

Aspectos postrecolección relacionados con el comportamiento del grano de arroz durante el proceso de elaboración

RAMÓN CARRERES ORTELLS
Investigador IVIA

Hasta que el grano de arroz llega al consumidor tiene que ser sometido a una serie de procesos y operaciones que culminan con su elaboración. El conocimiento de los mismos, así como el de las condiciones que mejoren el comportamiento del grano de arroz durante el proceso de elaboración, es de suma importancia. El presente trabajo constituye un intento para ello.

1. FACTORES DURANTE LA RECOLECCIÓN

1.1. *Humedad crítica*

El grano de arroz en contacto con el aire absorbe o cede agua hasta que alcanza un grado de humedad en equilibrio con el aire que le rodea: es lo que se llama *equilibrio higroscópico*. Con una determinada t^a y humedad del aire, el grano absorberá o cederá agua según que su contenido de humedad esté por debajo o por encima del equilibrio en las condiciones del aire dadas. Con un contenido dado de humedad del arroz, en equilibrio con unas condiciones determinadas de humedad y t^a del aire, el grano absorberá o cederá agua según que la t^a del aire descienda o suba o que la HR ascienda o baje con respecto a las del equilibrio. La humedad de equilibrio dependerá de la temperatura y humedad del aire. Así por ejemplo, si el aire ambiente tiene un 75% de humedad relativa y una temperatura de 27° C, el equilibrio se consigue cuando el arroz tiene un contenido de humedad de aproximadamente un 14% (base húmeda); con humedades relativas del aire menores o temperaturas mayores (es lo que ocurrirá en la época de maduración durante el día), el equilibrio se alcanza con un contenido de humedad del grano < del 14%; con humedades relativas del aire mayores o temperaturas menos (es lo que ocurre durante la noche, o después de una lluvia, con una humedad

relativa alrededor del 90% y una t° de 20-25° C) el grano alcanza el equilibrio con una humedad de aproximadamente el 18%; en estas condiciones un grano con menos del 18% de humedad cedería agua durante el día y la absorbería durante la noche.

La humedad crítica es la humedad del grano por debajo de la cual se producen fisuras en el grano de arroz como consecuencia de la absorción de agua. Hay que determinarla experimentalmente ya que es función de la variedad y condiciones del lugar de cultivo.

Las variedades resistentes al fisurado tienen una humedad crítica baja (alrededor del 14%). Las sensibles tienen una humedad crítica más alta; aproximadamente del 18%.

Cuanto mayor es la diferencia entre la humedad inicial del grano, antes de la situación de absorción de humedad, y la humedad crítica se producen más fisuras. En California se recomienda que la recolección se realice con un contenido de humedad del 20-24%, en variedades de grano corto y redondo y del 18-21% en variedades de grano largo. En España se recomienda que no se descienda del 18%.

1.2. *Grado de madurez*

Hay que realizar la recolección con el grano completamente maduro. Si el grano es inmaduro, el porcentaje de roturas será más elevado como consecuencia de la mayor cantidad de granos estrechos y yesosos. Si se recolecta tarde, con el grano ya sobremaduro, el grado de roturas es mayor debido al desarrollo de fisuras por descender demasiado la *humedad del grano*.

1.3. *Velocidad del cilindro desgranador de la cosechadora*

Como consecuencia de la acción mecánica de la cosechadora la recolección mecánica ocasiona un 5-6% más roturas que la recolección manual. Influye la velocidad del cilindro y el contenido de humedad del grano. Se tiene que determinar experimentalmente para cada variedad. En California se considera importante cuando el contenido de humedad del grano desciende del 22% y la t° del aire supera los 24° C; en este caso el 25% de rotos que se alcanza cuando la velocidad del cilindro es de 1.000 rpm desciende al 5% con 600 rpm.

2. SITUACIONES DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD

Ya hemos dicho que las fisuras en el grano se producen por situaciones de absorción de humedad, cuando la humedad inicial del grano es menor que la humedad crítica. Véamos cuáles son estas situaciones:

2.1. *Antes de la recolección*

La maduración de los granos no es uniforme; por eso en los últimos días de la maduración con una humedad media del 22%, existen granos con el 15% y otros con el 52%. Por lo tanto, en la espiga se encontrarán granos secos en condiciones de absorber humedad durante la noche; si además tienen un contenido de humedad inicial menor a la humedad crítica, desarrollarán fisuras.

2.2. *Durante la recolección*

De la misma forma que en el apartado anterior, una vez separada la paja por la operación de la recolección, se encuentran granos con una humedad baja en contacto con otros con una humedad alta.

El arroz cáscara con el 20% de humedad (base humedad) y 27° C produce una HR en el intersticio del 95%.

En una partida de arroz cáscara con el 25% de contenido de humedad y 27° C la HR en el intersticio es del 99%.

Con el 14% y la misma t^a , el equilibrio se alcanza con una HR del 76%. O sea que la diferencia entre las humedades de equilibrio de los granos que forman parte de una partida de arroz es de unas 20 unidades de %. Por lo tanto, se da una situación de absorción de humedad para los granos con un contenido bajo de humedad.

Este ambiente, con el consiguiente desarrollo de fisuras, se encuentra en la tolva de la cosechadora, durante el transporte o en los depósitos de espera antes del secado.

2.3. Durante el secado

Durante el secado se produce una interfase o frente de secado que separa el arroz seco del todavía húmedo o en fase de secado. El aire que ha pasado el frente es tibio y húmedo, el aire antes del frente es caliente y seco. Los granos de arroz, con un contenido bajo de humedad, situados detrás del frente de secado se encuentran en un ambiente de absorción de humedad y absorberán humedad hasta que el frente de secado los alcance. Si el tiempo en que está absorbiendo humedad es largo o si la columna es suficientemente ancha, los granos comenzarán a fisurarse antes de que comiencen a secarse. O sea que estos granos se fisuran durante el secado pero no por el secado.

Ocurre en la parte de escape de una columna de secado, sin mezclado, y en la parte alta de un depósito de secado estático.

Es conveniente mezclar continuamente el flujo de arroz en una columna de secado; así se exponen alternativamente los granos, con una humedad baja, al aire seco y caliente y al aire húmedo y tibio, y se evita la exposición continua a un ambiente de absorción de humedad.

2.4. Después del secado

Después del secado con aire caliente, la cascarilla se encuentra a menor humedad que el resto del grano. En algunos casos puede reabsorber humedad del ambiente. Por eso se tiene que atemperar mediante ventilación controlada, para que se equilibre el gradiente a través del grano.

Como el grano de arroz es higroscópico, absorberá humedad dondequiera que pueda: parte alta de los silos, en el aire ambiente durante el transporte, en la carga y descarga e incluso en el proceso de elaboración.

3. PROCESO DE SECADO

3.1. Dinámica de secado

* Vehículo de secado

Como vehículo de secado se utiliza aire cuyo poder desecador se aumenta mediante la elevación de su temperatura. De esa forma se calienta el arroz que, al elevar la tensión de vapor de su superficie, desprende agua y que, al reducir la HR del aire, aumenta su capacidad de cargar mayor cantidad de agua.

A medida que el aire va absorbiendo agua, durante el proceso de secado, va aumentando su humedad relativa y se va enfriando, en contacto con el arroz más frío; por lo tanto, va perdiendo su facultad de secar. Para continuar con el proceso de secado habrá que desplazar el aire «saturado», con temperatura y humedad inadecuadas, y reemplazarlo con aire en buenas condiciones para el secado. Es decir, habrá que forzar el movimiento del aire mediante el empleo de ventiladores.

* *Caudal y presión del aire*

El caudal de aire suele ser de 2-4 m³/s/t en secadores que no mezclan el grano de arroz y de 0'7-1'6 m³/s/t en secadores que mezclan el grano.

El ventilador tiene que proporcionar una presión estática suficiente para vencer la resistencia que el arroz y el sistema de distribución ofrecen al flujo de aire. Dependerá del caudal de aire y del espesor de la capa de arroz que atraviesa. Para caudales de 1.000 m³/h/t de arroz y espesores de 13-18 cm de arroz, es normal una presión de 30-35 mm de columna de agua.

* *Fases de secado*

El secado del grano se realiza en tres fases:

Primero se evacua el agua de inhibición, proveniente del rocío y lluvia, más superficial y fácil de extraer. En una segunda fase se extrae el agua libre de vegetación, ligada a la materia por interacción molecular de tipo físico-químico pero sin formar parte de ella; está más fuertemente retenida, es más difícil extraerla y se encuentra distribuida de modo no homogéneo, menor proporción en la superficie y mayor en el centro. El agua de constitución, combinada con la sustancia del grano, no se extrae por el secado ya que esto comportaría la descomposición de la materia orgánica.

3.2. *¿Por qué enfriamiento intermedio?*

Como hemos visto en el apartado anterior el agua se extrae desde la superficie hacia el interior del grano. Por lo tanto al avanzar el proceso de secado se va produciendo un *desequilibrio entre la humedad interna y externa* del grano que es función de la variedad, madurez, humedad inicial, velocidad del aire y movimiento del arroz. El desequilibrio es mayor cuanto más ancho es el grano, cuanto más amorfa es su estructura amilácea, cuanto más elevada es su humedad inicial, cuanto más incompleta es su maduración, cuanto más veloz es el flujo de aire y mayor su temperatura.

Este desequilibrio de humedad hace que el rendimiento del secado vaya disminuyendo. Como consecuencia, se tiene que producir el paso del agua del interior al exterior del grano. Si no se realiza un enfriamiento intermedio, que permita este paso, se necesitará un mayor tiempo de secado. Además la capa externa se contrae y la glumilla se separa, con lo que disminuye la conductividad térmica. De esta forma la velocidad de secado en la primera hora y media es más elevada: de 3 a 5 puntos según la humedad inicial. Para secar el último 1% se requiere el mismo tiempo.

Como además en una partida de arroz se encuentran *granos verdes y maduros*, si continúa el secado, el grano maduro se seca demasiado y se rompe.

Para uniformizar la humedad entre la capa externa e interna del grano y entre los granos verdes y maduros es conveniente realizar un enfriamiento o «revenido» de 5 a

10 horas: de esta forma se obtiene un 5-10% de aumento en el rendimiento térmico y una reducción en el tiempo de secado de un 10-20%.

3.3. Recomendaciones para el secado

Durante el secado, la parte exterior del grano se contrae y aumenta la tensión interna. Si el secado es muy rápido, la tensión superará a la resistencia del grano y se formarán fisuras. Por eso se recomienda:

* Realizar el *secado de forma gradual*: utilizar columnas de secado en las que la t^a del aire es distinta por zonas (columnas en zig-zag y en nido de abeja).

* La *temperatura del aire*: un flujo de aire incorrecto, digamos demasiado eficaz, determina graves mermas de rendimiento en la elaboración del grano. No es posible prefijar una temperatura válida en cualquier circunstancia, ya que por sí misma no expresa la eficacia de secado de la corriente de aire; habrá también que tener en cuenta su humedad relativa. Además, la temperatura máxima del aire caliente para el secado depende del contenido de humedad, grado de madurez y destino del grano de arroz, tiempo de exposición al aire caliente, resistencia del grano que es función de las condiciones climatológicas durante la maduración y recolección, variedad, diseño del secador, etc.

A título orientativo podemos decir que, para no comprometer el poder de germinación de la semilla de arroz, la temperatura del aire no tiene que superar los 38-40° C. Para no disminuir el rendimiento industrial: temperatura del aire inferior a 55° C y HR superior al 35%. En secadores más modernos el aire de entrada alcanza los 60° C. En cualquier caso se recomienda que la temperatura del arroz no rebase los 35° C o que la diferencia de temperatura entre el grano de arroz y el aire no sea superior a los 43° C.

* Realizar la *limpieza del grano*: Las impurezas del grano suponen un 2-3%, con un contenido alto de humedad (un 50% o más); su presencia supone un gasto innecesario y además es causa de situaciones de absorción de humedad. Para su separación se utilizan cribas giratorias o vibratorias con un rendimiento de 70-80 kg/h.cm de anchura.

3.4. Nuevas técnicas

Para facilitar el secado y ahorro de energía se puede actuar de varias formas:

* *Vía genética*

– Obtener variedades con glumillas sutiles que ofrezcan una resistencia menor a la extracción de humedad.

– Obtener variedades con el endospermo vítreo y de pequeñas dimensiones, de mayor facilidad de secado.

– Obtener variedades de maduración uniforme y por lo tanto con una humedad de grano más uniforme y menor dificultad de secado.

* *Secado en dos pasadas*: La primera lleva el arroz hasta una humedad del 20% y después de un período de reposo, para el revenido, la segunda pasada rebaja la humedad del arroz hasta el porcentaje requerido. De esta forma se consigue un mayor ahorro de energía aunque a costa de un mayor gasto de la instalación de secado, ya

que requieren dos pasadas, y de una mayor pérdida de peso a consecuencia de la respiración.

* **Secado+enfriamiento:** También se realiza, como en el caso anterior, el secado en dos pasadas, con un enfriamiento intermedio y uno final.

- Primer secado hasta 20%.
- Enfriamiento.
- Segundo secado hasta 17'5%.
- Enfriamiento.

Presenta las siguientes ventajas: Un mayor ahorro de energía; mayor capacidad del secador, ya que no seca por debajo del 17'5% que es cuando existe una mayor dificultad de secado; el arroz rompe menos cuando se elabora y por lo tanto se consigue una mayor calidad.

* **Equipo de transferencia térmica**

– *Principio:* La energía que necesita el aire de secado para evaporar la humedad del grano, durante el secado, es igual a la energía que se libera cuando se deshumidifica el aire húmedo, una vez realizada la labor de secar. El transmisor de esta energía es el fluido frigorífico.

– *Consumo de energía:* La necesaria para mantener el circuito frigorífico realizando las labores de calentar el arroz, secar (la energía necesaria es la recuperada por la deshumidificación del aire húmedo) y compensar las pérdidas en la cámara de secado.

– *Ventajas:*

- No depende de las condiciones ambientales externas ya que funciona en circuito cerrado.
- No se expulsa calor al exterior.
- No hay quemador, por lo que al no haber saltos de temperatura el secado es más uniforme y no hay que limpiar periódicamente los filtros, quemador, etc.

4. ALMACENAMIENTO Y MANEJO DEL GRANO

4.1. Problemas durante el almacenamiento

* **Transformaciones químicas**

Cuando la temperatura del arroz es mayor de 15° C y la humedad es mayor del 15% se pueden producir oxidaciones, hidrólisis y fermentaciones que pueden dañar el arroz. Para evitarlo se tiene que secar el arroz o bien utilizar la técnica de enfriamiento.

* **Respiración**

Durante el almacenamiento el arroz continúa realizando sus funciones vitales aunque esté seco. Esto conlleva una pérdida de peso y un aumento de la humedad y temperatura que a su vez favorece la respiración y el desarrollo de insectos, hongos y bacterias.

La pérdida de peso, derivada de la respiración, depende de la humedad y temperatura. Así, por ejemplo, la pérdida de peso a 10° C es el 10-20% de la que tiene lugar a

25° C. De forma parecida, una partida de arroz con un 22% de humedad pierde en 1 día el mismo peso que perdería durante 10 días cuando tuviera una humedad del 15%. De la misma manera el calor que desprende una partida de arroz que se encuentra a 24° C es 5-6 veces mayor que el que desprendería si se encontrara a 12° C. La consecuencia es clara: el arroz se tiene que almacenar en condiciones adecuadas de temperatura y humedad.

*** Nidos de calor**

Las causas de la aparición de nidos de calor en los silos o almacenes son diversas. Una vez que se han producido, al ser la conductividad del arroz baja, no salen al exterior.

Para controlar los nidos de calor se tienen que realizar transvases o enfriar la masa de cereal.

*** Zonas de condensación**

Se producen en silos metálicos cuando, a consecuencia de una temperatura exterior baja, la temperatura de la pared del silo desciende por debajo de la temperatura de rocío. También como consecuencia de las corrientes de aire derivadas de las diferencias de temperatura del almacén.

Para su control habrá que disminuir la temperatura entre el interior y el exterior y uniformizar la interior.

*** Actividad y multiplicación de los insectos, hongos y bacterias**

Cuando la temperatura y humedad del arroz no son las adecuadas comienza la actividad y multiplicación de los insectos, hongos y bacterias. Esto supone una depreciación comercial de la partida y un aumento de la temperatura del grano.

El desarrollo de los insectos depende exclusivamente de la temperatura del producto: por debajo de 17-18° C no existe peligro de infestación. El desarrollo de los hongos se lleva a cabo en determinadas condiciones de temperatura y humedad: humedades inferiores al 12% no permiten su crecimiento; por el contrario el desarrollo de los hongos se puede iniciar a temperaturas inferiores a 5° C cuando el contenido de humedad es superior al 24%.

Entre los insectos que atacan al arroz almacenado se encuentran:

– Coleópteros:

– *Sithophilus oryzae* L. (gorgojo): Su ciclo de desarrollo tiene una duración de 40-50 días; las generaciones pueden ser 3-4 ó más al año, según las condiciones climáticas. La puesta de huevos por la hembra, en el interior del grano, se puede iniciar en el campo. La larva, que permanece dentro del grano durante todo su ciclo de desarrollo, puede vaciar completamente el grano.

– *Rhyzopertha dominica* F. (capuchino): Su ciclo tiene un mes de duración. La hembra pone los huevos en la superficie del grano penetrando la larva en el interior donde puede llegar a vaciar completamente el grano.

– *Oryzaephilus surinamensis* L. (silvano): La puesta de los huevos se realiza sobre los granos. La larva se limita a roer los granos rotos.

– *Tribolium confusum* Duv. y *Tribolium castaneum* Herbst (tribolios): Originan el calentamiento y contaminación de los granos con sus restos.

– *Tenebroides mauritanicus* L. (rompe granos o carcoma grande): Su ciclo se acerca al año de duración. La puesta de los huevos se realiza sobre los granos; la larva ensancha los orificios de salida de los gorgojos y de la polilla.

– **Lepidópteros:** Polillas.

En general ocasionan infestaciones en los estratos superficiales del montón (20 cm). Existen dos tipos de polillas:

– Polilla verdadera: *Sitotroga cerealella* Oliv. (palomilla Angoumois). La infestación se puede iniciar en el campo con la puesta de huevos sobre la superficie del grano. La larva penetra en el interior llegando a vaciarlo.

– Polillas falsas: *Plodia interpunctella* Hb. (polilla bandeada), *Tinea granella* L. (tiña de los granos), *Ephestia kuehniella* Zeller (piral de la harina o palomilla gris). La puesta de huevos se realiza sobre la superficie; la larva muerde los granos rotos y forma grumos (hilos).

– **Actividad de roedores**

Dada su fecundidad y voracidad, así como el instinto de roer todo lo que encuentran, producen a veces grandes pérdidas.

Su vida se desenvuelve dentro de los almacenes, donde anidan, o bien pueden venir de lugares vecinos e invadir los almacenes con el fin de alimentarse. Su actividad es incesante y no sufre altibajos durante años enteros. Entre los roedores se encuentran la rata gris o común (*Rattus norvegicus* Berkenhout), rata negra (*Rattus rattus*), rata de agua (*Arvicola terrestris*), ratón doméstico (*Mus musculus* L.; *Mus domesticus*), ratón de campo (*Apodemus agrarius*; *Microtus arvalis*).

4.2. Daños durante el almacenamiento

* **Por la actividad propia del grano y de los microorganismos**

El grano de arroz es un ser vivo y como tal, una vez trillado, continúa realizando las funciones metabólicas propias que conducen a determinadas transformaciones de los hidratos de carbono, grasas y proteínas de que está compuesto. La respiración y las transformaciones químicas producen calor y vapor de agua que acelera, aún más, estos procesos. Disminuyen las sustancias de reserva y producen sustancias tóxicas al embrión que disminuyen su germinabilidad. Son causa de pérdida de peso y de la exfoliación de tejidos que aumenta las roturas del grano durante la elaboración.

El desarrollo de hongos produce sustancias tóxicas para el embrión disminuyendo su germinabilidad. Ocasiona coloraciones anormales en el grano: pardo-negruzca o rojas cuando se trata de *Helminthosporium oryzae* o *Alternaria sp.* y amarillas cuando se trata de *Penicillium sp* o *Aspergillus sp.*

El aumento de la temperatura del grano, cualquiera que sea su causa, ocasiona fermentaciones que, entre otras cosas, produce manchas en el grano de color amarillo o cobrizo.

*** Por la actividad de los insectos**

Los insectos pueden provocar daños:

– *Directos*: Consisten en la destrucción de granos con la consiguiente pérdida de peso de producto, menor rendimiento en la elaboración debido a que se rompen con mayor facilidad y menor germinabilidad de las semillas.

– *Indirectos*: Los insectos originan contaminación (excrementos, huevos, restos de larvas y pupas, hilos sedosos) y recalentamiento de granos. Esto conlleva la aparición de fermentaciones y acidificación y en definitiva en una pérdida de valor comercial.

*** Por la actividad de los roedores**

Son causa de daños:

– *Directos*: 1 roedor come 50 kg de arroz cáscara al año y deteriora más del doble.

– *Indirectos*: contaminación con sus deyecciones sólidas y líquidas, rotura de sacos y transmisión de gérmenes patógenos.

4.3. Medidas de prevención frente a los insectos

*** En los locales:**

– *Limpieza*: Hay que eliminar los residuos de cosecha anteriores y retirar los materiales que pueden ser foco de infección de insectos o microorganismos como sacos, cuerdas, etc.

– Cerrar *fisuras*, con yeso o cola, de paredes, suelo, etc., donde los insectos pueden anidar.

– Revisar la tela de *malla* de las ventanas para evitar la entrada de insectos.

– Lograr la *hermeticidad* de puertas y ventanas para poder emplear eventualmente fumigantes.

– Realizar un *tratamiento químico* de los locales vacíos para su desinsectación y desinfectación: Usar las dosis y guardar las precauciones de la etiqueta (guantes, máscaras). Se puede emplear cualquier producto a base de malation desodorizado, metilpirimifos sólo o + permetrina, piretrinas + butóxido de piperonilo, diclorvos (cat. C).

*** En el arroz cáscara:**

– Procurar que la *t^a* (<20° C) y *humedad* (< 15%) sean las adecuadas.

– Realizar un *tratamiento químico* con malation desodorizado, metilpirimifos sólo o + permetrina, piretrinas + butóxido de piperonilo, deltametrin sólo o + butóxido de piperonilo.

4.4. Tratamiento curativo contra insectos

*** Fumigación:**

Es la medida más eficaz. Hay que tener en cuenta una serie de recomendaciones:

– Tapar las ranuras de puertas y ventanas y las grietas con papel encolado.

– Los locales que vayan a ser fumigados tienen que estar separados de viviendas y establos.

– Duración del tratamiento: 48 horas mínimo.

– Tener en cuenta la normativa y medidas de seguridad que en cada caso sean de aplicación.

– Después de la fumigación ventilar durante dos días como mínimo antes de la entrada de obreros. En cualquier caso, la dosis a aplicar, la duración del tratamiento y el tiempo de aireación serán determinados por el técnico responsable.

– Productos utilizados. Son todos muy tóxicos y sólo pueden ser aplicados por servicios oficiales o empresas debidamente autorizadas. Se puede utilizar: bromuro de metilo + cloropicrina (se pretende prohibir el uso del primero), fosfuro de aluminio o de magnesio, sulfuro + tetracloruro de carbono (no apto para consumo humano).

*** Tendencias actuales:**

Por problemas de residuos y por la aparición de resistencias, se realizan investigaciones para usar:

– *Atrayentes sexuales:* Para conseguir apareamientos dirigidos a obtener generaciones menos perjudiciales. También técnicas de confusión.

– *Atrayentes hacia cebos* tratados con insecticidas o esterilizantes químicos.

– *Control biológico.*

– *Variedades resistentes.*

4.5. Control de roedores

*** Medidas preventivas:** Tapar agujeros.

*** Medidas curativas:**

– Es eficaz la fumigación de almacenes con cianhídrico (en este caso el arroz no sirve para consumo humano o animal), bromuro de metilo o fosfuro de aluminio.

– *Método biológico:* Inyectar *Bacillus murium* (bacilo del tifus de los ratones) a ratones y soltarlos. Sólo los especialistas lo pueden llevar a cabo.

– *Raticidas anticoagulantes:* en cebos o esparcidos por el suelo como venenos de paso. Entre las materias activas autorizadas podemos citar: brodifacum, clorofacinona, clorofacinona + probamora, cumacloro, cumatetralilo, difenacum, flocoumafen, warfarina, difacinona, bromadiolona.

4.6. Refrigeración del arroz

Aunque esté seco, cuando el arroz se almacena durante varios meses con temperaturas superiores a los 20° C se producen pérdidas de peso, disminuye la calidad del grano, se reduce la calidad de germinación de la semilla, aumentan los daños producidos por los insectos y se elevan las pérdidas por roturas. La refrigeración del arroz, inmediatamente después de cosechado o durante su almacenamiento, minimiza dichas pérdidas.

Además la refrigeración del arroz reduce los costes, aumenta la capacidad y prolonga la campaña del secado.

*** Funcionamiento**

La refrigeración se puede utilizar tanto en almacenes como en silos. El aire frío se inyecta por la parte inferior y penetra a través del grano hacia la parte superior. Si la

humedad relativa inicial del aire ambiente es inadecuada, la instalación dispone de medios para reducirla. De esta forma la refrigeración del arroz es independiente de las condiciones atmosféricas.

Inicialmente se refrigera la zona más baja. Esta zona fría se desplaza en el sentido de la circulación del aire a medida que avanza la refrigeración. El enfriamiento termina cuando la temperatura del aire a la salida es sólo 2-3° C mayor que la del aire frío a la entrada.

La refrigeración produce cierto efecto de secado que es función de la humedad del arroz y de la diferencia de temperatura entre el aire frío y el arroz. Reducir, mediante la refrigeración, unos 10° C la temperatura de una partida de arroz que se encuentra con el 15-16% de humedad comporta reducirla en 0'5-0'8 puntos. Si la humedad del arroz es mayor el efecto de secado será más elevado. Cuando la humedad es del 14% (prácticamente seco) el efecto de secado es despreciable.

*** Temperatura del aire de refrigeración**

- Cuando el arroz está seco (<15'5%): 10-12° C.
- Hasta el 19% de humedad: 9-10° C.
- Humedad del arroz mayor de 19%: 4-5° C.

Nunca la temperatura del aire frío ha de ser mayor que la temperatura del cereal ya que se producirían condensaciones.

*** Frecuencia de la refrigeración**

Depende de la humedad del arroz almacenado:

- Humedad del 12-15%: 8-12 meses.
- Humedad del 15'5-17'5%: 4-8 meses.
- Humedad del 17'5-18'5%: 3-5 meses.
- Humedad del 18'5-20%: 1-3 meses.
- Humedad del 20-23%: 2-6 semanas.
- Humedad del 23-25%: 1-2 semanas.
- Humedad mayor del 25%: refrigeración continua.

Hay que tener en cuenta que estos valores son empíricos, en instalaciones de refrigeración adecuadas y en ausencia de problemas de nidos de calor, condensaciones, etc.

*** Distribución de aire frío en almacenes**

Se utilizan conductos semicirculares de chapa perforada de acero galvanizado. El diámetro del orificio suele ser de unos 2 mm. Los conductos pueden ir montados sobre el pavimento, en el caso de edificios construidos, o enterrados en el mismo.

Las dimensiones de los canales varían según la cantidad de aire, la longitud de los canales y la altura de carga.

Como norma general, la separación entre los canales tiene que ser menor que la altura de almacenamiento del arroz y la separación entre el canal y la pared del almacén tiene que ser menor que la 1/2 de la altura de almacenamiento del arroz.

4.7. *Recomendaciones para el almacenamiento*

* Utilizar unas condiciones de t^a y humedad adecuadas para evitar el desarrollo de insectos, hongos, fermentaciones, etc.

* Tratar de evitar situaciones de absorción de humedad.

* Tener en cuenta que los transportadores y elevadores producen roturas por su acción mecánica.

* Una altura de descarga superior a 18 m supone mayor número de roturas.

* Evitar silos de altura excesiva ya que supone una mayor presión sobre la parte inferior y por lo tanto un mayor porcentaje de roturas.

* En cuanto a la duración del almacenamiento, en relación con el comportamiento del grano durante la elaboración, tener en cuenta que una duración larga, superior a 10 meses, en condiciones adecuadas, confiere al grano una mayor resistencia a la rotura.

5. ASPECTOS VARIETALES

5.1. *Variedad*

Respuesta diferente a la rotura por causas genéticas. Parece que cuenta la composición química: un contenido más alto de pentosanas en la pared celular da al grano una mayor resistencia a la rotura.

5.2. *Topografía del grano*

El grano de arroz tiene surcos y nervios, variables en profundidad y altura, a lo largo del mismo. El trabajo de la blanqueadora tendrá que ser de mayor duración y más enérgico en la elaboración de granos con surcos y nervios más marcados. Esto ocasionará más roturas.

En general, los granos más anchos y con menor relación longitud/anchura presentan una mayor profundidad de surcos. También influye el grado de solape entre la patea y la lemma. Interesan variedades con menor solape y con los nervios de la lemma menos acusados.

5.3. *Dimensiones y forma del grano*

En los granos redondos, más anchos y de mayor espesor, la distancia para difusión de la humedad entre el centro y la parte externa es mayor. Se necesita más tiempo para equilibrarse la humedad y se producen más roturas. Por otra parte los granos redondos, físicamente, tienen una mayor resistencia.

5.4. *Grado de opacidad* (white belly, abdominal white o panza; white core, white center o perla central; white back o perla dorsal)

Las porciones yesosas de los granos de arroz se caracterizan por la disposición holgada del contenido de sus células, con espacios de aire; contienen menor número de amiloplastos y de mayor tamaño. Los gránulos de almidón de estas zonas tienden a ser esféricos, simples y empaquetados holgadamente, en contraste con los gránulos poliédricos y empaquetados apretadamente de las partes translúcidas. Por eso los granos yesosos o perlados rompen más en la molienda.

Los granos waxy (contenido de amilosa prácticamente cero), a pesar de ser opacos contienen gránulos de almidón poliédricos y empaquetados apretadamente; como además tienen un mayor contenido de pentosanas, rompen menos.

El grado de opacidad está relacionado con la anchura del grano y con la temperatura de maduración: cuanto mayor es la anchura del grano y la t^a durante la maduración, más granos yesosos y con perla.

6. FACTORES RELACIONADOS CON EL PROCESO DE ELABORACIÓN

6.1. *Contenido de humedad del arroz*

El grano seco es más duro y resiste más el proceso que el grano húmedo; pero si se elaboran hasta el mismo grado de elaboración y no con el mismo tiempo de duración de la molienda, el rendimiento en granos enteros no varía.

6.2. *Temperatura del arroz*

La temperatura en sí del grano de arroz no influye. Sí que influye la diferencia de temperatura entre el arroz y el local de elaboración como consecuencia del gradiente de humedad que se origina. Si se controla el gradiente de humedad, no influye.

6.3. *Humedad relativa del local*

La humedad relativa del local, más concretamente la de la zona de la maquinaria de elaboración donde el arroz se encuentra en contacto con importantes volúmenes de aire, tiene que ser la adecuación para evitar el flujo de humedad entre el grano de arroz y el ambiente.

6.4. *Ventilación del cilindro blanqueador*

La ventilación del cilindro blanqueador evita la subida de la temperatura del grano de arroz que provocaría un gradiente de humedad y aparición de tensiones. Flujos de aire de $4'34 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^3$ de espacio anular son suficientes.

6.5. *Tiempo de elaboración*

Existen referencias contradictorias: en unas se afirma que las roturas se producen en los primeros 10" de la elaboración; en otras, que las roturas continúan cuando se prolonga el tiempo de elaboración.