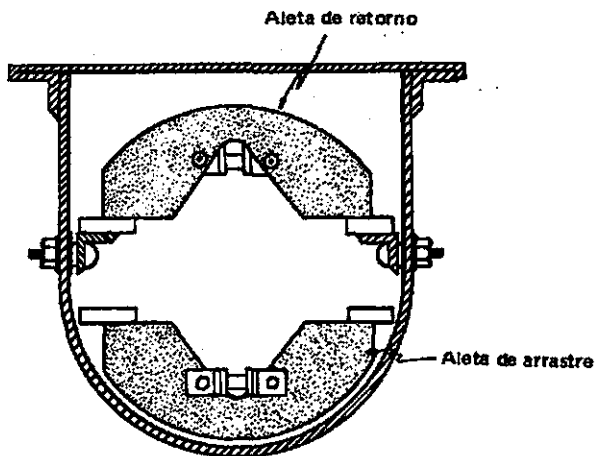


Fig. No. 7.11- Transportador de arrastre de caja "U"

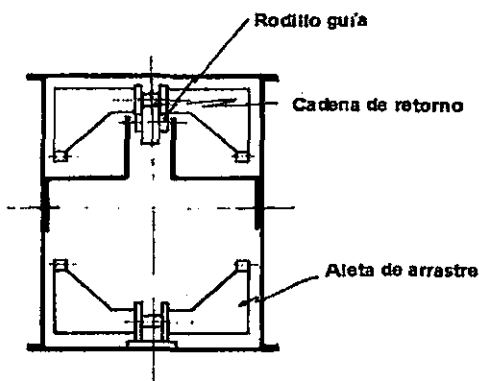


Fig. No. 7.12- Transportador de arrastre de caja cuadrada

Cuando transportan granos muy delicados, semillas, maíz muy seco, etc., los transportadores de arrastre pueden causar algunos daños, pero en el movimiento de granos comerciales

su trabajo es satisfactorio en la mayoría de los casos. Su longitud puede llegar a ser, sin mayores dificultades, de 50 a 90 mts. y aún mayor si se utilizan cadenas construidas con materiales especiales. Su capacidad puede ser de 150-200 toneladas/hora, pero en Colombia su principal aplicación se ha hecho para transportar 50 a 100 tons/hora; para mayor capacidad se prefiere utilizar transportadores de banda.

Los transportadores de arrastre ocupan poco espacio y pueden instalarse inclinados o formando curvas verticales suaves, característica muy útil en los diseños de ampliación de instalaciones existentes. El cargue y descargue de producto se puede hacer, como en los sinfines, en casi cualquier punto; para evitar sobrecargas deben instalarse válvulas de alimentación regulables en los puntos de cargue. En el extremo final del transportador es conveniente colocar una compuerta basculante que permita la fácil descarga de los granos remanentes, evitando atasques, rotura de aletas y sobrecarga del motor.

El consumo de energía en los transportadores de arrastre es inferior al de los sinfines, pero superior a los de la banda.

Su mantenimiento debe ser un poco más cuidadoso que el de los sinfines e incluye comprobación de la tensión de la cadena, desgaste de aletas y de platina de fondo y cambio en caso necesario.

Transportadores de banda: Utilizan una banda sinfín que desliza sobre rodillos, su longitud puede ser muy grande, varios kilómetros. Los rodillos se instalan en sección "C" o "U" abiertas (Fig. No. 7.13).

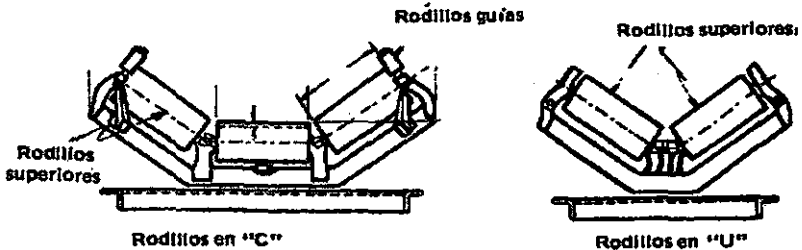


Fig. No. 7.13- Transportador de banda

Los granos se depositan sobre la banda y son transportados sin sufrir golpes o desgaste; su capacidad puede ser superior a 500 o 1.000 toneladas/hora.

El espacio que ocupan los transportadores de banda es mucho mayor, para una misma capacidad que el requerido por sinfines o transportadores de arrastre, y por consiguiente cubrirlos y hacerlos herméticos es más costoso. Sus mecanismos de cargue son más complicados pues deben permitir el llenado uniforme de la banda sin que se presenten derrames laterales; el descargue en el punto final se hace en forma sencilla (caída libre), pero los descargues intermedios no son tan fáciles. Para realizar una descarga total es necesario utilizar un carro móvil provisto de varias poleas, denominado "tripper" (Fig. No. 7.14) que levanta la banda y permite el descargue lateral del grano. Con el fin de facilitar la movilización del "tripper" al punto de descarga deseado, este debe montarse sobre unos rieles longitudinales, su avance puede hacerse con un motor individual o utilizando el movimiento de la misma banda.

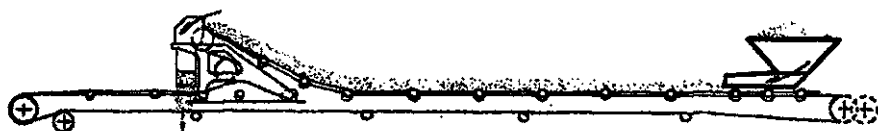


Fig. No. 7.14- Descarga de transportador de banda con "TRIPPER"

Puede realizarse una descarga bastante efectiva, aunque no total, con un dispositivo más económico que utiliza un pequeño carrito, desplazable sobre rieles, que con un sistema de palancas levanta la banda y la coloca en forma plana, facilitando la desviación lateral del grano mediante una vertedera vertical positiva de material flexible y recambiable en su base. Para mantener una adecuada tracción en la banda es indispensable que el transportador disponga de un sistema de tensionamiento apropiado. En longitudes cortas se usa generalmente tensor de tipo tornillo, mientras los tensores de

gravedad se usan en los inclinados o de longitudes importantes (Fig. No. 7.15). El tamaño del contrapeso y su ubicación debe determinarse con cuidado, para garantizar suficiente tracción en la banda y evitar patinaje, especialmente durante la puesta en marcha del equipo.

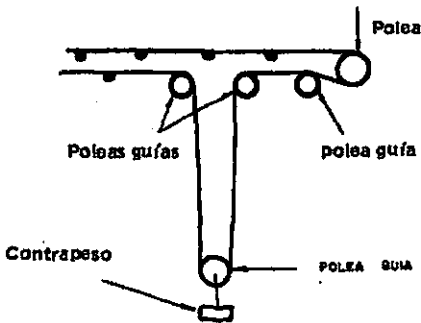


Fig. No. 7.15- Tensor de gravedad para transportador de banda

El costo inicial de transportadores de banda cortos (10—20 mts.), es bastante más elevado que los de sinfín o arrastre equivalentes, debido al mayor costo del sistema tensor; cuando las longitudes son mayores el costo por unidad de longitud disminuye.

El mantenimiento de los transportadores de banda, especialmente si se utiliza rodillos autolubricados y tensores de gravedad, es muy sencillo y económico.

Elevadores de cangilones: Equipo utilizado ampliamente para el transporte vertical de granos.

Una banda (o cadena) sinfín, provista de cangilones y normalmente encerrada en cajas metálicas, efectúa la elevación del grano. La velocidad de la banda y la forma de las cubetas permite la descarga centrífuga del grano por la boca de la "cabeza" del elevador (Fig. 7.16). La velocidad lineal de la banda varía entre 60 y 150 metros por minuto según el tipo de cubeta y diámetro de la polea superior.

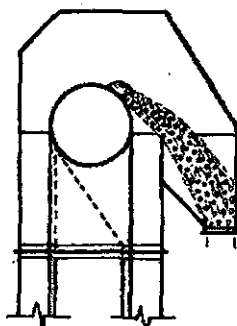


Fig. No. 7.16- Elevador de descarga centrífuga

Dada la importancia de los elevadores en las plantas de manejo de granos, se describirán con algún detalle sus principales componentes: base, cabeza, piernas, banda, cangilones, etc. (Fig. No. 7.17)

Base: En los elevadores de tipo autoportado la base debe estar capacitada estructuralmente para recibir: el peso total del elevador, del grano transportado y la vibración inherente a su funcionamiento. Debe disponer de compuertas de operación rápida (corredera) que permitan la remoción de residuos de granos o del producto acumulado durante un atasco. La polea de la base debe estar adecuadamente balanceada y disponer de tornillos que permitan tensionar y centrar la banda. El tensor manual (tornillo) se puede utilizar con buenos resultados en elevadores hasta de 80 ó 100 ton/hora, cuya altura máxima sea de 35-40 metros y se instalen en sitios donde la temperatura ambiente no varíe demasiado. Para elevadores de mayor capacidad y tamaño es preferible utilizar algún tipo de tensor automático, por ejemplo de gravedad, (Fig. No. 7.18) que compense los elongamientos y contracciones de la banda con los cambios de temperatura, y mantenga una tensión constante.

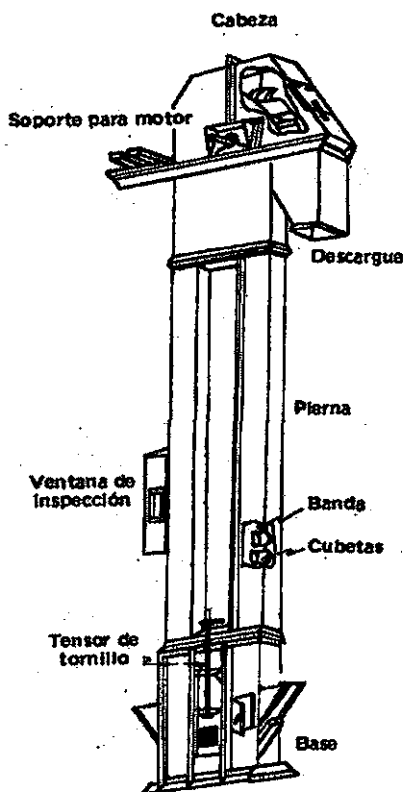


Fig. No. 7.17- Elevador de cangilones - componentes -

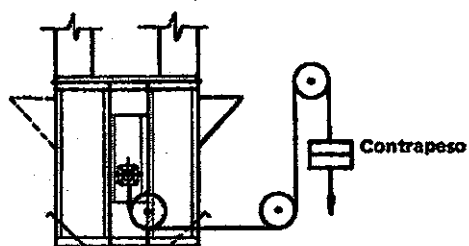


Fig. No. 7.18- Tensor automático de gravedad para elevadores

Es conveniente que la polea de la base tenga un ligero "abombamiento" que permita centrar más fácilmente la banda.

El cargue de los elevadores, generalmente puede hacerse por cualquiera de los dos lados, si bien el cargue directo a la cubeta (por el lado de la pierna ascendente) permite un mejor llenado y mayor capacidad.

Cabeza: (Fig. No. 7.19). Soporta la polea de mando y el peso total de la banda, cangilones y grano. La polea transmite el movimiento del motor por fricción a la banda. En elevadores altos con el fin de conseguir una mejor tracción se puede recubrir la polea con algún material apropiado ("lagging"). Este recubrimiento en caso de atascue del elevador, provoca rápidamente una sobrecarga del motor y la consiguiente acción del protector térmico que desconecta el motor, evitando el calentamiento de la banda por patinaje. Naturalmente es indispensable que el protector térmico se encuentre en buenas condiciones y adecuadamente graduado. Si se accionan varios elevadores con un solo motorreductor no es conveniente recubrir las poleas, pues la sobrecarga de uno de ellos puede no ser suficiente para accionar el protector del motor y se aumenta el peligro de daños en la banda e incendios.

En los elevadores altos (más de 15 mts.) es recomendable la instalación de un dispositivo que impida el retroceso de la rama cargada de la banda en caso de una falla de la corriente eléctrica; el retroceso produce atascues, que es necesario remover antes de reiniciar la operación para evitar roturas de los cangilones y aún de la banda. Un simple mecanismo de trinquete o motorreductores con freno interno solucionan el problema.

Para evitar la acumulación de desperdicios y grano, susceptible de infestarse debajo de la polea, es necesario colocar una superficie inclinada, según se aprecia en la figura No. 7.20.

Durante la descarga de las cubetas, parte del grano puede golpear con alguna fuerza la parte frontal de la cabeza y sufrir

daños; es conveniente recubrir este punto con algún material elástico, banda, caucho . . . o unas pequeñas aletas inclinadas que permitan la acumulación de un pequeño remanente de grano que amortigüe el golpe.

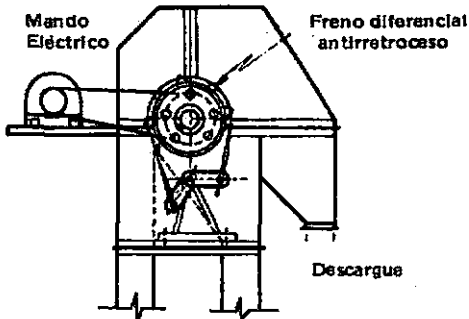


Fig. No. 7.19- Detalle de la cabeza de un elevador

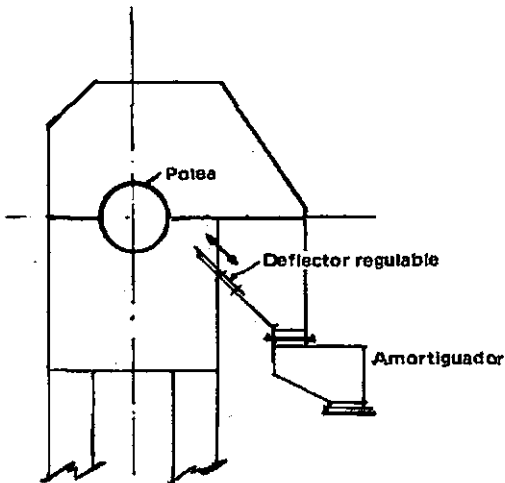


Fig. No. 7.20- Deflector ajustable para disminuir el retorno de grano por la pierna descendente

Para facilitar el mantenimiento y revisión, la cabeza debe contar con una ventana de inspección de tamaño adecuado.

La descarga debe iniciarse en un nivel inferior al eje de la polea, para que reciba los últimos productos en dejar la cubeta y disminuya el retorno de grano por la pierna descendente. Un deflector de material flexible convenientemente ubicado puede contribuir a disminuir el retorno (Fig. No. 7.20), cuyos efectos son perjudiciales, pues además de disminuir la capacidad efectiva del elevador, aumenta el deterioro de los granos y la formación del polvo, susceptible de explotar violentamente en algunas circunstancias (en el Capítulo 10 se dan mayores detalles).

Cubetas: Pueden ser de varios tipos y características según el tipo de trabajo. En la figura No. 7.21 se ilustran los principales. Las dimensiones más importantes son la línea de máxima capacidad y la proyección horizontal. La primera indica el máximo nivel hasta el cual podría llenarse la cubeta, su ángulo con la horizontal corresponde al de reposo del grano (Tabla No. 7.2)⁽⁸⁾. El nivel máximo de llenado sólo se puede conseguir en condiciones ideales de trabajo y cargando los elevadores por su rama ascendente. El cálculo de la máxima capacidad se hace considerando un factor de llenado de 85% — 90% con granos de 75% — 80% con productos molidos.

Grano	Angulo de reposo		
Maíz	26°	a	29°
Arroz	24°	a	26°

TABLA No. 7.2 ANGULO DE REPOSO DE GRANOS SECOS

La velocidad de giro de la polea del elevador puede calcularse, en forma teórica, determinando la velocidad a la cual, la fuerza centrífuga, iguala el peso del grano dentro de la cubeta cuando ésta se encuentra en su posición vertical, momento en el cual, teóricamente, el grano se encontraría en equilibrio (Fig. No. 7.22).

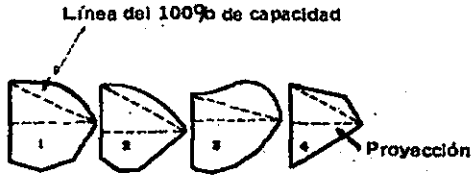


Fig. No. 7.21- Tipos de cubetas

Las cubetas de tipo 1 y 3 se utilizan con una velocidad equivalente a 80% ó 90% de la velocidad teórica, mientras las cubetas "rápidas" tipo 2 y 4, permiten la utilización de velocidades que pueden aún doblar la teórica, dada su forma geométrica que facilita la descarga: sin embargo con la mayor velocidad, el grano sufre mayores golpes y deterioro y su descarga no se presenta en forma concentrada y cercana a la polea, sino dispersa y alejada, haciendo necesario el uso de una cabeza de mayores dimensiones. Para calcular la velocidad teórica (Fig. No. 7.22) P = paso del grano, F_c = fuerza centrífuga, R = distancia del centro de la polea hasta el centro de gravedad del grano dentro de la cubeta (en cubetas 1 y 3 aproximadamente la mitad de la proyección horizontal).

$$F_c = \frac{P V^2}{gR} \quad \text{donde: } \begin{array}{l} V = \text{velocidad} \\ g = \text{aceleración de la gravedad} \end{array}$$

de donde puede deducirse, en unidades inglesas, que

$$\text{RPM} = \frac{54.2}{\sqrt{R}}$$

Para conseguir la mayor capacidad en un elevador determinado, se acostumbra utilizar velocidad relativamente alta y una separación reducida entre cubetas; para evitar interferencias en la descarga de grano de dos cubetas adyacentes, se recomienda colocar las cubetas separadas en una distancia igual, por lo menos, a la proyección horizontal más 5 cms.

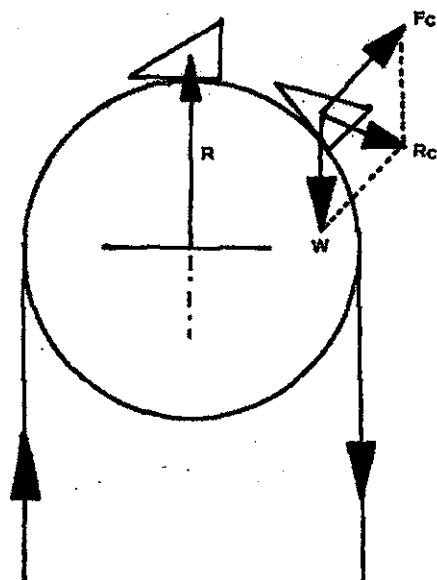


Fig. No. 7.22- Diagrama de fuerzas en las cubetas

La construcción definitiva de las cubetas varía apreciablemente de acuerdo con el fabricante, pero en general todos los diseños de cubetas "rápidas" tratan de prevenir la descarga prematura y asegurar el vaciado completo.

Banda: En la elevación de granos se utilizan diferentes tipos de bandas: de algodón tejido y protegido contra la humedad, de lonas reforzadas con cuerdas de nylon o acero, etc. Cualquier tipo de banda utilizado debe reunir las siguientes condiciones principales:

a) **Resistencia a la tensión:** Debe soportar con adecuado margen de seguridad la máxima tensión que puede presentarse, incluyendo los efectos de peso propio, pero de cubetas, peso de grano, impacto en el momento de la arrancada.

b) **Resistencia al cizallamiento:** Suficiente para evitar que la tracción, que en los tornillos ejercen el paso de la cubeta del grano y la carga del impacto, la desprenda de la banda.

c) **Estiramiento:** Especialmente en elevadores altos, es importante que su estiramiento bajo carga sea reducido, para evitar demasiados ajustes en los tornillos de tensionamiento y recortes en caso necesario.

d) **Protección contra la humedad:** Bien sea con recubrimiento de caucho o algún otro sistema que impida la entrada de humedad especialmente por los bordes. Las bandas deberán tener un ancho superior en 2.5 cms. a la cubeta, para ofrecer adecuada protección si se descentra o roza contra las paredes de las piernas, y su ancho debería ser 5 cms. menor que el de la polea de mando.

Tornillos para cubetas: Para que la superficie interna de la banda resulte plana después de colocar en su lugar los tornillos y facilitar además su colocación, deben ser de cabeza plana, ancha y provista de dientes que los "anclen" a la banda.

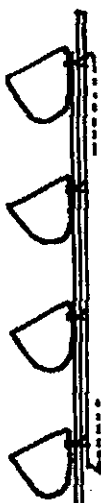


Fig. No. 7.23- Empalme de banda de elevadores

Uniones de la banda: Aunque existen muchas formas de hacer los empalmes: caimanes metálicos, etc., tal vez el método más sencillo sea el translope, ilustrado en la figura No. 7.23. Los tornillos utilizados deben ser de longitud suficiente para asegurar las dos secciones de banda y la cubeta.

Piernas: Además de tener dimensiones amplias para alojar las cubetas y la banda, las piernas necesitan varias ventanillas de inspección con vidrio, que permitan además el cambio de las cubetas y la frecuente asegurada de tornillos. Se requiere también una sección de pierna desarmable en su parte trasera para realizar el recorte de las bandas cuando su estiramiento sea excesivo. Si el elevador es del tipo autosoportado, las piernas, los amarres entre ellas, los templetes de montaje, y los tornillos de anclaje a la cimentación, deben calcularse para soportar además del peso propio, las fuerzas de los vientos y los posibles movimientos sísmicos; los destrozos que puede causar la caída de un elevador de gran altura pueden ser muy grandes, como se ve en la fotografía de la figura No. 7.24 que el autor tomó en un país Centroamericano.



Fig. No. 7.24- Daños causados por la caída de un elevador

Accesorios: Dependiendo de la ubicación del elevador, puede ser necesario instalar plataformas que permitan realizar en forma fácil la atención a los mandos y a la cabeza del elevador (Fig. 7.25); el acceso a la plataforma debe hacerse por una escalera convenientemente protegida (guardacuerpo o "quitamiedo").

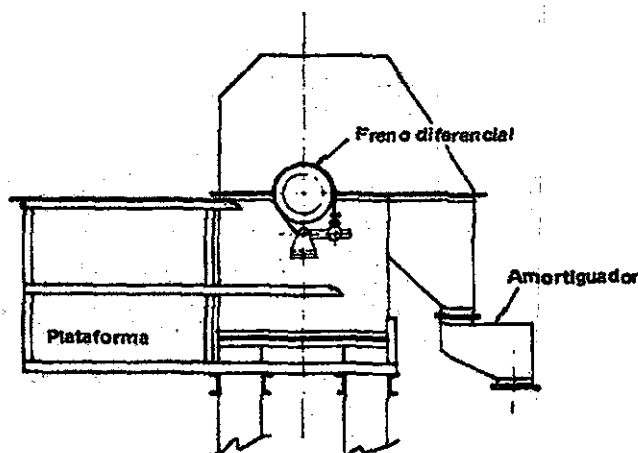


Fig. No. 7.25- Accesorios de elevadores.

En algunos sitios y en elevadores muy importantes, se instala un sistema automático de control de velocidad que detecta cualquier reducción en la velocidad de la polea del elevador, indicativo de patinaje o atascos, y puede accionar una alarma o desconectar el motor. Igualmente en elevadores grandes en ocasiones se instala en la cabeza un termostato que indica recalentamientos.

Potencia: Es posible calcular en forma rápida el tamaño del motor para un elevador de cangilones, utilizando la siguiente fórmula empírica:

$$HP = \frac{H \times Q}{160}$$

donde HP = potencia del motor; H = altura en elevación en metros; Q = toneladas por hora que moverá el elevador.

El resultado de la aplicación de esta fórmula puede utilizarse únicamente como guía; especialmente cuando se trata de elevadores grandes es necesario efectuar cálculos más detallados.

Prelimpiadoras: La prelimpieza que se realiza con anterioridad al secamiento y almacenamiento, tiene por objeto principal remover las impurezas grandes, algo de grano partido, de polvo e impurezas livianas; como generalmente la prelimpieza se efectúa "en línea" con el recibo de grano, es necesario que su capacidad sea suficiente para que no afecte la velocidad de recibo.

Un emparrillado sobre la tolva de recepción es el sistema más simple de prelimpieza y permite separar materias extrañas de tamaño grande, piedras, etc., que pueden causar deterioros en los equipos; para hacer una separación un poco más efectiva con frecuencia se colocan sobre las parrillas "mallas" del tipo utilizado en la construcción de jaulas para gallina, con aberturas de 2.5 x 2.5 cms., normalmente es necesario extender con la ayuda de rastrillos el grano sobre la malla, operación que al mismo tiempo permite remover las cabuyas e impurezas retenidas.

La prelimpieza mecanizada de grano, generalmente se hace con máquinas de malla de alambre, en forma de cilindro o de malla sinfín, que se combina con una corriente de aire graduable para "aspirar" el grano. El "scalperator" de Carter y la "Atlas" de EMC son representativas de este tipo de prelimpiadoras. El "scalperator" máquina de la cual existen múltiples versiones, pero desarrollada originalmente por "Carter" cerca a 1920⁽⁸⁾, se ilustra en la figura No. 7.26, consiste esencialmente de una jaula de alambre, con un tejido de diferente separación según el tipo de grano, que tiene en su interior unos deflectores curvos; el grano atraviesa la malla que retiene en su exterior la paja y materiales gruesos, los deflectores retardan el flujo de grano y mejoran la limpie-

za, las impurezas son descargadas en una segunda jaula que recupera parte de los granos que pueda haber rechazado la primera. Antes de su descarga el grano se aspira mediante una corriente de aire graduable que permite separar impurezas livianas, polvo y grano vano. La máquina Atlas (Fig. No. 7.27) utiliza una malla de tipo sinfín; el grano la atraviesa y las impurezas retenidas en su exterior, son transportadas por la banda hasta el otro extremo donde se descargan. El grano en su salida se somete a una fuerte corriente de aspiración regulable, la decantación del polvo y grano vano se hace con ciclones externos.

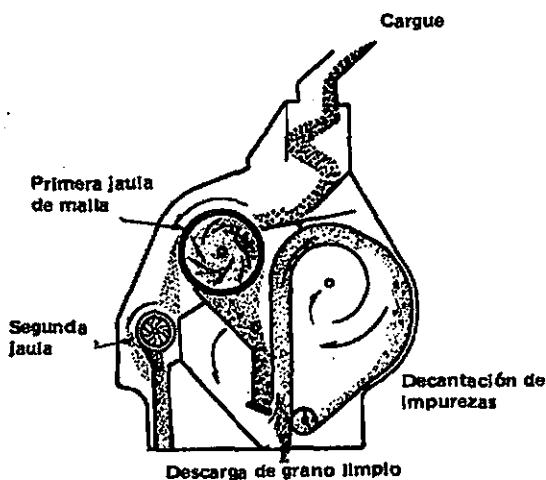


Fig. No. 7.26- Prelimpiadora - CARTER -

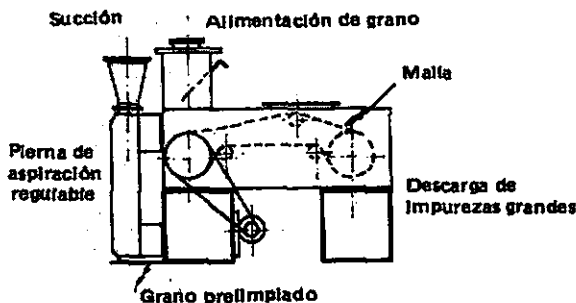


Fig. No. 7.27- Prelimpiadora "ATLAS" de malla sinfín

Normalmente la capacidad de las prelimpiadoras fabricadas en los Estados Unidos y Europa, se afora con granos de fácil flujo, como maíz o trigo y cuyo contenido de impurezas no es demasiado elevado (4% - 5%). Es necesario tener en cuenta que cuando una prelimpiadora trabaja con arroz húmedo y relativamente sucio, su capacidad se disminuye enormemente. Una máquina aforada para 50 toneladas por hora en maíz, escasamente limpiará 10 ó 15 toneladas por hora de arroz; tal fue el caso de las prelimpiadoras importadas de Europa por el Idema en Colombia en 1972. La presencia de cabuyas en el grano, muy frecuente en América tropical, o de granos exageradamente sucios, dificulta aún más el funcionamiento de las máquinas.

Limpiadoras: Son máquinas generalmente del tipo de zaranda oscilante; se utilizan con frecuencia después de un paso de prelimpieza, y su misión, en estos casos, es reducir las impurezas desde un promedio de 3% hasta 1% ó 1.5%, aunque pueden usarse con buenos resultados como máquinas receptoras, en sitios donde el grano no se presente demasiado sucio.

Como sucede en las prelimpiadoras, el área de cribado y por consiguiente su tamaño, debe ser muy grande para trabajar con arroz húmedo. En la fotografía ilustrada en la figura No. 7.28 se aprecia el tamaño de dos máquinas de zarandas que limpian arroz húmedo, a razón de 50 tons/hora, en una instalación colombiana.

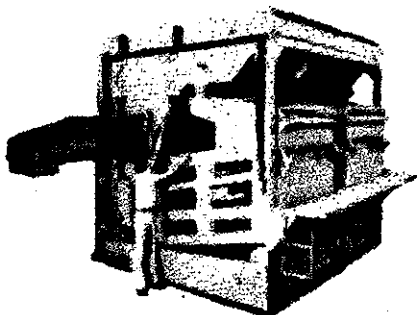


Fig. No. 7.28- Limpadora de zarandas de gran capacidad

En la figura No. 7.29 se aprecian las partes principales de una limpiadora de zarandas: un sistema de alimentación (A) de placa o rodillo reparte el grano sobre una criba receptora con perforaciones grandes (B), que retiene las impurezas y permite el paso de grano y retiene impurezas menores. El grano cae sobre la segunda criba principal (D) cuyas perforaciones aun más finas retienen el grano y permiten el paso de semillas pequeñas, arena, etc.

En la entrada y salida de grano, corrientes regulables de aire (E — F) separan el grano vano, impurezas livianas, etc., cuya parte más pesada se decanta en cámaras internas (G) y el resto en ciclones externos (H); un mecanismo de biela, u otro tipo, proporciona un movimiento oscilante continuo a las zarandas.

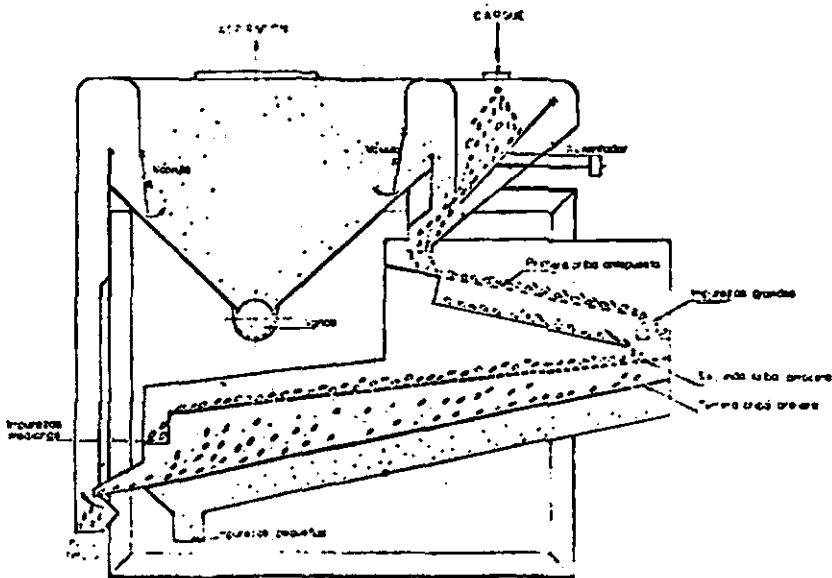


Fig. No. 7.29- Limpiadora de zarandas - partes principales -

Para mantener limpias las perforaciones de las cribas, algunas máquinas utilizan cepillos móviles o bolas de caucho que rebotan entre la criba y una malla inferior abierta.

En el libro "Technology of Grain Processing and Proven-der milling" Capítulo III, traducido del Ruso⁽⁹⁾ se explican en forma bastante completa los principios científicos de la limpieza de granos por cribado y aspiración (el lector no familiarizado con la literatura técnica rusa, se sorprenderá al encontrar que, de acuerdo con los autores, prácticamente todas las máquinas modernas de limpieza y molienda de granos, son inventos de técnicos y científicos rusos).

Las instalaciones de limpieza de granos de alguna importancia, es conveniente sean complementadas con la instalación de imanes, de tipo permanente o eléctricos que separen piezas metálicas, tornillos, alambres, etc., que pueden causar daños, afectar el normal funcionamiento de las máquinas y aun producir explosiones de polvo de efectos catastróficos.

En la figura No. 7.30 se ilustra la forma como se debe instalar un imán permanente en un tubo de sección cuadrada que conduce grano. El imán debe localizarse de tal manera que pueda ser abierto y limpiado fácilmente. Su potencia debe ser suficiente para atrapar las piezas del metal ferroso a través del espesor de la capa de grano y para mantener los mismos adheridos mientras es limpiado.

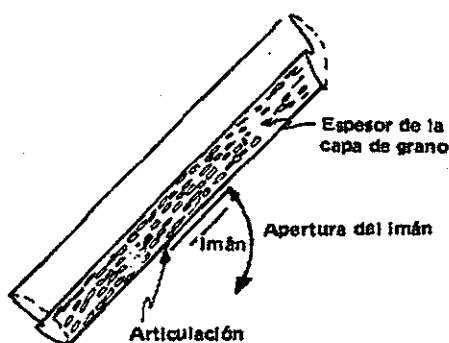


Fig. No. 7.30- Colocación de imán en tubería

Secadoras: Casi la totalidad de las secadoras usadas comercialmente, utilizan como medio desecante una corriente de aire que transporta calor y atraviesa una capa de grano removiendo humedad durante su paso.

Ventiladores: Para generar la corriente de aire se utilizan ventiladores de tipo axial o centrífugo.

Los ventiladores axiales, como su nombre lo indica, mueven el aire paralelamente a su eje y formando ángulo recto con el plano de rotación de sus aspas. Se construyen principalmente en dos tipos: tubo-axiales y vano-axiales (Figs. No. 7.31 y No. 7.32). Frecuentemente, en ambos tipos, la hélice se monta directamente sobre el eje del motor eléctrico. En el tipo vano-axial se utilizan álabes guías que actúan como rectificadores del flujo del aire y reducen las pérdidas que producen las turbulencias. Los ventiladores axiales se utilizan, preferentemente, para mover volumen reducido o mediano de aire contra presión relativamente baja (2" — 3" de columna de agua).



Fig. No. 7.31- Ventilador tubo - axial

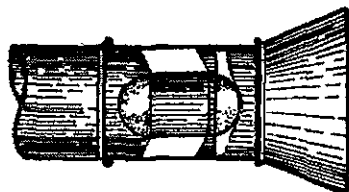


Fig. No. 7.32- Ventilador vano - axial

En los ventiladores centrífugos, parte de la energía que se usa para producir la presión se genera por acción centrífuga. El aire penetra al ventilador paralelamente al eje y se mueve radialmente a través de los álabes. Su descarga se hace tangencialmente a la carcaza envolvente (Fig. No. 7.33).

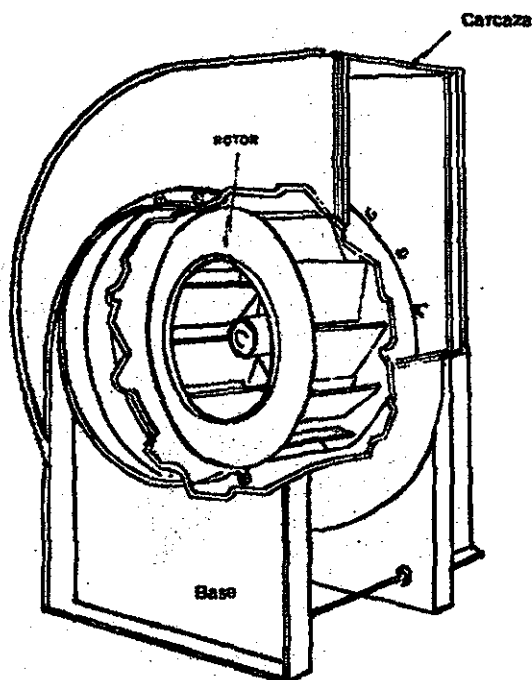


Fig. No. 7.33- Ventilador centrífugo

Los álabes se construyen según dos diseños diferentes: inclinados hacia atrás, para conformar los ventiladores de tipo no sobrecargable e inclinados hacia adelante (Fig. No. 7.34) característicos de las unidades sobrecargables.

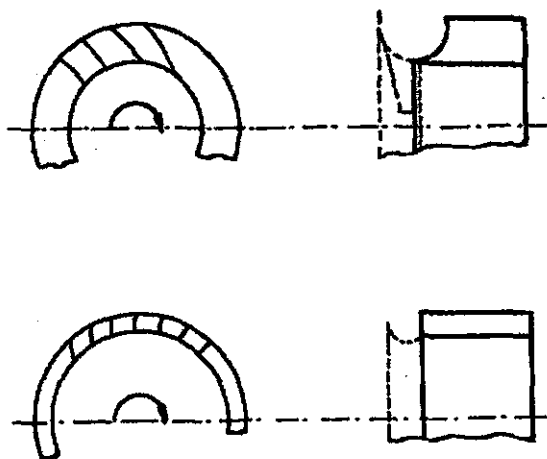


Fig. No. 7.34- Tipos de álabes - ventilador centrífugo

En la figura No. 7.35 se ilustra gráficamente el comportamiento característico de los dos tipos de ventiladores. Los no sobrecargables presentan una curva de presión estática estable y un punto máximo claro de consumo de potencia, mientras en los sobrecargables la presión estática tiene una zona de comportamiento errático y el consumo de potencia aumenta en forma apreciable al disminuir la resistencia impuesta al ventilador (presión estática). Los ventiladores de tipo sobrecargable exigen motores con amplio margen de potencia, especialmente en aquellas instalaciones de carga variable.

Los ventiladores axiales, son generalmente inestables en su operación y rendimiento y después de cierto punto, tienen características sobrecargables.

La escogencia de un ventilador para una determinada aplicación, debe hacerse de acuerdo con las características del sitio en el cual se va a trabajar, el volumen de aire total por unidad de tiempo, la presión estática que se necesita vencer para mover el volumen de aire a través del sistema, las variaciones de resistencia al paso del aire que se pueden presentar durante la operación, etc.

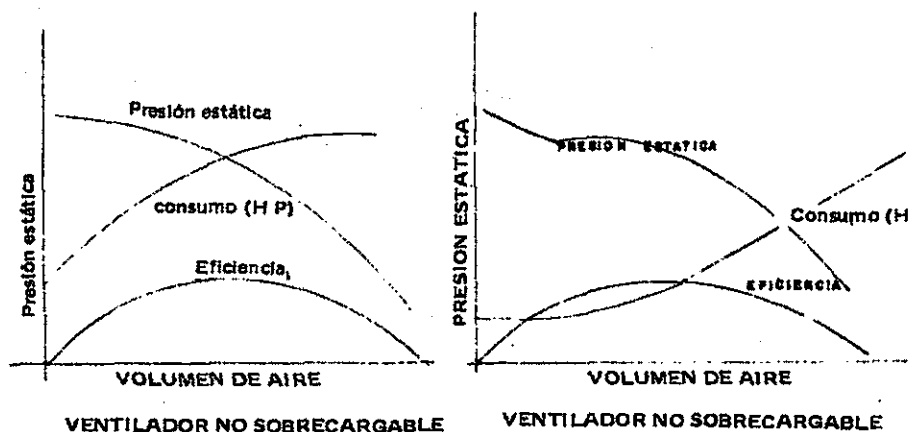


Fig. No. 7.35- Curvas típicas de ventiladores

Cascarilla de arroz: El aumento de precio de los combustibles líquidos iniciado en 1973, renovó el interés en la utilización de combustibles no tradicionales para el secado de granos. Naturalmente la presión económica para el rápido desarrollo de combustibles alternativos, fue mayor en aquellos países no productores de petróleo, que, además, tampoco tuvieran en el carbón, o gas natural, una alternativa viable. El autor tuvo oportunidad de realizar para la FAO en 1983, una evaluación de diversos tipos de quemadores de diseño simple utilizados en algunos países de América Latina. A continuación se presenta un resumen del informe final del trabajo mencionado⁽¹⁰⁾, que corresponde a los dos tipos de quemadores de mayor importancia.

Hornos de República Dominicana: El país produce aproximadamente 400.000 toneladas anuales de arroz paddy, cantidad que se beneficia en un poco más de 120 molinos arroceros (Factorías), de tamaño relativamente pequeño. No se realiza, en forma significativa, secado de arroz en las fincas productoras.

Por el decreto 3269 de 1973, el Instituto Nacional de Estabilización de precios INESPREE, fue encargado en formá

exclusiva de la compra, venta y distribución de todo el arroz descascarado de producción nacional. La presencia de Inespre en todas las etapas de mercadeo ha reducido el margen de los industriales tradicionales, y ha hecho necesario el control cuidadoso de los costos de producción. El costo en 1983 de un galón de combustible diesel era de RD\$ 1.17, que al tipo de cambio oficial equivale a la misma cantidad en dólares, de tal manera que, en promedio, el costo de combustible para secar una tonelada de arroz ascendería a US\$ 3.51, si se asume un consumo total de 3 galones por tonelada (reducción de humedad de 26% al 13% en promedio).

Hornos tradicionales: En la República Dominicana, como en la mayor parte de los países de América Latina, el uso de la cascarilla de arroz como fuente de energía para el secado de los granos fue cosa común desde los primeros años de instalación de la industria. A diferencia de lo sucedido en otros países, en República Dominicana, dicho uso de la cascarilla, no desapareció en la década de 1950, ni fue totalmente reemplazado por los combustibles líquidos de más fácil manejo y costo reducido en ese entonces. Posiblemente la industria arrocera privada no sufrió cambios y "modernización" demasiado profundos, y recibió, además, la influencia de la industria azucarera en la cual el "bagazo" de caña se continuó utilizando como combustible para el beneficio industrial. Las instalaciones para el manejo y tratamiento de cantidades relativamente grandes de grano, que construyó el Gobierno en los últimos años (por intermedio del Instituto Nacional de Abastecimientos —INESPRE—), por el contrario se equiparon con grandes secadoras de torre, de origen norteamericano, que utilizaban combustible Diesel exclusivamente.

La tecnología para la quema simple de la cascarilla fue, así, conservada, y, hoy día, ha servido de base para el desarrollo de sistemas mejorados que, mientras mantienen intacta la simpleza del diseño, permiten calentar los mayores volúmenes de aire de las grandes instalaciones de Inespre, con hornos de tamaño reducido.

El quemador de tipo tradicional se construye con ladrillo corriente, una parrilla de hierro fundido, o acero maleable, y

una tolva de alimentación de cascarilla de cargue manual. Los elementos principales se ilustran en la figura No. 7.36.

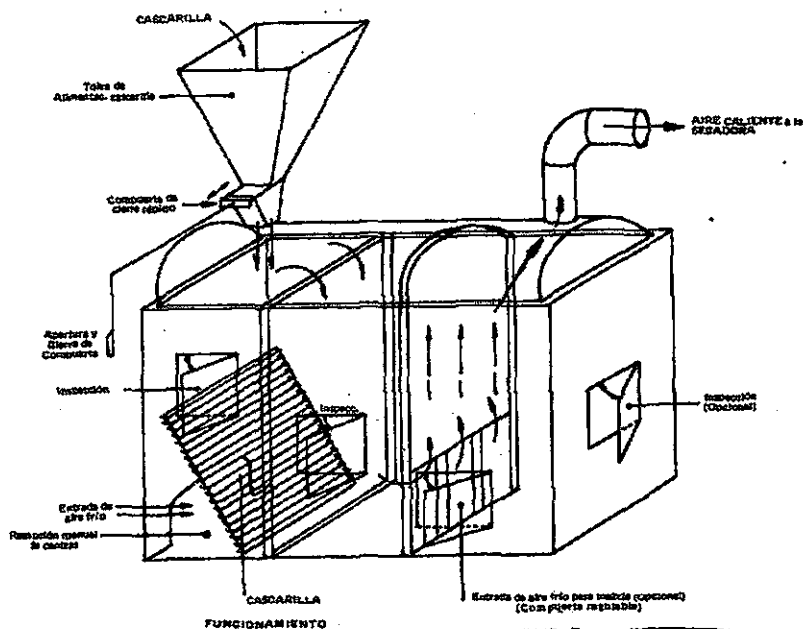


Fig. No. 7.36- Horno tradicional - República Dominicana

El quemador descrito se utiliza principalmente para calentar unidades secadoras de fabricación nacional, que siguen el diseño simple y de fácil construcción de las viejas unidades "American Drying Systems", bastante difundido en toda la región del Caribe y Centro América (Fig. No. 7.37), que consumen de 10 a 12 galones de combustible diesel por hora en promedio.

Diseño: El quemador de tipo tradicional tiene un diseño bastante simple.

Como puede apreciarse, el quemador está formado por una "caja" de ladrillo corriente, cuyas dimensiones principales son 1.5 x 1.5 x 2.25 metros, en la mayoría de las unidades observadas, aunque en algunos sitios se encontraron algunas variaciones. La "caja" tiene una cubierta abovedada de ladrillo y su volumen se divide en tres espacios principales: el

hogar donde se realiza la combustión de la cascarilla y dos cámaras de decantación de cenizas, que realizan la labor de separar de la corriente de aire principal las partículas de tamaño mediano que puedan ser arrastradas.

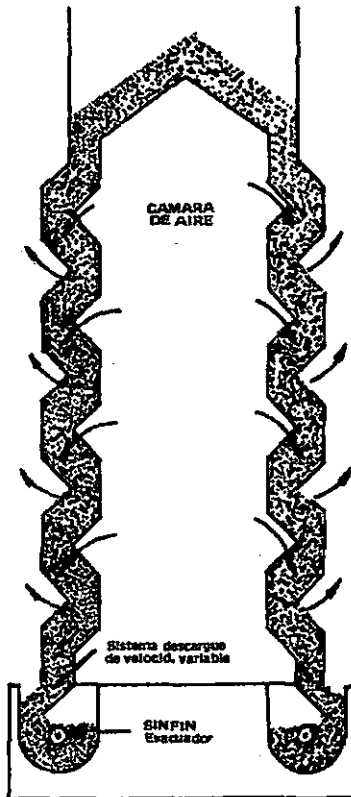


Fig. No. 7.37- Secadora típica - Utilizada en Centroamérica

— Parrilla: En el recinto del hogar se encuentra una parrilla metálica, con una inclinación de 45°C generalmente, cuya función es la de permitir el paso del aire por entre la cascarilla en combustión (Fig. No. 7.38); no todo el aire de secado atraviesa la parrilla y el quemador, pues antes de llegar a la torre de secado propiamente dicha, se adiciona aire frío, por medio de sistemas proporcionadores provistos de compuertas (Fig. No. 7.39).

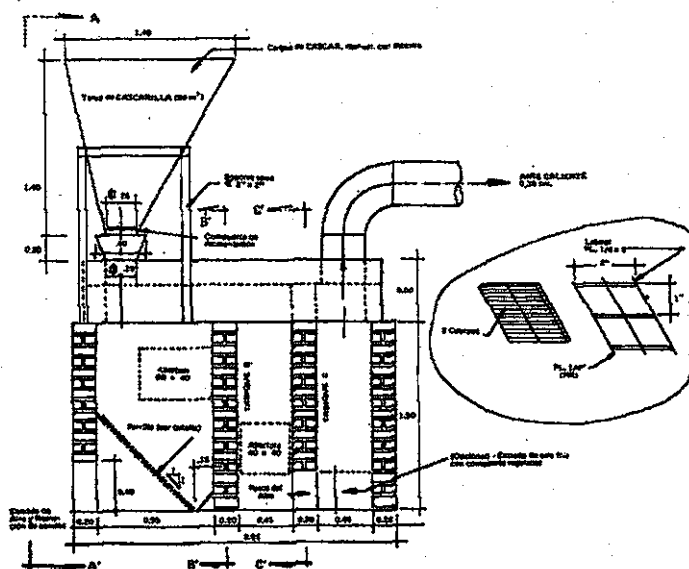


Fig. No. 7.38- Horno tradicional - República Dominicana

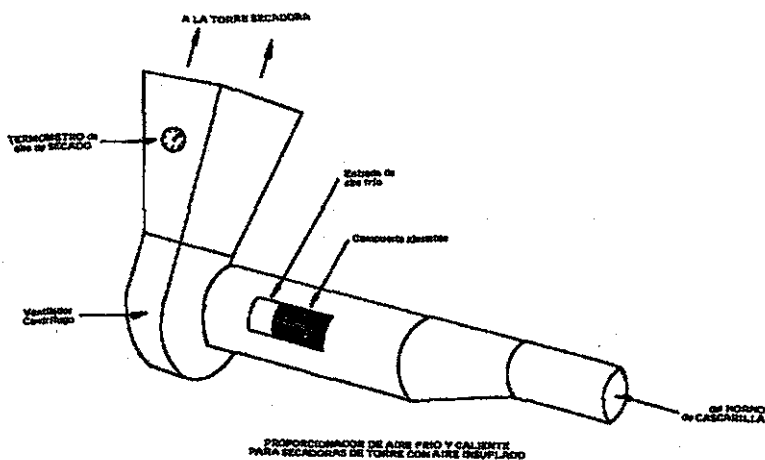


Fig. No. 7.39- Horno tradicional República Dominicana

Operación: En las visitas realizadas, se observaron quemadores construidos hace más de 15 años en buen funcionamiento. Se estima que cada 3 ó 4 años puede ser necesario

reconstruir la bóveda de cubierta y reemplazar algunos ladrillos y pañetes internos. Las parrillas construidas inicialmente de hierro fundido, se han reemplazado por unidades de platina de acero maleable, posiblemente su duración sea menor que las de acero fundido, pero se ha facilitado su reemplazo.

Todo quemador nuevo es sometido a un proceso de calentamiento lento para evitar que sufra agrietamientos. El calentamiento se realiza con una cantidad de cascarilla reducida durante 15 ó 20 horas.

La ignición del horno se hace con la ayuda de materiales de fácil combustión, como papel, que pueden empaparse con algún combustible líquido.

La alimentación de la cascarilla, en todas las instalaciones visitadas, se hace en forma manual, con la ayuda de una escalera de madera. Las tolvas metálicas de reserva, tienen, generalmente, capacidad para abastecer el horno durante las 8 ó 10 horas que toma el secado del grano en las máquinas columnares comúnmente utilizadas.

Temperatura de secado: Se regula básicamente variando la alimentación de cascarilla al hogar del quemador, aunque también es posible hacer algún ajuste con las compuertas reguladoras de aire (Fig. No. 7.39). El operario observa con alguna periodicidad el termómetro colocado en los ductos de la secadora y, si es necesario, alimenta una cantidad adicional de cascarilla al hogar. La alimentación de cascarilla no es continua, sino intermitente; la temperatura del aire de secado, en consecuencia, sufre variaciones relativamente bruscas, aunque de acuerdo con las informaciones recibidas, es posible ajustar la temperatura dentro de un rango total de 5 grados centígrados.

Remoción de cenizas: Se hace manualmente, cada media hora de trabajo aproximadamente, con la ayuda de palas y rastrillos. En forma también periódica se remueven las cenizas decantadas en las dos cámaras que siguen al hogar (Fig. No. 7.36) por las puertas previstas para este efecto.

Rendimientos: Aunque no fue posible realizar mediciones directas de la cantidad de cascarilla consumida durante períodos de operación suficientemente largos, en general se encontró que el consumo varía entre 40 y 50 kg de cascarilla para secar una tonelada de arroz húmedo. En estas condiciones puede estimarse que los sistemas integrados (quemador-secadora) funcionan con eficiencias térmicas que oscilan alrededor de 50 a 60% de acuerdo con las cifras del siguiente ejemplo, que corresponde a una de las instalaciones visitadas:

Secadora columnar: Con capacidad para 117 "bultos" de 120 kg c/u de arroz húmedo. Humedad inicial 24%, humedad final 13%, tiempo de secado (recirculando el grano) 13 horas. Volumen de aire aproximado del ventilador 25.500 M³/h (15.000 CFM). Aumento de temperatura (en relación con la temperatura ambiente): 8 - 10°C.

Quemador de cascarilla: Consumo aproximado: 2 sacos de cascarilla de 20 kg cada uno, por hora.

Cantidad de calor de la cascarilla consumida: $40 \times 3.300 \times 13 = 1.716.000$ k-calorías (asumiendo que el valor calórico de la cascarilla es de 3.300 k-cal/kg).

Humedad removida: (Grano secado: $117 \times 120 = 14.040$ kg).

$14.040 \times (100 - 24)/100 = P \times (100 - 13)/100$, de donde $P = 12.265$ kg y la humedad removida = $14.040 - 12.265 = 1.775$ kg.

Cantidad de calor utilizada: $1.716.000/1.775 = 976$ k-cal por kilo de agua removido. (1.760 BTU/lb), cifra que indica una eficiencia térmica total del sistema de 60% aproximadamente, dado que en las condiciones del sitio (próximo al nivel del mar) se consumen aproximadamente 580 k-cal para evaporar un kilo de agua libre.

Difusión: Los quemadores de cascarilla del tipo descrito son los de mayor utilización y, posiblemente, se usan en el

50%, o más, de las instalaciones del país. Puede decirse que por su simpleza de diseño y de construcción, pueden instalarse sin dificultad en cualquier zona.

Hornos utilizados en Costa Rica: A diferencia de lo que sucede en la República Dominicana, las instalaciones de beneficio de arroz en Costa Rica son de tamaño relativamente grande y, tampoco, se realiza ningún secado de arroz por parte de agricultores directamente.

La producción nacional de arroz es de aproximadamente 320.000 toneladas de paddy.

El precio del combustible Diesel, utilizado comúnmente para secar granos se triplicó en 1980, hasta el nivel de 70 colones por galón, de 1983. El costo de secar una tonelada de arroz con este combustible, ascendería en el momento a US\$ 4.90, si se tiene en cuenta que el tipo de cambio oficial, en 1983, era de C\$ 43 por dólar (suponiendo un consumo de 3 galones/ton).

Quemadores de Super Brix: Los quemadores de cascarilla fabricados por la compañía Super Brix de Barranquilla, Colombia, constituyen la base del actual desarrollo del país en la utilización de este combustible para el secado de granos. En los 3 ó 4 años anteriores a 1983 se importaron de Colombia 14 quemadores para molinos de arroz situados en diversas zonas. Los buenos resultados técnicos y las tangibles economías, pronto indujeron a varios fabricantes nacionales a desarrollar su propia versión de quemador; que, en general ha seguido de cerca el modelo original.

Diseño: En países como Costa Rica y Colombia, donde el beneficio del arroz se realiza en instalaciones relativamente grandes, quemadores de este tipo pueden resultar adecuados y de operación económica.

Básicamente el quemador Super Brix es una unidad de fuego directo, provista de un ciclón intermedio para la separación de cenizas y suministro de una corriente de aire puri-

ficado para el secado de los granos. Todo el sistema está circundado por una "camisa" de aire en movimiento, que lo refrigera y recupera calor, mejorando así su eficiencia térmica.

El quemador dispone de sistemas semi-automáticos de cargue de cascarilla y evacuación de cenizas, que exigen poca intervención de operarios. La cascarilla se alimenta en forma continua desde una tolva (cargada a su vez en forma mecanizada) mediante un sistema giratorio de velocidad variable; la combustión se realiza sobre una parrilla inclinada, de construcción similar a la de los quemadores tradicionales de República Dominicana. Los gases de la combustión y la ceniza se remueven continuamente por medio de un sistema de transporte neumático, que utiliza la succión del ventilador de la secadora. Un ciclón colocado en la sección final del cuerpo del quemador, decanta las cenizas y cascarilla a medio quemar y las entrega a un sinfín evacuador (Fig. No. 7.40). El aire caliente purificado se entrega a la secadora por medio de ductos metálicos provistos de compuertas para adicionar aire frío.

El quemador dispone de varias compuertas de aire que permiten regular la admisión de aire para la combustión y transporte neumático.

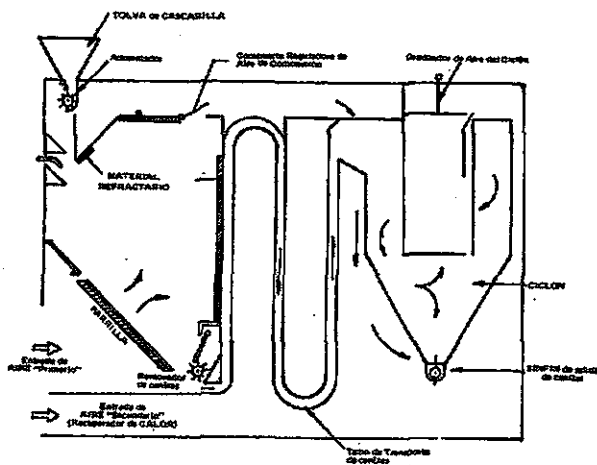


Fig. No. 7.40- Quemador SUPER-BRIX - Colombia - Costa Rica

Operación: El encendido se realiza llenando la parrilla de cascarilla, con el ventilador de la secadora apagado, y añadiendo medio galón de diesel para facilitar la ignición; una vez la llama se encuentra bien establecida, se enciende el ventilador y gradualmente se aumenta la alimentación de cascarilla, hasta alcanzar la temperatura de secado.

Regulación de temperatura de secado: Se hace principalmente variando la velocidad de alimentación de la cascarilla de acuerdo con las lecturas del termómetro colocado en los ductos de entrada de aire caliente de la secadora.

Rendimiento: Las unidades inspeccionadas se estaban utilizando para generar aproximadamente 405.000 kcal/h (1.620.000 BTU/h) que equivalen al calor generado por 12 galones de Diesel. Según información de los fabricantes, el quemador puede generar sin dificultades una cantidad de calor superior en un 50%. El consumo de cascarilla puede ajustarse entre 150 y 400 kilos por hora.

Evaluaciones: En la facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, el señor Rodolfo Zeledón M., como proyecto de grado, presentó una evaluación de la "Cascarilla de arroz como fuente de energía disponible en Costa Rica"⁽¹¹⁾; el trabajo anterior, básicamente, evaluó la eficiencia térmica de un quemador Super Brix, instalado en un molino cercano a la capital. Se evaluó, en primer término el calor de combustión de dos variedades de arroz de amplia producción. La cascarilla de la variedad denominada CR 1113 tuvo un calor de combustión de 3672 kcal/kg (cenizas de 16.5% en peso), y la CR 5272 de 3207 kcal/kg (cenizas de 27.6%). La evaluación del calor de combustión de los residuos de combustión del quemador, mostró que se aprovechaba, en promedio, el 58% de la cantidad de calor total disponible.

Fuente de calor: El calor para afectar la evaporación de la humedad, se genera normalmente por medio de quemadores de combustibles fósiles, principalmente Diesel (No. 2 — denominado en Colombia ACPM) Fuel Oil (No. 5) o gas natural.

El Diesel cuando se quema con suficiente oxígeno y adecuado tiraje produce alrededor de 9.000 kilocalorías por litro (136.000 BTU/galón), el Fuel Oil 9.600 kilocalorías por litro (145.000 BTU/galón); el gas natural produce cerca de 1.050 BTU por pie cúbico, aunque pueden presentarse variaciones de importancia de acuerdo con su composición química.

Es recomendable que los quemadores utilizados en secado de granos, cuenten con controles automáticos, que además de mantener constante la temperatura del aire de secado, mantengan una adecuada relación entre el aire y el combustible para conseguir una combustión eficiente. El uso de quemadores rudimentarios puede producir contaminación en los granos, llegando aun a recubrirlos con una película grasosa, como sucedió hace algunos años con frijol carota exportado a un país Centroamericano y cuyo color negro disfrazó inicialmente la contaminación pero no pudo evitar las dificultades y reclamos posteriores.

Las compañías aseguradoras Norteamericanas exigen para expedir pólizas que amparen secadoras de grano, la instalación de un dispositivo de seguridad se llama (celda fotoeléctrica o termostato) que cierre el paso de combustible inmediatamente se presente una falla en la llama, para evitar la atomización de combustible crudo con el riego consiguiente de incendios y contaminaciones.

Energía solar: Su utilización se encuentra aun en etapa de desarrollo inicial, sin embargo se tienen fundadas esperanzas de que en el futuro podrá utilizarse para secar un volumen importante de granos.

El problema principal, en el momento, estriba en encontrar forma de almacenar económicamente el calor del sol de los días claros, para utilizarlo durante las noches y días nublados.

Se han utilizado con algún éxito varios materiales para almacenar el calor, la piedra por ejemplo tiene un calor espe-

cífico relativamente alto (0.20) de tal manera que 50 metros cúbicos en un día soleado podrían almacenar 1.000.000 BTU, suficiente para evaporar aproximadamente 500 libras de agua. En la figura No. 7.41 se ilustra el sistema.⁽¹²⁾

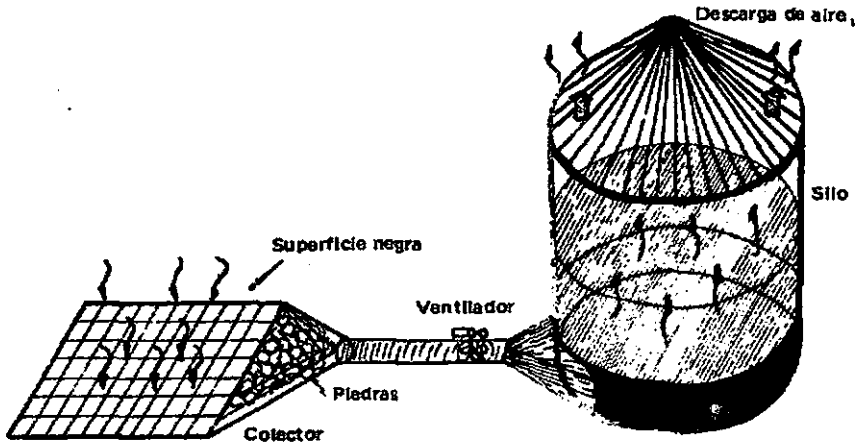


Fig. No. 7.41- Colector de calor solar de piedras

Con la ayuda de tubos plásticos de color negro, es posible captar en forma fácil y económica energía solar, si bien su utilización debe ser inmediata. En promedio, en un ambiente soleado, 1 m^2 de plástico negro puede captar 200 BTU/hora⁽¹¹⁾ de tal manera que se necesitarían 640 metros cuadrados para generar el calor de un galón de combustible Diesel (Fig. No. 7.42).

Recipiente de grano: El depósito de grano de una secadora puede tener múltiples formas, desde la sencilla alberca con fondo falso (Capítulo 11) hasta las torres de las máquinas industriales de flujo continuo, provistas de columnas de malla verticales (Fig. No. 7.43) o de caballetes en "V" invertida (tipo LSU) ilustrados en la figura No. 7.44.

Las secadoras de flujo continuo, de tipo industrial, necesitan, para su adecuado funcionamiento, una serie de dispositi-

vos complementarios; en la figura No. 7.45 se ilustran los más importantes.

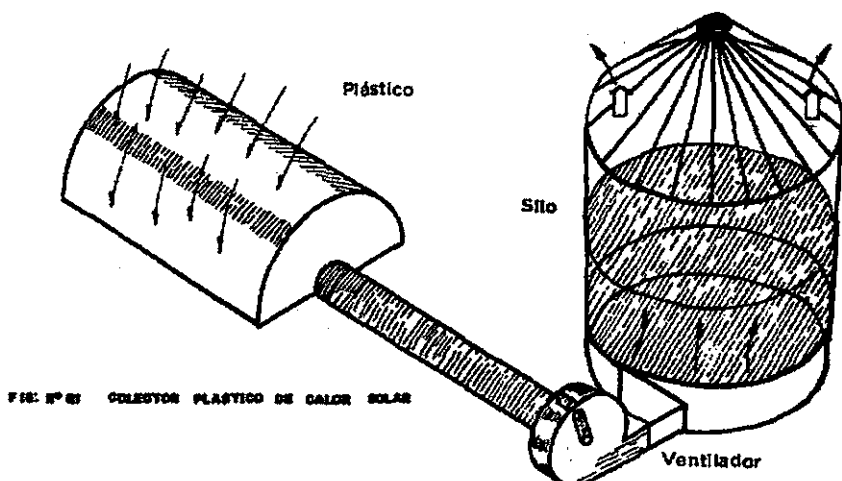


Fig. No. 7.42- Colector plástico de calor solar

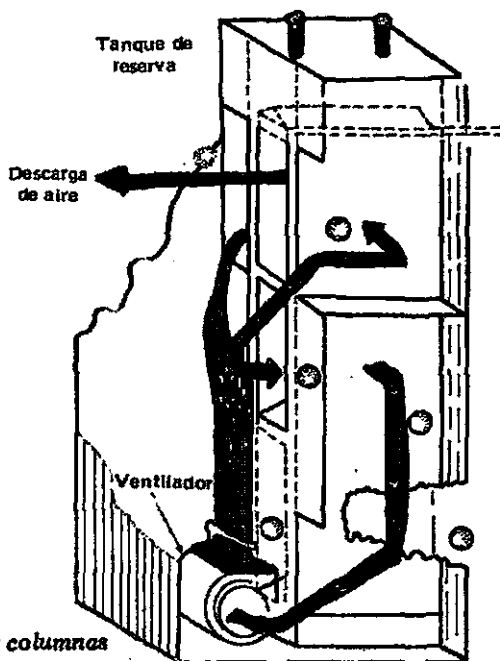


Fig. No. 7.43- Secadora de columnas de malla con recirculación de aire

Sobre la torre de secamiento propiamente dicha debe disponerse de un tanque de reserva (A), que permita continuar el proceso por 10 ó 15 minutos en caso de alguna falla en la alimentación del grano húmedo, especialmente cuando se hace con elevadores de cangilones, con al menos un indicador de nivel (B) que alerte, por medio de una señal visual o auditiva, al operario sobre la pronta terminación del grano húmedo y se pueden tomar las medidas, para evitar la formación de una zona vacía de grano en la parte superior de la secadora, que permitiría el paso directo de aire caliente y el secado y calentamiento excesivo del grano e impurezas con el consiguiente riesgo de incendios.

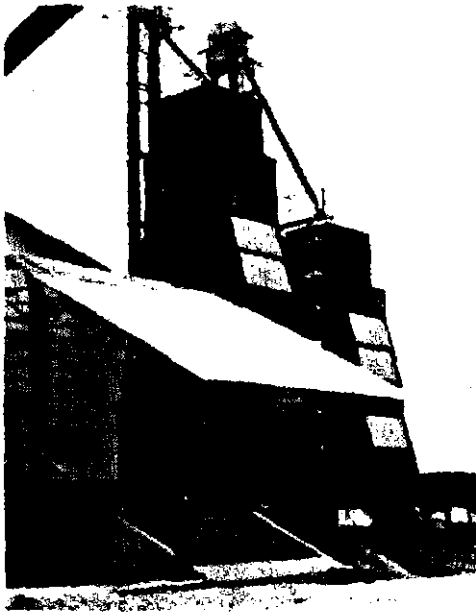


Fig. No. 7.44- Secadoras de torre con caballetes —L.S.U.—

Los ductos de aire caliente y frío de la secadora deben disponer de termostatos (O) convenientemente graduados que desconecten el sistema, si por alguna razón la temperatura del aire es superior a los límites fijados.

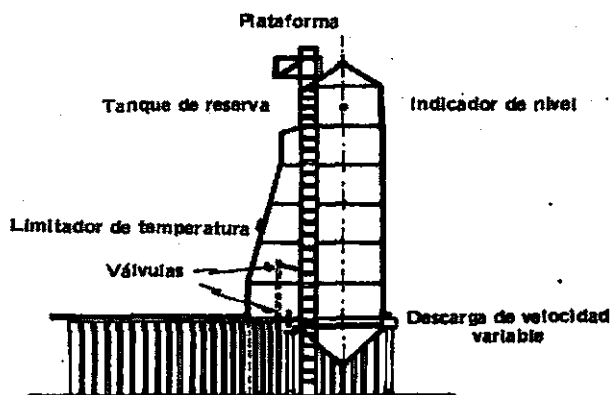


FIG. N.º Fig. No. 7.45- Equipo auxiliar de una secadora de torre

La secadora debe disponer de algún sistema que permita variar la descarga en un rango amplio y en forma continua, para ajustar el tiempo de exposición del grano a la acción del aire caliente de acuerdo con la reducción de humedad deseada; el sistema de descarga debe permitir el vaciado uniforme del grano, evitando el descargue más rápido de la parte central, característico de los depósitos de grano corrientes (Fig. No. 7.46).

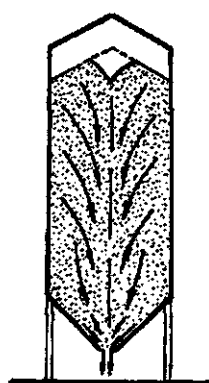


Fig. No. 7.46- Descarga de silos tipo túnel

En los últimos años ha aumentado el uso de sistemas automáticos de control de humedad de granos, que ajustan la velocidad de descarga del grano (D) para obtener una descarga de grano de humedad más o menos constante, compensando las variaciones en el grano húmedo. En su forma más simple y rudimentaria los sistemas utilizan como indicador del contenido de humedad del grano un simple termostato colocado en la descarga de aire. La temperatura se usa como indicador del contenido de humedad del grano para ajustar proporcionalmente la velocidad de descarga, o más frecuentemente para accionar un sistema simple de encendido-apagado. La temperatura del aire es un indicador aproximado de la humedad del grano, siempre y cuando la humedad inicial del mismo sea relativamente uniforme y las capas de grano seco sean muy delgadas; si se seca en capas profundas, la temperatura del aire después de atravesarlas será un índice de la humedad promedio y no de la del grano más seco o más húmedo, de tal manera que cuando se sequen lotes de humedad desuniforme, se resecará una parte y otra se entregará húmeda.

Un sistema más preciso de control de humedad utiliza un medidor de tipo capacitivo (Capítulo 5), que puede instalarse dentro o fuera de la torre y toma lecturas de la humedad del grano que se descarga en forma continua o en intervalos determinados⁽¹³⁾ ⁽¹⁴⁾, y permitén, mediante el uso de amplificadores y convertidores apropiados, variar la velocidad del sistema de descarga. Estos aparatos producen resultados confiables (dentro de la precisión de los medidores que se menciona en el Capítulo 5), cuando se trabaja con granos separados previamente según su humedad en grupos que no varíen más de 2 ó 3 "puntos".

Si es necesario secar granos con variación de humedad más amplia, como es la práctica normal en muchas de las instalaciones de los países tropicales, es preferible utilizar un sistema de control manual en el cual el operario pueda, en caso necesario, retornar grano que se descargue repentinamente demasiado húmedo de la secadora, a la misma máquina o al silo de alimentación. Este caso se presenta con frecuencia,

cuando después de descargar un camión con grano de humedad baja (16%) se recibe otro con grano húmedo (22%) y se depositan sin mayor mezcla en la secadora.

En algunas máquinas se dispone de válvulas y compuertas que permiten secar cantidades de grano inferiores a la capacidad de la torre (Fig. No. 7.47) o disminuir la cantidad de aire efectivamente utilizado para el secado. Normalmente el volumen de aire utilizado en las secadoras industriales es el apropiado para secado de maíz, cuyos granos son de tamaño grande y su humedad inicial elevada y necesita, en consecuencia, alto volumen de aire y amplia cantidad de calor; con granos pequeños como sorgo y arroz el volumen de aire de maíz puede resultar excesivo y producir un desperdicio de energía y de calor, las compuertas de alivio regulables resultan útiles en las plantas de secado de propósito múltiple.

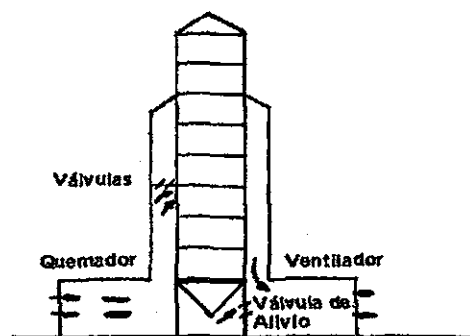


Fig. No. 7.47- Válvulas de secadora de torre para trabajar a media capacidad

Para seleccionar el tamaño adecuado y más económico de la secadora para una nueva instalación, puede programarse el trabajo de la misma durante 20 horas diarias y 6 días a la semana.

Transporte por gravedad: Generalmente la conducción de granos de un equipo a otro, elevadores, secadores, silos . . . se realiza por un sistema de tuberías, que incluye codos, válvu-

las, distribuidores, amortiguadores, etc. El tamaño e inclinación mínima de las tuberías se selecciona de acuerdo con el tipo y condiciones del grano. Para trabajo normal no debería utilizarse ninguna inclinación de menos de 45° (100%); en aquellas zonas donde se manejen granos húmedos y sucios la pendiente debería ser un poco mayor.

La Tabla No. 7.3 indica la capacidad máxima en toneladas por hora que puede transportarse en forma cómoda, en tuberías redondas de diferentes diámetros, inclinación mínima de 45° , con arroz y sorgo moderadamente húmedos y sucios.

Diámetro		Tons/hora
CM	Pulgadas	
15	6"	10
20	8"	25
25	10"	40
30	12"	60

Tabla No. 7.3- Transporte de grano por tuberías

Para obtener un flujo uniforme y disminuir el riesgo de atasco, no se deben hacer reducciones o deformaciones de la sección interior libre de la tubería, o de otras piezas, en los codos, cambios de dirección, etc. El diseño del sistema de tuberías afecta en forma importante la calidad del grano.

Con maíz, se presenta considerable daño cuando se deja rodar libremente en tramos de tubería de más de 12 mts., daño que se aumenta en granos muy secos.

Por ejemplo, maíz con 15% de humedad en un tramo de 12 mts., puede sufrir un aumento de partido de 0.4% , si la longitud se aumenta a 21 mts. el daño adicional puede ser de 4.1% y de 7.1% si la longitud es de 30 mts.⁽¹⁵⁾ Para reducir la longitud efectiva de las tuberías se utilizan dispositivos amortiguadores y retardadores, tales como los ilustrados en la

figura No. 7.48. Los efectos abrasivos sobre las tuberías, muy importantes con soya y sorgo, y los daños que sufren por impacto, pueden reducirse en instalaciones donde el volumen manejado lo justifique, recubriendo las superficies internas de las tuberías y los sitios de impacto con recubrimientos sintéticos, que generalmente pueden comprarse adheridos a una base de lámina metálica delgada que facilita su instalación. Experimentos realizados en 1971⁽¹⁵⁾ determinaron que el mayor daño físico en el maíz durante su manipuleo, se produce por el impacto contra algún objeto. La superficie de impacto afecta significativamente el daño total: con superficie sintética (uretano) el daño se reduce a la quinta parte del sufrido con acero y a la sexta parte del daño producido por una superficie de concreto.

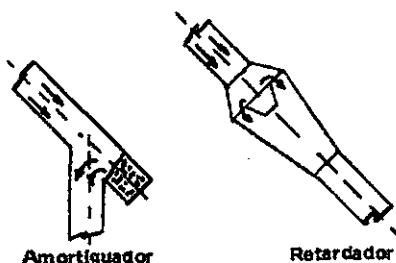


Fig. No. 7.48- Amortiguadores de caída de grano

En el diseño de cualquier sistema de tuberías no debe olvidarse su facilidad de instalación y de mantenimiento. Cualquier tubería durante su vida útil deberá ser girada y remendada varias veces y aún cambiada totalmente; de tal manera que estas operaciones deben poderse ejecutar en forma rápida y simple. En ciertos casos es preferible aumentar la inversión inicial, e instalar transportadores horizontales adicionales que permitan reducir la luz libre de tuberías instaladas en lugares de difícil acceso.

REFERENCIAS

- (1) SAMUEL B. RICHMOND, Operations research for management decisions, Columbia. U., 1968.
- (2) USDA, Selecting dump pits and elevator legs for country grain elevators, ARS-52-6, 1965.

- (3) USDA, Receiving rice from trucks at commercial dryers, MRR-499, 1961.
- (4) USDA, Selecting the best capacity of truck receiving facilities of Country Grain Elevators, MRR-671, 1967.
- (5) USDA, Receiving grain at Country Elevators, MRR-694, 1964.
- (5) USDA, Receiving grain sorghum at country elevators in the south-west, MRR-694, 1965.
- (7) REIMBERT, M., Construcción de silos, Aguilar, 1962, p. 13.
- (8) SCOTT, Development of grain milling machinery, Edimburgo, 1972.
- (9) KUPRITS, YA. N. (Editor), Technology of grain processing and provender milling, translated from russian by Israel Program for Scientific translations, Jerusalem, 1967.
- (10) CASTILLO, A., Informe a la FAO de misión de consultoría sobre quemadores de cascarilla de arroz, Preliminar, Bogotá, FAO, 1983.
- (11) ZELEDON, M. R., Cascarilla de arroz como fuente de energía disponible en Costa Rica, San José, Proyecto de grado, U. de C. Rica, 1982.
- (12) MOREY, NELSON, Field evaluation of a solar energy drying system, ASAE, December, 1975.
- (13) USDA, An automatic moisture control for continuous grain dryers, Technical Bulletin No. 1442, 1972.
- (14) Aeroglide Corporation, Moisture Rite operator's manual, Raleigh NC, 1976.
- (15) KELLER, CONVERSE Y OTROS, Corn Kernel damage due to high velocity impact, ASAE, paper No. 71-340, 1971.

CAPITULO 8

ALMACENAMIENTO

La mayor parte del grano se almacena en Colombia en sacos, colocados en estibas, formando arrumes en bodegas corrientes. De acuerdo con datos del Ministerio de Agricultura⁽¹⁾, el país dispone de aproximadamente 2.5 millones de metros cuadrados de bodegas, en los cuales se podrían almacenar cerca de 4 millones de toneladas de granos. En silos metálicos y de concreto, la capacidad disponible, posiblemente, sea suficiente solo para 800.000 toneladas.

La modernización de los sistemas de manejo de granos debe hacerse gradualmente, al igual que la adopción de cualquier nueva tecnología. Tratar de acelerar demasiado el proceso puede ser contraproducente. La gran inversión que requiere una planta de silos, del tipo utilizado comúnmente en las zonas productoras Norteamericanas y Europeas, sólo debe realizarse cuando su evaluación económica (Capítulo 3) sea claramente positiva. Se consiguen mejores resultados y mejor distribución de beneficios sociales, si se trata de una inversión gubernamental, si simplemente se mejoran las especificaciones técnicas y de construcción de un buen número de bodegas, que al realizar enormes inversiones en unas pocas plantas de silos de muy baja utilización.

Diseño de bodegas: La construcción de bodegas en Colombia para almacenaje de granos, se realiza generalmente siguiendo prácticas tradicionales, que no siempre corresponden a principios con validez técnica. En las facultades de Ingeniería

y Arquitectura el tema se trata en forma superficial sin dar mayor importancia a los aspectos especiales que exige el almacenaje de granos. No toda bodega es adecuada para almacenar granos, ni toda bodega apta para almacenaje entre cosechas (3-4 meses), puede utilizarse para guardar granos durante períodos mayores.

ASPECTOS PRINCIPALES

— **Pisos:** Los pisos de las bodegas donde se almacena granos deben ser totalmente impermeables, para impedir el ascenso capilar de humedad del suelo. La naturaleza porosa del concreto (utilizado en la mayoría de los pisos), permite el ascenso de humedad, que, una vez en la superficie, puede difundirse fácilmente por las planchas inferiores de los arrumes. Un ensayo sencillo permite verificar la impermeabilidad de un piso: un pedazo de tela plástica colocada en el piso durante la noche, condensará humedad en algunas horas si el piso es deficiente; los problemas, con este tipo de construcciones, se disminuyen si los arrumes se arman sobre estibas (plataformas) de madera de 8 a 10 cm. de altura libre, que aislen el grano y permitan la circulación de aire que remueva la humedad.

En construcciones nuevas el problema debería atacarse en forma diferente, para controlar, en primer lugar, el nivel freático, e impedir, además, el paso de la humedad con el uso de sub-bases permeables y membranas impermeables, de material plástico o bituminoso, colocadas entre la sub-base y la losa de concreto.

El nivel freático puede controlarse por medio de drenajes de intercepción, como el ilustrado en la figura No. 8.1. La capacidad de ascenso capilar de la humedad, por encima de la tabla de agua, depende de las características del suelo, es menor en suelos arcillosos que en limosos, en estos últimos se pueden presentar ascensos hasta de 2.50 mts.

La sub-base, construida en material compactado de espesor determinado, tiene como propósito principal en las bode-

gas, la mejora del drenaje y la reducción de acumulación de humedad bajo las losas, además, contribuye a mejorar las condiciones de apoyo sobre el terreno.

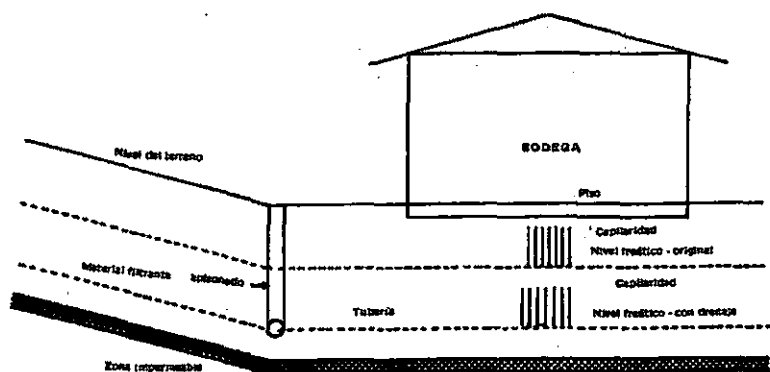


Fig. No. 8.1- Drenaje de interceptación para controlar capilaridad

Esfuerzos estructurales en las losas: Las principales sollicitaciones que pueden presentarse en el piso de una bodega son:

1- Compresión o tracción, producidas por el cambio de volumen del concreto con las variaciones de temperatura y la resistencia al desplazamiento que genera la fricción contra la sub-base y la sub-rasante.

2- Flexión y alabeo, por diferencias de temperatura y humedad entre la parte superior e inferior de la losa.

3- Esfuerzos por cargas, compresión principalmente y flexión localizada en sitios donde la sub-base no tenga adecuada compactación.

Juntas de construcción en las losas: Las juntas se dejan en las losas para controlar la aparición de fisuras producidas por los esfuerzos de los cambios volumétricos del concreto. El autor tiene la opinión de que únicamente son necesarias Juntas de Construcción del tipo de Plano Debilitado (Fig. No. 8.2). No cree que en bodegas de dimensiones normales (7-8 mts. de altura) y para cargas normales, sea necesario

dejar Juntas de Expansión que, se supone, dejan espacios que permiten posibles alargamientos de las losas, y disminuyen así los esfuerzos de compresión (Fig. No. 8.3).

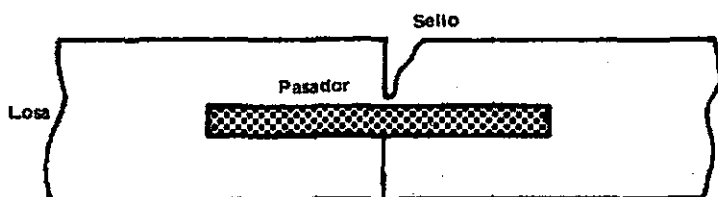


Fig. No. 8.2- Junta de contracción de plano debilitado

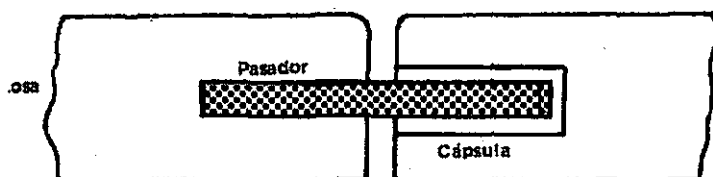


Fig. No. 8.3- Junta de expansión

Acero de refuerzo: El acero que, con alguna frecuencia se coloca en los pisos, contribuye principalmente a repartir los esfuerzos y controlar el agrietamiento, las bajas "cuantías" utilizadas no contribuyen prácticamente al aumento de la capacidad de soporte, o de flexión, de la losa.

Aunque, en general, no es necesario utilizar refuerzos de acero si la sub-base ha sido adecuadamente compactada, podría utilizarse el siguiente procedimiento para determinar la cantidad necesaria:

$$A_s = \frac{F.L.Wt}{2.F_s}$$

donde A_s = acero necesario por M^2 , en cm^2
 F = coeficiente de fricción entre concreto y
 sub-base ($F = 1.5$ si no se dispone de otros datos)
 L = longitud de la losa entre juntas, mts.
 Wt = peso propio de la losa, más peso del grano
 almacenado, kg. por m^2 .
 F_s = esfuerzo de tensión admisible en el acero,
 kg/cm^2 .

Paredes: Los muros de las bodegas deben construirse, preferiblemente, con materiales que tengan una buena capacidad de absorción de calor, especialmente en zonas donde se presenten cambios notables de temperatura, para que contribuyan a amortiguar los efectos de cambios en la temperatura ambiente en la temperatura interna de la bodega. Paredes de ladrillo de 20 cms. de espesor tienen buena capacidad térmica; pocas ventajas se consiguen, en este aspecto, si se construyen de más de 30 cms.

En zonas de alta precipitación, es conveniente impermeabilizar las paredes exteriormente para evitar la saturación de sus materiales y la entrada de humedad por capilaridad.

Con el fin de disminuir la transferencia de calor por radiación solar, puede ser conveniente pintar las paredes de color claro, que refleje parte de la radiación. En las bodegas que se destinen principalmente a almacenamiento de mediano y largo plazo (más de 3-4 meses), debe evitarse la construcción de ventanas. Si éstas son indispensables conviene sombrearlas con aleros o toldos de tamaño apropiado y equiparlas con doble vidrio —con cámara de aire intermedia— para disminuir la entrada de calor.

La superficie interior de las paredes debe ser lisa, para evitar la acumulación de desperdicios, facilitar su limpieza y no dejar intersticios que faciliten la supervivencia de insectos. La unión entre las paredes y el piso puede redondearse ligeramente para facilitar la limpieza.

Puertas y ventanas: Es práctica relativamente corriente en Colombia colocar aberturas para ventilación en las paredes de

las bodegas. Estas aberturas generalmente se protegen con celosías o "calados". Esta ventilación incontrolada es generalmente innecesaria y, en zonas húmedas, puede ser perjudicial para almacenajes de largo plazo, pues contribuye a que se humedezca el grano. Una bodega debe ventilarse únicamente cuando sea necesario.

En zonas húmedas es posible conservar granos en buenas condiciones, durante períodos relativamente largos, si se controla la entrada de aire ambiente a la bodega. Las aberturas de las paredes, si existen, deben equiparse con compuertas de corredera o basculantes, y la apertura de las puertas debe realizarse en forma controlada y por los períodos más cortos posibles. Para estos almacenajes, además, es conveniente sellar el espacio libre entre los aleros del techo y las paredes. Para remover los gases residuales después de una fumigación, es suficiente la apertura de algunas de las puertas de la bodega durante 6 u 8 horas, preferiblemente en las horas de menor humedad relativa.

Absorción de humedad y cambios de temperatura en los arrumes: La velocidad de absorción de humedad de los granos almacenados en arrumes depende de varios factores: temperatura, corrientes de aire de convección (generadas por diferencias de temperatura), disposición de las estibas, sistema de traba de los empaques en el arrume, tamaño de los arrumes, tipo de empaque y, principalmente, cantidad de aire húmedo que penetra en la bodega.

El siguiente ejemplo permite apreciar mejor la importancia de la entrada de aire: En un arrume de maíz, con 14% de humedad y temperatura de 17.5°C, el aire intersticial tiene una humedad relativa de 70% y humedad absoluta de 10.15 gramos de agua por M³ (resultados de inspección a la carta sicrométrica). Si el aire ambiente exterior tiene humedad relativa de 87% y la misma temperatura de 17.5°C, su humedad absoluta será de 12.61 gramos de agua por M³. En consecuencia, si se permite suficiente tiempo de contacto, cada metro cúbico de aire exterior, que se permita entrar a la bodega, puede añadir 2.4 gramos de agua al grano almacenado.

La situación descrita es más grave en bodegas donde, por la utilización de diseños y materiales adecuados, la temperatura interior sea apreciablemente menor que la ambiente en determinadas horas del día; el aire exterior, húmedo y caliente, que se permita entrar, puede condensarse en la superficie más fría de los arrumes.

La variación de temperatura de los arrumes es más lenta que la del aire dentro de la bodega y tiende a seguir más bien las variaciones estacionales que las diarias. La transferencia de calor en los granos es un proceso complejo en el cual intervienen movimientos de conducción, convección y radiación, tanto en los granos propiamente dichos, como en aire intergranular. Las corrientes de convección que pueden desarrollarse dentro de los arrumes son, generalmente, responsables de los mayores cambios de temperatura y humedad, aunque también pueden producir efectos apreciables, procesos de evaporación, condensación y absorción.

Las variaciones de temperatura que sufre el aire de la bodega, se demoran y suavizan dentro de los arrumes. Variaciones diarias de 10°C se reducen a 1°C a una profundidad de 10 cm. En países con estaciones, variaciones anuales de 40°C se reducen a 1°C a 4 metros de profundidad. Las máximas temperaturas del verano, en estos países, se reflejan a 1 metro de profundidad 3 meses después y a 2.50 metros, cinco meses después.

Las caras externas del arrume siguen de cerca las variaciones de temperatura del ambiente dentro de la bodega; la cara superior puede calentarse un poco más por la radiación del techo, mientras la base del arrume mantiene una temperatura relativamente constante.

La temperatura interna de un arrume puede medirse en forma simple, enterrando en él una varilla aguzada de acero ($1/4''$, $3/8''$) durante unos 30 minutos; por contacto directo, con ayuda de un termómetro, se puede determinar la temperatura de cada capa.

La existencia de corrientes de convección puede determinarse con un termómetro localizado sobre el arrume; si la temperatura indicada es mayor que la ambiente, existe un movimiento ascendente de aire causado por mayor temperatura interna.

La construcción de arrumes con "chimeneas" internas, acelera los cambios de temperatura y humedad, pues facilita el contacto de los granos con el aire.

Techos: Como los techos conforman la mayor superficie expuesta al sol de toda la construcción, para evitar demasiada transferencia de calor, deben construirse con materiales de buenas características de reflejo de la radiación solar. Es inevitable que la temperatura externa y sus cambios afecten la temperatura interna de las bodegas; sin embargo mediante el uso de diseños y materiales adecuados, las variaciones se amortiguan y retrasan.

El calor fluye de las bodegas en ambos sentidos, por mecanismos de radiación, conducción y convección. Es necesario distinguir la transferencia de calor que se realiza por simple diferencia de temperatura entre el aire y la bodega, y el calor transmitido por radiación a las paredes y techos.

La cantidad de calor que se reciba por radiación solar depende de la localización geográfica (latitud y longitud), de la nubosidad de la zona y de las características del techo. La radiación total (I) que hace contacto con la superficie —pared, techo— es parte absorbida (I_a), parte reflejada (I_r) y parte transmitida (I_t), de acuerdo con las características de reflectividad (I_r/I), absorptividad (I_a/I) y transmisividad (I_t/I) del material.

En la tabla No. 1 se anota el aumento de temperatura promedio que, sobre la temperatura ambiente, sufren algunos tipos de superficies y recubrimientos, cuando se someten a radiación solar.

SUPERFICIE	AUMENTO DE TEMPERATURA
Blanco brillante	17oC
Blanco mate	10°C
Aluminio	23°C
Plateado	30°C
Pintura de aluminio	33°C
Galvanizado	43°C
Negro	56°C

Tabla No. 8.1- Aumento de temperatura para algunos materiales sometidos a radiación solar

La variación de temperatura dentro de la bodega depende además de las características de emisión de radiación (pérdida de calor) que la superficie del techo y paredes tenga durante la noche. La tabla No. 8.2 indica la temperatura de enfriamiento, por debajo de el ambiente, de algunos materiales y recubrimientos.

MATERIAL	DESCENSO DE TEMPERATURA
Aluminio	4°C
Pintura de aluminio	6°C
Galvanizado	6°C
Negro	7°C
Pintura (cualquier color)	7°C

Tabla No. 8.2- Temperatura de enfriamiento durante la noche de algunos materiales

En la tabla anterior se aprecia que la emisividad es función del recubrimiento de la superficie (pintura) y no del material base.

El asbesto-cemento, especialmente si se recubre con pintura blanca, tiene buenas características reflejantes, pero, en zonas cálidas y húmedas se cubre fácilmente de mohos y algas que disminuyen sus cualidades y hacen que absorba más calor. Las cubiertas de lámina galvanizada, especialmente si están oxidadas, absorben más calor de día y emiten más calor

de noche; sus características térmicas pueden mejorarse si se recubren con pintura de aluminio bituminoso.

Las lumbreras en los techos (tejas transparentes) deben reducirse al mínimo, para evitar la entrada de calor y la elevación de temperatura de las áreas situadas bajo ellas, que aumenta la actividad de los insectos. La ubicación de lumbreras y focos de iluminación artificial, en proyectos para bodegas nuevas, debe hacerse, preferiblemente, después de diseñar la distribución de los arrumes, con el fin de localizarlos sobre zonas de circulación y no sobre grano.

Los techos deben tener aleros que, además de proteger las paredes de humedecimiento directo, proporcionen alguna sombra a las paredes y reduzcan su calentamiento por radiación. La construcción de cielorraso, aunque poco usada por su mayor costo, mejora apreciablemente las características térmicas de las bodegas y facilita la hermetización para fumigación.

El establecimiento de "cortinas" de árboles, cuando el terreno lo permite, puede utilizarse para dar sombra a las bodegas, sin embargo en regiones húmedas y cálidas la radiación suele ser difusa, de tal manera que su eficacia es sólo parcial.

Estibas y amarres de los arrumes: Los arrumes de sacos deben armarse sobre estibas de madera, cuidando que los sacos tengan trabe adecuado entre sí y que cada plancha se apoye firmemente sobre la inferior. Se debe tener especial cuidado en la colocación de los sacos exteriores de cada plancha, si es posible alineándolos con una cuerda. El arrume debe tener forma ligeramente piramidal para conseguir una mayor estabilidad estructural. Los empaques de fique, o yute, se adhieren entre sí mejor que los de propileno y forman arrumes más estables. Para mejorar un poco la estabilidad de los arrumes de sacos de polipropileno, pueden colocarse empaques vacíos de fique entre cada una de las planchas, especialmente en los sacos de las partes exteriores.

Granos sanos, con humedad apropiada y ensacados en empaque en buen estado, pueden arrumarse con 30 "planchas", sin que sufran daños físicos apreciables; las harinas no deben almacenarse con más de 20 "planchas" para evitar su compactación.

En algunas zonas del occidente colombiano (Valle del Cauca) se acostumbra colocar cada 7 u 8 planchas, traveses armados con tablas traslapadas, con el fin de disminuir los riesgos de caída total del arrume si se rompe uno de los bultos de las planchas inferiores (por acción de roedores por ejemplo) figura No. 8.4.

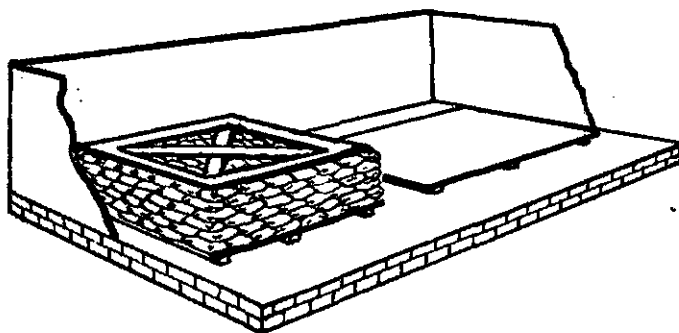


Fig. No. 8.4- Amarre intermedio para arrume

Los arrumes en una bodega deben armarse separados aproximadamente un metro de las paredes; es necesario dejar entre ellos callejones centrales y transversales que permitan la movilización de personal y del equipo de evacuación. El tamaño de los arrumes debe ser adecuado para la utilización de las carpas de fumigación disponibles, sin descuidar, naturalmente, el buen uso del área de la bodega.

En bodegas de dimensiones adecuadas (ancho de 25 a 30 mts. y altura hasta el alero de 7 mts.), se consigue almacenar técnicamente de 2.2 a 2.5 toneladas por M^2 .

La "desarrumada" del grano debe hacerse con el mismo cuidado y la misma secuencia con que se almacenó; debe evitarse la práctica de lanzar sacos desde la parte superior, o derrumbar los arrumes, pues se corre el riesgo de dañar y derramar grano y producir accidentes graves.

Las estibas deben levantarse tan pronto se retiren los sacos para limpiar el piso y evitar la contaminación e infestación de los granos y basuras derramados. Antes de guardar estas estibas es conveniente limpiarlas y tratarlas con insecticidas.

Control de roedores: Los roedores pueden causar daños en los granos almacenados, tanto por consumo directo como por contaminación de cantidades mucho mayores con sus excrementos, además de actuar como vectores de un número grande de enfermedades.

El tamaño de la población de roedores dentro de una bodega depende de 3 factores principales: alimento disponible, agua y espacio adecuado para la construcción de madrigueras y nidos. Para restringir el tamaño de la población, la disponibilidad de alimento no puede controlarse, pues se trata del mismo grano almacenado, pero sí es posible restringir el acceso al agua y a los espacios utilizados para las madrigueras.

Las ratas y ratones son animales muy sedientos, que prefieren habitar en zonas donde dispongan de agua; es conveniente, en consecuencia, controlar los escapes de agua, empozamientos, etc., en las cercanías de las bodegas. Los roedores, además, son animales cortos de vista y asustadizos, que evitan atravesar espacios libres y prefieren recorrer solo zonas cercanas a las paredes, estibas, plantas, etc.; es recomendable, para aprovechar este comportamiento tímido, construir alrededor de las bodegas, andenes de 2 ó 3 mts. de ancho, completamente libres, sin jardines ni construcciones, a manera de "cinturones de seguridad", que los ratones tratarán de no atravesar.

Las trampas y cebos deben colocarse en las rutas seguidas por los roedores, las cuales pueden identificarse fácilmente por las machas de grasa y suciedad que su paso repetido deja.

Cuando, para facilitar el manejo de los productos, se construye una bodega en un nivel superior al del terreno, se facilita el control de roedores si se recubren las paredes con pañete y pintura lisos, que hagan más difícil trepar; las escaleras de ascenso deben ser, preferiblemente, del tipo metálico vertical, para evitar que los roedores asciendan por ella.

Es preferible que las puertas de la bodega sean del tipo de "guillotina" —de desplazamiento vertical— y no de corredera, pues además de impedir eficazmente la entrada de ratas, son de operación más fácil, pues no necesitan el riel inferior indispensable en las de corredera, donde se acumulan residuos y agua.

Bodegas para almacenaje a granel: En los últimos años se ha incrementado en Colombia el almacenaje de granos a granel, en bodegas de dimensiones similares a las tradicionales. El grano, que se apoya directamente contra la pared, ejerce una presión lateral que debe ser absorbida por refuerzos de acero, pues la mampostería de ladrillo normal no tiene capacidad para resistirla sino en bajas alturas (2.50 mts.). Si la altura del granel es superior, la bodega necesita diseño cuidadoso y refuerzos adecuados. La fotografía de la figura No. 8.5, muestra la falla de una pared de 30 cm. de espesor y 8 mts. de altura, que contaba con 2 vigas de amarre horizontales, una situada en la mitad de su altura y otra en la parte superior (vigas de 30 cm. x 30 cm., con 6 varillas de 5/8", $F_y = 40.000$ PSI), contra la cual se almacenó arroz hasta una altura de 7 mts. antes de presentarse el colapso.

En casos de emergencia es posible adaptar una bodega corriente para almacenar grano a granel durante períodos cortos. Se debe evitar la carga directa del grano contra las paredes por medio de una división armada con sacos de grano seco, denominada comúnmente "tríncho". La figura No. 8.6 ilustra la colocación de una de estas divisiones y la subdivi-

sión interna de una bodega para almacenar dos granos diferentes, o para facilitar el control del inventario.



Fig. No. 8.5- Colapso estructural de bodega a granel

Las bodegas construidas especialmente para almacenar grano a granel, pueden ser divididas interiormente y mecanizado su cargue y descargue, de tal manera que constituya una verdadera "batería" de silos de fondo plano, como la ilustrada en la figura No. 8.6 que corresponde a una bodega de 9 metros de altura libre, con capacidad para 10.000 toneladas de arroz, dividida en 5 secciones de 2.000 toneladas cada una. El dibujo ilustra, además, el transportador de cargue de la bodega y los sistemas de canalones portátiles utilizados para "remontar" la altura de los montones de grano por encima del ángulo de talud natural. El transportador de descarga, también indicado en la figura, puede colocarse en un tunel amplio, o en una pequeña regata, en cuyo caso será necesario accionar las compuertas con mando a distancia.

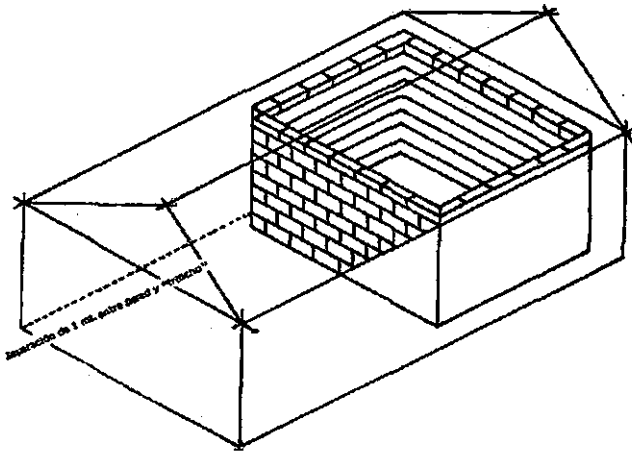


Fig. No. 8.6.- "Trinchos" de muros para almacenamiento en grano

A pesar de la relativa tecnificación que puede lograrse en una bodega del tipo descrito, debe tenerse mucho cuidado con los granos almacenados, especialmente si se trata de períodos de varios meses. En primer lugar es difícil detectar variaciones en temperatura, aun si se dispone de sistema de termopares medidores, y cualquier trasiego que se desee hacer implica un costo grande de manipuleo, por otro lado, el tamaño de la superficie de grano en contacto con el aire es más grande que en un silo vertical de la misma capacidad y, en consecuencia, mayor la posibilidad y rapidez de transferencia de humedad de la ambiente al grano. Por último, no siempre el piso de la bodega, que sirve de apoyo directo al grano, es totalmente impermeable, y puede permitir el ascenso de humedad del suelo que, con suficiente tiempo de contacto, causa la elevación de la temperatura de las capas inferiores del grano y la migración de humedad por medio de corrientes de convección ascendentes. La magnitud de los daños que inician estos movimientos de humedad puede ser muy grande, como se comprobó en algunas bodegas del departamento del Meta, donde, en razón a dificultades de mercadeo, se debió almacenar arroz durante más de 20 meses: para fumigar grano en sitios donde, al parecer, se habían generado corrientes de aire ascendente, se colocaron carpas plásticas durante varios días. La humedad se condensó en la parte inferior de las

carpas y elevó apreciablemente la humedad del grano situado en la superficie del granel. Cuando se quitaron las carpas, una capa de 1 ó 2 metros de grano se encontró totalmente deteriorada.

Almacenaje en silos: Cuando los granos que se desee almacenar pueden agruparse en unos pocos tipos y variedades y deben, además, evacuarse con repetida frecuencia, el almacenaje en silos puede resultar más conveniente y económico.

Las economías que pueden lograrse en silos, comparadas con el costo de almacenaje en sacos, pueden resumirse así:

— **Economía en "movimientos":** El manejo en silos y sistemas mecanizados, evita, o reduce, las labores de empaquetado, transporte a la bodega y arrume y, cuando se evacúa la bodega, el desarrume y acarreo a camiones o a la planta de proceso. En total es posible economizar hasta 5 "movimientos", cuyo costo actual (1984) puede estimarse en \$400 por tonelada (US\$ 4.20), a razón de \$80 por "movimiento". Naturalmente no toda la cifra anterior puede considerarse como reducción de costos, pues, el sistema mecanizado tiene costos de capital, operación, energía, mantenimiento, etc.

— **Economía en empaque:** Los costales utilizados para guardar el grano generan dos tipos de costos: financieros o de "oportunidad" del capital invertido en ellos, y de reposición, pues una proporción, en ocasiones elevada, de dichos costales, sufre daños durante su uso, que impiden su nueva utilización. Para cuantificar los costos de reposición puede utilizarse el concepto del número de usos. Por ejemplo, si un empaque puede utilizarse 5 veces, será necesario reponer después de cada cosecha 20% del número total de empaques (1/5).

— **Economías técnicas:** Es posible conseguir, con el almacenaje de granos en silos relativamente herméticos, algunas ventajas técnicas que pueden permitir el mejor mantenimiento de la calidad del grano. Por ejemplo, si se dispone de un adecuado número de medidores de temperatura (termopares en cables colgantes), es posible detectar rápidamente infesta-

ciones de insectos y fumigar en forma más oportuna y eficaz. El ambiente hermético del silo permite aplicar el fumigante en todo su volumen y conseguir, así, un mejor control de la totalidad de los insectos, aún de aquellos que en el momento de fumigar se encuentran fuera de la masa de grano. Como se mencionó en el Capítulo 4, en bodegas corrientes la fumigación de los arrumes se hace confinando su espacio por medio de carpas; la falta de hermeticidad impide fumigar todo el ambiente de la bodega, de tal manera que los insectos que no queden cubiertos por la carpa pueden en poco tiempo reinfestar el grano. Por último, entre las ventajas técnicas de los silos, debe recordarse que el grano dentro de los mismos no tiene contacto con el aire ambiente (excepto en los períodos de aireación forzada), de tal manera que no pierde o gana humedad por transferencias con aire ambiente.

La mayoría de los silos se construyen en planchas de acero liso o corrugado, con fondo cónico o plano, o en concreto reforzado, generalmente provistos de fondo cónico.

Silos metálicos: Se construyen con capacidad para una amplia variedad de capacidades. Los de fondo plano (que pueden considerarse como una bodega circular alta) pueden contener hasta 2.000 y más toneladas. Su costo de instalación es normalmente menor que el de los silos de concreto de la misma capacidad, y por esto se prefieren para la construcción de plantas pequeñas, mientras los de concreto se utilizan en las grandes plantas terminales o portuarias.

La lámina galvanizada corrugada es el material de construcción más utilizado. La corrugación se hace principalmente para aumentar su rigidez a los esfuerzos horizontales introducidos por el viento cuando el silo está vacío. Las juntas entre las láminas se impermeabilizan con masilla selladora, de calidad tal que conserve su plasticidad dentro de amplia variación de temperatura y humedades. El ensamble de las láminas se hace con tornillos provistos de arandelas flexibles que impermeabilicen las perforaciones. Los techos se construyen con material galvanizado liso y, en las unidades de diseño más reciente, son autosoportados (sin cerchas internas).

En Norteamérica son muy populares los silos metálicos de fondo plano, aún en plantas de capacidad importante. El costo se disminuye apreciablemente al eliminar la tolva y su estructura, y pueden construirse de capacidad mucho mayor, al reducir las solicitaciones estructurales a simple tracción y desgarramiento, sin los esfuerzos de flexión de toda tolva colgada.

La descarga de los silos planos se efectúa por acción de la gravedad, por medio de un orificio central que alimenta un transportador evacuador. La remoción del grano que no fluye solo, se hace mediante paleado manual o con la ayuda de un sinfín barredor giratorio. La instalación de sistemas de aireación en estos silos es muy sencilla, aún en silos de gran tamaño, para los cuales se construyen pequeñas regatas en el piso, que se recubren con láminas perforadas (Fig. No. 8.7). Los pisos deben ser impermeables al paso de vapor o agua capilar, como se recomendó para los pisos de las bodegas. La "junta" entre la pared y el piso debe construirse con especial cuidado para evitar filtraciones.

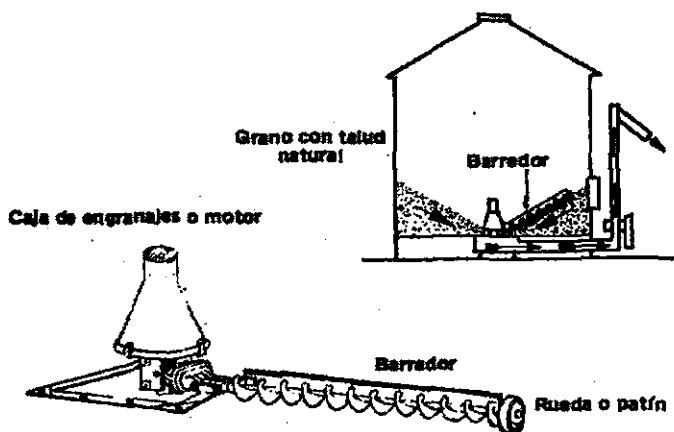


Fig. No. 8.7- Sinfín barredor para silos de fondo plano

Cuando sea necesario llenar y vaciar con frecuencia los silos, es conveniente equiparlos con un fondo cónico que

permita su descarga total en forma automática. El cono puede construirse colgado, sobre el nivel del piso, o enterrado, generalmente con un relleno de mampostería (siempre y cuando el nivel freático lo permita).

El enclaje del silo con su cimentación debe tener suficiente capacidad para resistir, además de las cargas normales de trabajo, el efecto del viento (especialmente cuando el silo está vacío).

Todas las aberturas del silo (salidas de aire, entradas de ventiladores, etc.) deben protegerse con malla fina para evitar la entrada de insectos, malla 24 "mesh" en zonas normales y 32 "mesh" en sitios difíciles.

Silos de concreto: Si bien la construcción de silos de concreto es más costosa que la de los silos metálicos, su vida útil es, generalmente, mayor y sus costos de mantenimiento inferiores. Las grandes plantas, con silos de 25 ó 30 metros de altura y más de 1.000 toneladas de capacidad unitaria, se construyen con formaletas deslizantes que permiten "fundir" en forma continua toda la estructura, de tal manera que se reducen los costos y se evitan las "juntas de construcción" de impermeabilización difícil.

Conviene tener presente que el concreto no es un material completamente "inerte" durante su vida útil; tiende a fluir bajo carga y puede "moverse" como resultado de asentamientos de su cimentación. Una planta de concreto que hoy es impermeable, no necesariamente lo será siempre, es posible que aparezcan pequeñas grietas, de poca importancia estructural, pero que permiten la entrada de humedad, puede también suceder que el ajuste entre las paredes y la losa de cubierta se modifique y sea necesario realizar reparaciones e impermeabilizaciones con alguna frecuencia.

Almacenamiento hermético: Con el almacenaje hermético de los granos se busca la formación de una atmósfera pobre en oxígeno que limite el desarrollo de los insectos y elimine, o reduzca, la necesidad de utilizar productos químicos.

En una población normal de insectos, que tiene individuos en todas las etapas de desarrollo, la mayor parte de los insectos inmaduros muere cuando el contenido de oxígeno se reduce aproximadamente 48%; los insectos adultos que sobreviven en estas atmósferas pobres, mueren de modo natural al completar su ciclo vital.⁽²⁾

Oxley y Wickenden encontraron que en recipientes herméticos con poblaciones reducidas de insectos —13 adultos *Sitophilus* por kg— el contenido de oxígeno se reduce a un nivel letal (menos de 4%) en 3 semanas; si la población es diez veces mayor el nivel letal se alcanza en sólo 4 días.⁽³⁾

En la mayor parte de las construcciones comerciales consideradas herméticas, se tienen pequeños escapes de anhídrido carbónico y entradas de oxígeno. Burrel⁽⁴⁾, encontró que si la entrada de oxígeno puede reducirse a 1.5% —por volumen— por día, se puede lograr un control efectivo de insectos.

Es preferible, por sencillez y economía, que el oxígeno sea eliminado por la misma respiración de los granos e insectos. Si el tiempo de agotamiento normal del oxígeno se considera demasiado largo, resulta conveniente reducir artificialmente la concentración de oxígeno.

Depósitos herméticos de Chipre y Kenia: Oxley y Waller diseñaron en 1951 los silos herméticos ilustrados en la figura No. 8.8. Las primeras experiencias, realizadas en Chipre en 1956, indujeron al Gobierno de Kenia, 10 años más tarde, a iniciar un proyecto ambicioso: 70 silos, con capacidad total para establecer reservas de emergencia de 100.000 toneladas de grano, con que atender las necesidades de los años de sequía.

Los silos se construyeron en concreto impermeabilizado (material que como se mencionó requiere inspección y mantenimiento constante). El cono de descarga, con pendiente de 30°, se apoya directamente en la tierra, el vaciado se realiza con transportador. La cubierta es un arco de catenaria invertida, que, en consecuencia, está sometido únicamente a esfuer-

zos de compresión que permiten el diseño de una "cáscara" muy delgada (5-10 cm.) que sufre muy pocas fisuras al no estar sometida a esfuerzos de tensión. Los silos de Kenia han operado con buenos resultados; se han hecho almacenajes hasta de 3 años, pasados los cuales, si no se han consumido las reservas se procede a renovarlas.

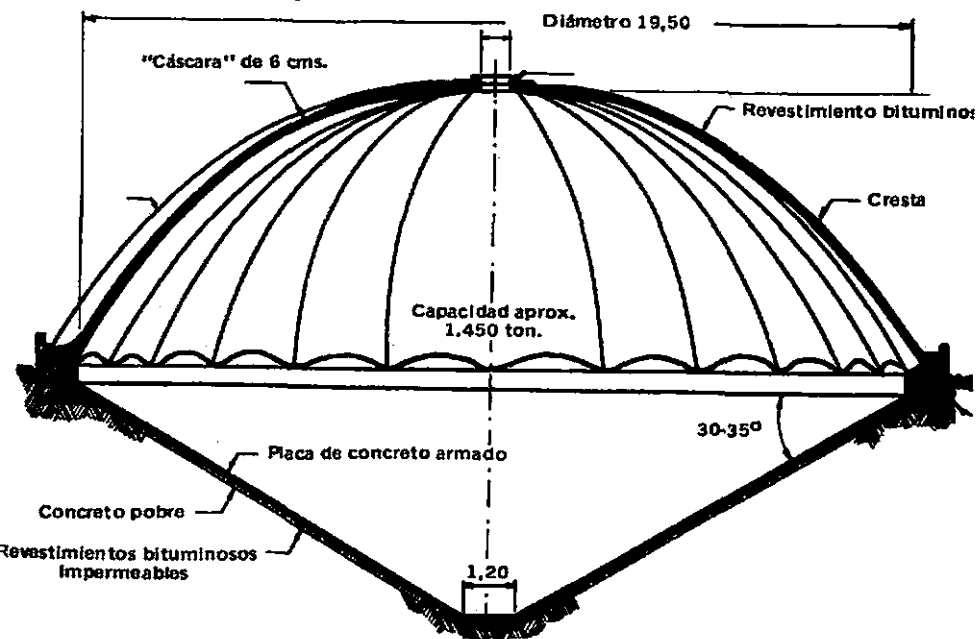


Fig. No. 8.8- Silos herméticos tipo Chipre

Silos herméticos en Argentina: Durante la II Gerra Mundial, la dislocación del comercio regular obligó al Gobierno argentino a almacenar enormes cantidades de granos excedentes (más de 1 millón de toneladas), en silos herméticos semisubterráneos, diseñados y construidos expresamente para atender la emergencia.

El diseño inicial de los silos incluía un revestimiento de cemento y tierra, con una membrana alquitranada impermeable como cubierta provisional (Fig. No. 8.9), membrana que posteriormente fue reemplazada por bóvedas permanentes (Fig. No. 8.10). El cargue y descargue de los silos se realizaba con sistemas neumáticos y transportadores telescópicos (Fig. No. 8.11).

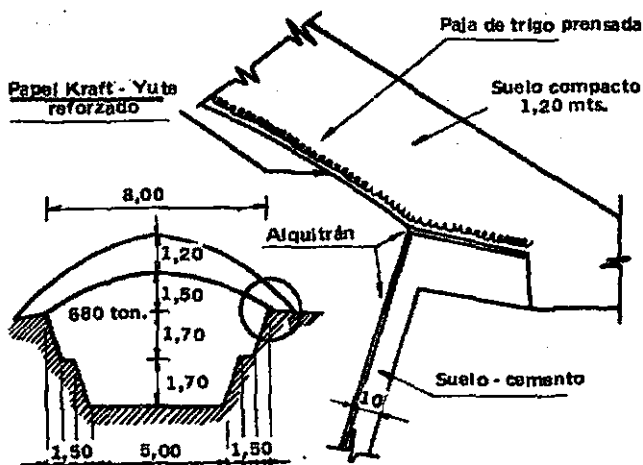


Fig. No. 8.9- Silos herméticos tradicionales

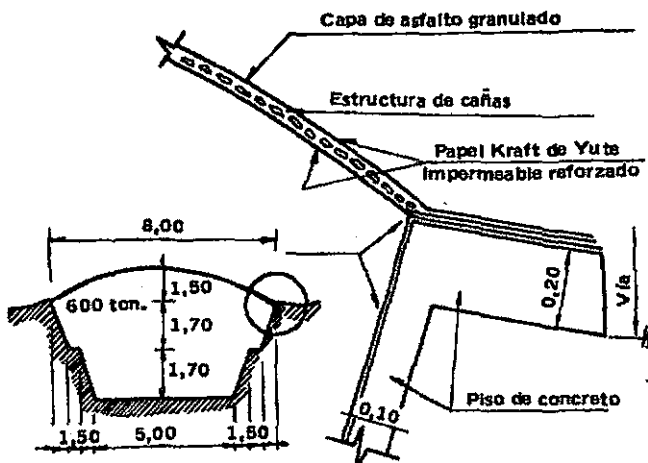


Fig. No. 8.10- Silos modernos herméticos

La experiencia demostró que se puede mantener grano en adecuadas condiciones durante períodos de 3 ó más años —un silo testigo se mantuvo cargado durante 13 años— si la humedad inicial es baja (menos de 12%) y se mantiene un nivel de oxígeno de 3% ó 4%.

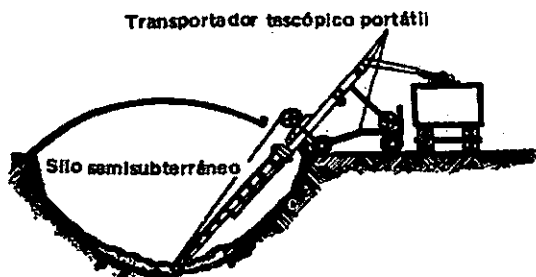


Fig. No. 8.11- Descarga mecánica de silo subterráneo

Explosiones de polvo: Los efectos de una explosión de polvo pueden ser peores que los de una de gas, pues, en las plantas de granos, el polvo se encuentra distribuido en todas partes y son mayores la duración y presión de la explosión.

Para que se presente una explosión se debe tener simultáneamente combustible, oxígeno y energía de ignición. La violencia de la explosión depende principalmente de las siguientes condiciones: Tipo de polvo, concentración en el aire, tamaño de las partículas, tipo de ignición, humedad, concentración de oxígeno, y sitio de origen de la explosión con relación a los desfogues.

Prevención de explosiones: Debe empezarse por eliminar las condiciones que permitan la formación de una mezcla explosiva y las posibles fuentes de ignición, por medio de limpieza permanente de las instalaciones, reparación inmediata de los daños en los equipos de control de polvo, instalación a la intemperie de los filtros y ciclones colectores de polvo.

En los silos y tanques de almacenaje de granos, se debe tener manera de permitir el desplazamiento del aire que produce su llenado o vaciado; el tamaño del desfogue debe ser adecuado para la máxima velocidad de carga. Puede asumirse, para los cálculos, que cada 25 toneladas por hora de grano, desplazan 0.7 m^3 por minuto. Si se encuentra que es necesario instalar un ducto para la salida del aire, debe ser preferiblemente vertical, o con una inclinación con la vertical de máximo 30° .⁽⁵⁾

Los elevadores de cangilones, en los cuales se originan la mayor parte de las explosiones, deben tener la máxima área de desfogue posible, en la cubierta. Los transportadores de sinfín deben ser totalmente cerrados, para evitar escapes de polvo, y tener compuertas de apertura libre en la descarga, para evitar compactación y calentamiento en caso de atascos. Los transportadores de banda deben disponer de un espacio libre mínimo de 15 cms., debajo de los rodillos de retorno, para permitir la limpieza. Las tuberías de descarga deben ser selladas, y reparadas inmediatamente en caso de deterioro. En la figura No. 8.12 se indican algunas posiciones adecuadas para la instalación de desfogues en silos y transportadores. (6)

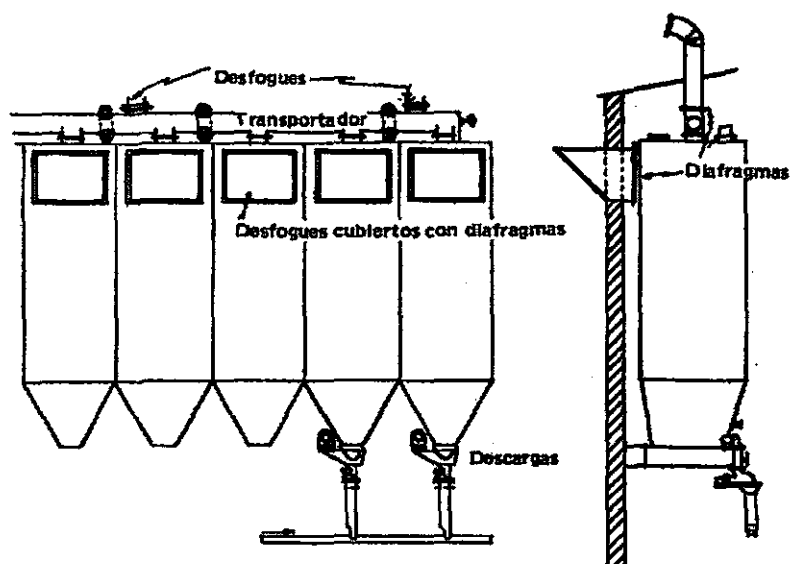


Fig. No. 8.12- Desfogues para explosiones de polvo en silos y equipos

Las fuentes de ignición se pueden reducir con la instalación de imanes permanentes en las tolvas de recepción y en otros sitios donde puedan llegar piezas metálicas, tornillos, tuercas, etc., sueltas, con el fin de retirar los materiales que puedan provocar chispas. Se debe evitar la sobrecarga de los elevadores y transportadores que puede provocar calenta-

miento de los motores y desprendimiento de cubetas. La correcta instalación de estas últimas es muy importante pues una cubeta suelta ha sido la causa de muchas explosiones trágicas. Cuando se presente el atasco de un elevador no se debe insistir en ponerlo en marcha nuevamente con arranques sucesivos del motor, pues las cubetas pueden desprenderse, es mejor desatascar el elevador por las compuertas inferiores, antes de intentar su arranque nuevamente. Por último, en toda instalación donde se maneje grano debe prohibirse totalmente fumar.

Soldaduras y explosiones: Se trata el tema de las soldaduras por separado para insistir en el riesgo de realizarlas sin precauciones. Para adelantar cualquier tipo de soldadura debe tenerse, como mínimo, las siguientes precauciones: Todo trabajo de soldadura, o de corte con acetileno, debe requerir autorización escrita del superintendente de planta. Antes de iniciar los trabajos es necesario desconectar toda la maquinaria cercana, limpiar totalmente el área circundante, remover o cubrir los materiales combustibles cercanos, aislar el área para evitar la entrada de polvo. El trabajo sólo se podrá iniciar después que el polvo de las máquinas en movimiento se haya decantado. En los pisos perforados, infortunadamente utilizados en algunas plantas Colombianas, es necesario cubrir el área vecina al sitio de trabajo con material incombustible. Después de terminar el trabajo, y antes de reiniciar el movimiento de los granos, debe hacerse una inspección muy cuidadosa, pues puede suceder que alguna chispa produzca un pequeño rescoldo difícil de observar.

La iluminación en las plantas de silos debe ser adecuada para los trabajos normales de mantenimiento y limpieza; todas las lámparas utilizadas deben ser de "seguridad". conviene conectar la red eléctrica a una conexión de tierra general, para evitar descargas de electricidad estática.

Por último, es necesario programar y desarrollar un buen sistema de mantenimiento que incluya alineación de correas de transmisión, revisión de rodamientos, etc.

DISMINUCION DE LOS DAÑOS QUE PUEDE CAUSAR UNA EXPLOSION

En los diseños estructurales y arquitectónicos debe estudiarse la localización de desfogues que permitan disipar, así sea parcialmente, la fuerza de la explosión, y evitar daños mayores en la estructura y equipos. Durante el desarrollo de toda explosión se presenta un aumento de presión, que se incrementa con cualquier demora en la apertura, o rotura, de desfogues. La demora en la apertura de desfogues diseñados, puede deberse a la presión requerida para abrirlo, o a alta inercia de diseño inadecuado. Para que los desfogues cumplan su función de disipar la mayor cantidad posible de la presión que genera una explosión, deben diseñarse en la forma más liviana posible. Obviamente un desfogue libre permite la mayor disipación de energía y su eficacia disminuye con los cerramientos que se le coloquen, ya sean éstos de papel, plástico, diafragmas, paneles articulados, etc. Pueden utilizarse como desfogues elementos del diseño arquitectónico como ventanas con bisagras, celosías y cerramientos hechos con materiales muy livianos.

El área de desfogue necesaria depende de la intensidad que se espera de la explosión y de la resistencia de los cerramientos. En general se recomienda proveer un m^2 de desfogue por cada $10 m^3$ de volumen. Los desfogues deben ubicarse en sitios cercanos a los de posibles explosiones (focos de polvo, centro de elevadores . . .) y de tal manera que su apertura no cause daños adicionales.

Medidas de emergencia y evacuación: En toda planta donde se manejen granos se debe disponer de extintores de fuego localizados cerca a los sitios de mayor riesgo. Cada tipo de fuego exige un extintor adecuado; el uso de elementos inadecuados puede causar mayores daños y aun propagar el fuego. Los extintores de bióxido de carbono son apropiados para controlar incendios de combustibles líquidos: gasolina, aceites, pinturas, o fuego en equipo eléctrico donde es importante que la sustancia extintora no conduzca la corriente y no deje residuos. Los extintores de Polvo Químico Seco (PQS)

son adecuados para propósito general, en líquidos o equipo eléctrico, pero debe tenerse en cuenta que dejan residuos.

No se debe usar agua para controlar incendios de líquidos pues su acción desparrama el fuego; en incendios de equipos eléctricos el agua conduce la electricidad a causar accidentes adicionales.

Es conveniente, en plantas de silos grandes, planear en forma detallada la evacuación del personal y el procedimiento general en caso de incendio: Desconexión de sistemas eléctricos, aviso a los bomberos, accionamiento de sirenas, etc.

En sitio seguro cercano a la planta, se debe tener disponible un juego completo de planos arquitectónicos, estructurales y eléctricos que permita a los bomberos localizar rápidamente los apagadores principales, las rutas de escape, zonas de almacenaje de fumigantes, etc. Se debe, además, mantener al día información sobre los silos fumigados que pueden exigir el uso de máscaras.

Accidentes en silos: La mayoría de los accidentes que se presentan en los silos ocurre por una de las siguientes razones: *falta de oxígeno, caídas, intoxicación con fumigantes, enterramiento en granos, equipo de rescate inapropiado, falta de entrenamiento del personal, violación de las reglas de seguridad y apertura de descarga de compuertas de descarga sin aviso previo.*

Dentro de lo posible debe evitarse la entrada de personal a los silos; los atascos que se presenten pueden solucionarse con cadenas, vibradores, golpes en las tolvas con mazos de caucho, etc. Si es indispensable entrar en el silo, éste debe ventilarse con el equipo de aireación durante 20 ó 30 minutos; el operario debe usar arnés de seguridad provisto de línea de comunicación, o equipo inalámbrico. Nunca se debe intentar penetrar sólo en un silo, debe contarse con la asistencia y ayuda de otras personas.

Aireación: La aireación propiamente dicha, es un procedimiento utilizado ampliamente en los países con estaciones

para enfriar el grano y facilitar su conservación. Se busca igualar la temperatura de los granos para prevenir migraciones de humedad y reducir la actividad biológica de hongos e insectos. En ocasiones se ha utilizado también la aireación con éxito para conservar grano húmedo en buenas condiciones, durante algunos días antes de secarlo.

En climas tropicales, húmedos y calientes, la utilización de la aireación se reduce y debe hacerse con cuidado para evitar humedecer y acelerar el deterioro del grano.

En climas húmedos pero fríos, como la Sabana de Bogotá es posible airear granos relativamente secos sin que se presente humedecimiento, como lo comprobaron Valencia y Teter.⁽⁷⁾ En su experimento se aireó maíz con 13.8% de humedad y 16°C, con aire de 100% de humedad relativa y temperatura promedio de 8°C, en forma diaria entre las 9 de la noche y las 5 de la mañana, durante 90 días. Al final del primer mes la humedad se redujo a 13.7%, a 13.6% el segundo mes y 13.45% el tercer mes, mientras la temperatura final del grano se redujo a 13.7°C.

La pequeña reducción de humedad del ensayo anterior se comprende al verificar en la figura No. 8.13, que la presión de vapor del maíz en las condiciones anotadas, es mayor que la del aire utilizado para la aireación y en consecuencia se tiene un flujo de humedad del grano al aire.

Con los procedimientos de aireación modernos se busca reemplazar los "trasiegos" —movilizaciones de grano de un silo a otro— y evitar el deterioro de grano y consumo de energía que causan. El tiempo necesario para enfriar completamente un depósito de grano (es decir que el grano alcance la temperatura del aire), depende de la rata de aire utilizada, de la uniformidad del flujo y del tiempo disponible diariamente. Con la rata de aire de 1/10 CFM/Bushell (0.11 M³/min/ton) que se utiliza en la mayoría de los casos, se necesita entre 120 y 160 horas para enfriar un silo con grano hasta la temperatura ambiente. En forma independiente del volumen de aire que se utilice, el grano siempre se enfría por zonas. En la figura

No. 8.14 se aprecia la forma como se establece un "frente" de enfriamiento que avanza en el mismo sentido del flujo de aire.

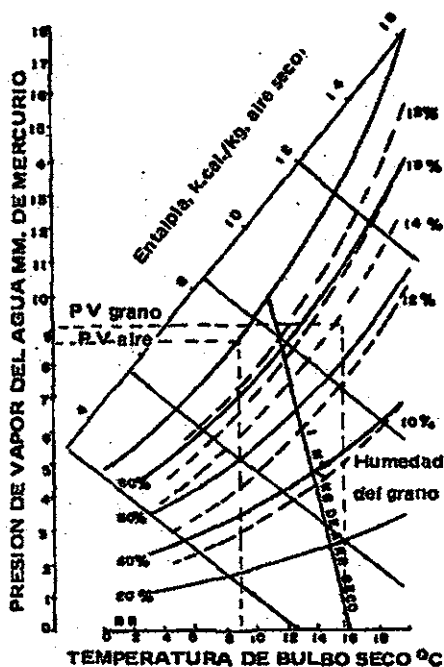


Fig. No. 8.13- Humedades de equilibrio para maíz amarillo duro a 2.600 mmHg.

Para diseñar un sistema de aireación que distribuya el aire adecuadamente en una masa de grano, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos principales:

— La velocidad del aire en ductos horizontales no debe ser superior a 2.000 pies por minuto (609 mts/min) o a 1.500 pies/min (457 mts/min) si su longitud es superior a 25 pies (7.6 mts). En ductos verticales puede utilizarse una velocidad constante de 2.000 pies/min. La longitud total de cada ducto,

dentro de lo posible, no debería ser superior a 18 ó 20 mts. La separación entre ductos, con grano seco, debería ser tal que la trayectoria más larga del aire a través del grano, no fuese mayor que 1.5 veces la trayectoria más corta.*

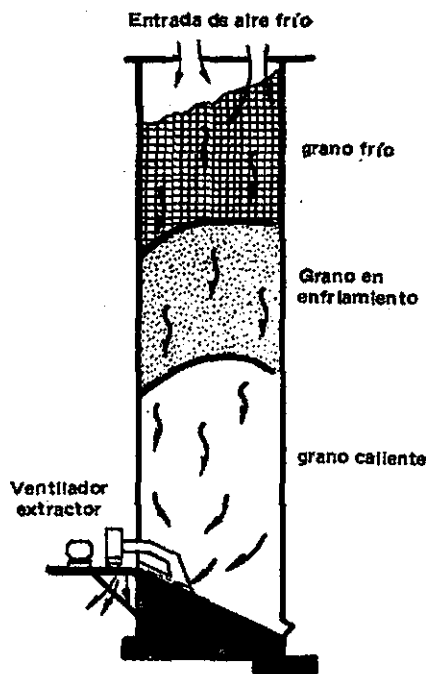


Fig. No. 8.14- Proceso de enfriamiento con aireación

La velocidad de entrada del aire al grano debe ser de 30 a 50 pies/min (9 a 15 mts/min), mayores velocidades exigen presiones muy elevadas y desproporcionado aumento de la potencia necesaria.

* Nota: Se utilizan unidades inglesas pues en ellas se encuentran la mayoría de las tablas y gráficos disponibles sobre conducción de aire.

La mayoría de los sistemas de aireación para grano seco succionan el aire por debajo del grano, de tal manera que el aire de salida, caliente y húmedo, se descargue por entre grano que se encuentra todavía caliente, para evitar la condensación de humedad que se produciría si entrara en contacto con el aire y las superficies frías de la parte superior.

Aireación cruzada: En silos verticales (Fig. No. 8.15) la instalación de sistemas de aireación cruzada, permite utilizar ratas de aire varias veces mayores que las utilizadas en los sistemas de aireación verticales, con el mismo consumo de potencia. Su instalación es más costosa, pero su mayor eficiencia hace que se utilice con frecuencia, especialmente en sistemas de secado-aireación de maíz.

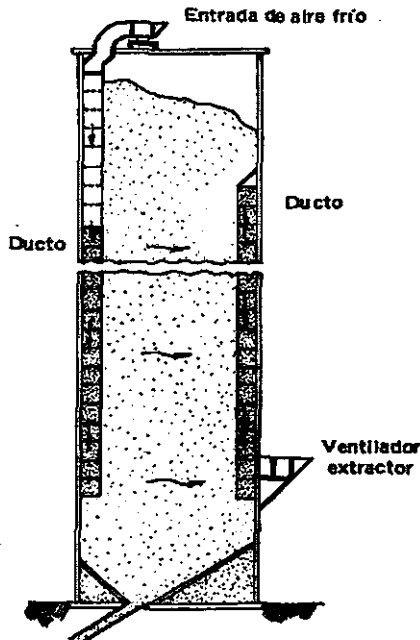


Fig. No. 8.15- Sistema de aireación de flujo cruzado

REFERENCIAS

- (1) MINISTERIO DE AGRICULTURA, Informe estadístico sobre la capacidad instalada en Colombia, para el almacenamiento de productos agrícolas, Bogotá, Julio 1980.
- (2) HYDE, BAKER, ROSS, LOPEZ, El almacenamiento hermético de los cereales, FAO, Roma, 1974.
- (3) OXLEY, WICKENDEN, The effect of restricted air supply on some insects which infest grain, Ann Appl Biol, USA, 1963, pp. 314-324.
- (4) BURREL, 1968, citado por Hyde y colaboradores, FAO, 1974.
- (5) NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA), Grain elevators bulk handling facilities, Boston, 1973.
- (6) NFPA, Explosion venting, Boston, 1974, section 68-34.
- (7) VALENCIA, TETER. N, Ensayo de aireación nocturna de maíz en la Sabana de Bogotá, separata Revista ICA, Vol. VI, No. 1, Marzo 1971.

CAPITULO IX

FACTORES VARIABLES QUE AFECTAN LA FUMIGACION DE LOS GRANOS

Por: *LUIS JOSE LIZARAZO*

Dentro de los tratamientos a los granos almacenados, la fumigación es uno de los procesos de más frecuente uso como medio curativo, para controlar el ataque de los insectos. Sin embargo, la aplicación de dosis generalizadas para todos los granos, lugares, instalaciones y tipo de insectos la están convirtiendo no sólo en elemento inútil de control, sino en un proceso peligroso para las personas y animales que consuman estos productos.

Alguien dijo en Colombia hace más de 15 años, que la dosificación de Bromuro de Metilo era de 1 libra por 28 M³, y esta dosificación se continúa aplicando indiscriminadamente. En los libros sobre el tema se indican los factores que deben tenerse en cuenta, pero nadie los cuantifica o establece una metodología para hacerlo.

El efecto de factores tales como: el diferente grado de sorción de cada grano, el contenido de impurezas, los materiales de construcción de las instalaciones de almacenamiento, el tiempo de almacenamiento, la temperatura y humedad del grano almacenado, el estado de desarrollo de los insectos y el sistema de aplicación del fumigante —entre otros—, hacen que las dosis deban ser ajustadas para cada caso en particular, o de lo contrario se corre el riesgo de que el tratamiento no surta el efecto deseado, y antes por el contrario se convierta en un elemento antiproducente, tanto desde el punto de vista de control como de costo.

Es notorio el incremento del consumo de fumigantes en los centros de almacenamiento, y sin embargo, no se puede decir que el porcentaje de ataque y daños causados por los insectos haya disminuido. Esta situación se puede atribuir, sin peligro de mayores equívocos, al hecho de aplicar la misma dosis indiscriminadamente en todos los casos, con lo cual lo único que se ha logrado es crear resistencias inherentes en los insectos, hacer cada vez más difícil su control, aumentar el número de aplicaciones, dejar residuos venenosos, manchar los granos, hacerles perder su poder germinativo e incrementar el costo de almacenamiento.

Se han consultado las obras preparadas sobre la materia, por la Universidad del Estado de Kansas⁽¹⁾, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO⁽²⁾, y las experiencias personales en Centro y Sur América.

RELACIONES CON LAS INSTALACIONES DE ALMACENAMIENTO

Materiales de construcción: Se debe tener en cuenta que los materiales usados en la construcción de los almacenes —silos o bodegas— son un factor importante en la elección del tipo de fumigante, la dosis a aplicar y el tiempo de exposición; (período que debe permanecer el producto en contacto con el fumigante).

Silos metálicos: Cuando sus láminas han sido adecuadamente selladas, el cuerpo del cilindro unido en forma adecuada con el cono o tapa superior, la base del silo debidamente asentada y sellada sobre el piso, las puertas, las ventanillas de inspección y la boca o ducto de descarga con sus correspondientes empaques y tapaderas, se considera que estas instalaciones son bastante herméticas y por consiguiente permiten alcanzar la concentración adecuada durante el tiempo necesario para eliminar los insectos. Además, la lámina metálica por ser un material con bajo coeficiente de sorción permite aplicar la dosis mínima letal requerida para matar los insectos.

Silos de concreto: Son porosos, frecuentemente bastante rugosos y ásperos —en sus superficies interiores— facilitando la retención de polvo y residuos de granos, que sirven de madrigueras a los insectos. Aún cuando son bastante herméticos tienen un alto coeficiente de sorción —retención total de gas— que obligan a considerar una dosificación mayor a la mínima letal requerida. Dependiendo del tipo de fumigante —unos tienden a ser más altamente sorbidos que otros— se puede considerar que en un período de exposición de 6 horas, el descenso de la concentración es en el menor de los casos de aproximadamente 10%, cantidad ésta que se debe tener en cuenta para hacer el ajuste correspondiente a la dosificación.

Silos de madera: Son notoriamente inadecuados, sus rajaduras y hendiduras permiten el escape de los fumigantes y tienen un alto coeficiente de sorción. Cuando se trate de fumigar granos almacenados en este tipo de instalación, deben cubrirse con carpas, y la dosificación se debe calcular sobre el volumen que cubre la carpa y no sobre el volumen del silo.

Altura de la instalación: La altura del silo, bodega o estiba, es un factor muy importante a tener en cuenta, por cuanto influye en el tipo de fumigante que debe ser seleccionado, el método de aplicación, la dosificación y las acciones o cuidados para lograr una distribución uniforme del gas y por consiguiente una mezcla apropiada con el aire durante el período de exposición.

Algunos fumigantes muy densos, penetran rápidamente hasta el fondo del silo, bodega o estiba, presentándose una especie de sedimentación o estratificación, y dejando —en las partes superiores— zonas sin la suficiente concentración para eliminar los insectos que allí habitan. Esta situación se da con frecuencia cuando se fumigan por simple gravedad, instalaciones de poca altura y no se toman precauciones para distribuir el gas y lograr una mezcla adecuada debajo de la carpa o dentro de la bodega o silo; se puede —en parte— atribuir a esta razón el fracaso de la mayoría de las fumigaciones. Para estos casos es recomendable usar fumigantes poco densos —la densidad de los gases es proporcional a su peso molecular—

debiéndose tener la precaución de distribuir adecuadamente las bocas de aplicación para alcanzar una buena difusión. Si no se dispone de gases de bajo peso molecular, se recomienda operar el sistema de aireación de los silos rápidamente —suctionando o impulsando el aire para hacer subir el fumigante a la parte superior— o colocar un pequeño ventilador debajo de la carpa para hacer recircular el fumigante y lograr una mezcla apropiada con el aire.

Para lograr que el fumigante penetre en silos con altura superior a los seis (6) metros, se necesitan medios adecuados tales como: recirculación o aplicación forzada. Se debe tener presente, que los fumigantes con alta densidad se difunden muy lentamente —la difusión es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad—, por lo que, al hacer una aplicación de fumigantes debe recordarse que la lentitud en la difusión hace que la sorción —debido a que este es un proceso gradual—, no permita obtener una concentración adecuada durante el tiempo de exposición. En estos casos es conveniente incrementar la dosis mínima letal requerida en un 25%.

Relación entre alto y ancho: La relación existente entre el alto y ancho de una instalación o depósitos es importante para la elección del fumigante, principalmente en lo relacionado con la difusión del mismo.

En general, una superficie muy amplia, en relación con el volumen total, presenta mayores dificultades para la fumigación. Esto se debe a varias razones: primero, porque los insectos frecuentemente se concentran en la parte superior del producto; segundo, porque los cambios de temperatura y movimientos de aire afectan especialmente la superficie de los granos; y tercero, porque algunos fumigantes no se difunden sobre una superficie muy amplia como para matar todos los insectos que viven en esta zona. En estos casos, se recomienda aplicar fumigantes de bajo peso molecular, colocar varias bocas para la distribución del gas —cada boca tiene un radio de difusión de 3 mts.— elegir días de temperatura elevada, y agitar el gas mediante ventiladores.

Disponibilidad de equipos para transilar y airear: Cuando las posibilidades para transilar el grano son aprovechadas, el asentamiento del grano puede ser disminuido, y las colonias de insectos y escondites formados por los altos contenidos de impurezas, rotos. En estos casos, fumigantes sólidos o líquidos para incorporar a la corriente de grano, tales como el Fostoxin o el cianuro de calcio pueden ser usados con buenos resultados.

Debido a que, normalmente, este tipo de fumigantes tienen un punto de ebullición elevado, tienden a ser altamente sorbidos por lo que su dosificación en estos casos debe ser incrementada en por lo menos 10%.

Cuando se dispone de facilidades de aireación, esta se utiliza además para la aplicación de los fumigantes. Los vapores de los fumigantes pueden ser recirculados varias veces a través de la masa de grano o simplemente forzados de un extremo al otro del silo. También las posibilidades de aireación permiten la pronta extracción del fumigante —después de la exposición necesaria— para prevenir daños en la germinación y reducir los residuos de los insecticidas. Cuando se emplea la recirculación, el tiempo de exposición debe ser corto —12 a 24 horas—. Es conveniente tener presente que las paredes de los silos deben ser suficientemente herméticas, porque de lo contrario, éstas no soportan la presión del aire generado por el ventilador y ocasiona escapes. Cuando se hace una aplicación forzada utilizando el sistema de aireación —bien sea para hacer ascender o descender el fumigante y lograr su penetración— se debe tener en cuenta que este sistema canaliza el fumigante evitando una adecuada distribución del gas, aumenta las fugas de gas, e incrementa la sorción, por lo que se recomienda en estos casos aumentar la dosis en un 25%.

RELACIONADOS CON LAS CARACTERISTICAS DE LOS GRANOS

Según su tamaño, forma y cubiertas exteriores: Las diversas clases de granos, tales como: el maíz, arroz, sorgo, difie-

ren unos de otros en el tamaño del grano, forma y estructura de sus envolturas. Los granos pueden ser grandes o pequeños, alargados o redondos, rugosos o lisos, y sus envolturas pueden ser impermeables o porosas, gruesas o delgadas, cerosas o con cualquier otra característica distinguible.

Estas características tienen relación con la capacidad de los granos para compactarse dentro de los silos y por consiguiente acelerar o retardar el movimiento de los fumigantes a través de la masa de granos. También estas características tienen una relación importante con la clase y extensión de la sorción y desorción de los gases. Las dosis calculadas generalmente son para los cereales principales (trigo, cebada), para sorgo, maíz o arroz en cáscara la dosis se debe multiplicar por 1.5 veces.

Volumen de grano a tratar: El volumen de grano a tratar afecta las prácticas de fumigación y sus resultados. Las fluctuaciones de temperatura en las grandes masas se suceden más lentamente y dentro de márgenes más estrechos que cuando se trata de pequeños volúmenes; además la concentración tóxica de los vapores es alcanzada más fácilmente en las grandes masas debido a la menor disponibilidad de aire dentro del silo. Esto no es generalmente aceptado por los fumigadores, pero la experiencia indica que pequeños lotes requieren 20% más de fumigante por cada metro cúbico que cuando se trata de fumigar grandes cantidades de granos. Esto puede no ser indicado en el membrete de los fumigantes, pero probablemente esta puede ser la razón del fracaso de muchas fumigaciones a nivel de pequeños productores.

Asentamiento o compactación: El grado de compactación es un factor que afecta en gran medida las técnicas de fumigación. Considerables variaciones en el grado de compactación o asentamiento se presentan en los diferentes granos; en el maíz, la máxima compactación es sólo del 5% aproximadamente y en el arroz paddy puede llegar hasta un 8%. El grado de compactación depende de varios factores tales como: el tiempo o período que el producto dure almacenado sin moverse, la altura del silo y la proximidad a elementos que sacudan o agiten el silo tales como la cercanía a líneas

férrreas, o vías de intenso tránsito. Además, las poblaciones de insectos contribuyen a la compactación por cuanto ellas son focos de calentamiento, de concentración de humedad y formación de residuos que hacen que se generen masas o bolsas compactas de granos.

Para contrarrestar este efecto y lograr una adecuada penetración y difusión del fumigante, se recomienda incrementar la dosificación en un 10% para estos casos.

Contenido de materias extrañas e impurezas: Las poblaciones grandes de insectos normalmente son asociadas con grandes cantidades de impurezas, polvo, excrementos, granos picados y subproductos sobre los granos. También los insectos muertos y las escamas son una forma de impurezas.

El contenido de impurezas es una variable muy importante para la fumigación. Estas hacen a los fumigantes menos efectivos porque empobrecen la penetración, incrementan la sorción y canalizan los vapores dentro de los silos. También las impurezas favorecen el desarrollo e incrementan las poblaciones de insectos y proveen alguna protección contra los fumigantes. Esto puede ayudar a los insectos a soportar severas exposiciones a los fumigantes, por lo que se recomienda incrementar la dosificación en un 5% por cada 1% por sobre la base de 1%, cuando se trate de fumigar granos con contenidos de impurezas que sobrepasen el 1%.

Contenido de humedad: Cuando el contenido de humedad del grano sobrepase el 12%, la efectividad del fumigante decrece y los daños causados por el fumigante sobre el poder germinativo aumentan.

Las razones por las cuales la efectividad de los fumigantes disminuye ante contenidos elevados de humedad en el grano se deben a que el grado de sorción se aumenta, la penetración decrece y los vapores se canalizan alrededor de las bolsas de granos húmedos. Es decir que los altos contenidos de humedad en el grano incrementan, indirectamente, la resistencia de los insectos a los fumigantes, por lo que en estos casos la

dosificación se debe ajustar en un 25%, cuando el contenido de humedad no supera el 15% y en aquellos casos en los que el contenido de humedad sea superior a 15%, se tendrá que aplicar una dosis superior en 50% a la mínima letal requerida.

Temperatura del grano: Las temperaturas de los granos por sobre las cuales los fumigantes pueden vaporizarse fácilmente están aproximadamente entre 21°C a 25°C, de ahí en adelante ésta no representa variaciones especiales. Sin embargo, temperaturas bajas hacen decrecer marcadamente la efectividad de la fumigación para la mayoría de los fumigantes.

Las altas temperaturas hacen incrementar la rata de difusión de los gases y decrecer la rata de sorción. Por el contrario, las bajas temperaturas incrementan la rata de sorción, y decrecen la de difusión. A la vez, teóricamente por lo menos, las altas temperaturas activan a los insectos y esta actividad facilita la acción de los fumigantes.

Cuando la temperatura se encuentre entre los siguientes rangos, la dosificación mínima recomendada debe ser ajustada, de acuerdo con la siguiente tabla:

10° a 15°C	Multiplicar la dosis por 1.50
16° a 20°C	Multiplicar la dosis por 1.25
20° a 25°C	Multiplicar la dosis por 1.00
+ de 25°C	Multiplicar la dosis por 0.75

RELACIONADOS CON LOS INSECTOS

Resistencia inherente de algunas especies: Existen varios grados de resistencia a los fumigantes inherentes a las diversas especies de insectos.

Si se comparan dos especies, puede ocurrir que la especie A requiera mayor cantidad de Bromuro de metilo para matar los insectos que la especie B. También existen rangos de resistencia y susceptibilidad a un determinado fumigante dentro de una misma especie de insectos. Esta situación es la misma

que le puede ocurrir a dos personas frente a una medicina, así por ejemplo, un hombre puede tomar una docena de aspirinas en un día, con resultados benéficos, mientras que para otro sólo una aspirina puede ser tóxica que lo haga ir al hospital. Estos rangos de resistencia y susceptibilidad entre especies de insectos y dentro de la misma especie de insectos y dentro de la misma especie es la razón por la cual existe una gran dificultad para matar hasta el último de los insectos durante una fumigación. Una libra de fumigante por cada 28 metros cúbicos puede matar el 98% de una población de insectos. Sin embargo, para conseguir matar el último 2% se puede requerir una dosificación adicional de 2 a 3 libras para los mismos 28 mts³. De ahí, la importancia de realizar inspecciones después de cada tratamiento para determinar el grado de efectividad y poder hacer los ajustes del caso en la dosificación o proceder a cambiar el tipo de fumigante.

Debido a que los insectos adquieren estas resistencias, principalmente por la aplicación de dosificaciones subletales o el uso invariable del mismo fumigante, se deja bajo la responsabilidad del fumigador el investigar el factor de ajuste.

Resistencia aparente: Se ha logrado determinar que los géneros *trogoderma* y *tenebroides* demuestran resistencia inherente a los fumigantes que son hidrocarburos halogenados (bromuro de metilo, dibromuro de etileno) por lo que se recomienda duplicar la dosis normal cuando se presentan estos insectos y se utiliza este tipo de fumigante. Pero, algunas de estas resistencias pueden ser aparentes y no inherentes a las características genéticas propias del insecto, y deberse a las condiciones ambientales especiales que se generan como resultado de la actividad propia de los insectos.

Cuando se fumiga dentro de un recipiente vacío, el barrenador pequeño de los granos es muerto con la misma dosis requerida para matar el gorgojo del arroz; pero ya dentro de un silo lleno de grano, se requiere aproximadamente el doble de fumigante para matar el barrenador, debido a que ellos viven dentro de una gran bolsa de harina generada por su propia actividad. Asimismo, el tejido dejado sobre la super-

ficie de los granos por la larva de la polilla de la harina, provee una capa protectora contra los fumigantes.

La anterior situación, pone de presente, la importancia que tiene el identificar previamente el tipo de insecto y conocer sus hábitos de vida para poderlo atacar en forma efectiva.

Etapas de desarrollo: Después de la eclosión de los huevos, los insectos deben pasar a estado de desarrollo larval en donde se suceden una serie de situaciones de crecimiento, llamados estados; por ejemplo, los gorgojos de los granos pasan por cuatro mudas y cuatro estados. Cuando la larva completa sus mudas y alcanza el máximo tamaño se transforma en pupa y luego en adulto.

La resistencia del gorgojo del arroz a un fumigante depende del estado del insecto: huevo, larva, pupa o adulto, y de factores tales como: el tipo de fumigante, el tiempo de exposición, la temperatura y humedad del grano.

Cuando el estado de vida del insecto lo hace permanecer dentro del grano, se requiere incrementar en un 25% la dosis de fumigante que se aplicaría si éste viviera fuera del grano. Esto es, principalmente cierto, cuando los insectos se hallan introducidos dentro del endosperma tal como la larva de los gorgojos, o debajo de la cubierta del germen, como es el caso de la larva de la carcoma dentada de los granos.

Tiempo de establecimiento: Ha sido comprobado por algunas personas que los insectos en estado de huevo son más difíciles para ser extinguidos por los fumigantes. Sin embargo, esto puede ser cierto para un fumigante específico, pero para otros, el estado de mayor resistencia es el de la edad media de crecimiento de la larva o pupa.

La resistencia o susceptibilidad de un insecto puede deberse a sus actividades fisiológicas tales como: la tasa respiratoria, —esto es, facilidad para abrir o cerrar los conductos de aire y temporalmente expulsar el fumigante del cuerpo— y a la cantidad y calidad del alimento consumido previamente a la fumigación.

Incrementos en las dosificaciones hasta de un 25% son usualmente requeridos cuando se trata de matar poblaciones grandes de insectos.

Las poblaciones grandes de insectos son evidencia de contenidos elevados de humedad, grandes cantidades de harina, granos quebrados y subproductos.

Se entiende por población grande de insectos cuando aparecen más de 10 adultos vivos en una muestra de 100 gramos de grano.

RELACIONADOS CON LOS FUMIGANTES

Características de las diferentes fórmulas: Es frecuente encontrar en instalaciones de almacenamiento de granos, que un fumigante que se ha usado por varios años con buenos resultados, se constituya finalmente en un fracaso. Qué se debe hacer? Cambiar el fumigante? Hacer mezclas de fumigantes? En todo caso, lo más seguro es que el fumigante se haya aplicado a dosificación constante en todas las situaciones, mientras que ha variado el tipo de grano, la temperatura, el contenido de humedad, el tipo del almacén, la especie y población de insectos, la clase y cantidad de impurezas, etc., variables todas, que pueden ocasionar que fracase una fumigación y que aun cambiando el fumigante o haciendo mezclas no se logre un efecto satisfactorio. Se debe tener presente, que las fórmulas de los fumigantes son estándar, así se trate de un fumigante líquido, sólido o gaseoso y que estas fórmulas son completas en su composición, es decir incluyen ajustes tóxicos o letales debidamente calculados. Por ejemplo, si el fumigante es inflamable o explosivo se le incorpora una sustancia inhibidora, si es altamente tóxico para los animales de sangre caliente se le incluyen sustancias químicas que previenen o alertan su presencia a través del efecto que causan en la nariz o en los ojos; si en estado puro no es suficientemente efectivo, se le incluyen sinérgicos con lo cual se busca incrementar su nivel tóxico. Esto indica que las fórmulas deben encontrarse debidamente balanceadas y que en ningún caso es conveniente hacer mezclas inconsultas de

fumigantes. Lo recomendable es tener en cuenta los diferentes factores que contrarrestan su efectividad, tal como se ha indicado en los capítulos anteriores y que debe rotarse la base química del producto para evitar creación de resistencias inherentes en los insectos.

Métodos de aplicación: Aun cuando existen manuales especializados sobre técnicas de aplicación de fumigantes, en este capítulo se pretende sólo indicar algunos aspectos generales y hacer énfasis sobre aquellos factores que por su importancia durante la aplicación merecen ser tenidos en cuenta.

Los dos métodos estándar de aplicación son: a) penetración por gravedad, y b) distribución forzada utilizando los sistemas de aireación. La penetración por gravedad implica una distribución del fumigante a partir de la superficie superior del grano, su incorporación al producto mediante una sonda o su mezcla con el grano a medida que se llena el depósito.

Algunos técnicos en fumigación, cuando hacen aplicación por gravedad prefieren interrumpir la corriente de grano a intervalos regulares para aplicar el fumigante, y toman la precaución de duplicar la dosis en la primera y última partidas de grano, por ser en estos sitios en donde las grandes concentraciones de insectos usualmente son más frecuentes y los fumigantes se fugan más fácilmente.

La fumigación forzada, de creciente desarrollo, permite una mejor aplicación. Para ello los sistemas de aireación pueden ser usados de dos maneras: a) por impulsión o succión; y b) por recirculación. En el primer método se operan los equipos de aireación durante el tiempo necesario para hacer un cambio de aire y levantar los gases pesados a la parte superior del grano —una o más veces— durante el período de exposición. Debido a que este sistema presenta dificultades, para su cálculo siempre existen fugas de gases al medio ambiente, por lo que se recomienda incrementar la dosificación calculada en un 25%. El segundo sistema consiste en utilizar los equipos de aireación para hacer un circuito cerrado y recircu-

lar y darle más de un paso al fumigante a través de la masa de grano. En estas condiciones debe tenerse el cuidado de calcular el espacio —volumen— de los ductos de recirculación, y las posibles fugas que se presentan por las uniones de láminas, tubos, empaques, etc., incrementadas por la presión generada por el ventilador.

Los fumigantes son aplicados en las instalaciones de almacenamiento en diferentes etapas del proceso, todo depende de la experiencia del administrador. Algunos administradores de planta insisten en que todo grano que entre a la planta debe ser fumigado previamente al almacenamiento, con el objeto de eliminar cualquier posibilidad de infestación incipiente, que no se haya podido detectar por los sistemas visibles de inspección; otros consideran oportuno hacerlo después del primer transile y poder determinar el umbral económico para justificar la aplicación del fumigante; mientras que otros, consideran que en un grano que haya sido almacenado seco, cualquier incremento en la temperatura se debe a infestación y por consiguiente tan pronto como se detecte un calentamiento debe aplicarse el fumigante.

La falta de tratamientos exteriores y preventivos, las oportunidades de reinfestación, y las deficiencias en la aplicación de los fumigantes, tienen relación con la frecuencia con que haya que fumigar los granos almacenados; sin duda, los granos almacenados en zonas calurosas requieren ser fumigados con mayor frecuencia que los granos almacenados en zonas frías.

En condiciones bajo control, si el tiempo de exposición tiene que ser corto, para prevenir pérdida del poder germinativo, o exceso de residuos mínimos, se requiere una dosis acorde con el tiempo de exposición para obtener los resultados deseados. En otras palabras, a corto tiempo de exposición mayor dosificación; a largos períodos de exposición menores dosificaciones, es decir que para lograr una mortalidad de insectos, se requiere alcanzar una concentración tal que multiplicada por el tiempo de exposición se tenga un producto (concentración) (tiempo) que sea letal para el tipo

y estado de los insectos que se quieren controlar. Los altos contenidos de humedad en el grano y la baja temperatura requieren de un mayor tiempo de exposición durante la fumigación.

ETAPAS QUE SE DEBEN SEGUIR EN LA FUMIGACION DE GRANOS ALMACENADOS

Planificación y preparación adecuada de la fumigación: Es necesario estudiar con cuidado las características físicas de las estructuras de almacenamiento —materiales de construcción, sorción, hermetismo—, el producto que se fumigará, su contenido de humedad, impurezas, quebrado, —y los insectos presentes, género, estado, intensidad—.

Seleccionar el fumigante y la dosis adecuada, con base en las características del depósito de los insectos, del fumigante, del producto a fumigar, del método de aplicación y de las condiciones ambientales.

Leer cuidadosamente las instrucciones que trae la etiqueta o literatura que acompaña al producto, principalmente en cuanto a tolerancias, concentraciones, antídotos.

Informar a los médicos locales o puestos de socorro, a las estaciones de bomberos y a las autoridades policiales —cercanas a la planta de almacenamiento—, sobre el tipo de fumigante que se va a usar, el tiempo de fumigación y el tipo de máscara antigás requerida.

Mirar cuidadosamente los equipos de aplicación de los fumigantes, (aplicadores, mangueras, básculas, equipos de recirculación, sondas, dosificadores) y comprobar que el equipo de seguridad esté en buen estado (máscaras, filtros, guantes, lámparas detectoras de gases, etc.).

Mantener en existencia equipos adicionales de fumigación, repuestos, planos de la instalación e información pertinente como una medida de seguridad.

Informar a todos los empleados de la instalación y personas que viven cerca de la misma, sobre la fumigación, tiempo, peligros y medidas de seguridad.

Tener el siguiente equipo y medicinas de primeros auxilios disponibles en la instalación: —antídotos, activadores cardíacos, oxígenos, frazadas, cámillas—.

Estudiar, hasta donde sea posible, la aplicación de los fumigantes desde fuera de la estructura o recinto que se va a fumigar.

Planear y prever la aireación del producto y del espacio fumigado durante un tiempo prudente, para eliminar los residuos de fumigantes de acuerdo con el grado de desorción del grano y materiales. En caso de fumigación en bodega, tener en cuenta la apertura de puertas, funcionamiento de extractores de aire, etc.

Recordar que las áreas de fumigación deben ofrecer seguridad contra la entrada de personas no autorizadas.

Revisar el área de almacenamiento antes de hacer la fumigación para estar seguro de que no hay personas o animales dentro de dicha área.

Selección y preparación del personal que realiza las fumigaciones: Es conveniente asignar siempre dos personas para que realicen la aplicación de los fumigantes.

Debe mantenerse un registro de salud de las personas que aplican los fumigantes, pues varios de ellos se acumulan en el organismo. El registro permite rotar el personal.

Hay que asegurarse de que las personas que vayan a aplicar los fumigantes no hayan ingerido bebidas alcohólicas las 24 horas anteriores y que tampoco lo hagan en las 24 horas posteriores a la fumigación.

El personal encargado de fumigar debe estar lo suficientemente entrenado sobre las prácticas de primeros auxilios.

El uso de antídotos requiere conocer a cabalidad sus limitaciones y forma de aplicación.

Si ocurre un accidente debe ser comunicado a las instituciones de salud competentes, para obtener ayuda especializada.

Operación adecuada de los equipos de fumigación: El primer paso es leer cuidadosamente las instrucciones sobre la operación correcta de los equipos protectores.

Mientras sea posible se debe disponer de un tanque de oxígeno y su correspondiente máscara para respiración.

Las personas que realizan las fumigaciones deben hacer uso adecuado de las máscaras antigás. Estas deben seleccionarse de acuerdo con el tamaño y forma de la cara del fumigador; no sobra recordar que estas máscaras tienen sus limitaciones y no ofrecen el 100% de seguridad.

Las máscaras de gases no previenen la absorción de fumigantes a través de la piel, por lo tanto los fumigadores deben bañarse con jabón después de las aplicaciones y cambiarse de ropas. Los equipos protectores deben guardarse debidamente cuando no están en uso.

Los fumigadores tienen que llevar correas de rescate cuando vayan a entrar en áreas que han sido fumigadas.

Precauciones durante el período de fumigación: Es importante el uso de carteles advirtiendo la fumigación de estructuras o productos. En estos carteles básicamente se debe anotar: el nombre del producto utilizado, la fecha de fumigación, el tiempo de exposición, y el nombre y dirección de la persona responsable de la fumigación.

Las uniones de puertas, ventanas, escotillas, etc., se deben sellar con cinta adhesiva para evitar fugas de gas. En caso de fumigación bajo carpas, se deben colocar suficientes pisacarpas y si es del caso, cinta adhesiva entre la carpa y el piso.

Los fumigantes se deben aplicar siempre siguiendo las recomendaciones del fabricante. No permita que entren personas a las áreas fumigadas, excepto en casos de extrema urgencia.

Se debe verificar con fumiscopios (lámparas, refractómetros, tubos detectores, colorímetros) posibles fugas de fumigantes y proceder a hermetizar si es del caso.

Para la fumigación bajo carpas se debe procurar que durante la fumigación no permanezca personal dentro de la bodega o recinto, en donde se encuentra la estiba o estibas fumigadas.

Es muy importante tener en cuenta la disposición de las puertas y las corrientes de aire cuando se fumiga, para evitar concentraciones en el aire superiores a 2% en volumen (0.5% para la fosfamina), límites hasta donde proporciona protección adecuada la máscara antigás.

Si es necesario coloque celadores, con el fin de resguardar la estructura o área fumigada.

Precauciones posteriores a la fumigación: Las escotillas, ventanas, puertas, etc., de la estructura fumigada, deben facilitar la ventilación. Si se dispone de equipos de aireación deben hacerse funcionar por lo menos durante 60 minutos antes de ingresar al recinto. En caso contrario debe esperarse por lo menos 12 horas hasta que se haya disipado la concentración de gas; durante el proceso de aireación, no debe ingresar nadie a la estructura o área fumigada.

Con los fumiscopios se conocerá el nivel de gas después de la aireación, principalmente en aquellas zonas difíciles de ventilación.

Los productos fumigados bajo lonas, no deben ser removidos inmediatamente después de ser levantada la lona. Es necesario esperar por lo menos tres días para hacer esta operación.

Los envases vacíos de los fumigantes no se deben botar; es necesario enterrarlos para evitar peligros.

Quite los avisos de peligro después de la aireación.

El equipo de fumigación, los productos químicos y los equipos de protección deben almacenarse en un lugar seguro y adecuado.

Finalmente, los avisos de peligro deben quitarse sólo después de la aireación.

PRIMEROS AUXILIOS EN CASO DE ENVENENAMIENTO

Venenos respirados: Lo primero que hay que hacer es llevar inmediatamente al paciente (no permitir que camine) al aire libre, y abrir todas las puertas y ventanas.

Desabrochar y soltar todos los vestidos que lo compriman, aplicando la respiración artificial cuando su respiración cese o sea irregular.

El intoxicado debe permanecer en el reposo más absoluto, e impedir que se enfríe, envolviéndolo con mantas. Cuando tenga convulsiones mantenerlo acostado en una habitación semioscura, y sin recibir ningún ruido desagradable. No debe dársele alcohol en ninguna forma.

Contaminación de la piel: Se debe lavar concienzudamente la zona afectada con agua (ducha, manguera, caño), al mismo tiempo que se le quita la ropa. La prontitud en efectuar el lavado es importante para reducir los daños.

Contaminación de los ojos: Los párpados deben mantenerse abiertos y lavar los ojos inmediatamente con un chorro suave de agua corriente. Un retraso de unos segundos aumenta la extensión del daño; este lavado debe continuar hasta que llegue el médico.

Por ningún motivo se debe utilizar sustancias químicas, pues éstas pueden aumentar los daños.

TABLA DE DOSIFICACIONES NORMALES

Dosis letal mínima para granos con 12% de humedad; 1% de impurezas; temperatura entre 21 a 25°C.

FUMIGANTE	DOSIS NORMAL	Tiempo de exposición en horas	Método de Aplicación	Tipo de Instalación	Clase de grano	OBSERVACIONES
Bromuro de metilo	25 gm/m ³	24	superficial gravedad	Silo metálico hermético	maíz, arroz, sorgo, frijol.	Altura del silo no mayor a 20 pies. Se debe airear después de la fumigación
Bromuro de metilo	32 gm/m ³	24	Recirculado	Silo de concreto	Maíz, arroz, sorgo, frijol.	Silos de 500 o más TM. Se debe eliminar por aireación
Bromuro de metilo	35 gm/m ³	30	superficial gravedad	bodega grano ensacado	Maíz, arroz, sorgo, frijol.	Estibas debidamente cubiertas por lonas impermeables.
Fosforo de aluminio	4 tabletas/TM (12 gm/TM)	72	Mezclado en la corriente de grano	Silo metálico hermético	Maíz, arroz, sorgo, frijol.	En silos cuya altura no sea superior a 18 pies se puede aplicar con sonda.
Fosforo de aluminio	6 tabletas/TM	72	Mezclado en la corriente de grano.	Silo de concreto	Maíz, arroz, sorgo, frijol.	Su alto punto de ebullición hace que el concreto lo retenga fácilmente.

FUMIGANTE	DOSIS NORMAL	Tiempo de exposición en horas	Método de Aplicación	Tipo de Instalación	Clase de grano	OBSERVACIONES
Fosforo de aluminio	10 tabletas/ TM	72	Mezclado en la corriente con sonda	Silo de maderas o silo de chapa semihermética	Maíz, arroz, sorgo, frijol.	Su bajo peso molecular hace que se difunda fácilmente y por consiguiente que se escape.
Fosforo de aluminio	12 tabletas/ TM (30 grm/TM)	72	Dentro de la estiba.	Bodega grano ensacado	Maíz, arroz, sorgo, frijol.	Se debe cubrir debidamente con carpas impermeables.
Cloropirrina	32 grm/m ³	24	A la corriente de grano	Silo de concreto	Maíz, arroz, sorgo, frijol.	No se debe dejar sin airear después de las 24 horas.
Mezcla cloropirrina 85% Cloruro de metilo 15% o	35 grm/m ³	24	Recirculado	Silo de concreto	Maíz, arroz, sorgo, frijol.	No se debe dejar sin airear después del tiempo mínimo de exposición.
Mezcla Dicloruro de etileno 75% o. Tetracloruro de carbono 25% o	1/2 litro/ TM	72	Mezclado en la corriente de grano	Silbs	Arroz, sorgo, frijol.	Para maíz aumentar la dosis a 3/4 de litro.
Mezcla Dicloruro de etileno 75% o. Tetracloruro de carbono 25% o	3/4 litro/ TM	168	Parte superior del silo distribución por gravedad.	Silos metálicos y de concreto	Arroz, sorgo, frijol.	Para maíz aumentar la dosis a 1 litro.
Mezcla de Dibromuro de etileno 7; Dicloruro de etileno 30; Tetracloruro de carbono 6.	1/4 litro/TM	72	Mezclado directo	Silos de lámina y concreto	Arroz, sorgo, frijol.	Para maíz aplicar 1/3 de litro/TM

FUMIGANTE	DOSIS NORMAL	Tiempo de exposición en horas	Método de Aplicación	Tipo de Instalación	Clase de grano	OBSERVACIONES
Mezcla de Dibromuro de etileno 7; Dicloruro de etileno 30; Tetracloruro de carbono 6.	1/3 litro/TM	72	En la parte superior	Silos	Arroz, sorgo, frijol	Para maíz aplicar 1/2 litro/TM
Mezcla de Dibromuro de etileno 7; Dicloruro de etileno 30; Tetracloruro de carbono 6.	1/2 litro/TM	72	Superficial	bodegas grano ensacado	Arroz	Para maíz aplicar 3/4 litro/TM
Mezcla de Disulfuro de carbono 16; Tetracloruro de carbono 84.	1/4 litro/TM	72	Mezclado directo a corriente de grano	Silos de metal y concreto	Arroz, sorgo, frijol.	Para maíz incrementar la dosis a 1/3 litro por TM.
Mezcla de Disulfuro de carbono 16; Tetracloruro de carbono 84	1/3 litro/TM	168	En la parte superior por gravedad.	Silos de chapa y concreto	Arroz, sorgo, frijol.	Para maíz 1/2 litro/TM.
Mezcla de Disulfuro de carbono 16; Tetracloruro de carbono 84.	1/2 litro/TM	168	Superficial	Bodega granos ensacados	Arroz, sorgo, frijol.	Para maíz 3/4 de litro/TM.
Tetracloruro de carbono	1/2 litro/TM	300	Superficial por gravedad	Silos de concreto y metal	Arroz, sorgo, frijol, maíz.	
Acido cianhídrico	38 gm/m ³	24	Recirculado	Silos de metal	Arroz, sorgo, frijol, maíz	Se les debe dar buen tiempo de aireación antes de consumirlos
Cianuro de calcio	150 gm/m ³	168	Mezclado directo	Silos metálicos	maíz, arroz, sorgo, frijol	Puede manchar el maíz blanco

Ejemplo aclaratorio: Se requiere fumigar un silo de concreto con capacidad para 800 metros cúbicos que se encuentra lleno de maíz con 14% de humedad, 3% de impurezas, a una temperatura de 30°C, atacado por *Sithophilus granarius* en estado adulto (gorgojo de los granos), el grano lleva 3 meses almacenado, la altura del silo es de 60 pies; no se dispone de medios para recircular y el fumigante que se va a aplicar es el bromuro de metilo.

Cálculo de la dosis: La dosis normal para silos de concreto es de 32 gramos/m³ para aplicación recirculada; a partir de esta dosis se hacen los siguientes ajustes:

- | | |
|---|-------|
| 1) Por efecto de altura de la instalación y no disponer de equipo para recircular | + 25% |
| 2) Por exceso de humedad (sobrepasa 12%) | + 25% |
| 3) Por exceso de impurezas (sobrepasa 2%) | + 10% |
| 4) Por efecto de la temperatura (superior a 25°C) | - 25% |
| 5) Por compactación del grano | + 10% |
| 6) Por tiempo de establecimiento de los insectos (si se tratara de trogoderma o tenebroides habría que duplicar la dosis) | + 25% |
| | + 70% |

Lo anterior significa que para poder controlar debidamente la infestación a todos los niveles del silo se necesita aplicar una dosis de 54.4 gramos/m³, es decir 96 libras en total para tratar el silo, que al estar lleno debe tener aproximadamente 500 toneladas.

REFERENCIAS

- (1) Manual of Grain and Cereal Product insects and their control. Department of entomology KSU.
- (2) Manual de fumigación contra insectos, FAO, 1979.

CAPITULO X

RECOMENDACIONES PARA TRATAR Y ALMACENAR MAIZ Y SORGO

— 1 — Maíz

Durante centurias el maíz fue la base de la alimentación de los pueblos de América India⁽¹⁾; aún hoy día es el principal alimento del sector más pobre de la población. Se consume preparado en diversas formas, muchas de las cuales se han conservado intactas por cientos de años. Las tortillas centroamericanas, delgadas y flexibles, son descendientes directas de las "UAH" mayas, preparadas cociendo el maíz con ceniza para facilitar el desprendimiento de la cutícula⁽²⁾.

Aunque ha aumentado el uso industrial del maíz, todavía en un país como Colombia, parte importante de la producción se destina para consumo humano directo, sin mayor grado de elaboración.

En Estados Unidos donde el maíz es el grano por antonomasia(*), cerca de 50% del grano cosechado no sale a los canales de mercadeo y se utiliza como alimento de animales en las mismas granjas donde se produce⁽³⁾. Si se incluyen los productos y subproductos de maíz, en dicho país, el consumo sólo llega a 25% del total⁽³⁾. En los procesos de molienda

(*) En el idioma inglés clásico, la palabra "corn" significa el principal grano de una nación. En Estados Unidos, en consecuencia, "corn" es simplemente maíz, mientras en Inglaterra, para el mismo grano se prefiere la voz "Maize".

húmeda se consumen alrededor de 12 ó 13 millones de toneladas, con el propósito principal de extraer el almidón, que constituye aproximadamente el 67% del peso del grano.

En los Estados Unidos, antes de 1960 el maíz se cosechaba en mazorca, cuando su humedad se acercaba a 20% y se almacenaba en graneros ventilados ("cribs"), el viento finalizaba el secado en los meses siguientes a la cosecha. El clima frío de la "faja maicera" americana de noviembre y diciembre, evitaba el daño de los granos mientras completaban su proceso de secado. En las décadas siguientes a 1950, el desgrane y trilla en el campo con máquinas combinadas se volvió una práctica corriente, como puede apreciarse en los datos de la tabla No. 10.1.

Año	Desgranado en el campo % sobre total	Secado artificial % sobre total
1956	2%	14%
1960	12%	17%
1965	42%	38%
1970	67%	63%

Tabla No. 10.1- Variación de maíz desgranado en el campo y secado artificialmente

En Colombia la mayor parte del maíz se produce todavía con métodos tradicionales; la producción de maíz en forma moderna, con uso pleno de mecanización, permanece estacionaria, si es que no ha retrocedido un poco en los últimos años. Las razones son complejas y se relacionan con los riesgos de robo de la cosecha en su última etapa de desarrollo, aumento de los costos de producción, dificultades de mercado, y competencia desigual con grano importado.

La cosecha de maíz con combinada acorta apreciablemente el tiempo total de ocupación del terreno, en años con clima favorable en los Estados Unidos, por ejemplo, la mayoría de la producción de una zona determinada, puede recolectar en 4 ó 5 semanas (contra 12 ó 13 con métodos tradiciona-

les). La mayor humedad de recolección y los mayores daños que sufre el grano, han exigido el desarrollo de métodos de secado rápido, los cuales, a su vez, pueden causar mayor deterioro y disminución de calidad.

La cosecha con "combinada" puede conducir a la recolección de granos inmaduros, cuyo mayor contenido de azúcares los hace susceptibles a sufrir daños por calor, durante el secado. Los granos con alto contenido de humedad son, además, fácilmente dañados durante la operación de desgrane; los daños con maíz de 30% de humedad pueden ser 2.5 veces mayores que con grano de 20%⁽⁴⁾ y hacen difícil, obviamente, producir grano seco de calidad aceptable. Por otro lado, la humedad de recolección con máquinas no puede ser demasiado baja, pues las pérdidas por vuelco, grano partido, espigas mal desgranadas, etc., aumentan a medida que se trilla grano más seco. En Argentina se encontró⁽⁵⁾, que las pérdidas en el campo de 8%, cuando se desgrana maíz de 15% de humedad, se reducen a 4% ó menos, con grano de 25% de humedad.

Con graduación y ajuste apropiados en las combinadas, velocidad del cilindro, separación del cóncavo, etc., de acuerdo con el tipo de maíz que se esté desgranando, su humedad, tamaño de mazorca, variedad, etc., es posible reducir en forma apreciable los daños, aunque debe tenerse presente que siempre el grano desgranado en el campo sufre mayores daños que el desgranado seco, en máquinas estacionarias. La elevada humedad del primero exige que se someta a secado artificial, proceso que no siempre se lleva a cabo con el cuidado debido y, en consecuencia, su calidad final es generalmente inferior a la de maíz que alcance su madurez en la mata. La pérdida de calidad se inicia con la cosecha y se aumenta en cada una de las etapas de mercadeo. A pesar de los inconvenientes mencionados, no es posible prescindir, en forma económica, en los cultivos mecanizados, del desgrane en el campo y del secado artificial.

Medición de humedad: En las operaciones comerciales generalmente se utilizan medidores de humedad de lectura

indirecta, cuyos resultados, como se analiza en otro lugar (Capítulo 4), deben interpretarse con cuidado, con una idea clara de la forma como trabajan estos medidores y de los varios factores que pueden alterar sus resultados, como, por ejemplo, la desigual distribución de humedad dentro de los granos, alto contenido de impurezas, presencia de granos dañados, etc. Granos de variedad diferente a los utilizados para "patronar" los medidores pueden dar lecturas diferentes en 1.5 a 2 puntos; por ejemplo en el TROPICAL STORED PRODUCTS INSTITUTE de Inglaterra, se verificó que, con un medidor de humedad Cera-Tester (capacitivo), el error podía ser de hasta 1.5%, en un rango de 11% a 18%, al medir algunos maíces híbridos africanos⁽⁶⁾. Es necesario, en consecuencia, efectuar calibraciones con ayuda de hornos, para los principales tipos y variedades de grano de una región, antes de iniciar algún plan de compras o de almacenaje de importancia.

No debe olvidarse, cuando de mediciones de cualquier tipo se trate, que es necesario que las muestras utilizadas sean verdaderamente representativas del lote total. En una misma mazorca de maíz se pueden presentar variaciones muy grandes en los granos individuales (hasta de 24% a 42%, de acuerdo con su posición).

ASPECTOS DE CALIDAD DEL MAIZ

Calidad del maíz: El concepto de calidad de un grano no puede ser el mismo para todos los usos e industrias, así el vigor germinativo, de mucha importancia para los productos de semillas, puede no tener mayor significado para los fabricantes de alimentos para aves. La "calidad", además, en países de sistemas de mercadeo poco desarrollados es subjetiva y variable de acuerdo con los vaivenes del mercado y los gustos peculiares de cada región.

En general puede afirmarse que son cualidades deseables, y con significado comercial, humedad y temperatura bajas, reducido contenido de humedad, buena viabilidad, adecuado comportamiento durante el almacenaje y buen rendimiento

industrial. Estas cualidades no siempre se mencionan en forma clara en las transacciones comerciales, y se encuentran sólo implícitas, o reflejadas, en las normas de calidad.

— **Humedad y temperatura bajas:** Aunque es discutible el uso de la humedad como índice de calidad en las “normas de clasificación”, es indudable su importancia práctica como indicador del comportamiento futuro del grano.

La temperatura de grano proveniente del campo, permite deducir fácilmente la actividad de hongos que pueden causar daños irreversibles al grano (micotoxinas). Las variaciones de temperatura de los granos almacenados, cuando se interpretan en forma correcta, alertan sobre la presencia de hongos e insectos.

— **Bajo contenido de granos e impurezas:** El almacenaje y manejo de granos sucios se dificulta. Granos quebrados o con venceduras son susceptibles de producir partículas finas durante su transporte y son invadidos con mayor facilidad por hongos e insectos.

— **Fragilidad:** Condiciones climáticas variables que humedezcan y sequen en forma consecutiva el maíz en el campo, durante su maduración, producen esfuerzos internos en el endospermo; añadidos a los esfuerzos naturales de maduración, pueden fisurar el grano. La utilización indiscriminada de sistemas de secado artificial, rápidos y de elevada temperatura, hace más susceptibles a quebrarse los granos con el manipuleo. Para las compañías exportadoras, la fragilidad es de mucha importancia, pues aumenta la cantidad de impurezas y de granos quebrados de un lote determinado, con los sucesivos movimientos y transbordos entre silos y buques.

Unas mediciones realizadas en 1976 con maíz de 3.3% de impurezas y grano partido, que fue transportado desde Toledo (Ohio) hasta Rotterdam, mostraron un aumento de 4.4% del grano partido e impurezas, (para un total de 4.4%), como resultado de los cargues y descargues. Grano de la misma calidad que se transportó simultáneamente desde Toledo, por el

río San Lorenzo en una barcaza, hasta otro puerto, donde fue descargado en un silo y posteriormente cargado en otro buque para envío a Rotterdam, llegó con 14.6% de grano partido e impurezas, como consecuencia principalmente de su manejo en el silo portuario.

La mayor parte de los daños que sufre el maíz durante el manejo se producen por el impacto de sucesivas caídas; la tabla No. 10.2 adaptada de Foster y Holman⁽⁷⁾, muestra los resultados de impacto contra concreto y contra el mismo grano.

Altura de caída en mts.	Superficie de concreto	Impacto sobre maíz
30	9.55%	7.11
21	5.03%	4.00
12	0.86%	0.25

Tabla No. 10.2- Porcentaje de grano que se quiebra durante el llenado de silos

Ninguna operación causa tanto daño en el grano como la descarga en un silo. El deterioro causado por abrasión contra las tuberías y equipos, y contra el mismo grano, no tiene mayor importancia. Los elevadores de cangilones tampoco producen mayor daño; se encontró, en relación con los elevadores, que los daños son ligeramente menores cuando el cargue del elevador se hace por la pierna descendente; el impacto directo entre el grano y la cubeta es más nocivo que la abrasión que puede producirse en la base del elevador.

Los transportadores sinfín, especialmente cuando trabajan llenos, causan muy poco daño; si se utilizan con media capacidad y velocidades relativamente altas pueden causar mayor deterioro. El uso de superficies de uretano en los puntos de mayor impacto del grano, reduce apreciablemente los daños.

Los sistemas neumáticos de descargue, utilizados normalmente en los silos portuarios, no causan daños mayores a los

granos enteros, pero sí reducen el tamaño de los ya partidos y aumento del contenido de polvo.

Alto peso hectolítrico: Esta medida, ha sido muy utilizada en la industria molinera de trigo, como indicación rápida del contenido de harina del grano. Su utilidad en maíz ha sido muy discutida en los últimos años; debe tenerse en cuenta que los daños que el grano sufre en la recolección y el tipo de tratamiento que recibe con posterioridad, afectan su valor apreciablemente⁽⁸⁾. En la Universidad de Illinois, se encontró que el peso hectolítrico del maíz aumenta cuando se seca con temperatura de aire baja, mientras en los granos quebrados reducen el aumento.

Los investigadores norteamericanos Hill y Roush⁽⁹⁾, en un estudio hecho durante 4 años, encontraron que, desde el punto de vista nutritivo y químico, no existe diferencia representativa entre maíces que hayan madurado normalmente, que contengan diferente peso hectolítrico. De tal manera que, aunque pueda hacer falta un poco más de investigación y evidencia, puede afirmarse que el peso hectolítrico no es una medida indicativa del valor alimenticio del maíz, pues su valor se modifica con la humedad de recolección, daño mecánico, forma del grano, etc. Sin embargo no puede desconocerse que grano de bajo peso hectolítrico requiere mayor espacio para almacenaje y, generalmente, está más quebrado, es más frágil y susceptible de deteriorarse fácilmente durante el transporte y manejo.

Viabilidad: El porcentaje de germinación se utiliza en la industria de molienda húmeda de maíz, como índice de calidad, pues su valor se afecta con tratamiento inadecuado del grano; disminuye con los granos quebrados y vencidos, con secado rápido a elevadas temperaturas. Normalmente se considera grano de buena calidad, el que tiene germinación inicial, en estado húmedo, de 90%, y final (después de secarlo) de 75%⁽¹⁰⁾.

Capacidad de almacenaje: La aptitud de un grano para conservarse adecuadamente durante períodos de almacenaje

depende de varios factores, humedad, contenido de impurezas y grano partido, tipo de tratamiento al cual ha sido sometido, temperatura, condiciones ambientales, etc.

El desgrane en el campo con máquinas combinadas y el secado artificial, modifican profundamente las características físicas e higroscópicas del maíz. Grano que se haya secado a 90°C tiene una humedad de equilibrio menor cerca de un "punto" a la de maíz procesado a 30°C ⁽¹¹⁾, de tal manera que la humedad de equilibrio intersticial, y por consiguiente la facilidad de desarrollo de hongos, es mayor en los granos secados artificialmente. Por esta razón, se recomienda almacenar estos granos con humedad menor que la recomendada para granos secados naturalmente. El secado artificial, como se mencionó anteriormente, hace más frágiles los granos; el número y tipo de fisuras observables en el endospermo aumenta con la velocidad y la temperatura. Se ha determinado que maíz que haya alcanzado una temperatura de 60°C es 2 ó 3 veces más susceptible a la rotura que grano secado en el campo⁽¹²⁾.

Velocidad de secado: Este tal vez es el factor más importante en la aparición de quebraduras y vendeduras. La experiencia indica que la velocidad de extracción de humedad no debe ser, en ningún caso, superior a 5 "puntos" por hora, y de ser posible a 3.5 "puntos" por hora. Con extracción superior a 8 puntos se presentan modificaciones físicas considerables, expansión interna y modificaciones en la "corona" del grano.

Las fisuras que produce el secado rápido son características; no se extienden hasta la superficie interna. Si se remueve la cutícula, con maceración o raspado, el endospermo se rompe fácilmente por la vendedura. Esta característica permite diferenciar granos dañados por secamiento inadecuado, de los dañados por recolección, cuyo deterioro es externo. La figura No. 10.1⁽¹³⁾ permite apreciar la relación entre fisuras y velocidad de secado.

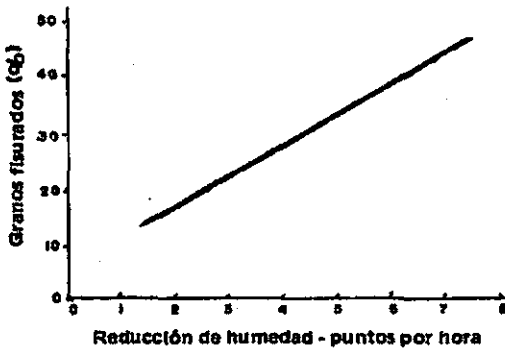


Fig. No. 10.1- Relación entre fisuras y velocidad de secado

El maíz de tipo "dentado" (como el producido en Estados Unidos) es más susceptible de deterioro físico por secado y manipuleo que el duro o "flint" (Argentina), característica que contribuye al mayor precio que tiene este último en el mercado internacional.

En la Universidad de Purdue, el profesor George Foster y algunos colaboradores suyos, observaron que la mayor parte de las fisuras de secado, se presenta durante la remoción de los últimos puntos de humedad y que el enfriamiento rápido, que se utiliza en la mayor parte de las instalaciones comerciales, contribuye de manera importante a la aparición de estas fisuras. El sistema de secado-aireación (dryeration), desarrollado por Foster, trata de mejorar la calidad del grano con la disipación de los esfuerzos internos de una primera etapa de secado rápido, antes del secado final que se hace en forma lenta. El autor de estas líneas, aprovechó, años después (1973 y 1974) las conclusiones de Foster, para el desarrollo del sistema combinado de arroz, de amplia difusión en Colombia (Capítulo 11).

Buen rendimiento industrial: En Colombia y países vecinos, el maíz se utiliza principalmente para la preparación de

alimentos de consumo directo: arepas, tortillas, tamales, etc., sin embargo su uso también es importante en las siguientes industrias:

- Molienda seca para producción de "Gritz" de cervecería y harinas crudas.
- Harinas precocidas.
- Molienda húmeda para extracción de almidones.
- Fabricación de alimentos para animales.

A continuación se presentan algunas recomendaciones para el adecuado tratamiento del maíz de acuerdo con su uso final:

Consumo directo: El maíz cultivado en la forma tradicional se destina, generalmente, a la preparación de estos alimentos; cuando, como resultado de malas cosechas, se ha tenido que reemplazar este grano con maíz proveniente de zonas mecanizadas, cosechado con máquinas y secado artificialmente, los resultados no han sido siempre satisfactorios; el tratamiento artificial de los granos puede desnaturalizar sus componentes y producir daños físicos que dificultan la preparación de comidas tradicionales. Así, cuando en 1973 el gobierno de Guatemala, importó varios miles de toneladas de maíz de los Estados Unidos, para compensar la reducción de la producción interna, encontró que las tortillas tradicionales, delgadas y flexibles, no podían prepararse con el sistema tradicional de ebullición con cal; la tortilla resultaba frágil y dura y no se conservaba bien. Fue necesario desarrollar y divulgar rápidamente un sistema de preparación, con menor tiempo de cocción, que unido a mezclas con maíz de la región, permitió utilizar el importado. Probablemente este grano había sido secado con alta temperatura, en forma muy rápida, de tal manera que sus almidones se habían modificado al sufrir un proceso de gelatinización parcial y sin control, y sus proteínas desnaturalizado por la elevada temperatura física que sufrió el grano.

Cuando se seca maíz destinado a la fabricación de alimentos para consumo humano directo, la temperatura del grano (no la del aire de secado) no debería ser superior a 55°C, y la

velocidad de extracción de humedad no mayor a 3 puntos por hora. La temperatura de aire máxima que se pueda utilizar dependerá de la humedad del grano y del tiempo de exposición a la acción del aire caliente. En secadoras de torre de flujo continuo, normalmente puede utilizarse 70°C a 75°C, y en silos de fondo plano, de secado lento, la máxima temperatura debería ser de 35°C a 40°C, para evitar resecar el grano de las capas inferiores, más que para evitar recalentarlo.

Proceso de molienda seca: En este proceso tiene la mayor importancia económica el rendimiento de "Gritz" de tamaño grande (para uso en cervecería). El secado rápido produce quebraduras y vendeduras en la cutícula, que disminuyen obviamente este rendimiento. Las fisuras se producen por la aparición de gradientes internos de humedad que induce el secado rápido. El efecto directo de los gradientes de temperatura es reducido; se ha encontrado que, sin evaporación, se necesita un gradiente entre la parte externa del grano y la interna de más de 90°C para producir roturas.

Las fisuras en el maíz dificultan la separación del germen de las otras partes del grano, con el resultado de disminuir la calidad y el rendimiento de aceite que se extrae del germen. Para estos procesos la temperatura del grano, durante el secado, no debería ser superior a 55°C ni la velocidad de extracción de humedad a 3 puntos/hora.

Las normas de calidad utilizadas actualmente en el comercio internacional, no permiten conocer sino en forma parcial e indirecta la fragilidad del grano que se esté transando. Posiblemente dentro de algunos años, las normas incluirán alguna indicación directa de la fragilidad (porcentaje de "finos" que se producen en una prueba estandarizada?), creando así los incentivos económicos para secar los granos en forma más cuidadosa y desarrollar variedades más resistentes.

Harinas precocidas: Se utilizan para la preparación rápida de harinas y tortillas y para reemplazar parcialmente harina de trigo en la preparación de pastas y pan (cuando la relación de precios lo permite). En el proceso se busca gelatinizar los

almidones, con la completa rotura de sus gránulos por medio de una combinación controlada de humedad, calor y presión; en algunos casos se utilizan además presiones mecánicas. La gelatinización aumenta la capacidad de absorber agua y también la velocidad a la cual las enzimas pueden descomponer los almidones en carbohidratos más simples y solubles.

Durante el secado rápido, con temperatura demasiado elevada, la temperatura del grano puede alcanzar la de gelatinización de sus almidones (62°C a 72°C) y producir cambios parciales y sin control en los mismos, que dificultan el proceso posterior y disminuyen la calidad del producto final. Las recomendaciones generales para el secado de maíz con destino a consumo humano son aplicables también en este caso.

Molienda húmeda: Proceso utilizado principalmente para la extracción de almidones. El grano se humedece inicialmente con agua caliente para ablandarlo (maceración) y permitir una mejor desgerminación. El almidón se separa del gluten en un proceso posterior, que utiliza separadores centrífugos para hacer flotar las partículas, más livianas, del gluten, en el centro y las pesadas de almidón en el exterior.

Los efectos del secado con alta temperatura se aprecian fácilmente en los rendimientos de la molienda húmeda. Los gránulos de almidón se encuentran incrustados en una matriz proteica que, con elevada temperatura, se desnaturaliza (sufre cambios y rupturas internas en sus cadenas de aminoácidos) y modifica irreversiblemente sus propiedades biológicas, actividad enzimática y solubilidad en agua⁽¹⁴⁾. El maíz que ha sufrido estos cambios no se ablanda totalmente durante el proceso de maceración previo a la molienda. Se hace más difícil la desgerminación y la total separación del valioso almidón del gluten. La extracción de aceite del germen también disminuye con el secado artificial con muy alta temperatura.

La tabla No. 10.3 desarrollada con resultados de trabajos de G. Foster⁽¹⁵⁾ muestra la reducción en la extracción de almidón, en las condiciones del experimento, como consecuencia de secado con alta temperatura:

Temperatura de aire (°C)	Temperatura de grano (°C)	Almidón % rendimiento (aire natural)
23	—	62.2
60	48	61.2
86	65	60.2
114	77	57.5

Tabla No. 10.3- Disminución de rendimiento de almidón de acuerdo con la temperatura de secado

El almidón que se obtiene de granos recalentados tiene menor pureza pues contiene mayores residuos de proteína⁽¹⁶⁾ (17). Normalmente se considera aceptable un contenido de proteína de 0.40% en el almidón, pero el mal secado puede duplicarlo. Además, como se aprecia en la tabla No. 10.3, la extracción de almidón es menor, pues parte del mismo se desperdicia adherido a la fibra, de menor valor comercial. Con grano sano, adecuadamente tratado, el contenido de almidón en la fibra no debería ser superior a 22%.

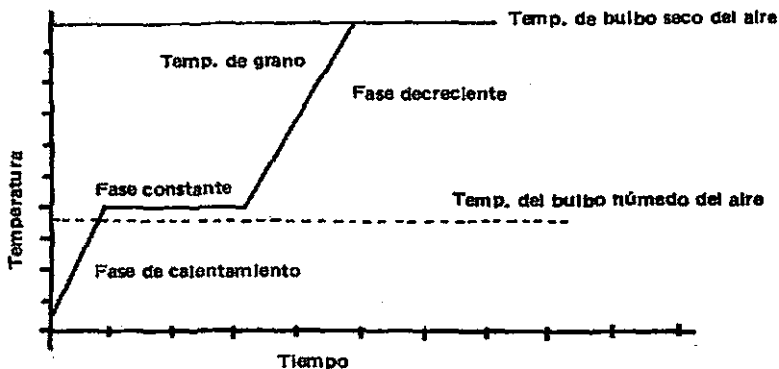


Fig. No. 10.2- Cambios en la temperatura del grano durante las diversas etapas en el proceso de secado

Los daños causados por el calentamiento dependen, no sólo de la temperatura máxima del grano en cualquier momento, sino del tiempo de aplicación de esta temperatura. La

temperatura del grano, en el proceso de secado, se aproxima a la del aire cuando el tiempo de exposición es largo y la velocidad de evaporación se ha reducido, como puede apreciarse en la figura No. 10.2, que puede compararse con la No. 6.4.

En el proceso de secado, especialmente si se tratan granos muy húmedos, que aun no han terminado la maduración fisiológica, se pueden producir granos con alteraciones organolépticas visibles; el pericarpio adquiere un aspecto oscuro, y aun negro, al desarrollarse la reacción de Maillard, característica del calentamiento de las soluciones de aminoácidos y azúcares reductoras (de fácil oxidación, presentes en granos inmaduros)⁽¹⁸⁾. En las etapas iniciales de la reacción, las proteínas (aminoácidos) presentes se combinan con los azúcares reductores, para formar un compuesto soluble y todavía incoloro, que, posteriormente, se transforma en insoluble y de color acaramelado característico. La combinación de azúcares con aminoácidos es de muy difícil digestión, de tal manera que los granos quemados por secado (o por calentamiento producido por hongos), pierden parte de su valor proteínico; la lisina, uno de los aminoácidos esenciales, es generalmente uno de los primeros en sufrir deterioro.

El color oscuro (acaramelado) de los granos puede ser también producido por la acción de hongos, que elevan la temperatura del grano con su rápido metabolismo, y desencadenan la reacción de Maillard. El cambio de coloración se inicia en el germen, donde el alto contenido de grasas favorece el calentamiento.

Los hongos que invaden el maíz, además de los daños analizados y de la posible producción de toxinas, pueden secretar enzimas que hidrolizan el aceite del germen, y lo descomponen en ácidos grasos y glicerol, productos que deben ser eliminados, con mayores costos, durante el proceso posterior de refinación⁽¹⁹⁾.

El maíz dañado por calor en la secadora, puede distinguirse del que sufre daño por calentamiento de hongos, pues el primero al ser partido con una cuchilla, muestra daño limitado generalmente a la parte externa, mientras que el dañado

por hongos sufre un daño interno total, incluyendo el germen. El hongo *Aspergillus*, por ejemplo, invade generalmente el embrión y lo colorea de café o negro. La decoloración del germen, inicio del deterioro, puede detectarse removiendo el pericarpio que cubre el germen y examinándolo, si el germen está ligeramente decolorado en la superficie, o en la punta, probablemente ha sido invadido por hongos.

En las normas de calidad utilizadas internacionalmente se incluye, desde hace muchos años, el daño por calor, como puede apreciarse, por ejemplo, en la tabla No. 10.4, que corresponde a la clasificación de los Estados Unidos.

Grado	Peso mínimo lbs/Bu (Kg/M ³)	Humedad %	Grano partido y m. extraña	Daño Total	Daño por calor
1	56	722	2%	3%	0.1%
2	54	697	3%	5%	0.2%
3	52	671	4%	7%	0.5%
4	49	632	5%	10%	1.0%
5	46	593	7%	15%	3.0%

Tabla No. 10.4- Normas de clasificación USDA - Maíz

En Colombia, el Idema tiene, para maíz duro calentano una tolerancia de recibo de 2% de grano dañado por calor. Las industrias y las compras del comercio no utilizan, infortunadamente, ninguna norma general, a pesar de que existen varias disponibles, entre ellas la del Instituto Colombiano de Normas Técnicas (Icontec). Debe aclararse que, con alguna frecuencia se aplican, en transacciones comerciales fuera de Bolsa, las normas de calidad para maíz de la Bolsa Nacional Agropecuaria, reproducidas en la tabla No. 10.5.

Grado	Granos dañados		Granos partidos %
	por calor %	total %	
1	0.5	3	2
2	1.0	5	5
3	3.0	7	10
4	5.0	10	25

Tabla No. 10.5- Calidades para maíz blanco y amarillo
Bolsa Nacional Agropecuaria

Fabricación de alimento para animales: Sin que sufra menoscabo nutritivo, el maíz destinado a la alimentación animal, soporta mayor temperatura y velocidad de extracción un poco más rápida, que el grano para consumo humano directo o uso industrial, en procesos de molienda fina. De todas maneras, debe evitarse el uso de temperatura demasiado alta que pueda causar la aparición de granos quemados, pues como se mencionó, estos granos tienen menor digestibilidad. Temperatura de grano de 65°C parece no causar deterioro apreciable, cuando se usa por períodos relativamente cortos.

Recomendaciones para almacenaje: En climas fríos, como el de Bogotá, el maíz sano, almacenado en arrumes sobre estibas de madera, en bodegas adecuadas, se conserva bien con humedad no superior a 14 ó 15%, en períodos de almacenaje que no se prolonguen más de 2 ó 3 meses. Si el grano muestra algún grado de deterioro mecánico, puede ser conveniente reducir un poco más su humedad. En climas cálidos tropicales, el maíz puede guardarse con humedad no superior a 13%. Las humedades indicadas deben usarse únicamente como guía, sin olvidar que corresponden a la máxima que pueda tener cualquier parte del grano almacenado, y no a humedad promedio, pues existiría la posibilidad de deterioro de las zonas con mayor humedad que pondría en peligro el volumen total.

Humedad de equilibrio: La humedad de equilibrio de cada variedad y tipo de maíz varía en forma relativamente amplia, en relación con el promedio.

En general, con una humedad relativa determinada, la humedad de equilibrio del maíz blanco, es superior a la del maíz amarillo, de tal manera que, si se almacena en silos maíz blanco y maíz amarillo con humedad de 14%, después de cierto tiempo, el aire intersticial en el amarillo tendrá una humedad relativa superior a la del blanco y, en consecuencia, estará ligeramente más expuesto al desarrollo de hongos.

Los resultados de los muchos experimentos realizados para encontrar la humedad de equilibrio del maíz, no siempre

concuerdan entre sí. La AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, ASAE, por ejemplo, incluye los datos de la tabla No. 10.6 en uno de sus cuadros.

Tipo de grano	Humedad relativa			
	45%	60%	75%	90%
Maíz blanco dentado	10.5%	12.9%	14.7%	19.1%
Maíz amarillo dentado	10.4%	12.9%	14.7%	18.9%

Tabla No. 10.6- Humedad de equilibrio de maíz a 25°C y diversa humedad relativa (ASAE)

La tabla de ASAE se elaboró con datos de Coleman y colaboradores (1925) y no tiene indicación que aclare si se trata de valores de adsorción o desorción. La ASAE en la misma publicación, pero en forma gráfica, suministra los resultados indicados en la tabla No. 10, sin indicación de tipo de maíz, ni si se trata de procesos de absorción o desorción.

Humedad relativa	Temperatura	
	15°C	32°C
60%	14%	11%
75%	15.5%	14%

Tabla No. 10.7- ASAE - Humedades de equilibrio de maíz

Pixton y Warburton, prepararon gráficos más completos, en fecha más reciente, en los cuales se incluyen variaciones por tipo de grano, temperatura e histéresis. Uno de estos gráficos se reproduce en la figura No. 6.2.

La tabla No. 10.8 que se presenta a continuación, se preparó con ayuda de los gráficos de Pixton.

Temperatura H. Relativa %	15°C Maíz dentado amarillo	25°C Maíz dentado amarillo	30°C Maíz dentado amarillo	25°C M. Flint Inglés
Adsorción				
60%	12.4%	11.9%	11.7%	12.5%
70%	14.0%	13.5%	13.2%	14.0%
80%	16.2%	15.6%	15.1%	16.3%
90%	19.0%	18.5%	18.2%	20.0%
Desorción				
60%	13.0%	12.4%	12.1%	13.2%
70%	14.7%	14.0%	13.8%	14.9%
80%	16.8%	16.0%	15.6%	17.1%
90%	20.0%	19.5%	19.0%	21.0%

Tabla No. 10.8- Humedad de equilibrio de maíz, según Pixton y Warburton (1970)

Para maíz blanco dentado, con temperatura de 25°C, Finn-Kelcey y Hulbert en 1957, determinaron los datos indicados en la tabla No. 10.9.

Temperatura H. Relativa %	25°C Maíz blanco dentado
Adsorción	
64%	12%
70%	12.9%
78%	14.6%
Desorción	
62%	12.7%
69%	13.6%
78%	14.9%

Tabla No. 10.9- Humedad de equilibrio de maíz blanco, según Finn-Kelcey y Hulbert - 1957

Infelizmente no se dispone de datos experimentales confiables para variedades colombianas.

Manejo agrupado de granos húmedos: Para facilitar la obtención de grano seco de humedad más o menos uniforme, es recomendable, antes del secado, agrupar los granos de acuerdo con su humedad; por ejemplo, podrían formarse 4 grupos así:

- Maíz con humedad inferior a 15%
- Maíz con humedad de 15% a 17%
- Maíz con humedad de 17% a 19%
- Maíz con humedad superior a 19%

Si se trata de secar en un silo (o alberca de fondo perforado) diversos lotes de maíz con amplia variación de humedad, no es posible conseguir, sin equipo especial, una humedad final uniforme; es necesario ressecar el grano de humedad baja, para reducir a un nivel aceptable el grano húmedo.

Con secadoras de torre de flujo continuo, provistas de sistema de variación de velocidad de descarga, que permita controlar el tiempo de exposición del grano a la acción del aire caliente, es posible, con la ayuda de un medidor de humedad (capacitivo), uniformar, dentro de un rango aceptable la humedad del grano. El operario deberá tomar lecturas de humedad cada 10 ó 15 minutos, y ajustar la velocidad de descarga después de cada lectura, con aumento de velocidad si el grano tiende a ressecarse o viceversa y, en casos extremos, cuando se ha depositado sobre un lote de grano relativamente seco, otro de grano muy húmedo, será necesario recircular el grano dentro de la misma torre.

En los últimos años han tomado fuerza los sistemas automáticos de control de humedad para secadoras de torre que simulan el proceso descrito en el párrafo anterior, con mayor número de lecturas y ajustes.

- 2 - RECOMENDACIONES PARA TRATAR Y ALMACENAR SORGO

El sorgo es una planta de características especiales, que puede producir rendimientos aceptables en tierras marginales para maíz y arroz. Tiene una buena adaptación a condiciones de escasez de humedad, por su buen desarrollo radicular y efectivo control interno de transpiración. Su corto período vegetativo permite, además, utilizarlo como cultivo de rotación. El cultivo industrial del sorgo fue promovido en Colombia por PURINA, desde 1957, con los híbridos R-10 y R-12 en las zonas de Valledupar y Codazzi.

Normas de calidad: La norma de calidad de la Bolsa Nacional Agropecuaria (Tabla No. 10.12) es, posiblemente, la de mayor utilización en el momento, en razón al tamaño de las ventas que realiza el Idema por intermedio de la Bolsa.

Grado	Peso hectolítrico mínimo	Granos dañados por calor	total	Granos partidos
1	74 (740 kg/M ³)	0.2%	2.0%	4.0%
2	71	0.5%	4.0%	8.0%
3	66	1.0%	8.0%	12.0%

*Tabla No. 10.12- Factores de calidad de sorgo - Bolsa Nacional
Agropecuaria*

Cosecha y recolección: La calidad final de todo grano depende, parcialmente, de la forma y cuidado con que se ejecute su cultivo y recolección, la escogencia de las semillas de acuerdo con el suelo y clima y la adecuada siembra, permiten recolectar granos más limpios. El uso de semillas producidas por entidades serias produce granos de altura y tiempo de maduración uniformes que se pueden recolectar en forma más fácil. La siembra uniforme facilita la ejecución de las labores culturales y disminuir las malezas, las cuales, además de afectar el rendimiento del cultivo, dificultan la cosecha y reducen la calidad comercial del grano, pues el material verde de las malezas, además de constituir materia extraña que afecta el precio, aumenta la humedad promedio.

La selección de variedades de acuerdo con las condiciones climáticas de la zona es muy importante. Los sorgos de panoja cerrada o semiabierta, como el ICA-Nataima, no deberían sembrarse en zonas donde la humedad ambiente durante el período final del cultivo fuese demasiado alta; los granos localizados en el interior de la panoja pueden permanecer húmedos demasiado tiempo y ser invadidos por hongos. Las lluvias antes de la cosecha, además, alargan el período vegetativo de las plantas de tal manera que se hace inevitable la recolección de granos inmaduros y con mayores impurezas. El clima previo a la cosecha, de una región determinada, afecta el comportamiento futuro de los granos que se almacenen, pues tiene incidencia en la microflora, hongos, bacterias, etc. Por esta razón es necesario extremar las precauciones con los granos recolectados en las temporadas húmedas en zonas como el Cesar y Meta.

La recolección realizada en el momento oportuno contribuye a mejorar la calidad comercial del grano. Dentro de lo posible no debe recolectarse sorgo con humedad superior a 18%, pues la menor eficiencia de las combinadas con estos granos, aumenta el contenido de impurezas y, además, el tiempo de espera admisible entre la cosecha y el secado se reduce sustancialmente. Por otro lado la trilla de granos demasiado secos, produce mayor cantidad de grano partido y hace que el agricultor pierda dinero, pues generalmente las industrias tienen como base de recibo una humedad de 15% y no bonifican el precio de granos más secos.

En lotes grandes es recomendable iniciar la recolección cuando la humedad del grano es de 18%, de tal manera que al finalizarla, el grano no esté todavía demasiado seco. El sorgo trillado en estas condiciones desgrana mejor, parte menos y permite, además, liberar el campo varios días antes, con economía en el costo de vigilancia (los "guachimanes" del Valle del Cauca) y mayor tiempo para la preparación de la siguiente cosecha. Debe considerarse también, que en algunas zonas, las industrias compradoras de sorgo no descuentan el costo de secado del precio del grano, cuando la humedad es inferior a 17%; para calcular el peso neto adquirido, simplemente descuentan la merma por humedad e impurezas.

El sorgo listo para ser recolectado cambia su coloración de amarillo brillante a rojo cereza (según la variedad) y su dureza hace más difícil henderlo con la uña. Al romper un grano, se encuentra una textura harinosa, contraria a la lechosa de granos húmedos. Estas observaciones conviene hacerlas principalmente en los granos de la parte inferior de la panoja, los últimos en perder humedad en la mata.

Combinadas: Los operarios de las cosechadoras rara vez efectúan la calibración de las mismas con algún cuidado, y de acuerdo con el estado del cultivo. La graduación inadecuada del cilindro, cóncavo y zarandas puede contribuir a aumentar el contenido de impurezas y producir mayores pérdidas de grano en el terreno. Para seleccionar la velocidad del cilindro y la distancia del cóncavo, se debe buscar un adecuado balance entre la buena trilla y separación de glumas, por un lado, y la cantidad de grano partido, por el otro. Debe recordarse que el bajo contenido de glumas facilita el almacenaje del sorgo.

Kantor y Webster en 1967, estudiaron la forma como la velocidad del cilindro desgranador afecta la viabilidad de grano con diferente contenido de humedad. En este caso la pérdida de viabilidad depende principalmente de los daños físicos que cause la trilla en los granos. La tabla No. 10.13 resume sus experiencias.

	HUMEDAD %					
	30-35	25-30	20-25	15-20	10-15	Promedio
Manual	95%	93-98%	86-97%	97-99%	66-91%	95%
1040 RPM	84%	90%	89%	94%	95%	90%
2950 RPM	—	42%	53%	64%	71%	51%

Tabla No. 10.13- Viabilidad de sorgo desgranado en diferentes condiciones

Los compradores de sorgo, y de otros granos, conocen que algunos agricultores entregan siempre, aun en condiciones climáticas desfavorables, granos limpios, sanos y de humedad adecuada; otros, por el contrario, recolectan sistemáticamente granos de mala calidad.

Normalmente a los recolectores independientes de grano se les cancela el trabajo de acuerdo con el número de bultos recogido, sin que se de valor a la calidad del trabajo, de tal manera que no se tiene mayor incentivo para recoger granos con mayor cuidado. La práctica común entre los industriales de devolver al productor en el mismo camión, el grano que se rechaza por calentamiento o cualquier otra razón, contribuye a disminuir la calidad del grano que se recibe, pues el producto rechazado, con frecuencia se zarandea y seca al sol, para posteriormente "diluirlo" con grano sano y enviarlo de nuevo a la industria.

Humedad: La humedad elevada del sorgo recién recolectado, puede deberse a cosecha de granos fisiológicamente inmaduros, o maduros pero sucios y mojados por lluvia. Los inmaduros tienen un contenido alto de azúcares que, con el secado artificial, pueden combinarse con aminoácidos en la reacción de Maillard que produce cambios de color. El deterioro de sorgo húmedo se produce en pocas horas. Con 25% de humedad, tal vez no permita una espera entre recolección y secado de más de 12 horas en climas cálidos. Los granos plenamente maduros, pero húmedos por lluvias e impurezas, son también susceptibles de deterioro rápido, su almacenaje temporal en fincas, antes del embarque a las plantas procesadoras, debería hacerse en arrumes abiertos, con adecuada ventilación entre los bultos, o en silos de acopio, si se maneja a granel, dotados de sistemas de aireación de alto volumen de aire.

En climas cálidos (24°C), sorgo con humedad de 18% a 20%, no tolera una espera de más de 24 horas entre su recolección y secado. La temperatura del grano puede utilizarse como indicador rápido de su estado; si es superior a 28-30°C, casi seguramente ha iniciado un rápido proceso de deterioro. No debería recolectarse sorgo con humedad mayor de 22%, si no es posible secarlo en el transcurso del mismo día o añadirle inmediatamente inhibidores de hongos (ácidos orgánicos y sus sales), en dosis apropiadas.

Sorgo con humedad entre 16% y 18% debería secarse antes de 48 horas, mientras que grano con humedad inferior puede permitir hasta 72 horas.

Humedad de equilibrio: Como sucede con maíz, la humedad de equilibrio del sorgo varía con el tipo y variedad y según el proceso sea de ganancia (adsorción) o pérdida de humedad (desorción). La mayor parte de los estudios sobre humedad de equilibrio que se utilizan actualmente, fueron hechos varios años antes del auge del secado artificial de granos y, en consecuencia, no incluyen los cambios que este proceso introduce en las características higroscópicas de los granos. Así las curvas recomendadas por la ASAE se basan en estudios realizados entre 1925 y 1955. Estos estudios analizaron variedades de granos prevaletentes en cada época y, con una sola excepción, no tienen indicación de si corresponden a procesos de adsorción o desorción, despreciando el efecto de Histéresis.

En 1965 Davey y Elcoate recopilaron los resultados de los principales trabajos sobre humedad de equilibrio del sorgo; en la tabla No. 10.14 se anotan los valores promedios de 4 de ellos cuyos valores concuerdan entre sí, no se incluyó el estudio No. 5 (Whitshead, Gastler, 1946) pues discrepa notoriamente de los anteriores.

Humedad relativa	Humedad de equilibrio
50%	11.0%
55%	11.6%
60%	12.1%
65%	13.0%
70%	13.7%
75%	14.5%
80%	15.8%
85%	17.0%
90%	18.7%
95%	20.7%

Tabla No. 10.14- Valor promedio de humedad de equilibrio de diversas variedades de sorgo, con temperatura de aproximadamente 25°C en proceso de adsorción

Los valores de la tabla anterior, al igual que los resultados de cualquier otro experimento, deben ser utilizados con cui-

dado y no tomarse nunca como valores exactos sino como simple guía.

En zonas tropicales, tienen mayor importancia las isotermas de adsorción, pues los problemas se presentan generalmente con grano que gane humedad.

Acondicionamiento: En las condiciones climáticas colombianas y con las fechas actuales de siembra y recolección, cerca de 50% de la producción total de sorgo debe secarse artificialmente. La cantidad ha aumentado con la expansión de las zonas de cultivo, la mecanización y con los controles de calidad más estrictos, establecidos por las industrias.

En zonas como la región Norte del Tolima (Armero, Ambalema, Lérica) en condiciones normales, la mayor parte del sorgo se cosecha seco; por el contrario, en el sur del Cesar (Aguachica, Gamarra . . .) en la temporada de agosto-septiembre, dadas las condiciones climáticas, la mayor parte del grano exige secado artificial.

Normalmente en Colombia, el sorgo que adquieren las industrias no se limpia, a lo sumo se utiliza una malla de 3/4" x 3/4", sobre las tolvas de recibo, para impedir la entrada de impurezas demasiado grandes y de alguna parte de las cabuyas de amarre de los sacos.

En las plantas de silos de los almacenes de depósito, por el contrario, el sorgo se prelimpia normalmente, para reducir sus impurezas a aproximadamente 3%, (en algunas zonas, en casos especiales, se recolecta grano hasta con 8% de impurezas).

Las recomendaciones hechas para maíz que se utilice para alimento de animales, son aplicables, en general al sorgo. No conviene, especialmente con granos que se almacenarán varios meses, remover la humedad a velocidad superior a 3.5 puntos de humedad por hora. La máxima temperatura del grano no debería ser, en ningún caso, mayor que 60°C. Cuando se seque sorgo muy húmedo (más de 20% de humedad), es

recomendable, en especial si el grano se almacenara, reducir la humedad en 2 pasos, separados por un período de reposo no menor a 4 horas, que permita disipar los esfuerzos internos, reduzca la aparición de vendeduras en el grano y permita obtener una mejor eficiencia térmica del equipo.

En la figura No. 10.3 se ilustran las mediciones tomadas por el autor, en una secadora de flujo continuo, tipo LSU, después de varias horas de trabajo con sorgo, con una temperatura del aire de secado de 71°C . El ambiente tenía una temperatura de 26°C y humedad relativa de 68% . El sorgo tenía humedad inicial de 17% , 3% de impurezas y temperatura de 27°C .

En el punto A (Fig. No. 10.3), situado en el tercio superior de la torre, la temperatura del grano había ascendido de 27°C a 30°C , mientras su humedad se reducía de 17% a 16% .

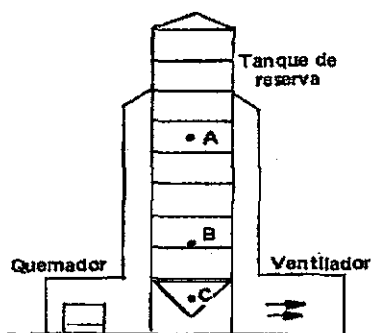


Fig. No. 10.3- Ensayos de secamiento

En el punto B, el tercio inferior de la torre, la temperatura del grano bajó hasta 29.5°C , indicando rápida evaporación y aproximación a la temperatura de bulbo húmedo del ambiente (21°C), la humedad, en este punto se redujo a 15.7°C .

En el punto C, descarga de grano, la temperatura ascendió a 45°C y la humedad final fue de 14.4°C . La secadora traba-

jaba con un tiempo de retención del grano (permanencia dentro de la torre) de 1 hora y 35 minutos. El grano caliente (en este caso no se estaban utilizando las compuertas de enfriamiento de la torre) se descargaba de la secadora por medio de un sistema de transportadores y elevadores que, al final de su recorrido, habían reducido su temperatura a 31°C ; temperatura que ha resultado adecuada para almacenaje en la zona (Buga-Valle), para almacenaje durante 2 ó 3 meses.

En el proceso de secado, se reduce el volumen del sorgo, al igual que sucede a los demás granos. Por ejemplo, grano secado de 17% a 12% se "encoge" en 7% aproximadamente, mientras grano de 20% de humedad inicial, secado a 12% puede reducir su volumen en 12% aproximadamente.

Almacenamiento: En general, el sorgo puede ser un poco más difícil de conservar que el maíz, por su mayor contenido de granos quebrados e impurezas. En el Valle del Cauca, la experiencia, de bastantes años, de empresas que realizan programas de almacenaje a granel, en bodegas-silo y en arrumes, indica que en estos últimos se presentan con frecuencia mayores infestaciones que en los graneles, tal vez como resultado de infestaciones presentes en los empaques de "segunda" o por la mejor "cámara" que el mismo grano forma para los insectos.

Para almacenar, en cualquier circunstancia y durante varios meses, grano que llegue en bultos directamente de las fincas productoras, es indispensable realizar un control de humedad bulto por bulto, antes de autorizar el almacenaje. Unos pocos bultos húmedos pueden poner en peligro, en un período de algunos meses, la calidad de todo el arrume. En climas fríos, como el de la Sabana de Bogotá (temperatura media de $12-15^{\circ}\text{C}$, 2.600 mts. s.n.m.), se consiguen buenos resultados con grano almacenado en arrumes, con humedad inferior a 15% , durante varios meses; naturalmente con los debidos controles de insectos.

En climas cálidos (24°C), no muy húmedos, no es conveniente almacenar granos con humedad superior a 14% . En

zonas húmedas (Montería, Villavicencio 2o. Semestre . . .) es recomendable secar todo el grano a menos de 13% y controlar, ya sea que se guarde en silos o bodegas, la entrada de aire ambiente que pueda humedecerlo. El olor del grano dentro de la bodega, en los callejones entre arrumes, es buen indicador de su estado general. Debe tenerse especial cuidado en inspeccionar la parte superior y central de los arrumes y el punto de contacto del mismo con las estibas (plataformas) de madera.

REFERENCIAS

- (1) BAUDIN, El imperio socialista de los Incas, Santiago de Chile, ZIG ZAG, 1970.
- (2) VON HAGEN, El mundo de los Mayas, México, Editorial Diana, 1974, p. 63.
- (3) En Grain Industries Plants, January 22, 1975, p. 7.
- (4) USDA, Stress Cracks and Breakage in artificially dried corn, MRR-111, 1963.
- (5) BOLSA DE CEREALES DE BUENOS AIRES, Seminario sobre secado de granos y manipuleo de cereales con alto contenido de humedad, Buenos Aires, 1968.
- (6) TROPICAL STORED PRODUCTS (TPI), Bulletin No. 31, Slough (Inglaterra), 1976, p. 2.
- (7) USDA, Grain Breakage caused by commercial handling methods, MRR-968, 1973.
- (8) HILL, D., Corn quality in world markets, Danville, University of Illinois, 1975, p. 171.
- (9) En Grain Age, December, 1975, p. 22.
- (10) MAIZENA, comunicación privada, Cali, Enero 30, 1976.
- (11) TUTTE y FOSTER, Effect of artificial drying on the higroscopic properties of corn, en Cereal Chemistry, Vol. 4, 1973.
- (12) USDA, MRR-631, Op. Cit.
- (13) Ibid, Fig. 10.
- (14) COPLEY, VAN ARSDEL, Food dehydration, Avi Publishing Co., Westport, 1964, p. 232.
- (15) FOSTER, G., AMS-632, Op. Cit., Tabla 8-2.
- (16) FOSTER, G., Drying Corn for the commercial market, Chicago, ASAE, 1961.
- (17) WATSON, Storing and drying corn for the milling industry, ASAE, 1960.
- (18) TPI, Food Storage Manual, Slough, 1970, p. 18.
- (19) TPI, 1970, Op. Cit.

CAPITULO XI SECADO DE ARROZ

Alvaro Castillo Niño

Los objetivos principales de un sistema de secado de arroz son los siguientes: 1) reducir al mínimo la cantidad de granos quebrados que se producen como resultado del mismo secado, 2) extraer la humedad de manera económica y, 3) hasta donde resulte posible, hacer el trabajo de manera relativamente simple.

En las zonas tropicales el secado de arroz es un poco más complejo que en las zonas templadas por las características físicas de los granos producidos en ellas, originadas en los efectos de las condiciones climáticas.

En la tabla siguiente se hace una comparación de los rendimientos de grano entero y de masa blanca que se obtienen en las zonas tropicales y en la zona arrocería del Misisipi en los Estados Unidos.

RENDIMIENTOS INDUSTRIALES PROMEDIO QUE SE OBTIENEN CON ARROZ DE ZONA TEMPLADA Y DE ZONAS TROPICALES		
	Masa blanca %	Indice de grano entero %
Promedio en Arkansas con arroz de buena calidad.	70%	58%
Promedio en el valle del río Magdalena en Colombia (<i>Tolima and Huila</i>) con arroz de buena calidad.	69%	58 - 59%
Promedio en el Departamento del Meta en Colombia, con arroz de buena calidad.	69%	52%-54%
Promedio en los llanos venezolanos, con arroz de buena calidad.	68%	51%-53%
Fuentes: archivos de Ediagro Ltda. y reportes de molinos de los Estados Unidos.		

En la tabla anterior se indican cifras promedio. Naturalmente algunos molinos obtienen cifras superiores y otros cifras inferiores.

Las cifras de rendimiento industrial que siguen fueron tomadas, en mayo de 2002, en un molino de arroz moderno situado en Colombia, y se encuentran entre las más altas que los consultores de Ediagro Ltda., hayan analizado en molino alguno en las zonas tropicales de América.

Los resultados corresponden a una evaluación realizada, en un molino comercial, durante varias horas de trabajo. Esta evaluación formó parte de las pruebas de un sistema de secado que incluye algunas innovaciones.

El sistema de secado incluía un primer paso en una secadora de torre de caballetes cruzados, para remover la humedad de aproximadamente 22% a 18%, un segundo paso - después de reposo de 12 horas- en albercas inclinadas hasta que la humedad de la capa superior del grano fue de 15% y un tercer paso - después de otro reposo de 12 horas- en una secadora de torre, del mismo tipo descrito, hasta que la humedad promedio fue de 13%.

El arroz llegó al primer paso de secado con contenido de impurezas ligeramente superior a 1%, circunstancia que explica el aparentemente alto contenido de cascarilla que resultó en la molienda.

El grado de pulimento fue el utilizado normalmente en el arroz comercial en Colombia (entre 39 y 40 grados Kett).

Los rendimientos obtenidos en la trilla de varias horas fueron los siguientes:

RESULTADOS DE TRILLA (PILADO) COMERCIAL REALIZADA EN MAYO DE 2002, REGION CENTRAL DE COLOMBIA	
Grano comercial de primera clase (entero, con 8% de grano partido, llamado en Colombia "excelso"). Sobre el peso del paddy seco (A)	68.13%
Grano quebrado comercial (B)	2.19%
Índice de masa blanca, sobre el peso del paddy (A+B)	70.32%
Índice de extracción de salvado (harina de pulimento), sobre el peso del paddy seco.	7.82%
Porcentaje de cascara (concha) sobre el peso del paddy seco	21.86%
Índice de grano 100% entero (92% de 68.13%)	62.67%

Los muy buenos resultados anteriores, naturalmente, no tienen una sola explicación: se originan en la experiencia y técnicas de los productores de la zona, en las condiciones climáticas, la disponibilidad oportuna y suficiente de riego, las características de las variedades de semilla, en el sistema de secado y en el equipo de molinería y avanzados procedimientos de control utilizados.

Como se mencionó, el secado artificial de arroz presenta problemas especiales por tratarse del único grano que se comercializa entero y cuyo valor comercial depende, precisamente, de su potencial de rendimiento de grano entero¹.

Cuando el grano en el campo alcanza la madurez su humedad interna deja de depender de las transferencias que la planta le hace y varía, más bien, en respuesta a los cambios ambientales.

En Colombia y países vecinos, el arroz se cosecha con contenidos de humedad entre 20% y 24%. La industria colombiana ha establecido que la humedad mínima del grano recibido debe estar alrededor de 21%. Molineros colombianos en visitas a los Estados Unidos se sorprenden con la baja humedad (17% a 18%) con que el mejoramiento varietal permite ahora cosechar el arroz.

En Venezuela es frecuente recibir arroz con 17% a 18% de humedad, pero se ha demostrado que, para las variedades actuales, los cambios climáticos aumentan las quebraduras del grano de baja humedad, que permanece en el campo.

El autor de estas líneas, entonces un joven practicante de ingeniería, recuerda que, a mediados de los años 60, en Estados Unidos, el contenido de humedad de cosecha con el que se obtenían los mejores índices era de 20% a 22%. Desde entonces las variedades han sido modificadas y las más recientes son capaces de resistir retrasos en su cosecha.

Por el contrario, en Sur América, dicha resistencia al retraso de cosecha no había sido buscada por los obtentores de semillas. Reciente-

¹ La relación de precios entre los granos enteros y los granos partidos, varía entre 2 y 3. Esta diferencia de precios, como se verá más adelante, orienta sobre el tipo de tecnología más conveniente en cada país.

mente, el FLAR, Fondo Latinoamericano de Arroz Riego, introdujo dicho concepto en sus prioridades de investigación.

Después de que se ha alcanzado la madurez, los cambios en las condiciones climáticas, especialmente la lluvia, pueden afectar el rendimiento de grano entero.

Los granos de arroz en el campo, y aún en la misma panícula, maduran de manera diferente. En el momento de la cosecha, si esta se hace con la humedad adecuada, la mayor parte de los granos están maduros, pero algunos pueden haber pasado esta etapa y otros encontrarse todavía inmaduros.

Una investigación hecha en la Universidad de Arkansas mostró que, en una misma panícula, existían diferencias de humedad de 21% a 29%, entre los granos de la parte superior y de la parte inferior.

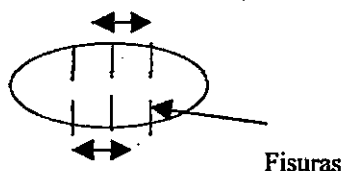
Cuando el arroz en el campo se encuentra por debajo de un nivel determinado de humedad tiende a ganar o perder rápidamente humedad de la atmósfera, según las condiciones climáticas. Esta entrada de humedad induce la aparición de fisuras y la reducción del potencial de producción de grano entero.

El aumento rápido de humedad (reabsorción), cuando la humedad del grano se ha reducido a niveles que podrían llamarse críticos, produce fracturas en el grano. Según parece, el cambio de volumen que en la superficie produce la adsorción de humedad, genera tensiones internas en el grano que producen su fractura². El mecanismo probable se ilustra en la gráfica que sigue.

² Terry J. Siebenmorgen. Role Of Moisture In Affecting Head Rice Yield en Wayne Marshall, p 341.

MECANISMO DE FORMACION DE FISURAS POR ADSORCION DE HUMEDAD

Tensiones generadas por aumento de humedad de la capa externa



En uno de los primeros trabajos realizados sobre el tema de los efectos del secado artificial en arroz, Schmidt y Jebe (1959)³ encontraron que las fracturas en el arroz se producían principalmente por la velocidad de extracción, puntos de humedad por hora, y no por temperaturas altas. Estas conclusiones han sido corroboradas por trabajos posteriores y explican el mejor rendimiento que se obtiene, con arroz tropical⁴, con el diseño colombiano de albercas (en el cual la extracción de humedad es inferior a 0.5% por hora), que en las aplicaciones de secado por pasos, salvo cuando el secado se divide en 4 o más etapas (llamadas generalmente pasos). Sin embargo es necesario mencionar que no concuerdan con la teoría anterior los resultados de las nuevas secadoras de lecho fluidizado, que pueden extraer varios puntos de humedad en pocos minutos.

Un estudio hecho por Stermer⁵ mostró que las fracturas causadas por desorción (secado) tienen forma irregular y son poco profundas, mientras que las causadas por adsorción ("rehumedecimiento") son rectas y más severas. Así, las fisuras que resultan del proceso de secado empiezan en la superficie y van profundizando hacia el interior del grano. Este tipo de daño es poco frecuente, y, en consecuencia, la adsorción de humedad, después del proceso de secado, parece tener mayor importancia que el secado por sí mismo.

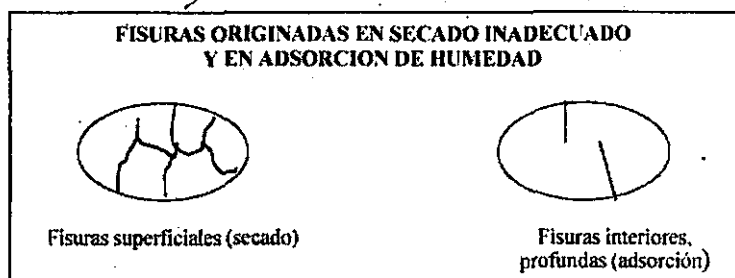
Las fisuras superficiales e irregulares en el arroz blanco, obedecen, en consecuencia, a problemas de secado. Las fisuras internas y profun-

³ Schmidt, J.L., and Jebe, E.H., (1959). The Effect Of Artificial Drying On The Yield Of Head Rice And Germination Of Rice. Trans. ASAE, 2(1):26,31.

⁴ Más blando y susceptible a quebrarse.

⁵ Stermer, R.A. (1968). Environmental Conditions And Stress Cracks In Milled Rice. Cercal Chem., 45:365. Citado por T.Siebenmorgen en Role Of Moisture In Affecting Head Rice Yield En Wayne Marshall, p 356.

das tienden a ser producidas por situaciones de "rehumedecimiento". En los dibujos siguientes se ilustran los dos tipos de fisuras.



La "transición" vítrea

El área de investigación más promisoría, relacionado con la aparición de fracturas y fisuras en el arroz, es el estudio de la llamada transición del estado cauchoso, o elástico, del arroz, al estado vítreo o frágil.

La mayor parte de los trabajos relacionados se está realizando en la Universidad de Arkansas y, de manera simple, puede resumirse de la siguiente manera:

Cuando el contenido de humedad y la temperatura del arroz son bajos, la amilosa, uno de los almidones presentes en el grano, es dura y frágil, como vidrio, tal como sucede con el plástico, que también se endurece con bajas temperaturas. Cuando el arroz se calienta hasta alcanzar una temperatura determinada, la textura de la amilosa cambia de vítrea a cauchosa o elástica, tal como sucede también con el plástico. Este proceso se llama la "transición vítrea". La temperatura a la cual la "transición" ocurre varía de acuerdo con la humedad del grano.

Ensayos hechos con las variedades norteamericanas Cypress y Bengala, en 1997, mostraron que, cuando los niveles de humedad se encuentran entre 10% y 15%, las temperaturas de "transición" se encuentran entre 35 y 46 grados centígrados, pero cuando el contenido de humedad es de aproximadamente 20%, la transición se realiza a una temperatura de aproximadamente 30 grados centígrados, en consecuencia el arroz es mucho más susceptible a la temperatura durante la cosecha y en el primer paso de secado, que en etapas posteriores.

Esta interpretación de los dos "estados" del arroz, permite comprender el mecanismo de fractura del arroz cuando se intenta secarlo de manera demasiado rápida. En palabras de Terry Siebenmorgen, Director del Centro de Estudios sobre Molinería de arroz de la Universidad de Arkansas, "cuando se crea un gradiente de humedad demasiado grande, si una parte del grano ha sufrido la transición, pero la otra no la hecho, una parte del arroz *quiere* hacer una cosa y otra parte *quiere* hacer otra, y, como resultado, se tiene una fisura que puede conducir a la quebradura del grano durante la molienda"⁶

Dispersión de la humedad en los granos individuales

Este es un concepto que solo ahora tiene aplicaciones prácticas por la disponibilidad de medidores de humedad de los granos individuales, como el aparato Kett PQ 510.

Se denomina dispersión de la humedad la variación de la humedad de los granos individuales con relación al promedio.

La humedad de los granos individuales de arroz recibido del campo tiene dispersión con relación al promedio, en primer lugar, por la diferencia de maduración de los granos, derivada, a su vez, principalmente, de su colocación en la espiga y de diferencias varietales que inducen diferente tiempo de floración en las partes de la misma.

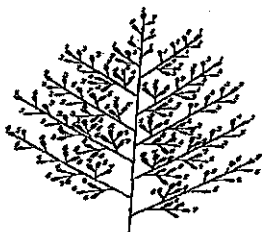
En la dispersión de la humedad inciden, además, otros aspectos como:

- Mezcla de variedades en la semilla utilizada (Colombia, Venezuela, Ecuador),
- Presencia de roedores en los cultivos que pueden trozar tallos que luego rebrotan y maduran con tardanza (notorio en Venezuela),
- Variabilidad en las condiciones climáticas durante la recolección (trópico).

En la gráfica que se presenta más adelante se muestra el orden de maduración normal de los granos en la espiga.

⁶ Citado en *Rice Journal*, Drying and Quality, por Mary Ann Rood, June 15, 1999.

Características varietales introducen un rango de variación muy amplio en la amplitud de las fechas de inicio y final de floración y, en consecuencia, de maduración de los granos individuales.



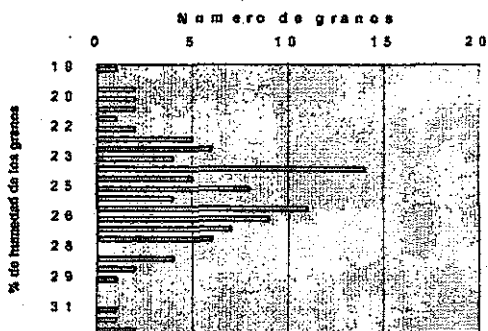
Ejemplos de orden de floración en panículas de arroz Matsushima, 1957.

Son pocos los trabajos realizados hasta la fecha (2002) con el uso del concepto de dispersión de la humedad de los granos individuales. Por esta razón no se dispone de mayores referencias y bases de comparación.

En la aplicación de este concepto se utiliza el indicador estadístico de *desviación estándar* para reflejar la magnitud de la dispersión de la humedad de los granos individuales en la muestra.

En las gráficas siguientes se aprecia la dispersión de la humedad en granos recibidos del campo, de diferentes variedades, en molinos de arroz, en Venezuela en 2002. Es importante observar los extremos de las variaciones de humedad, 19% y 33% en un caso y 17.5% y 29% en el otro.

Dispersión de la humedad de arroz
paddy humedo recibido del campo
2 H % prom 25,4% Dv std 2,58



**Dispersión de la humedad de arroz
paddy recibido de campo H %
promedio 23,4% Dv std 2,46**



Además de los anteriores, en la misma zona se observaron varios casos extremos con granos de campo cuya *desviación estándar* fue superior a 4.0. Dichos casos corresponden a mezclas varietales sumadas con floración inducida más de una vez por diversas razones (resiembrar, ataque de roedores ...).

Dispersión de la humedad y quebraduras del arroz

Según la teoría de la transición vítrea, a la cual ya se hizo referencia, durante el proceso de secado los granos más húmedos son más afectados por temperaturas relativamente altas (45, 50°C) que los granos de menor humedad.

En un grano determinado, así el promedio de humedad parezca bajo, si la dispersión de la humedad es alta, los granos más húmedos del conjunto van a sufrir en mayor grado las tensiones internas que induce la transición de sus almidones del estado *vítreo* al *cauchoso* y, en consecuencia, están más expuestos a sufrir vendeduras y quebraduras.

Como se verá más adelante, la alta dispersión de la humedad en un lote determinado hace más susceptibles a los granos de alta humedad a sufrir esfuerzos internos, y posibles quebraduras, cuando se presentan incrementos de temperatura.

La teoría de la transición vítrea es un nuevo enfoque teórico, desarrollado en la Universidad de Arkansas, para analizar un viejo problema. Se trata de un concepto tomado de la química de polímeros.

Los almidones del arroz (amilosa y amilopectina) cambian de "estado" según la relación entre su humedad y su temperatura.

Para un grano dado, la transición de estado *vítrea* a *cauchoso* es función de la temperatura y de la humedad.

En estado *vítrea* los granos de arroz tienen:

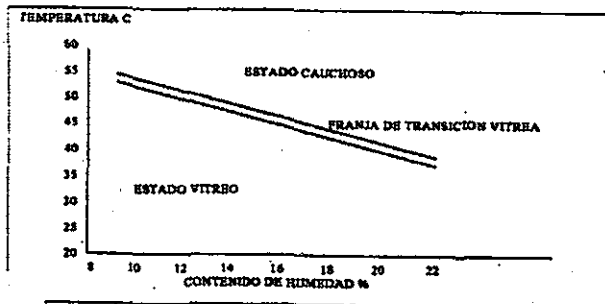
Bajo coeficiente de expansión,
Bajo volumen específico,
Baja difusividad de la humedad interna

En estado *cauchoso*: los granos de arroz tienen:

Alto coeficiente de expansión (6 a 7 veces mayor que en estado vítreo),
Alto volumen específico,
Alta difusividad de la humedad interna

- Como las capas exteriores del grano se secan más rápidamente que las interiores, durante el secado una parte de cada grano de arroz puede estar en estado *vítrea* y otra parte en estado *cauchoso*: en ese momento son dos materiales diferentes, cada uno tratando de comportarse de manera diferente.

Las relaciones entre temperatura y humedad y la franja de la transición vítrea se presentan en la gráfica siguiente.



Cambios en la dispersión de la humedad con el secado

El proceso de secado puede aumentar o disminuir la dispersión de la humedad de los granos individuales.

De manera general, se conoce que en las albercas de secado, típicas de Colombia, se presentan diferencias grandes en la humedad de las capas superiores e inferiores del grano y que las secadoras de torre de flujo continuo reducen la dispersión de la humedad.

La experiencia adquirida hasta ahora parece mostrar que grano seco, con *desviación estándar* de la humedad inferior a aproximadamente 0.6, no presenta dificultades importantes en el descascarado o en el pulido.

Por el contrario, grano seco (por ejemplo con 12.5% de humedad), con *desviación estándar* cercana a 1.0, puede presentar dificultades en el descascarado, separación de paddy y pulido.

Durante el almacenaje, una masa de arroz con alta dispersión de la humedad puede sufrir el calentamiento de algunos de los granos de alta humedad, así la humedad promedio parezca adecuada.

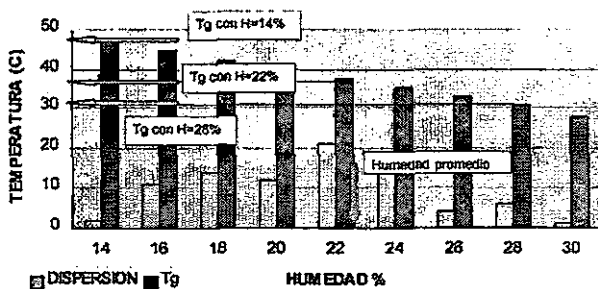
En la gráfica siguiente se aprecian, desde otro punto de vista, las razones por las cuales el grano de alta dispersión de humedad es más susceptible a tener daños por efectos de la transición del estado vítreo al cauchoso.

La gráfica se ha preparado sobre los resultados de la dispersión de la humedad de una muestra de arroz cosechado en Colombia, cuya humedad promedio era de 22.5% y cuyos granos individuales tenían una alta dispersión de humedad, reflejada en la desviación estándar de 3.45. En la gráfica se aprecia que la muestra tenía granos con humedad tan alta como 30% y tan baja como 14%.

Tg es la temperatura de transición vítreo.

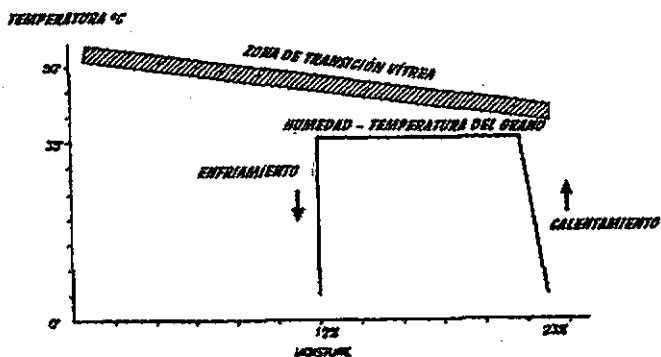
VARIACIÓN DE LA T_g CON LA DISPERSIÓN DE LA HUMEDAD

DISPERSION DE HUMEDAD Y T_g .
Desv. Esta=3.45



Sobre el eje vertical se aprecia la temperatura a la cual se presenta la transición vítrea para granos de humedad de 14%, 22% y 28%, todos presentes en la muestra de humedad promedio de 22%.

A la luz de la misma teoría, los altos rendimientos de grano entero que se obtienen con las albercas secadoras se explica por las bajas temperaturas utilizadas (inferiores a 35°C) que no inducen el cambio de estado de los granos y todo el secado se realiza en estado vítreo tal como se presenta en la gráfica siguiente.



RICE DRYING IN STATIC POOLS

SECADO DE ARROZ EN ALBERCAS

Debe tenerse en cuenta que el secado en estado vítreo es más lento y menos eficiente en uso de combustible que el que podría obtenerse en estado cauchoso.

Secadoras de arroz

Entre los sistemas utilizados para el secado de arroz se encuentran: el secado por pasos con secadoras de torre, el secado por recirculación también en secadoras de torre, el secado en albercas, un sistema que combina torre y alberca y, de manera reciente, el secado en máquinas de lecho fluidizado.

La modernización de la producción de granos, para que produzca beneficios plenos, exige cambios en los procedimientos de manejo y comercialización.

En un sistema moderno la recolección y el transporte se hacen totalmente a granel, de tal manera que es necesario realizar también a granel las operaciones de recibo, secado y almacenaje.

Colombia es uno de los pocos países donde la mayor parte de los granos se recolectan con cosechadora combinada pero se trasvasan a sacos. Las razones para esta persistencia son de diferente origen, entre ellas: tradición y resistencia al cambio, dificultades de transporte y, en los últimos años, amenazas de diverso tipo a quienes realizan inversiones que de alguna manera puedan considerarse muy notorias.

El secado de arroz, *por pasos*, en máquinas de torre de flujo continuo, es utilizado en muchas de las instalaciones industriales de beneficio de arroz de los países productores de la zona templada. Entre sus ventajas, si se compara con el espacio necesario para las albercas del tipo tradicional en Colombia, se encuentra la facilidad de manejo del grano totalmente mecanizado, menor consumo de potencia y menor espacio ocupado.

En los Estados Unidos aproximadamente la mitad del arroz se seca por "pasos" y la otra mitad, de manera lenta, en silos metálicos, de alta capacidad (hasta 1.000 o 1.500 toneladas) equipados con sinfines verticales que revuelven el grano (*stirring screws*), instalados en las fincas productoras. De acuerdo con opiniones de molineros de arroz de ese país, el arroz secado de manera lenta, en los silos de las fincas produc-

toras, produce mejores resultados de grano entero que el secado por "pasos"⁷.

Debe tenerse en cuenta que la factibilidad de realizar el secado en silos de gran capacidad, depende, en buena parte, de las condiciones ambientales. En Arkansas, durante la cosecha, por ejemplo, es frecuente que las condiciones ambientales se equilibren con humedad del grano de 12% o menos (32 °C y humedad relativa inferior a 60%).

En las zonas tropicales el secado en silos con tornillos revolventes ha tenido aplicación limitada, sin embargo, no existe ninguna razón por la cual este sistema no se pueda aplicar en zonas secas, como, por ejemplo, las llanuras del Tolima, en Colombia.

Las secadoras pueden considerarse sistemas de aire especializados, que succionan aire de un espacio abierto y lo descargan, después de cumplir su función de remover y transportar humedad, en otro espacio abierto.

Una secadora de granos está formada por los siguientes elementos principales:

- Entrada de aire,
- Ventilador;
- Quemador;
- Ductos;
- Puertas de conductos a *plenums*;
- Cámaras *plenum*;
- Recipiente para grano.
- Equipos para cargue y descargue de grano;

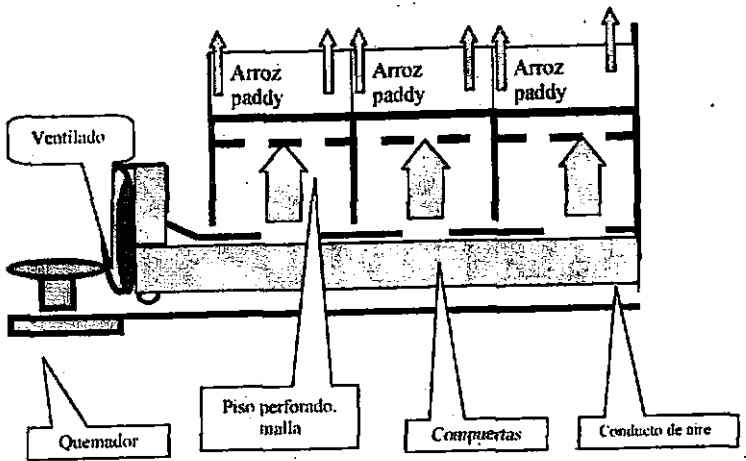
Estos elementos se pueden identificar en las figuras siguientes:

Secadoras de alberca

El diseño de las secadoras de alberca evolucionó en Colombia a partir de las secadoras de sacos que introdujo, hacia 1948, la empresa *Lister*, fabricante Inglés de motores Diesel.

⁷ El autor no conoce referencias de estudios comparados rigurosos.

De manera simplificada, los elementos principales que forman una secadora de albercas se ilustran en la gráfica siguiente.



En Colombia, la mayor parte de la capacidad instalada de secado de arroz, está constituida por las denominadas "albercas"⁸, que utilizan pisos de malla perforada, para forzar aire a través de capas de grano, de espesor que oscila entre 60 y 150 cm.

Las albercas son adecuadas para manejar cantidades pequeñas o medianas de arroz, para el secado de cantidades grandes (15.000 o más toneladas de arroz por año), el sistema "combinado" con albercas y torres de secado o el secado "por pasos" con torres y silos de reposo ofrecen, en la mayor parte de los casos, una opción de operación más económica, aunque no debe olvidarse la tendencia del secado por "pasos" a producir mayor cantidad de granos partidos que el secado en albercas.

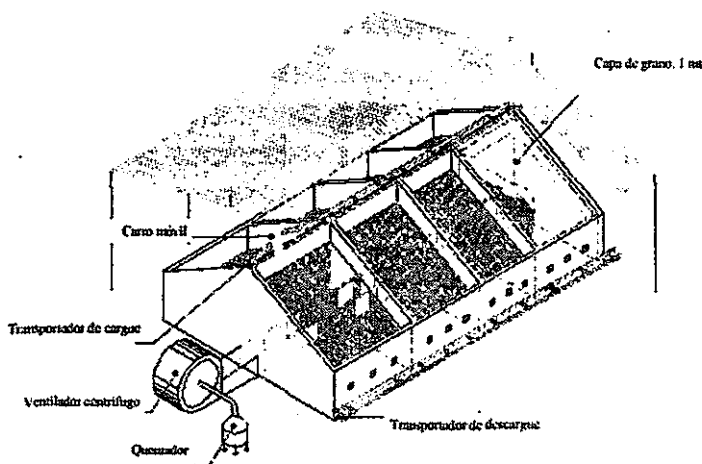
Como se dijo, los diseños de albercas secadoras utilizados actualmente, son resultado de una lenta evolución del diseño original, introducido por *Lister*, fabricante inglés de motores Diesel utilizados en el secado de granos, en la década de 1940. Hasta hace algunos años no existía uniformidad de criterio para el diseño de las albercas y para la determinación de los *parámetros* de mayor importancia. Por ejemplo, se ha encontrado, que el volumen de aire por kilo de grano, en instalaciones localizadas a lo largo de Colombia y Ecuador, puede variar hasta

⁸ Conocidas como "tinajas" en Ecuador y "secadoras Lister" en Venezuela.

10 veces entre una instalación y otra y, como consecuencia, los tiempos de secado pueden variar entre 24 y 120 o más horas.

En otros casos, como resultado de diseños poco cuidadosos, para vencer únicamente la *fricción* del aire contra paredes, se utiliza hasta 2/3 de la energía total consumida por el ventilador.

Los elementos principales de una secadora de alberca se ilustran en la gráfica siguiente.



Un trabajo de investigación aplicada, realizado para la Federación Nacional de Arroceros de Colombia, Fedearroz⁹ presenta las siguientes conclusiones y sugerencias principales, para el mejor diseño y operación de albercas de secado.

- ◆ El tiempo de secado en las albercas depende principalmente de las condiciones ambientales, de la temperatura del aire de secado y del volumen de aire aplicado por una determinada cantidad de grano.
- ◆ Como norma general se recomienda que el volumen de aire no sea inferior a aproximadamente 10 CFM/*Bushell* de grano (14 M³/Min por tonelada de grano).

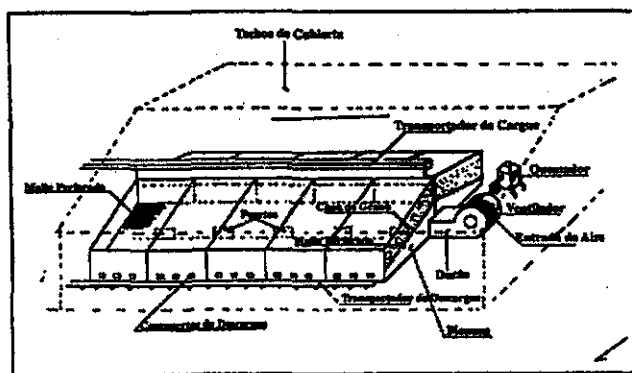
⁹ Castillo Alvaro, Recomendaciones para Mejorar el Diseño de las Albercas de Secado. Ediagro Ltda. Bogotá 1990.

- ◆ En el caso, frecuente en Colombia, de que con un mismo túnel, se abastezca de aire a varios túneles, las velocidades del aire en los túneles, especialmente en el tramo entre la descarga del ventilador y la primera puerta, deben mantenerse inferiores a 2.000 pies por minuto (600 Metros por minuto), con el fin de disminuir las diferencias entre la cantidad de aire que recibe la primera alberca y las siguientes ¹⁰.
- ◆ Para controlar la velocidad del aire y al mismo tiempo insuflar alto volumen en el grano, es necesario utilizar conductos de mayor tamaño que los utilizados tradicionalmente.
- ◆ El manejo del aire en todo el sistema debe ser delicado, se deben evitar las contracciones o expansiones abruptas, las curvas demasiado fuertes, las puertas innecesarias etc.
- ◆ El sostenimiento de una temperatura de secado relativamente constante es de mucha importancia en horas de la noche, cuando la temperatura ambiente desciende y la humedad relativa del ambiente aumenta. El descenso de temperatura reduce la capacidad efectiva de secado y fomenta, como se analizó, la aparición de fisuras en el arroz que se encuentre relativamente seco, al rehumedecerlo.
- ◆ Areas reducidas para *desfogue* del aire que ya ha atravesado el grano, introducen resistencia adicional de importancia al ventilador y, además, dificultan la evacuación del aire húmedo. Las áreas libres entre los aleros de los techos y las paredes de las albercas deben equivaler por lo menos al 30% del área de pisos perforados de las albercas. Es conveniente construir en los techos lucernas, o sobretechos, que faciliten la salida del aire cargado de humedad a la atmósfera y eviten su condensación en los techos.
- ◆ Las albercas inclinadas se construyen generalmente con pendientes que varían entre 32 ° y 35 °. Mientras las primeras tienen mayor tendencia a necesitar ayuda de mano de obra para su descargue total, las de mayor pendiente (34-35°), tienen tendencia a "fluidizarse" y sufrir algún rodado espontáneo de arroz, cuando reciben demasiado aire por efecto del cierre de las compuertas de varias albercas. La pendiente recomendable, que equilibra problemas y ventajas puede ser de 33 o 34°.

¹⁰ La explicación se encuentra en la teoría de los orificios hidráulicos.

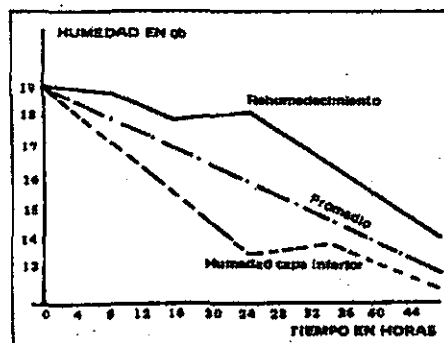
La alimentación de las albercas, preferiblemente debe hacerse desde un transportador de banda con ayuda de un "tripper" que pueda colocarse en cualquier sitio de la alberca, para conseguir llenarla de manera uniforme. En caso de que se utilicen transportadores sin fin o de arrastre para llenar las albercas, dentro de lo posible se debe instalar una descarga cada metro.

Las características físicas principales de las albercas se muestran en la gráfica siguiente. Debe resaltarse que la inclinación de aproximadamente 33° de los pisos perforados permite que las operaciones de llenado y descarga se hagan de manera mecanizada, con muy poca necesidad de utilizar mano de obra.



Albercas inclinadas

La pérdida de humedad en las capas de arroz difiere de manera importante de acuerdo con la profundidad y con el tiempo de secado. En la gráfica siguiente se ilustra el avance del proceso.



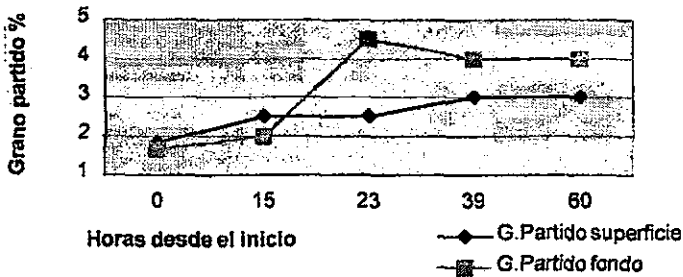
Variación de humedad en capas de fondo plano

Al finalizar el proceso, inevitablemente, se presentan diferencias de humedad entre el arroz situado en la parte superior e inferior. Esta diferencia es normalmente de 1.5 a 2 puntos.

También se presentan algunas diferencias en la formación de grano partido de acuerdo con la situación del grano en la capa.

En un trabajo reciente en Colombia, cofinanciado por el SENA¹¹, se encontraron los resultados que se ilustran en la siguiente gráfica.

Evolución del grano partido durante el secado



Como se aprecia se presenta una diferencia de granos partidos entre la capa superior y la capa inferior.

En todos los casos el grano partido fue mayor en la capa inferior y este tiende a formarse más rápidamente en las primeras horas del secado.

Secadoras de torre o columnares

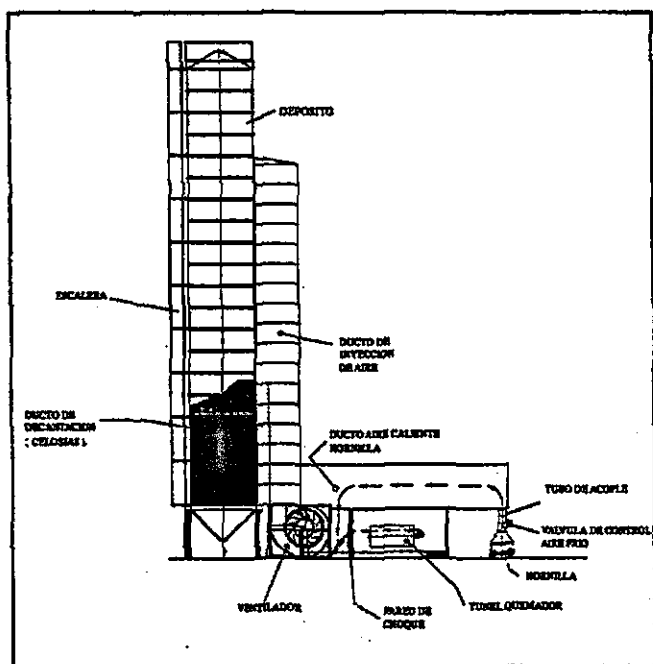
Las secadoras de columna o de torre, fueron desarrolladas en los Estados Unidos para atender las necesidades de secado artificial que introdujo la utilización masiva de cosechadoras combinadas, durante la Segunda Guerra mundial y en los años siguientes.

¹¹ Servicio Nacional de Aprendizaje.

Los elementos básicos que componen una secadora de torre son los siguientes:

- ◆ Recipiente de granos y un tanque de reserva superior. La capacidad de estos recipientes puede oscilar entre 10 y 100 toneladas.
- ◆ Quemador de combustible equipado con control de temperatura. Y termostatos limitadores de temperatura. Estos deben ser dos, colocados en los conductos de aire frío (salida de aire a la atmósfera) y de aire caliente: El termostato del lado de aire frío se debe graduar a aproximadamente 40°C y el del lado caliente a aproximadamente 60°C . Si cualquiera de los dos termostatos detecta sobrecalentamiento en el conducto, el circuito eléctrico debe desconectar los motores de los ventiladores y del quemador.
- ◆ Ventiladores centrífugo o axiales.
- ◆ Mecanismo de descarga de grano velocidad variable
- ◆ Sección de enfriamiento: generalmente se utiliza aire ambiente, se ajusta por medio de compuertas desde el exterior.

Estos elementos se ilustran en la gráfica siguiente.



Secadora de torre (partes)

Secado por pasos

La extracción de humedad gradual -realizada en el proceso por pasos-, unos pocos *puntos* de humedad en cada paso ¹², seguida por períodos de reposo de varias horas, reduce la aparición de gradientes acentuados de humedad, responsables, en parte, de la aparición de fisuras que dan origen a quebraduras posteriores de grano.

El proceso de secado por "pasos", se inicia al llenar totalmente la secadora de torre. El primer grano que sale de la máquina al iniciar el secado, obviamente, no ha tenido ninguna remoción de humedad, de tal manera que es necesario recircularlo hasta que llegue al nivel de humedad deseado. La alimentación de grano húmedo y el secado continuo, se inician nuevamente al finalizar esta recirculación.

En zonas donde, por razones climáticas, el grano se recolecta con humedad muy alta, si se desea obtener buenos rendimientos de grano entero (alto *índice de pilada*), es necesario realizar 4, 5 y aún 6 *pasos* de secado.

Por ejemplo, si se recibe arroz con humedad de 25% y el proceso se va a realizar en cuatro pasos, la remoción de humedad en cada paso podría ser la indicada en la tabla siguiente:

EJEMPLO DE EXTRACCIÓN DE HUMEDAD, SECADO DE ARROZ EN 4 PASOS DE FLUJO CONTINUO		
	Humedad inicial	Humedad final
Primer paso	25%	20%
Segundo paso	20%	17%
Tercer paso	17%	15%
Cuarto paso	15%	13%

Es conveniente insistir en que, aún con secado de 4 pasos, al acondicionar arroz de las variedades actuales producido en los trópicos, las secadoras de torre tienden a quebrar más arroz que las albercas ya descritas.

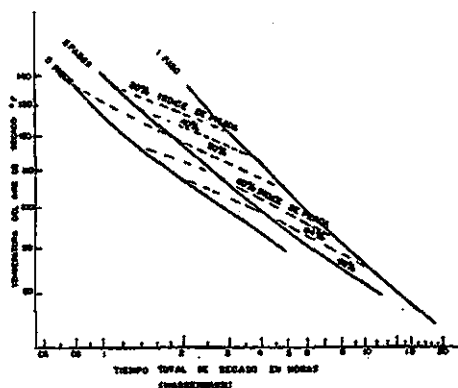
¹² A pesar de las precauciones la velocidad de extracción de humedad en este proceso puede variar entre 1.5 y 5 puntos por hora. la mayor velocidad se presenta en los primeros pasos de extracción.

Normalmente, en las secadoras de mayor utilización en Colombia y Venezuela ¹³, cada *paso* de secado toma una hora, o un poco más, de tal manera que 4 *pasos* de secado implican 4 o 5 horas de trabajo neto en la torre, más los reposos correspondientes, que no deberían ser en ningún caso inferiores a 8 horas ¹⁴.

Es indispensable tener en consideración que cada *paso* adicional implica una operación de llenado y otra de vaciado de la torre, con una pérdida de tiempo neto de trabajo, que puede llegar a ser importante si los lotes manejados en cada *paso* son de tamaño pequeño.

La capacidad efectiva de una planta de secado, debe calcularse en consecuencia, con un tiempo *neto* de secado de aproximadamente 16 o 18 horas por cada 24 horas de trabajo.

En la gráfica siguiente, tomada de un trabajo realizado en los años de 1950 en los Estados Unidos, se muestra, en forma aproximada, la incidencia del número de *pasos* y la temperatura del aire de secado, en el rendimiento de grano entero (Índice de Pilada). Las cifras de la gráfica no corresponden a valores exactos, pues cada variedad de grano tiene un comportamiento diferente, pero si indican la tendencia de los resultados.



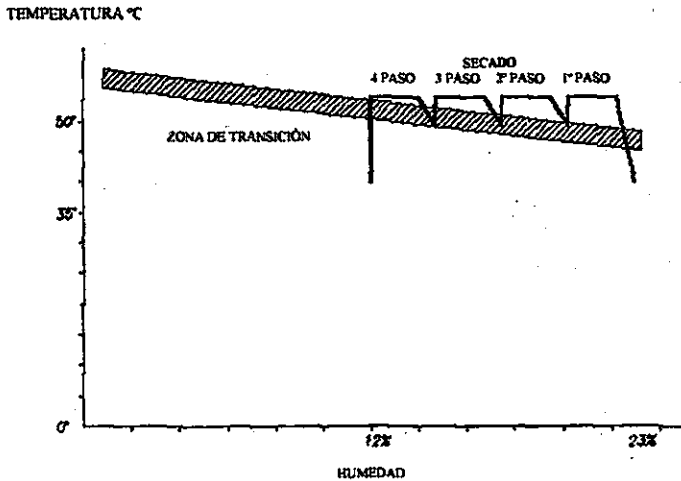
Incidencia del número de pasos de secado.

¹³ De alto tiempo de retención, inspiradas en su mayoría en el diseño de las máquinas *Aeroglide* de los años de 1960.

¹⁴ Se ha verificado que no son de importancia los beneficios adicionales que se consiguen con reposos más largos.

La interpretación del mecanismo de las fracturas del arroz secado en torres puede hacerse también con ayuda de la teoría de la transición vítrea.

En la gráfica siguiente se presentan los varios cambios de estado que pueden inducirse en algunos granos de arroz, al secar por pasos.



SECADO DE ARROZ EN VARIOS PASOS

Cada paso por la zona de transición afecta los granos más húmedos y aumenta la posibilidad de que sufran fracturas.

El secado por *pasos* es una alternativa tecnológica adecuada para el manejo de cantidades grandes de arroz. En el medio colombiano sus ventajas económicas se aprecian claramente cuando se acondicionan cantidades superiores a 15.000 o 20.000 toneladas de arroz anuales (en la terminología todavía utilizada en algunas zonas: 240.000 o 320.000 "bultos" de 62.5 Kg.).

En la gráfica siguiente se ilustra un diagrama de flujo típico de una planta de secado para trabajar, con remoción de humedad por pasos, en flujo continuo.

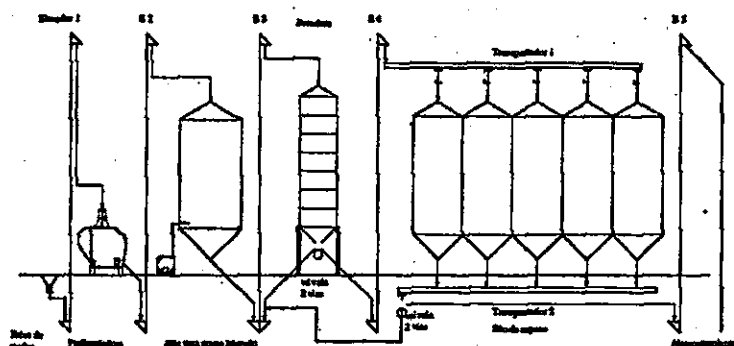


Diagrama de flujo de secado de arroz por pasos

La puesta en marcha de una secadora de torre implica el siguiente procedimiento:

Llenado de la torre secadora con grano. El ventilador, quemador y marco descargador deben estar apagados. La secadora debe llenarse hasta que la presión del grano accione el indicador de nivel (diafragma del tanque de reserva).

Encendido de ventiladores y quemador: Los motores de estas unidades deben estar enclavados en la secuencia ventilador - quemador, de tal manera que el quemador se desconecte totalmente si el ventilador se apaga.

Limpieza interna: se debe realizar de manera frecuente por las compuertas de la torre situadas en la parte superior y sobre el marco descargador. Puede ayudarse un poco el procedimiento si se arranca el ventilador de la torre por algunos minutos con la máquina vacía (debe tenerse en cuenta que este sistema expulsa aire cargado de impurezas que puede causar problemas de tipo ambiental).

Recibo de grano húmedo y primer paso de secado

El tamaño del lote de arroz que se trabaje debe ser múltiplo del tamaño de los silos de trabajo (no de los de grano húmedo). Por ejemplo, si los

silos son de 50 toneladas, los lotes que se procesen pueden ser de 50 ó 100 toneladas.

El arroz se recibe, se *prelimpia*¹⁵ y eleva hasta llenar la secadora y/o los silos de trabajo. Para reducir el tiempo muerto de llenado de las secadoras, es recomendable utilizar equipos de elevación y transporte cuya capacidad sea dos o más veces mayor que la capacidad nominal (toneladas por hora) de la secadora.

Una vez la secadora se ha llenado se inicia el proceso (encendiendo ventilador, quemador y sistema de descarga). Como el primer grano que salga de la secadora se encuentra aún húmedo, es necesario recircularlo a la parte superior de la secadora por medio de la válvula del elevador. Durante la recirculación, naturalmente, se suspende el cargue de grano húmedo de la prelimpiadora a la secadora y el grano verde prelimpiado se va depositando en los silos de grano húmedo.

Durante el proceso de recirculación se toman muestras de la humedad del grano a la salida de la secadora hasta que la humedad sea de 20% (en el caso de que la humedad inicial haya sido de 25% como se indicó). Cuando se alcanza la humedad adecuada se cambia la válvula de la tubería de descarga del elevador de la secadora para suspender la recirculación y entregar a los silos de trabajo. A partir del cambio de la válvula de recirculación se inicia un proceso de secado en flujo continuo en la torre en el cual se alimenta de, manera continua, arroz húmedo, de aproximadamente 25%, y se descarga grano de aproximadamente 20%.

La humedad de salida debe controlarse cada 15 minutos aproximadamente, en el primer paso del ejemplo anterior, en caso de que esta aumente del 20%, puede ser necesario disminuir la velocidad de paso del grano con el mecanismo de descarga. Por el contrario, si la humedad es inferior al 20% será necesario aumentar la velocidad del mecanismo de descarga.

Para finalizar el proceso de cada lote, cuando en los silos de grano húmedo queda aproximadamente una cantidad de grano apenas suficiente para llenar la secadora, se aumenta la velocidad de la descarga (para extraer menos humedad) y se inicia la recirculación de grano a la

¹⁵ Se denomina prelimpieza la primera remoción de impurezas, hecha generalmente con máquinas de "jaula de ardilla".

misma secadora, como se hizo anteriormente, cambiando la posición de la válvula de dos vías del elevador. La recirculación se continúa hasta que todo el arroz dentro de la torre se encuentra con una humedad cercana al 18%. En ese momento se apagan el ventilador y el quemador de la torre, se cambia la posición de la válvula de la tubería de descarga de la secadora y la totalidad del grano restante se entrega a los silos de trabajo.

Segundo paso de secado

El segundo paso se hace de una manera similar a la ya descrita: la secadora, con el ventilador y el quemador apagados, se llena con el arroz de primer paso (20%) depositada en los silos de trabajo. Una vez la secadora se encuentra llena se inicia un proceso de recirculación similar a la descrita en el paso anterior, hasta que la humedad es de aproximadamente 17%. Cuando este punto se alcanza, se cambia la posición de la válvula de la tubería de descarga y se envía arroz hacia los silos de trabajo.

El ajuste de la humedad y la finalización del secado se hacen de la misma manera como se indicó en el paso anterior.

Tercer, cuarto, paso de secado

El tercer paso de secado, o el eventual cuarto paso, se hacen utilizando la secadora de manera alterna con los pasos primero y segundo. En el caso del ejemplo, el proceso es exactamente el mismo, excepto que la reducción de humedad es de 15% a 13%. El grano seco no se entrega a los silos de trabajo sino se envía directamente a los silos de almacenaje.

Precauciones durante el proceso

Silo vacío: siempre se debe mantener uno de los silos de trabajo vacío, de tal manera que se pueda realizar completo el proceso del segundo paso que implica trasvasar el grano de primer paso de unos silos a otros silos.

Identificación del arroz de cada paso: es indispensable desarrollar un sistema para conservar la identificación del arroz en los silos de trabajo

(tableros, etc.) para evitar el riesgo de confundir *grano primer paso* con grano de segundo y mezclarlos, con las consecuencias previsibles.

Medidor de humedad: debe tenerse precaución con el tipo de medidor de humedad utilizado para controlar la humedad del arroz que sale de la secadora pues, es posible que las lecturas en estas condiciones muestren resultados de humedad inferiores a los reales¹⁶. Este problema se puede detectar si se deja reposar el grano 8 horas y se repite la lectura de humedad.

Temperatura del grano: en todo momento se debe evitar que la temperatura del grano sea superior a 37 o 38 °C. Si la temperatura del grano es superior, debe reducirse la del aire de secado. Normalmente las temperaturas del aire que conducen a temperaturas del grano de 38 °C, oscilan alrededor de 55 a 60 °C.

Problemas ambientales de las secadoras de torre

Las secadoras de torre que trabajan succionando aire a través del grano (no soplándolo) descargan el aire a la atmósfera por un área reducida y, en consecuencia, a muy alta velocidad, de tal manera que, por ejemplo, en una secadora que mueva 80.000 CFM¹⁷, y la boca de salida del ventilador mida, aproximadamente, 2.20 x 1.70 aproximadamente (3.74 m² y 40.2 pies cuadrados), la velocidad promedio de expulsión del aire a la atmósfera es de aproximadamente 2.000 pies por minuto, suficiente para arrastrar, además de polvo, grano vano y, aún, granos livianos.

Las secadoras del tipo anterior pueden modificarse, regresando de cierta manera a los diseños de los años 60's. En ellas el aire se insufla (no se succiona), de tal manera que, al colocar el ventilador antes de la torre de grano, es posible expulsar el aire a la atmósfera por medio de un conducto amplio, con celosías, donde, ajustando el área abierta, la velocidad del aire pueda regularse entre 200 y 300 pies por minuto, velocidad que escasamente transporta polvo liviano. Ver la siguiente gráfica.

¹⁶ Especialmente con los medidores de tipo resistivo (Universal, Gann), característicos de los años 1960 y 1970 y del Dickey John GAC 2100, estándar del USDA desde 1998. Los que mejores resultados ofrecen para esta aplicación son los tradicionales de tipo "capacitivo": Motomco, Burrows, Steinlite, etc.

¹⁷ Que correspondería a una secadora de tipo *Aeroglide* con capacidad en la torre para 40 toneladas.

La tabla que sigue muestra el equipo necesario para secar con secadoras de torre, en 4 pasos, de 23% a 12% de humedad. Se indican además la cantidad total de aire necesaria, potencia de motores, consumo de calor necesario para evaporar una libra de agua en un clima tropical, con temperatura de 24°C y humedad relativa de 75% a 80%.

La inversión total en la planta de secado propiamente dicha, sin incluir tolvas de recibo, básculas y equipo de prelimieza se estimó en aproximadamente US\$ 650.000 y el índice de grano entero, de acuerdo con la experiencia en instalaciones similares, en 65%.

Características principales de una planta para secar 1.000 toneladas diarias de arroz con secadoras de torre	
Area ocupada	900 Metros cuadrados
Secadoras	4 Unidades con capacidad para retener 75 Toneladas cada una.
Elevadores	8 Unidades
Transportadores	8 Unidades
Silos de reposo	8 Unidades
Volumen total de aire movido	400,000 Pies cúbicos por minuto (Cfm), contra presión de 2.3" de columna de agua.
Electricidad	400 Hp instalados
Combustible	2,620 Btu/por libra de agua evaporada
Mano de obra	8 Personas por turno
Inversiones	\$ 650,000 Estimadas
Índice de grano entero	55% Promedio

Fuente: Ediagro Ltda.

La tabla que sigue muestra las características de una planta similar que utilice albercas secadoras.

Características principales de una planta para secar 1.000 toneladas diarias de arroz con secadoras de torre	
Area	5,600 Metros cuadrados
Albercas	180 Unidades de 6 X 6 Metros, capa de grano de 1 Metro
Elevadores	18 Unidades
Transportadores	1,200 Metros, 18 Unidades
Volumen de aire	990,000 Cfm, contra 2.7" C.A.
Electricidad	1,170 Hp instalados
Combustible	3,600 Btu/Libra de agua evaporada
Mano de obra	18 Personas por turno
Inversiones	\$00,000 Estimadas
Índice de grano entero	58% Promedio
Diferencia de grano entero	25 Toneladas, ganancia neta con un valor diferencial de US \$ 220/Tonelada.

Fuente: Ediagro Ltda.

Los costos de operación que se calculan a continuación se han preparado con base en las cifras de Colombia en 2001: US \$ 0.04 por kW-H, US \$ 0.50 por 6 kg of carbón coke (equivalente en BTU de 1 gallon de fuel oil), US \$ 300 por mes de mano de obra no capacitada (incluyendo las prestaciones sociales).

La diferencia de grano entero de 25 toneladas por día se calculó después de descontar las mermas por humedad e impurezas de 1.000 toneladas diarias. El diferencial de precios de grano entero y partido se estimó en US\$ 220.

En la tabla siguiente se presentan las diferencias de los costos diarios de operación de los dos sistemas.

Costos diarios de operación de los sistemas de albercas y torres			
	Torres	Albercas	Diferencia
	US \$	US \$	US \$
Electricidad	250	678	(428)
Combustible, considerando carbón coke	2,604	3,579	(974)
Mano de obra	300	675	(375)
Inversiones	650,000	500,000	150,000
Grano entero			5,500
Fuente: Eddiagro Ltda.			

En la tabla que sigue se presentan los resultados anuales, estimando 200 días de trabajo por año, en una zona que cuente con irrigación que permita hacer dos siembras anuales.

Resultados anuales, 200 días de trabajo		
	Albercas - torres	
	US \$	
Electricidad	(85,565)	
Combustible	(194,839)	
Mano de obra	(75,000)	
Costo de la inversión	30,000	Interés anual 20%
Grano entero (mayor valor)	1,100,000	
Ganancia neta	774,596	
Fuente: Eddiagro Ltda.		

La cifra neta de US \$ 774.596 equivale a aproximadamente 1.3% de las ventas totales, cifra significativa en el ambiente colombiano de fiera competencia.

Secado con recirculación en secadoras de torres

Este sistema, muy utilizado en Centroamérica y Panamá¹⁸, tiene su campo de aplicación cuando se tratan cantidades relativamente pequeñas de arroz.

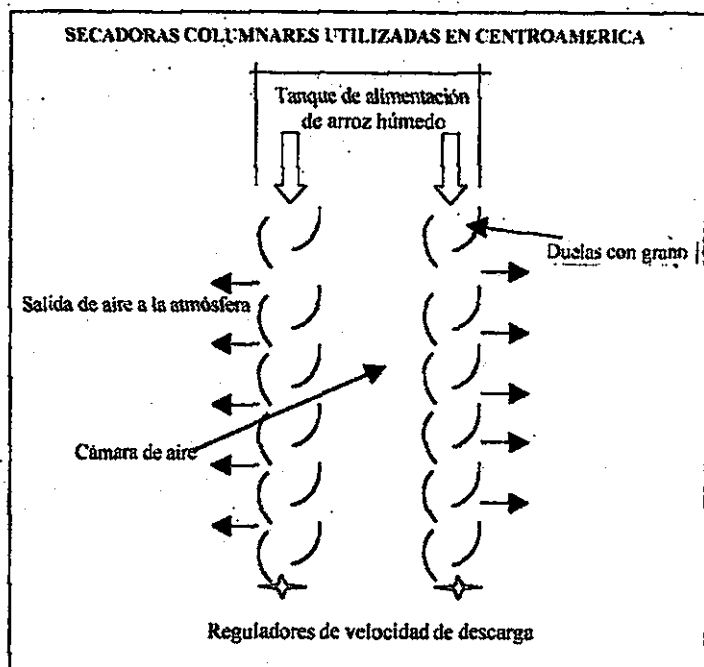
La mayor parte de las máquinas siguen el diseño de las unidades fabricadas por la empresa "Mardones" de El Salvador, inspirada, a su vez, en el diseño de *American Drying Systems* de los años de 1950.

El diseño original de este tipo de secadoras utiliza una tolva de reserva grande sobre las secciones de secado activas (aquellas que reciben la acción del aire caliente), de tal manera que, con la acción de recirculación del grano a la misma torre, con ayuda de un elevador externo, se tiene un período de reposo interno a continuación de cada paso de secado.

Si en este tipo de secadoras el reposo, o atemperamiento, se realiza, en silos, de manera externa a la secadora, se puede mejorar, sin mayor costo, la capacidad de secado, al aumentar el tamaño de la sección activa, a expensas de la de reserva, compensando, naturalmente, el volumen de aire y de calor.

El aumento de las secciones activas (llamadas, de manera muy castiza, "duelas" en Centroamérica) no introduce cargas adicionales en la estructura, o en la cimentación de la secadora, pues, más bien, reduce el peso del arroz al reemplazar la sección de reserva, totalmente llena de grano, por las duelas que dejan un amplio espacio vacío para la cámara de aire, como se ilustra en la gráfica siguiente.

¹⁸ El sistema se utiliza también ampliamente en estos países para secar café.



De manera general cuando se seca grano por recirculación en un secadora de torre se sigue el siguiente procedimiento:

En caso de que la máquina disponga de ella, no se utiliza la sección de enfriamiento, toda la torre se destina a secado.

Se pone en funcionamiento el sistema descargador con velocidad intermedia, entre 10 y 15 minutos después de haber iniciado el secado.

Se hace retorno (recirculación) permanente del grano a la torre de secado por medio un elevador.

Se verifica de manera continua el nivel adecuado de grano dentro de la secadora.

Se deben hacer tomas de muestras de la descarga de grano de la secadora para medición de humedad cada 15 o 20 minutos.

El proceso de secado se continua durante aproximadamente media hora después de que las lecturas del medidor de humedad lleguen al nivel de humedad deseado.

Se debe apagar el ventilador y el quemador, antes de iniciar el descargue de la secadora.

Incendios en las secadoras de torre

La posibilidad de está eventualidad no puede descartarse, especialmente si se trabaja con granos sucios y no se realizan limpiezas frecuentes en la torre.

Operaciones preventivas y en caso de incendio:

La descarga de aire del ventilador principal debe ser inspeccionada frecuentemente para detectar, visualmente, un posible incendio en su etapa inicial.

Si se aprecia la presencia de humo en la descarga del ventilador, es necesario desconectar inmediatamente el ventilador y el quemador. En un lapso de seis a ocho horas, la falta de oxígeno, ahogará la mayoría de los incendios detectados en su etapa inicial.

La descarga de grano (una vez ahogado el incendio) debe realizarse en forma lenta para remover, por el registro de inspección de la tubería de descarga, el grano quemado, cuya cantidad debe ser de unos pocos kilos si el incendio se detecta a tiempo (los incendios en las secadoras son muy escandalosos y la dispersión de humo por el aire del ventilador exagera la magnitud).

Salvo casos muy especiales no es necesario apagar el incendio con agua. La simple falta de aire es suficiente en la mayoría de los casos. El agua aplicada en forma incontrolada puede causar mayores deterioros en el grano que el mismo incendio.

Sistema de secado "combinado" tradicional

El sistema de secado *combinado* es una adaptación del sistema de *secado-aireación* de maíz, desarrollado en la Universidad de Purdue¹⁹.

El objetivo fundamental de este tipo de secado es reducir el tiempo necesario en las albercas, existentes en muchos de los molinos de arroz colombianos, para aumentar sustancialmente su capacidad, sin necesidad de aumentar el tamaño físico de la totalidad de las instalaciones.

En segundo lugar, el secado combinado tradicional descrito, permite agilizar el recibo de grano, "salvar" arroz, al reducir la humedad de cantidades grandes de grano de manera rápida, hasta niveles que permitan almacenarlo por dos o tres días, en silos debidamente equipados con sistemas que inyecten altos volúmenes de aire al grano (aproximadamente 1/5 de CFM por cada *Bushell* de granos, que equivale al doble de la cantidad de aire que se aplica en los silos de almacenaje para tratar de controlar su temperatura).

En el secado *combinado* se utiliza una secadora de torre para remover los primeros puntos de humedad en un solo *paso*, (generalmente hasta un nivel de 20% o 21%) y secadoras de alberca ya existentes para finalizar el secado.

Cuando el secamiento se hace de manera combinada: torre seguida de alberca, o si solamente se utilizan albercas, no se debe exceder en estas últimas la temperatura del aire de 40° C. Una vez almacenado el arroz se puede llevar a trilla con la aplicación del concepto de que "el primero que llega es el primero que sale" y, preferiblemente, con reposo no inferior a 4 o 5 días.

La experiencia de muchos años de operación de sistemas *combinados* en Colombia, ha demostrado que si la instalación se ha diseñado en forma adecuada y se evita que la temperatura física del grano sea superior a 36° C ó 37° C (con ajuste del tiempo de residencia en la torre), la calidad del arroz es comparable con la del secado realizado en forma cuidadosa con albercas.

¹⁹ La definición de los parámetros básicos y las primeras aplicaciones del sistema de secado "combinado" fueron desarrolladas por Alvaro Castillo, en Colombia, en las instalaciones de Molino Las Ceibas y Molino Roa, en Neiva, hacia 1972.

Secado "combinado" alberca - torre

El propósito de la torre es, en este caso, totalmente diferente al del anterior, pues no se busca "salvar" grano sino compensar parcialmente el defecto principal de las secadoras de alberca: la disparidad de humedad de cada "cochada", dada la diferencia que se presenta entre las capas superior e inferior, que puede llegar a 2%, y aún más en casos extremos²⁰.

La secadora se instala después de las albercas para extraer los últimos 1 o 2 puntos de humedad. Los objetivos en este caso son diferentes y se pueden resumir de la siguiente manera:

Al finalizar un proceso de secado, en albercas de diseño normal, se tiene una diferencia de humedad entre las capas superiores e inferiores de 1.5 % a 2.5%, de tal manera que, para que el grano más húmedo no tenga problemas durante el almacenaje, es necesario extraer más humedad del grano más seco. Esta necesidad conduce a una merma de peso innecesaria desde todo punto de vista.

Con la instalación de la secadora de torre para realizar el secado final se busca aprovechar su capacidad de mezcla y agitación del grano, características que permiten homogeneizar un poco la humedad (pues los granos más húmedos en este tipo de secadoras tienden a secarse un poco más rápidamente que los más secos) y reducir las diferencias de humedad entre los granos en la descarga final.

Con este sistema la diferencia de humedad entre las capas superiores e inferiores de las albercas se reduce del promedio actual de 2%, a una cifra que oscila entre 1% y 1.5%. La ganancia en peso que puede esperarse (estrictamente la menor merma), en consecuencia, variará entre 0.5% y 1%, cifra cuyo valor puede estimarse para evaluar la conveniencia de las inversiones.

La reducción del tiempo de secado si se extraen los últimos 2 o 3 puntos de humedad en la torre puede estimarse, de manera conservadora, si el tiempo de secado en las albercas es de aproximadamente 40 horas, en alrededor de 12 a 14 horas que corresponde a un aumento neto

²⁰ La aplicación de mayor volumen de aire reduce la disparidad, al ampliar el "frente" de secado.

de la capacidad de secado.

La forma de operación de este tipo de secadoras, que exige que el operario tome lecturas de la humedad de salida cada 15 minutos, reduce sustancialmente el riesgo de deterioro del arroz en los silos de almacenamiento final. Si el operario detecta una humedad superior a la deseada, reduce la velocidad de descarga de la secadora de tal manera que aumenta el tiempo de permanencia del grano dentro de la torre y aumenta la extracción de humedad. Si por el contrario la humedad medida es muy baja, aumenta la velocidad para reducir el tiempo de retención y disminuir la extracción de humedad. Este proceso puede automatizarse posteriormente, de tal manera que se consiga una precisión todavía mayor.

Si se desea, es posible, con suficientes elevadores y transportadores, diseñar el sistema para trabajar la secadora de torre en cualquiera de los dos sistemas.

Secadoras de lecho fluidizado

Desde hace varios años, en Tailandia y Australia se han instalado secadoras de lecho fluidizado para extraer los primeros puntos de humedad de arroz con contenido de la misma superior a 22 ó 23%.

La experiencia ha confirmado los trabajos teóricos iniciales de varios profesores de centros de investigación de los países mencionados, que mostraban que la rápida vaporización del arroz de alta humedad, con aire de temperatura superior a 110°C, produce una modificación parcial de los almidones y suelta parte importante de las fisuras que puede tener el arroz de campo.

Estos trabajos de Tailandia y Australia fueron precedidos en la década de 1960 por estudios realizados en la universidad de Luisiana en los cuales, con el uso de secadoras de torre de columnas perforadas de malla, con temperaturas también superiores a 110°C, se conseguía el mismo efecto de soldadura y de mejora de los índices de grano entero. Los trabajos de Luisiana se referían a este proceso como una *mini parbolización*.

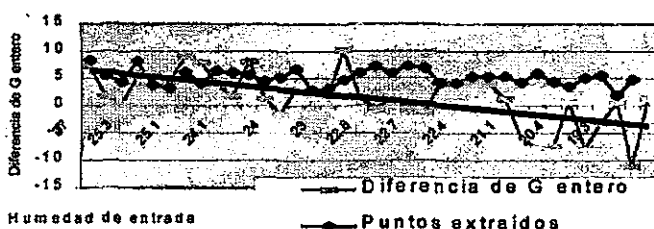
Se conoce que el proceso de *parbolización* cambia las condiciones físicas de los almidones del arroz y permite que estos soporten sin mayor deterioro temperaturas de secado más altas que las que soporta el arroz paddy corriente. Posiblemente se modifican las temperaturas que

definen el paso de la franja de transición de los estados vítreo a cauchoso de los almidones.

El proceso de maduración natural del arroz mejora sus condiciones de cocción y organolépticas. Dado el alto costo actual de los recursos financieros, no resulta conveniente, en términos económicos, almacenar grano durante varios meses para permitir su maduración natural. Existe experiencia en la aceleración de los procesos de maduración del arroz sometiendo el grano a temperaturas altas.

En las gráficas que siguen se presentan los resultados principales obtenidos en pruebas realizadas en Colombia en abril y mayo de 2002.

Evolución de la mejora del Índice de Grano Entero con Diversas Humedades Iniciales. Pasando por Secadora de Lecho Fluidizado a 110 °C, abril-mayo 2002



De la observación de la gráfica anterior se pueden extraer las siguientes conclusiones:

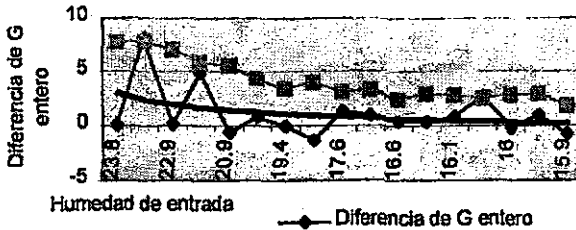
- 1- Se aprecia que la mejora del índice de granos enteros se obtuvo en forma consistente en toda la serie hasta el nivel de humedad de 23%. Desde este nivel y hasta 22% o 21%, el efecto es de indiferencia e inestabilidad de los resultados y con menos de 21% de humedad, el grano desmejora el índice de grano entero. La línea de tendencia muestra un corte entre 22 y 23% de humedad inicial.
- 2- Los resultados más consistentes de mejora de grano entero se lograron con niveles de humedad entre 24 y 26% de humedad inicial.

- 3- El número de puntos de grano entero ganados, en la franja de humedad donde se consigue mejora, tiende a incrementarse con la humedad de recibo y supera la cifra de 5 puntos en varios de los casos. El promedio de ganancia para los 20 análisis comprendidos en la franja hasta 22% de humedad fue de 3.4 puntos de incremento en el índice de granos enteros.
- 4- La extracción de humedad promedio de todos los análisis realizados fue de 5,1 puntos porcentuales, con variaciones entre 8,3 puntos extraídos y 1,8 puntos extraídos en la muestra que menos se secó y que corresponde a la que menos humedad tenía a la entrada.
- 5- Con base en las anteriores evidencias se puede concluir que el paso del arroz húmedo con mas de 23% de humedad por la secadora de lecho fluidizado, con una extracción promedio de 5 puntos de humedad; mejora los índices de granos enteros en una proporción variable que se sitúa en promedio alrededor del 3% de incremento en el índice de granos enteros.
- 6- Con base en los análisis anteriores se puede concluir que no se recomienda el paso de grano con menos de 22% de humedad por la secadora de lecho fluidizado, usando temperaturas de 110 °C..

Análisis del secado en secadora de lecho fluidizado utilizando temperaturas de 50-60 °C.

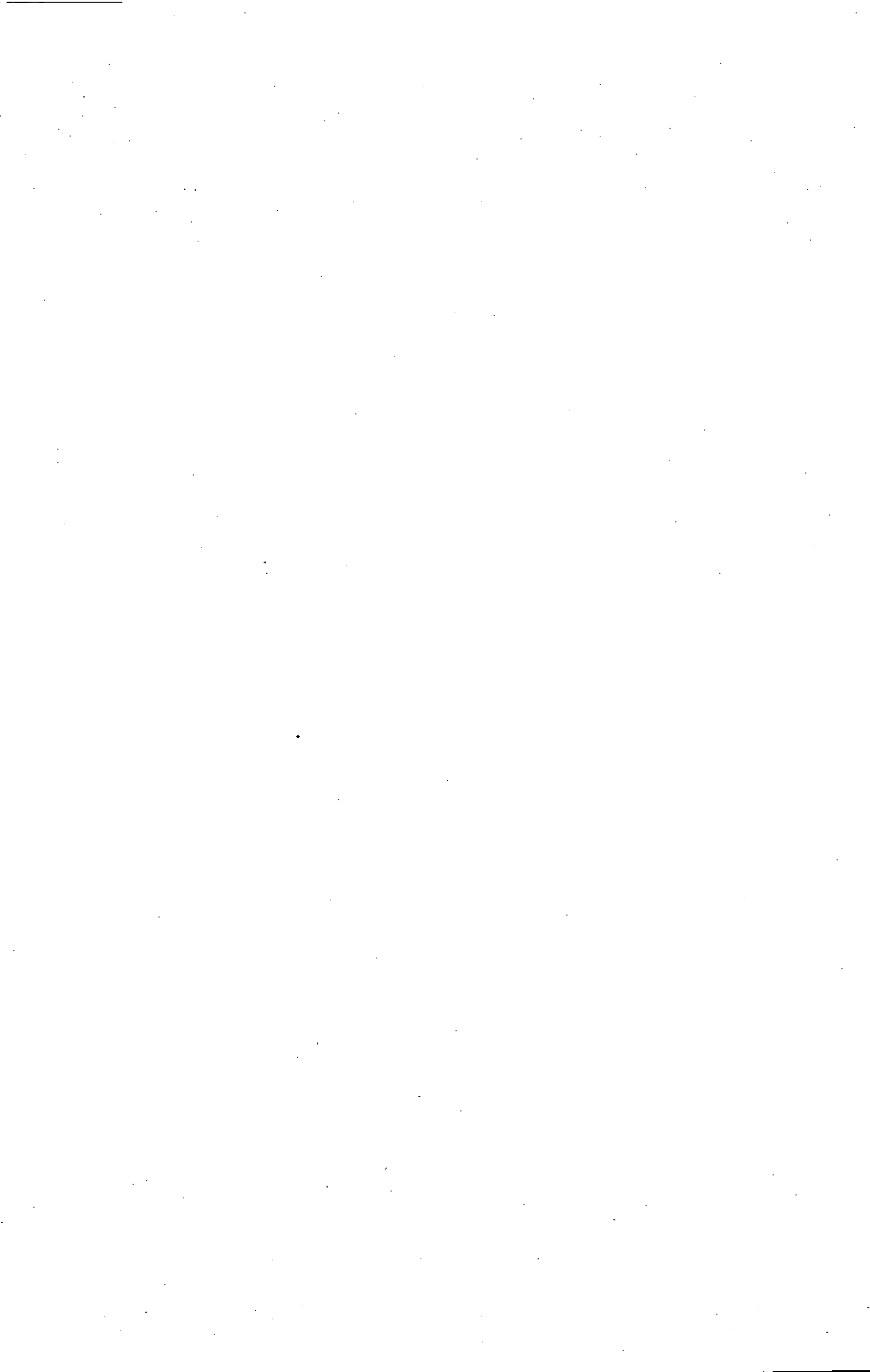
A continuación se analizan los resultados de los índices de molinería de grano que ha recibido un paso por la secadora de lecho fluidizado a temperaturas variables entre 50°C y 60°C.

Mejora del índice de grano entero a diversas humedades iniciales. Paso por la secadora de lecho fluidizado a temperaturas de aire entre 50oC y 60oC.



Se aprecia que en toda la serie, el índice de granos enteros aumentó ligeramente, con relación al grano no tratado, o se mantuvo dentro de límites estables.

- 1- Se observa una tendencia a conseguir mejoras importantes en el índice de granos enteros al pasar granos de humedades mas altas que al pasar granos de humedades mas bajas, en los que la tendencia es mantener el índice inicial.
- 2- Se puede apreciar que los granos de humedades mas altas toleran bien las altas extracciones de humedad sin deteriorarse y en algunos casos, inclusive, se aprecian incrementos en el índice de granos enteros.
- 3- La curva de tendencia muestra que existe una ligera mejora del índice de granos enteros cuando se someten al proceso granos de mayor humedad, sin que esto signifique que los granos de menor humedad sufran un deterioro apreciable, manteniéndose en aproximadamente en el mismo nivel de índice de granos enteros.
- 4- Con base en el anterior análisis, se puede concluir que el paso de granos húmedos de cualquier humedad por la secadora de lecho fluidizado con aire de entrada de entre 50 y 60 °C permite realizar altas extracciones de humedad sin que se deteriore el índice de granos enteros, y, por el contrario, se pueden obtener ligeras mejoras en índice de granos enteros.



CAPITULO XII

RECOMENDACIONES PARA ALMACENAR Y TRATAR SOYA Y FRIJOL

PRIMERA PARTE: SOYA

En Colombia la producción de soya ha estado localizada principalmente en el valle geográfico del río Cauca, que incluye partes de los departamentos del Valle, Cauca y Risaralda. Aunque en los últimos dos años se han realizado siembras comerciales de alguna importancia en el Tolima y el Huila.

Recolección: En condiciones climáticas normales, la mayor parte de las variedades de soya pueden cosecharse con humedad de 12% a 13%, sin embargo algunas variedades, denominadas de alta dehiscencia, deben ser recogidas con humedad superior a 15%, para evitar la ruptura de las vainas y lanzamiento espontáneo de los granos.

La práctica colombiana normal, hace un arranque manual de la mata seca, para colocarlas en "chorras" longitudinales (las plantas de 6 surcos forman una "chorra") sobre las cuales pasa posteriormente una cosechadora combinada, que realiza el desgrane y limpieza; se prefiere este sistema al de recolección directa —sin arranque previo— utilizado en otros países, como Estados Unidos y Brasil, pues se argumenta que las vainas situadas en la parte inferior de las plantas, generalmente no son recogidas por las máquinas. Algunos agricultores del Valle y Tolima, sin embargo, han comprobado que el costo de recolección puede reducirse con la cosecha directa, pues

el valor del grano que pueda quedar en la mata se compensa con el menor costo de la mano de obra. En general, cuando se efectúa la recolección directa de la soya —sin arranque previo— se puede dejar en el campo entre 10% y 12% del total producido. (La mayor parte de las pérdidas se producen en la cabeza recolectora por golpes y dehiscencia); si el operario es muy cuidadoso las pérdidas pueden reducirse a 6% ó un poco menos.

Para disminuir el contenido de impurezas del grano recolectado de las "churras", es indispensable efectuar el arranque de la mata con cuidado y evitar la acumulación de tierra en la raíz, los terrones redondos del mismo tamaño del grano, no son separados totalmente en las zarandas de las combinadas o de las máquinas limpiadoras normales utilizadas en las plantas de silos. Algunas variedades (como la poco utilizada hoy "Davis"), son difíciles de arrancar por sus raíces profundas y arrastran gran cantidad de terrones.

Durante la trilla, la máquina combinada deberá ajustarse de tal manera que produzca la menor cantidad posible de grano partido, pues, como sucede con otros granos, el almacenaje se dificulta.

La velocidad del cilindro desgranador de la combinada, tiene influencia directa en los daños que sufre la cutícula, como lo demuestran las experiencias de Moore (1957) resumidas en la tabla No. 12.1⁽¹⁾. La recolección de grano en este ensayo se hizo el mismo día; a las 10 a.m. se trilló el grano de 13.5% de humedad y a la 1p.m. el de 12.2%.

RPM del cilindro	Humedad	
	13.5%	12.2%
700	4.0%	—
900	5.0%	24.0%
1.155	12.0%	48.0%

Tabla No. 12.1- Porcentaje de granos con daños apreciables en la cutícula, de acuerdo con la velocidad del cilindro desgranador

Se aprecia, en la tabla anterior, que la rotura aumenta con la disminución de humedad y con la mayor velocidad del cilindro.

El rápido secado de la soya en un solo día bajo la acción del sol, hace recomendable el ajuste de la velocidad del cilindro a las condiciones cambiantes. Cuando se inicia la recolección, en la mañana, con grano relativamente húmedo y los tallos de las matas aun fibrosos, se debe utilizar velocidades relativamente altas en el cilindro, para evitar su atascue y conseguir buen rendimiento; al avanzar el día el grano se calienta y reseca y se hace más frágil, al igual que el tallo, la velocidad del cilindro debe reducirse para evitar demasiadas roturas. Por la tarde, si la temperatura ambiente ha disminuido, es posible aumentar nuevamente la velocidad del cilindro y mejorar la rapidez de recolección. La necesidad de estos ajustes debe verificarse con inspecciones frecuentes al grano trillado. Las combinadas modernas, provistas de mandos hidráulicos que permitan variar la velocidad del cilindro y la abertura del cóncavo desde la cabina de mando, facilitan la realización de los ajustes recomendados; en las máquinas antiguas estos cambios implican el cambio de piñones y la pérdida de 15 ó 20 minutos.

Las características de la soya en el momento de recolección dependen, en parte, del clima que haya soportado durante el último período de su ciclo vegetativo. El verano precipita el secado de la vaina, mientras el resto de la planta permanece verde. La trilla se dificulta pues aunque la vaina abre sin dificultad, el tallo no rompe fácilmente y tiende a enredarse y atascar el cilindro. El arranque manual de las plantas, en estos días, debería hacerse con mayor anticipación (1 ó 2 días) para acelerar el desprendimiento de la hoja y el secado del tallo. Alternativamente podría aplicarse algún desecante foliar 3 ó 4 días antes de la recolección. Si, por el contrario, el clima previo a la cosecha ha sido húmedo, el período vegetativo de la planta se alarga, y se recolecta grano húmedo que necesita secado artificial. Será necesario trabajar la recolección con velocidades altas del cilindro y disminuir la abertura del cóncavo para evitar atascues; la presencia de tallos y partes de las plantas aun húmedos, y por lo tanto pesados,

exige aumentar la cantidad de aire del ventilador para lograr una mejor separación (2).

Criterios de calidad de la soya: Normalmente, cuando se analiza la calidad de una muestra de soya, se da la mayor importancia a la cantidad de grano partido y dañado que contenga, pues, generalmente, estos granos se deterioran con mayor rapidez que los sanos durante el almacenaje. No sólo son más susceptibles al ataque de insectos y hongos sino que el contacto directo con el aire, sin la protección de la cubierta, acelera la actividad enzimática y la producción de ácidos grasos en el aceite. La soya dañada físicamente o germinada tiende a empastarse en los silos, haciendo más difícil el flujo del aire y facilitando la formación de focos de infestación.

Normas colombianas: En la tabla No. 12.2 se reproduce la norma de calidad para la soya que utiliza la Bolsa Agropecuaria Nacional:

Grado	Peso hectolítrico mínimo	Granos partidos	Daños por calor	Daño total
1	(720 kg/M ³)	5%	1%	3%
2	69	10%	2%	6%
3	66	15%	3%	9%

Tabla No. 12.2- Factores de calidad para la soya - Bolsa Agropecuaria Nacional de Colombia

Se definen como granos dañados, los granos enteros o partidos que han sufrido deterioro a consecuencia del secamiento inadecuado, exceso de humedad, calor, ataque de insectos, hongos o cualquier otra causa, y por granos partidos se entiende, en la clasificación de la Bolsa, los trozos o pedazos sanos de soya que no pasen a través de la criba de 3.175 mm., (8/64"). La soya entera y partida que pase a través de los orificios anteriores quedará incorporada a las impurezas. Es importante observar que en la clasificación de los Estados Unidos, se consideran partidos (Splits) aquellos granos a los que les falte más de un cuarto de cuerpo (3).

Las industrias productoras de aceite del país no utilizan un sistema de clasificación estricto, pues la forma de clasificar varía con la abundancia o escasez de la producción, y disponibilidad de grano importado. En épocas de escasez se acepta granos de calidad inferior, muy partidos, que generalmente tratan de utilizar para consumo directo, sin pretender almacenarlo. En estas épocas, una de las fábricas más importantes del Valle del Cauca utiliza como base de compra simplemente la suma de la humedad y del contenido de impurezas; si su valor es mayor a 17, se castiga el precio del producto, de lo contrario se bonifica. En épocas de abundancia (de soya nacional, importada, o de aceite crudo importado), por el contrario, se hacen más estrictos los controles de calidad y se "castiga" cualquier imperfección.

Humedad: En los granos de oleaginosas, con el control de humedad se busca no sólo limitar el desarrollo de hongos sino, además, controlar la actividad de las enzimas, pues ellas, en general, operan en un medio acuoso y son causantes de la descomposición de los aceites.

La experiencia colombiana, en bodegas y silos en climas cálidos (24°C), ha demostrado la conveniencia de no almacenar soya con humedad superior a 12% . En Cali, en varias oportunidades se ha "calentado" grano almacenado con 13% de humedad. Debe tenerse presente que, como sucede con otros granos, soya secada en el campo tiene un mejor comportamiento durante el almacenaje, que soya secada artificialmente.

Cuando, por elevada humedad, se presenta desarrollo de hongos en soya almacenada, la temperatura del grano se eleva rápidamente, hasta 54°C - 56°C , temperatura que, por sí misma, suspende el desarrollo de los hongos. Al mismo tiempo ha tenido lugar una reacción química de los aceites que puede elevar la temperatura sobre 150°C ; los granos de soya; en estas condiciones, pierden su forma redondeada y se carbonizan en una masa monolítica; el aceite fluye libremente y, si por alguna circunstancia, el aire entra en contacto repentino con el grano carbonizado, puede desarrollarse, en forma espontánea, fuego.

Secado para almacenaje: En Colombia, en condiciones climáticas normales y para el proceso de producción de aceite y tortas de 44% de proteínas, rara vez es necesario secar más de 20 ó 25% de la cosecha de soya; como en épocas húmedas puede ser necesario secar cantidades muchos mayores; es beneficioso para una planta de aceites contar con una planta de secado cercana.

Hace 50 años aproximadamente, en la infancia de la industria procesadora de soya en los Estados Unidos, el aceite se extraía con prensas planas o de sinfín, generalmente adaptadas de la industria extractora de aceite de algodón. Para facilitar la recuperación del aceite, con estos procedimientos, se necesitaba que el grano tuviese humedad muy baja, cercana a 2%. Para conseguir estas humedades se utilizaban secadoras rotativas dotadas de tubos internos que se calentaban con vapor y secaban por contacto directo con el grano. Rara vez se hacía secado para almacenaje y con frecuencia se tuvieron pérdidas grandes al almacenar granos húmedos. Con el desarrollo de la industria se instalaron plantas con capacidad para procesar 1.500 y más toneladas por día (la planta de mayor capacidad instalada en Colombia puede procesar 7.500 toneladas mensuales), que hicieron necesario almacenar hasta 50% de sus necesidades anuales, para conseguir aprovechar mejor la capacidad instalada. El secado artificial, para acondicionar los granos a las condiciones de almacenaje, se convirtió en una necesidad.

Temperatura de secado: Se ha encontrado que no se presentan daños en el aceite y en las proteínas del grano, mientras su temperatura no sea superior a aproximadamente 75°C⁽⁴⁾, temperatura que se alcanza en secadoras comerciales corrientes con aire a aproximadamente 100°C; a pesar de lo anterior, si el grano se va a almacenar, es conveniente utilizar temperaturas inferiores, pues el rápido y excesivo calentamiento afloja la cutícula del grano y facilita su fácil desprendimiento. En condiciones normales conviene limitar la temperatura de secado, con secadoras de torre, a 75°C u 80°C.

Experimentos realizados en Kentucky⁽⁵⁾ corroboraron que los microorganismos se desarrollan más rápidamente en

aquellos granos secados con temperaturas más altas, probablemente por las fisuras que se producen en las cubiertas y los cotiledones. La figura No. 12.1, preparada con los resultados de los experimentos anteriores, permite apreciar la mayor rapidez con que aumenta el contenido de ácidos grasos, durante almacenaje prolongado, en granos de soya que han soportado temperaturas mayores.

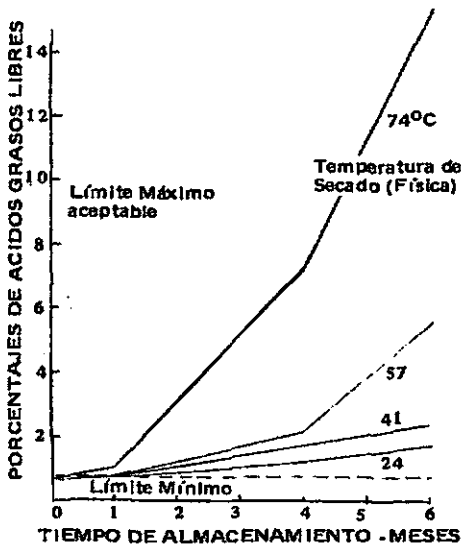


Fig. No. 12.1- Porcentaje de ácidos grasos libres como función del tiempo de almacenamiento. Soya a 21°C y 17% de humedad

Para conseguir una mejor eficiencia en el proceso de preparación de las hojuelas (flakes), previo a la extracción de aceite con el sistema moderno de solventes, es conveniente permitir que el grano recién secado repose por varios días, para que se homogenice la humedad y reduzca la temperatura.

Si por circunstancias climáticas anormales se debiere secar soya con humedad superior a 18%, es recomendable reducir la humedad en cada "paso" de secado en máximo 4 puntos.

La combinación del tamaño y estructura interna del grano de soya, hacen que su secado sea un poco más difícil

que el de maíz. En promedio, puede estimarse que la capacidad de una secadora de maíz, se reduce en 15% ó 20% cuando trata soya.

Secado para proceso: Alrededor del año 1960, algunos productores de alimentos para animales de los Estados Unidos, solicitaron la producción, a los procesadores, de torta de soya con un contenido de proteína de 50%, en lugar del contenido usual de 43-44%. En la torta de 44%, el contenido de fibra es de aproximadamente 8%, de tal manera que este debería reducirse a menos de 3% para producir torta de alta proteína.

Para facilitar la separación de la fibra, el sistema más utilizado actualmente, consiste en resecar el grano hasta 9.5 ó 10% de humedad, para que su calentamiento rápido (con aire a 80°C) produzca el efecto de expandir la almendra en forma oblonga que estire y reviente la cáscara. Después del secado se deja reposar el grano durante 4 o más días, con la ayuda, en ocasiones, de una pequeña corriente de aire que enjuta la almendra y ayuda a aflojar la cutícula. La separación de la fibra de la cutícula se hace en forma sencilla y efectiva, antes del proceso final, con un máquina aventadora^{(5) (6) (7)}.

Almacenaje: En el almacenaje de soya a largo plazo es razonable esperar algunos daños en la calidad del aceite, no sólo por la acción de plagas, sino por factores inherentes al mismo proceso de formación de las grasas. Las enzimas, catalizadores orgánicos, que contribuyen a la síntesis de los aceites durante el período de crecimiento, pueden contribuir también a la degradación de los mismos después de la cosecha. Sin embargo, con adecuado control de la humedad del grano y de sus condiciones físicas, grano partido, impurezas, etc., se puede reducir el deterioro al mínimo⁽⁸⁾.

La estructura del grano de soya lo hace relativamente resistente al ataque de los insectos. La infestación más frecuente es de "palomilla" (S. Cerealella) que normalmente se combate con nebulizaciones de algún producto no tóxico. Para control de gorgojos no debe utilizarse Bromuro de Metilo pues sus residuos tóxicos tienden a acumularse en los aceites.

Como se menciona en otra parte, grano entero, con su cubierta en buenas condiciones, conserva mejor su calidad durante el almacenaje, que el grano partido o descascarado.

Humedad de equilibrio: Como se anota en el Capítulo 6, la humedad de equilibrio de los granos oleaginosos es menor que en los cereales, con un ambiente de determinada humedad relativa; el alto contenido de aceites de los primeros altera los resultados.

Los datos de la tabla No. 12.3, tomados de Pixton y Warburton⁽⁹⁾, indican los valores de equilibrio de soya en proceso de adsorción y desorción. Infortunadamente el trabajo mencionado no da indicaciones sobre el tipo y variedad de soya estudiado.

Humedad relativa %	Temperatura ambiente		
	15°C	20°C	25°C
Adsorción			
60	9.7%	9.5%	9.4%
70	12%	12%	12.2%
80	15.5%	15.5%	15.5%
Desorción			
60	9.8%	9.6%	9.5%
70	12.1%	12%	13.9%
80	16%	16%	16%

Tabla No. 12.3- Humedad de equilibrio de soya

Si se considera que el contenido de aceite promedio de la soya es 20% y se efectúa el cómputo de la humedad sobre peso total libre de aceite, se tiene que con humedad relativa de 60% y 15°C la humedad de equilibrio es de 12.1%, valor similar al de los cereales.

SEGUNDA PARTE: FRIJOL

La cosecha de frijol común se efectúa en su mayoría manualmente, y sólo en contadas ocasiones se somete a algún tipo de tratamiento. El frijol cultivado en zonas mecanizadas, ya sea para consumo interno o para exportación, se trilla en forma muy similar a la soya, con arranque manual, formación de "churras" y desgranado con combinadas. Con frecuencia es necesario, especialmente con la variedad caraota muy seca, utilizar reductores de velocidad especiales, para permitir la operación del cilindro desgranador, con velocidades muy bajas (400-600 RPM) y evitar aumentar la cantidad de grano partido, muy castigada en los mercados internacionales.

Medición de humedad: Se utilizan generalmente los mismos aparatos de lectura rápida utilizados con otros granos; debe tenerse en cuenta que ninguno de estos medidores trae de fábrica tablas de conversión aplicables a los frijoles colombianos, y que es necesario patronarlos previamente con la ayuda de hornos o medidores Brown-Duvel. El Idema en sus manuales de laboratorio⁽¹⁰⁾ tiene tablas para variedades colombianas, que pueden ser utilizadas con medidores Steinlite y Universal, y en el IICA en Bogotá se han preparado además tablas para caraota con diversos aparatos.

Calidad del frijol: Por tratarse de un grano de consumo directo y popular se aplican muy pocas normas de calidad en las transacciones comerciales. El Idema⁽¹⁰⁾ tiene establecidos los límites de compra indicados en la tabla No. 12.4.

Impurezas	Humedad	Dañados*	Partidos*
1%	16%	1%	1%
8%	20%	7%	5%

Tabla No. 12.4- Límites de compra de Idema para frijol
* varían según la clase de frijol

El Idema clasifica como impurezas todos los terrones, cáscaras, tallos, hojas, etc.; como granos dañados, aquellos

enteros o partidos deteriorados en su color, olor o apariencia, ya sea por secado inadecuado, humedad, insectos, etc. Por último clasifica como partidos aquellos a los que les falte más de un octavo de su tamaño.

La clasificación de los Estados Unidos⁽¹¹⁾ separa los granos partidos (splits) de los granos quebrados (broken) y denomina partidos aquellos granos no dañados cuyo tamaño sea mayor a $3/4$ del grano entero, y quebrados los granos sanos a los cuales les falte no más de $1/4$ de su tamaño ó $1/4$ o más de su cubierta.

Ni las normas de Idema, ni las del USDA, tienen referencia alguna al tiempo de cocción, principal criterio de calidad utilizado en Méjico y Centroamérica. La práctica culinaria utilizada en Colombia, recomienda remojar los fríjoles durante la noche antes de su cocción, este proceso los ablanda y reduce el tiempo de preparación propiamente dicho, además de permitir la separación rápida, por flotación, de los granos vanos o infestados por insectos. Por el contrario en Centroamérica, los fríjoles siempre se cocinan sin remoje previo, de tal manera que las amas de casa pueden apreciar y rechazar los granos que requieran tiempos de cocción anormalmente largos.

La norma mejicana (ANSA - 1965)⁽¹²⁾ define el siguiente proceso normalizado para determinar el tiempo de cocción:

1- Se deben utilizar estufas de gas, protegidas de corrientes de aire y con sus llaves completamente abiertas.

2- Las ollas serán esmaltadas, del tipo normal utilizado en la cocina y de dos litros de capacidad.

3- El agua utilizada será potable. (No se hace ninguna aclaración de la norma sobre aguas "duras" potables, que pueden alargar el tiempo de cocción).

4- Las ollas se llenan con litro y medio de agua; cuando ésta hierve se depositan 100 gramos de fríjol limpio.

5- Durante el desarrollo del ensayo se debe mantener un recipiente con agua hirviendo para añadir a las ollas, de tal manera que su contenido de agua no sea nunca menor a un litro y cuarto, ni mayor a litro y medio.

6- Punto de cocción: Se define como aquel en el cual la muestra alcanza su mayor porcentaje de granos cocidos completamente; para frijoles de tamaño grande deben hacerse pruebas a las 2 1/2, 3, y 3 1/2 horas (para caraotas a partir de 1 1/4 horas), y se considerará que ha alcanzado su máximo cuando se estabilice.

7- Para hacer la determinación del porcentaje de granos cocidos, se toman 10 granos al azar, oprimiéndolos entre los dedos índice y pulgar, la operación se repetirá 4 veces, como mínimo, para obtener el promedio.

8- Se consideran granos cocidos, aquellos que se opriman con facilidad y presenten condición pastosa suave, desde fina hasta ligeramente grumosa; aquellos granos que dejen escapar sus cotiledones al oprimirlos entre los dedos, o se fraccionen en pedazos no grumosos, se considerarán no cocidos.

9- La temperatura del agua durante el ensayo, podrá variar entre 90°C y 100°C, de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar. En el ensayo se debe anotar este dato para relacionar el porcentaje de cocción con la temperatura.

10- El informe final debe comprender, además de los datos normales de identificación de la muestra, el porcentaje de cocción obtenido en las 3 primeras horas y en las 3 1/2 cuando sea necesario alargarlo.

11- Cuando a las 2 1/2 horas se obtenga un valor de cocción de 90%, puede asumirse 100% en las 3 horas.

Norma centroamericana: Las normas oficiales de análisis de granos para Centro América⁽¹³⁾ describen el siguiente método de análisis: se hierven 500 gramos de frijón en 1.5 litros de agua destilada, con muestras de 50 granos cada 15 minutos. Se considera que un grano está cocido cuando pue-

de ser aplastado fácilmente con los dedos, el tiempo de cocción, es el necesario para que por lo menos el 90% de los granos de la muestra estén cocidos.

Investigaciones de CIGRAS: En el Centro para Investigaciones en Granos y Semillas de la Universidad de Costa Rica (CIGRAS), se han realizado las mayores investigaciones de Centro América, sobre los factores que inciden en el tiempo de cocción. Aunque, de acuerdo con la opinión del Dr. Miguel Mora, director de Cigras, aun falta bastante por investigar, puede ser útil resumir algunas de las conclusiones de sus trabajos:

Investigaciones sobre la Norma de C.A.: El tamaño de la muestra, la cantidad de agua y la fuente de calor (estufa de electricidad o gas), no parecen tener demasiada incidencia en los resultados finales del tiempo de cocción. La dureza del agua y la altura sobre el nivel del mar, sí afectan los resultados, especialmente, la primera, cuando se analizan frijoles de largo tiempo de cocción (duros). La altura sobre el nivel del mar afecta inicialmente la temperatura de ebullición del agua, e incrementa el valor del tiempo del ensayo en forma apreciable, por ejemplo, uno de los experimentos de CIGRAS encontró que un frijól de 142 minutos a 600 msnm., necesitaba 195 minutos a 1.800 msnm.

Efectos del tiempo, humedad y temperatura: Según parece el frijól no sufre mayores cambios durante los primeros seis meses de almacenaje, independientemente de las condiciones de almacenaje. En períodos más largos, los granos con menor humedad y almacenados con temperatura más baja, conservan mejor su calidad (sufren menores aumentos del tiempo de cocción), como se aprecia en las cifras siguientes, tomadas de uno de los trabajos de CIGRAS ("TIEMPO DE COCCION DE FRIJOL ALMACENADO DURANTE 18 MESES A DIFERENTES TEMPERATURAS Y CONTENIDOS DE HUMEDAD", mimeografiado 1982): de acuerdo con el tiempo de almacenaje puede presentarse algún grado de aumento en el tiempo de cocción. Si la humedad es baja (9.2% en el experimento comentado) la temperatura no afec-

ta los resultados, si la humedad se aumenta, aunque todavía sea baja (12.2%), se empieza a notar la influencia de la temperatura en el tiempo de cocción. Cuando el frijol se almacena con alta humedad (15.5%) el tiempo de cocción aumenta con la temperatura. A los 18 meses de almacenaje, los incrementos a 15, 20 y 25°C fueron de 53, 113 y 188 minutos respectivamente, de tal manera que aun con baja temperatura (15°C) el aumento fue grande. Los resultados del experimento comentado, permiten apreciar que las variaciones en el tiempo de cocción de frijol con 15.5% de humedad almacenado a 15°C, son muy similares a las de frijol con 9.2% de humedad almacenado a 25°C, cifras que dan una idea de la relación entre cambios de humedad y de temperatura.

Secamiento: Generalmente para secar frijol se utilizan los mismos equipos utilizados en otros granos: albercas de fondo plano perforado, secado con bultos en túneles, secadoras de torre, etc. Debe evitarse en el diseño utilizado las caídas fuertes y no amortiguadas que pueden abrir los dos cotiledones.

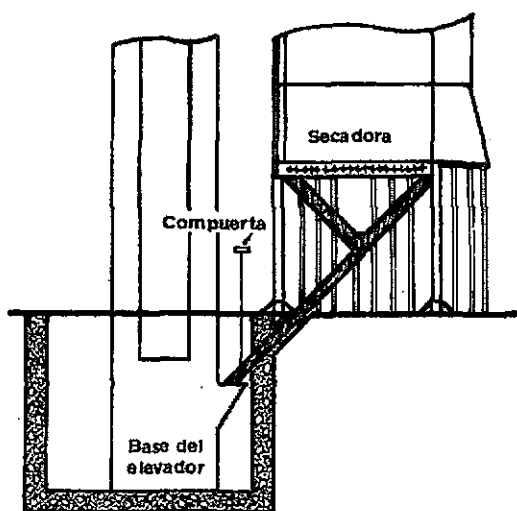


Fig. No. 12.2- Descarga amortiguado de carota

Cuando se trate de grano para exportación deberá buscarse el secado más uniforme posible, dentro de lo posible con variaciones inferiores a $\pm 1/2$ punto de humedad con relación con el nivel deseado. Las modificaciones de tiempo de cocción que pueden sufrir los granos muy secos pueden afectar el valor comercial. Las secadoras de torre, del tipo comúnmente usado en Colombia para maíz, sorgo y otros granos se han utilizado con buenos resultados para el secado de frijoles. La temperatura de aire utilizada es de 45°C a 55°C , y se tiene la precaución de ajustar la compuerta de descarga de la tolva recolectora (Fig. No. 10.2) de tal manera que se forme un remanente de grano que actúe como colchón amortiguador para los granos secos. El manejo posterior del grano debe hacerse, naturalmente, con los mayores cuidados.

Humedad de equilibrio: Infortunadamente no se dispone de datos confiables para las variables colombianas. En la tabla No. 12.5 se presentan los resultados de ensayos hechos en frijoles rojos, de procedencia mexicana y norteamericana⁽¹⁴⁾.

Humedad Relativa	Mexicano Rojo %	Dark Red Kidney %
11	6.1	5.7
22	7.8	7.6
33	9.0	8.8
43	10.1	9.9
53	11.5	11.3
64	13.7	13.6
75	16.6	16.6
81	18.8	18.2
84	19.3	18.4
93	20.5	20.1
98	21.3	21.4

Tabla No. 12.5- Humedad de equilibrio en dos variedades de frijol rojo

Almacenamiento: La cubierta de frijol fresco tiene un revestimiento protector contra la entrada de mohos, de tal

manera que es posible almacenar frijol, aún con humedad relativamente alta (17%), sin demasiadas precauciones durante varios meses. Después de algún tiempo (8-10 meses) la resistencia de la cutícula disminuye rápidamente y se hace susceptible al desarrollo de mohos y bacterias⁽¹⁵⁾.

Para almacenar frijol fresco por varios meses en clima frío se recomienda reducir la humedad a 16% y en climas cálidos a 15%.

Aunque el Idema no recomienda el almacenaje a granel de frijol⁽¹⁶⁾, en diversas partes se ha realizado en condiciones satisfactorias⁽¹⁵⁾, con el cuidado de nivelar la superficie para disminuir riesgos de movimientos de humedad y controlando, con termopares, la temperatura del grano.

REFERENCIAS

- (1) MOORE, Rough harvesting methods kill soybeans seed, citado por Taylor, en *The Storage of seeds*, Slough, TPI, Nc. 30, 1975, p. 24.
- (2) Para la preparación de esta parte del trabajo se contó con la colaboración de Proacol S.A., de Palmira, Colombia.
- (3) Folleto L-57, Soybean kernel damage, U. de Kansas, Manhattan, 1974.
- (4) BUNN, J., Aeroglide Corporation, Moisture extraction concepts, design and practice for soybeans, presentado a la American Association of Oilseeds Engineers, 1969.
- (5) WHITE Y COLABORADORES, Storage characteristics of soybeans aired with heated air, ASAE, paper 75-4059, 1975.
- (6) ROSN, R., The drying and cleaning of soybeans, en *Oil Mill Gazette*, Aug., 1968.
- (7) BUNN, J., Aeroglide Corp, comunicación personal al autor, 1970.
- (8) GOOD, R., Raw materials, handling and control, AOCS, Edible oil and quality control, Michigan, 1966.
- (9) PIXTON, WARBURTON, Moisture content relative humidity equilibrium at different temperatures of some oilseeds of economic importance, en *Journal of Stored Products*, 1971, Vol. 7, p. 264.
- (10) IDEMA, Manual de Equipo de Laboratorio, División de Organización y Métodos, Bogotá, 1972.
- (11) USDA, The United States standards for beans, Washington, 1969.
- (12) ANSA, Almacenes Nacionales de Depósito, Muestreo y análisis de granos, México, 1965.
- (13) COMISION COORDINADORA DE MERCADEO Y ESTABILIZACION DE PRECIOS DE CENTROAMERICA, Normas uniformes de calidad de los granos básicos. SIECA, Guatemala, 1978, 70 p. (Mimeografiado).

-
- (14) TPI, Moisture humidity equilibria of tropical stored produce, Part III. M. C. Gough and Georgina A Lippiatt, TPI, No. 35, 1978, p. 15.
- (15) THOMPSON, PERRY, USDA, Almacenamiento para fríjol en Michigan e Indiana, traducción mimeografiada, Idema, 1956.
- (16) IDEMA, Compendio de normas e instrucciones sobre prevención y tratamiento de productos en plantas de silos y bodegas, Bogotá, 1971, anexo No. 1.



APENDICE No. 1

EVALUACION DE PERDIDAS DE POST-COSECHA

Resumen de un proyecto presentado a la FAO

El almacenaje de granos en Colombia ha tenido un desarrollo técnico importante en los últimos años. Se destaca especialmente la búsqueda y desarrollo de soluciones técnicas adecuadas, con la adaptación de tecnologías de otros países y desarrollo de tecnologías propias, para las condiciones económicas y dificultades especiales derivadas de la condición tropical del país.

A pesar de que los avances son innegables, todavía en el país se presentan deterioros de importación en algunos cultivos, especialmente cuando el período de almacenaje, por razones de mercado, debe prolongarse por más tiempo de los 3 ó 4 meses normales derivados de la "doble cosecha anual" de la mayor parte de los granos.

En 1982 y 1983, el Instituto de Mercadeo Agropecuario —IDEMA— debió almacenar arroz, por períodos que superan los 14 ó 15 meses. El acondicionamiento previo a la cosecha (secado y limpieza) se realizó en forma considerada adecuada; el almacenaje se hizo en diversos tipos de estructuras, muchas de ellas de propiedad particular por carencia de espacio propio del Idema. Las evaluaciones preliminares hechas, muestran que en varios sitios, especialmente en bodegas particulares, los deterioros, causados por hongos, insectos, etc., han sido de importancia económica (y posiblemente sanitaria).

El proyecto busca evaluar la verdadera magnitud de las pérdidas de almacenaje de granos, en diversas zonas del país,

bajo diferentes condiciones y tiempo de almacenaje. Se solicita la colaboración técnica y económica de la FAO, para diseñar detalladamente el proyecto, y para financiar, parcialmente, los gastos que será necesario realizar.

I. Antecedentes y Justificación:

En los últimos años la producción colombiana de arroz ha dejado algunos excedentes en relación con la demanda interna. La depresión de los precios en el mercado internacional ha dificultado la exportación de dichos excedentes y ha sido, en consecuencia, necesario almacenarlo por períodos relativamente largos, para los cuales, según parece, no se contaba con suficiente experiencia (tanto en el sector privado como en el público).

La producción de sorgo del país, también se ha recuperado y aunque todavía es necesario importar cantidades importantes, se conocen problemas de deterioro sufridos por granos almacenados.

La situación del maíz, el otro grano producido en cantidades importantes, es diferente en razón a que su producción se realiza, en su mayoría, por pequeños agricultores. Se dice que las pérdidas de post-cosecha de maíz, especialmente de almacenaje, son muy grandes, aunque no se tiene ninguna cuantificación. En algunas regiones del país, tradicionalmente consumidoras de maíz (Antioquia entre otras), se conoce que grano rechazado para consumo animal, por deterioro causado por hongos principalmente, es limpiado superficialmente y vendido para consumo humano. No se conoce la magnitud de los deterioros, ni se ha evaluado detalladamente la posible presencia de toxinas en estos granos. El conocimiento de la magnitud de las pérdidas, facilitará la presentación de proyectos de almacenaje, capacitación, secamiento, etc., destinados a reducirlas.

Hasta el momento no se dispone de estudios que proporcionen cifras que sean, por lo menos, orientativas. Una evaluación realizada recientemente en el Idema, con base en

registros históricos que describían la magnitud y la causa, de deterioros mayores de Col \$20.000, entregó resultados incompletos y algunas veces contradictorios, posiblemente por el diseño inadecuado de los registros mencionados, y la imposibilidad de reconstruirlos completamente.

II. Asistencia Técnica Solicitada:

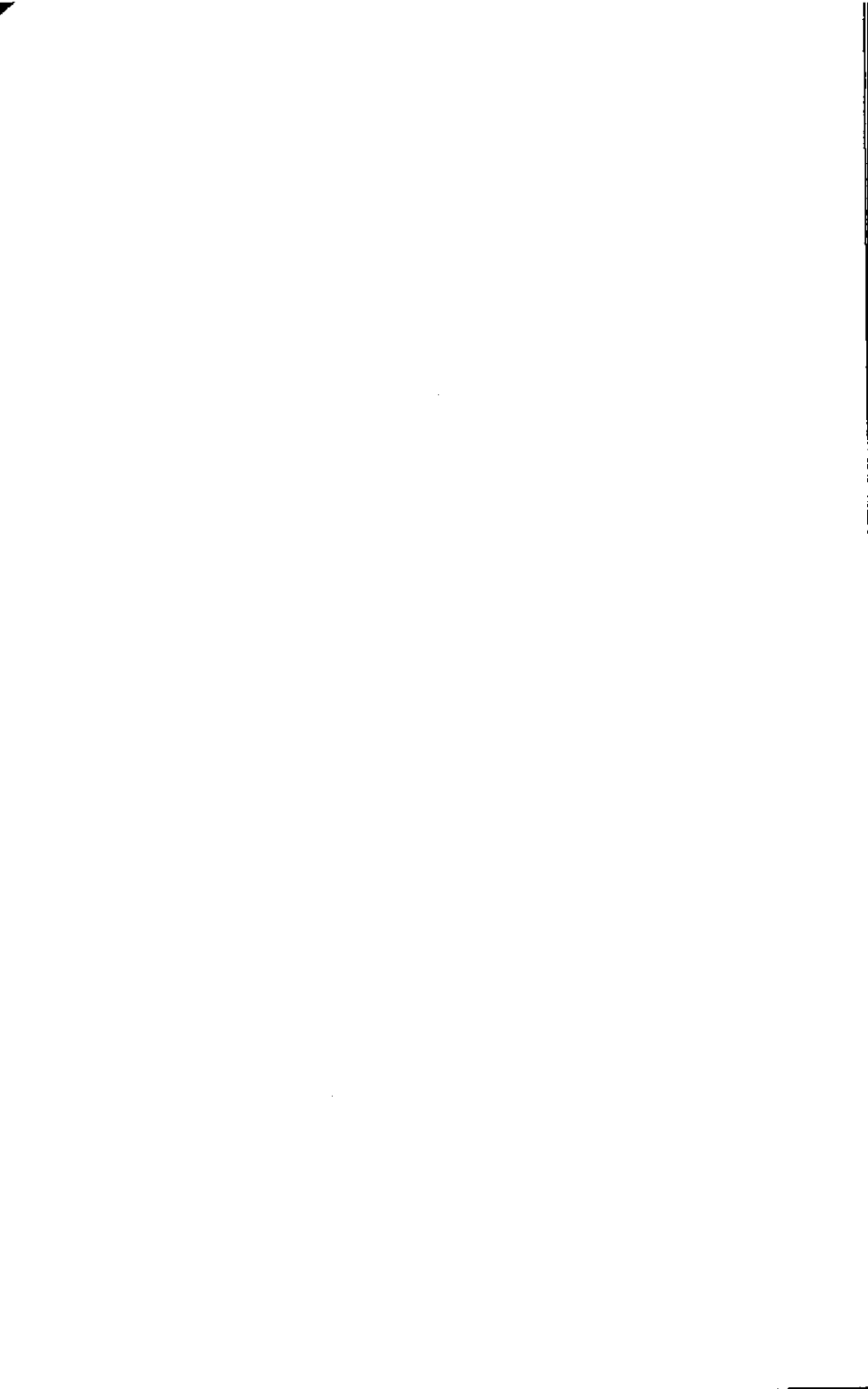
Para el diseño detallado del proyecto, selección de sitios, determinación de mediciones, etc., se solicita el envío de un Consultor, por un período total de aproximadamente 3 meses, posiblemente dividido en dos viajes de 45 días cada uno.

III. Entidades Participantes

Con la coordinación de ..., en este proyecto participarían principalmente el Idema, los Almacenes Generales de Depósito, y las Federaciones de productores de cereales y de industrias que los utilicen (molineros de arroz, fabricantes de alimentos para animales y beneficiadores de maíz).

IV. Orientación General del Proyecto

Dada las diferencias entre los tipos de productores de cada cereal, se diseñarán sub-proyectos específicos para cada grano, así mientras para el arroz y sorgo se estudiarán las pérdidas en almacenajes de tipo industrial, para el maíz, se estudiarán, además, almacenajes de tipo tradicional (graneros en las viviendas, etc.).



CAPITULO ADICIONAL

SECADO DE MAIZ PARA PRODUCCION DE AREPAS

Venezuela y Colombia son, en el mundo, los únicos países donde se utiliza el maíz para la producción de arepas en escala industrial. El mismo vocablo "erepa" es una palabra indígena de los pobladores primitivos de lo que hoy es Venezuela.

Las características que debe tener el maíz para obtener alto rendimiento en la producción de harina para arepas, incluyen grano sin fisuras en el endospermo (cristalización) o roturas, almidón de buena calidad que se pueda separar fácilmente de las cubiertas externas y del germen y granos sin daños causados por hongos o por alta temperatura (que incluyen difusión del aceite del germen en el endospermo).

Las fisuras causadas por acondicionamiento inadecuado se presentan bajo la cutícula del grano y no llegan hasta la superficie. Las originadas por daños mecánicos durante la recolección, por el contrario se concentran, en la superficie del grano.

De manera simplificada el proceso de producción de harina para arepas incluye las siguientes etapas:

- Desgerminación y pilado del grano que se afecta si la temperatura de secado ha sido demasiado alta'. El rendimiento industrial se reduce, pues parte de la masa blanca se adhiere a las cutículas y al germen y se hace difícil su separación,
- Fraccionamiento del grano desgerminado en tres o cuatro partes,
- Maceración de las fracciones,
- Precocción del maíz para conseguir la gelatinización controlada de los almidones. La calidad final puede ser afectada por la gelatinización incontrolada que produce el secado con altas

1 Por difusión del aceite del germen y fisura de la cutícula.

temperaturas². El conocimiento que los consumidores tienen de este producto³ les permite valorar los cambios en la cocción que pueda tener una harina determinada y

- Molienda gradual para producción de harinas.

Generalmente alto peso volumétrico del maíz se correlaciona con las buenas prácticas de secado que conducen a grano de buena calidad para molienda fina.

La aparición de fisuras se origina principalmente por secado rápido del grano, con altas temperaturas, seguido por enfriamiento también rápido. El secado rápido, además, contribuye a la formación de "*case hardening*", granos resecos por fuera y húmedos por dentro, que pueden dejar el centro del grano vacío.

En los últimos diez años⁴ ha habido en los Estados Unidos un desarrollo de alguna importancia de producción de maíz blanco y amarillo⁵, destinado a la producción de masas de diferente tipo, destinadas a tortillas y diversas comidas étnicas. Al revisar los documentos que se encuentran en Internet con palabras claves como: *fissures, cracks, white corn, drying etc.*, aparecen referencias a límites comerciales para el grano fisurado, por encima de los cuales se aplican castigos al precio (estos límites en general oscilan alrededor de 15% de grano con fisuras), y menciones claras a la necesidad de secar el maíz con temperaturas de aire bajas (alrededor de 160° F, 71° C) y realizar enfriado lento.

En los Estados Unidos el maíz blanco y amarillo destinado a consumo humano se denomina "*food grade*" y aunque todavía para su comercialización no se aplican estándares oficiales, en la literatura técnica, se insiste en la necesidad de mantener las fisuras en el nivel más bajo posible y se reconoce que procesos de secado con temperaturas altas (superiores a 70° C) puede producir niveles de grano fisurado superiores a 50%.

Los procesadores de maíz blanco destinado a la producción de "masas" en los Estados Unidos, normalmente separan el grano en

2 La gelatinización de los almidones del maíz se inicia a temperaturas un poco superiores a 62° C.

3 La arepa es uno de los alimentos básicos de Venezuela.

4 Desde la firma del Tratado de Libre Comercio con México.

5 Este último en menor grado.

cuatro categorías de acuerdo con su nivel de fisuras: a) grano sin fisuras, b) grano con fisura sencilla, c) grano con fisura doble y, e) grano con fisuras múltiples (checked). Cada nivel recibe bonificaciones o castigos en su precio, a partir de un precio base.

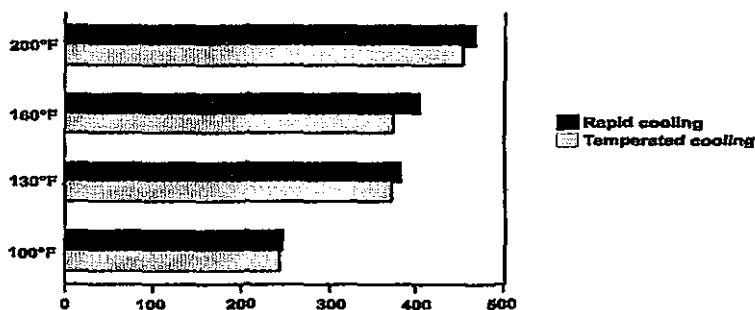
La Universidad de Purdue ha venido desarrollando nuevos criterios, aplicables al maíz food grade, que permitan analizar la importancia del grano fisurado.

Se ha propuesto el siguiente Índice de Grano Fisurado (IGF):

$$\text{IGF} = \text{SENCILLAS} + 3 * \text{DOBLES} + 5 * \text{MULTIPLES}$$

En el documento *Drying of White Food Corn for Quality*, por Dirk E. Maier and Adam E. Watkins, Agricultural and Biological Engineering Department de la Universidad de Purdue, se dice que se determinó, mediante ensayos de secado de capa delgada (thin layer), que en el maíz blanco la mayor parte de las fisuras se originan por el uso de altas temperaturas y que el enfriado lento (tempering), a partir de humedad de 14%, no tenía demasiada incidencia en la reducción del Índice de Grano Fisurado.

En la gráfica siguiente, tomada del documento citado, se aprecia el rápido aumento del índice mencionado con el aumento de temperatura y el reducido efecto del enfriado lento.



INDICE DE FISURAS (IGF) PROMEDIO DE DIFERENTES HIBRIDOS DE MAIZ BLANCO

Con base en experiencias industriales de Venezuela y de Colombia, anteriores a las de los Estados Unidos citadas, se conoce que la temperatura de secado aceptable para maíz destinado a la producción de arepas, no debe ser superior a 70° C, pues con temperaturas más altas la extracción de molinería se reduce por gelatinización de los almidones y desnaturalización de las proteínas. La viabilidad del germen también se vea afectada⁶.

En el capítulo X de este libro se insiste en que para conservar la calidad de maíz destinado a producción de harina, la velocidad de secado no debería ser superior a 3 puntos porcentuales por hora. En el documento de Purdue citado anteriormente se recomienda mantener dicho límite por debajo de 4 o 5 puntos por hora.

Normas Venezolanas

La norma venezolana COVENIN No 1935 87, de uso obligatorio desde 03/05/1985, incluye los siguientes aspectos con relación a los conceptos de maíz cristalizado, daños por calor y niveles de humedad e impurezas:

- Grano cristalizado (3.9) "Es aquel de maíz que presenta superficie cuarteada o grietas fáciles de reconocer a simple vista por sus líneas características que son producidas por exceso de temperatura en el secado (secado violento)".
[Nota del autor: esta clasificación se aplica independientemente del número de fisuras que tenga cada grano].
- Grano dañada por calor (3.9) "Es el grano o pedazo de grano de maíz que ha sido deteriorado notoriamente como consecuencia de un autocalentamiento o de un secado inadecuado".
- Maíz seco (3.17) "Es el maíz acondicionado que no debe contener más del 12% de humedad".

⁶ En algunas industrias se utiliza el nivel de germinación como indicador de la calidad del maíz.

- Maíz Limpio (3.18) "Es el maíz acondicionado que no debe contener más del 1.0% de impurezas".

Los límites de tolerancia para granos cristalizados y dañados por calor de la norma anterior se presentan en la tabla siguiente.

NORMA COVENIN 1935-87, MAÍZ PARA USO INDUSTRIAL			
	CLASE I	CLASE II	CLASE III
Granos dañados por calor	1%	2%	3%
Granos cristalizados	5%	10%	15%

Fuente: Tabla 1, Norma Covenin No 1935 - 87

Problemas de calidad con el secado de maíz

Los problemas de calidad del maíz originados en el secado tienen frecuentemente los siguientes orígenes:

- Normalmente en las plantas secadoras de maíz no se tienen en cuenta los parámetros de calidad que exige el destino final del maíz acondicionado. Como ya se anotó el maíz para arepas exige condiciones de calidad diferentes a las que son aceptables para el maíz destinado a alimentación animal. Los fabricantes no siempre tienen en cuenta las necesidades reales de su cliente y diseñan plantas de secado con base en velocidad de reducción de humedad demasiado alta y en temperaturas de aire también, demasiado altas. Esto hace que partes del grano sobrepasen la temperatura de gelatinización de los almidones, lo que dificulta conseguir alto rendimiento en el proceso industrial posterior e inducen diferenciales internos muy altos de humedad y de temperatura, los cuales, al disiparse durante el proceso posterior de enfriamiento y de almacenaje, generan fisuras en el grano.

Como se mencionó, el intento de extraer humedad con velocidad demasiado alta, conduce a la movilización de almidones del centro del grano hacia el interior de sus cubiertas, con el efecto de impermeabilización de estas últimas, que reduce, paradójicamente, la posibilidad de continuar removiendo humedad. Este fenómeno es muy conocido en la literatura sobre secado de maíz y se conoce, en Inglés, como case hardening.

La experiencia en instalaciones para acondicionar maíz destinado a harina para arepas indica que, para conseguir grano de calidad

adecuada, es necesario: extraer la humedad en varios pasos, a velocidad baja, atemperar el maíz entre cada paso, utilizar temperaturas de secado cercanas a 70° C y tiempos de residencia largos.

En la tabla siguiente se presentan los parámetros básicos de temperaturas de secado y de tiempos de residencia que han demostrado su conveniencia en diversas instalaciones que procesan maíz para proceso industrial para arepas.

CONDICIONES BASICAS INICIALES					
Secado	Humedad Inicial	Humedad Final	Temperatura de aire C.	Tiempo de residencia, minutos	Velocidad de extracción de humedad
Total	22%	13%			
Paso No 1	22%	17%	70	75	4 puntos/hora
Atemperamiento				300	
Paso No 2	17%	13.25%	70	85	2.8 puntos/hora
Enfriamiento	Opcionalmente puede hacerse en unidades <i>flow mass</i> de capacidad adecuada y extracción de humedad de 0.25%				

El autor agradece a el Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y Proyectos Especiales "Francisco José de Caldas", la ayuda financiera recibida para la publicación de esta obra.

COLCIENCIAS

Establecimiento público adscrito al Ministerio de Educación Nacional, cuyo principal objeto es impulsar el desarrollo científico y tecnológico en Colombia.





EDIAGRO

EDIFICIUM E INGENIERIA CONSULTORIA Y SERVICIOS S.A.S.

www.ediagro.com