

USOS DEL SORGO GRANÍFERO EN LA ALIMENTACIÓN HUMANA Y OTROS.

Autor: Richard R. Hahn. Capítulo 16 del libro Producción del Sorgo y su Utilización, editado por Joseph S. Wall (Integrante del USDA, Illinois) y William M. Ross (USDA, Universidad de Nebraska, Lincoln, Nebraska) en 1970.

Traducción: Yanina Mestre – Nidera S.A. – ymestre@nidera.com.ar

Valor Nutricional de la Harina de Sorgo.-El sorgo se ubica en tercer lugar en el mundo de los granos usados para la alimentación y aproximadamente el 75% del cultivo de sorgo en todo el mundo lo consumen las personas (Kramer 1969). En zonas de la India, África y China, el sorgo constituye más del 70% del total de calorías y suministra gran parte de las proteínas de la dieta. El hecho difundido de la enfermedad de Kwashiorkor, en zonas donde los granos son la principal fuente de alimento indica el desequilibrio nutricional de una dieta con alto contenido de cereal. Esta enfermedad es el resultado de una calidad pobre y una cantidad insuficiente de proteínas en la dieta. Por lo tanto, para fines nutricionales del ser humano, las características de las proteínas del sorgo son muy importantes.

Shoup *et al.* (1969) presentó un informe sobre la composición de aminoácidos y el valor nutricional de los productos de sorgo molido. Calculado sobre una base igual de nitrógeno, el contenido de proteínas en una fracción de germen de salvado es superior a la del grano original y las fracciones de endosperma. Las proteínas de germen de salvado contienen aproximadamente 4

veces la lisina y 2 veces la arginina y glicina de las proteínas del endosperma. Al comparar el patrón de aminoácidos del estándar de Proteínas de FAO, el sorgo es deficiente en lisina, triptofano y metionina.

La cantidad de aminoácidos disponible para el cuerpo luego de ingerir las proteínas de los alimentos puede ser menor de lo que indica su composición. Para evaluar esta disponibilidad, se desarrollaron procedimientos químicos y biológicos. El más común de estos, es determinar el valor de proteínas en animales usados para experimentos. Lamb y sus colegas (1966) alimentaron ratas con una dieta basada en cereales durante tres generaciones. Se descubrió que los granos de sorgo son nutricionalmente inferiores que los de trigo para el crecimiento, el uso en los alimentos y para la reproducción, especialmente en la 2° y 3° generación de las ratas. La lisina y la treonina son los aminoácidos más limitantes en los granos de sorgo que se usan como alimentos para ratas (Pond *et al.* 1958). Un agregado de 0,5% de lisina y 0,2% de treonina produjo un crecimiento equivalente a una dieta basada en caseína en 11%. No se obtuvo respuesta con suplemento de metionina, isoleucina, triptofano o valina.

Estudios limitados sobre seres humanos confirmaron la necesidad de suplementos de lisina y posiblemente treonina en dietas basadas principalmente en sorgo para una nutrición óptima de proteínas. Daniel *et al.* (1966) alimentó a un grupo de niñas de 11 y 12 años con dietas en que la mayoría de las proteínas derivaba del sorgo. Se observó que la retención de nitrógeno era muy baja, 8,6% y que el valor nutricional y el uso neto de proteínas de las dietas era de 66,9 y 49,3 respectivamente. El suplemento de la dieta con L-lisina y DL-treonina aumentó el valor biológico a 78,3 y el uso neto de proteínas a 59,8.

Como ocurre con otros granos, las capas del pericarpio y la aleurona tienen cantidades importantes de vitaminas y minerales. El perlado puede ocasionar pérdidas de algunos de estos nutrientes en las comidas resultantes. Después de pulir el sorgo para sacar el 30% del peso del grano, el contenido de tiamina disminuyó de 350 a 210 γ por 100 gm, calcio de 39,2 a 20,8 mg %, fósforo de 275,8 a 124,2 mg % y Fe de 5,9 a 4,7 mg % (Rao *et al.* 1958). El suplemento con vitaminas y minerales de las dietas basadas en harinas de sorgo refinado es, por lo tanto, conveniente.

Alimentos Fortificados.-Cantor y Roberts (1967) describieron los métodos que se usan para mejorar la calidad de proteínas de los alimentos a base de maíz. Como los granos de sorgo son muy similares a los de maíz en su composición y propiedades, se deben aplicar las mismas técnicas. Los dos métodos principales de mejoramiento son el enriquecimiento de los alimentos más comunes con

aminoácidos y la fórmula de alimentos “completos” con alto contenido de proteínas. Senti y otros (1967) sugirieron que el sorgo se puede escarificar e infundir con lisina y niacina. Esto puede mejorar en gran medida su valor alimenticio cuando se consume como pan o como papilla. El Gobierno de Estados Unidos provee a los países en desarrollo, por intermedio de empresas privadas, de alimentos de mezcla para chicos que contienen sorgo granífero y fuentes de proteínas de calidad, como harina de soja. La porción está diseñada para usarla como papilla o complemento para otros alimentos. Si se consume diariamente, suministra la cantidad adecuada de proteínas, minerales y vitaminas (Anón. 1965).

Una de las principales fórmulas de productos de granos fortificados con proteínas es Incaparina, desarrollada por el Instituto de Nutrición de América Central y Panamá. El producto se comercializa desde 1960 y su producción actual supera las 1.816.000 toneladas anuales (Bressani *et al.* 1966). Mediante pruebas biológicas, se demostró que Incaparina es de buena calidad y no tiene efectos fisiológicos adversos, también puede suplementar de manera adecuada las dietas de baja calidad (Scrimshaw 1961; Braham *et al.* 1965). Los suplementos equivalen a proteínas animales si las proteínas constituyen por lo menos el 10 % de la dieta (Bressani *et al.* 1962). La fórmula 9ª, en producción comercial, contiene 28% de harina de maíz, 28% de harina de sorgo, 28% de harina de semilla de algodón, 3% de levadura, 3% de harina de soja deshidratada, 1% de limo y vitamina A. Recientemente, se incluyó el suplemento

con lisina. El sorgo granífero puede constituir cualquier parte o todas las partes de la porción de cereales de estos alimentos fortificados sin afectar su valor nutricional (Bressani *et al.* 1959). La retención de nitrógeno es mejor con mezclas de maíz y sorgo que con cualquiera de los dos cereales solos.

Un segundo producto “instantáneo” a base de cereal con alto contenido de proteínas apropiado según el Dep. de Agr. de EE. UU. “Pautas para Fórmulas Alimenticias para Niños” es Freedom Meal (*Libre Alimento*) (Guerrish 1967). Este producto contiene 26% de sorgo granífero, 26% de trigo, 21% de harina de maíz, 15% de harina de soja desgrasada tostada, 10% de leche descremada en polvo y 2% de aditivos minerales y vitaminas. Se puede preparar uniendo los ingredientes y pregelatinizando en una secadora de tambor doble o cocinando por extrusión. (Sanderude 1967). Se están investigando otras mezclas de cereal con alto contenido de proteínas incluyendo los productos de cocción rápida (Miller 1960), mezclas de legumbres y cereales (Sirinit *et al.* 1965), y productos fortificados con harina de pescado (Shurpalekan *et al.* 1962).

Productos Tipo Arroz.-Como el arroz es un grano alimenticio importante y en muchas zonas el suministro es escaso, se investigaron otros cereales para sustituirlo. El descortezamiento por perlado o pelado del sorgo granífero o por tratamiento de ácido o álcali produce un producto granífero de bajo contenido de fibras, pero no tan tierno como el arroz una vez cocido (Rao *et al.* 1953). La incorporación de harinas de sorgo y

tapioca en una masa permitieron la formación de partículas esféricas que se gelatinizaron al calentarlas y secarlas (Rao *et al.* 1953). La extrusión de harina de sorgo con los suplementos de proteínas adecuados ofrecen un potencial de producción de alimentos nutritivos similares al arroz.

Alimentos para el Desayuno y Comidas de Preparación Rápida.-En África, la sémola de sorgo combinada con malta de sorgo se usa en el desayuno (Aucamp *et al.* 1961).

Harinas de Sorgo Ceroso como Agentes Espesantes.-Las harinas de cereal son muy usadas como agentes espesantes en los alimentos enlatados. Las pastas que se hacen con cereales cerosos, como el sorgo ceroso, son más consistentes en los productos enlatados que aquellos derivados de almidones regulares (Davis *et al.* 1955). Las harinas comunes que se usan para preparar salsas y salsas en productos congelados no son consistentes para congelar y descongelar. Hanson *et al.* (1951) estableció que las salsas preparadas con harinas cerosas de arroz, maíz o sorgo eran menos propensas a cuajarse durante el congelamiento que las salsas a base de harinas normales. Se prepararon productos con consistencia gelatinosa adecuados para budines con sorgo ceroso. (Corn Products Co. 1965).

Usos en el Horneado.-Hace cincuenta años, se intentó reemplazar el 25% de la harina de trigo en el pan por harina de sorgo granífero (LeClerc y Wessling 1918). Más recientemente,

Bovousett y Kleppe (1942) publicaron un boletín sobre las formas de usar la harina de sorgo para panadería. Desarrollaron recetas para galletitas de ricota, bollitos, pan, pancitos, pan de jengibre, tortas y waffles. La harina de sorgo granífero molido a seco puede reemplazar toda la harina de trigo en fórmulas de pan rápido con algunas modificaciones en clases y cantidades de ingredientes (Boren 1962). Este mismo estudio indicó que, en el pan con levadura, se puede reemplazar hasta la mitad de la harina de trigo por sorgo granífero. Según informes, en Occidente Medio se está ofreciendo harina de sorgo para panadería (Guerrish 1967). Un uso más importante es en la harina para tortas, donde se puede agregar para endurecer las harinas de trigo rojo de invierno usadas para mezclas en el horneado de tortas.

Aglutinante para Embutidos.-Otro uso comestible de la harina de sorgo granífero es en el procesamiento de la carne. Para unir los embutidos, se consumen aproximadamente 15.890 toneladas anuales de almidón y harina de cereal (Kraybill 1955). La función es reducir el costo de los embutidos y unir los ingredientes. Cuando se usa el cereal para unir, éste absorbe la humedad del hielo que se usa al cortar la carne y actúa como un agente emulsionante entre la grasa, las proteínas y la humedad (Fetty 1965). El Área de Inspección de Carne del Dep. de Agr. de EE.UU. aprobó la harina de sorgo granífero como ingrediente. Se puede usar a un máximo de 3,5%, según la declaración de ingredientes, con la etiqueta de “cereal”.

Alimento para Mascotas.-Los alimentos para mascotas se realizan con una amplia variedad de carnes, derivados de la carne, proteínas vegetales, granos de cereal y lácteos. Estos alimentos se presentan en tres formas: seco, húmedo y medio húmedo. En varias de estas preparaciones, se usan los productos de sémola molida seca en mallas con medida de 8 a 20. Algunos usuarios solicitan un producto descascarado para que tenga una mejor apariencia, mientras que otros usan productos partidos y aspirados (Werler 1967). Una fórmula típica tiene ½ de carne y productos derivados de la carne, 1/6 de granos de soja tostados, 1/6 de germen de sorgo o de trigo y 1/6 de granos de sorgo perlado. Como las proteínas son muy solicitadas en los alimentos para mascotas, se prefieren variedades de granos de sorgo con alto contenido de proteínas.

Jalea y Dextrosa Cristalina.-Se obtuvo dextrosa cristalina y jalea de glucosa comestible de productos de cereal molido seco (Kroyer 1966; Miescher 1966). El grano desgerminado pelado se lava para sacarle los componentes solubles en agua y se le hace un tratamiento con enzimas licuantes de almidón o ácido. Convencionalmente, el siguiente paso es la sacarificación, excepto que se recomiende una purificación de intercambio de iones. De este modo, los granos de sorgo cerveceros que contienen 84% de almidón, se convierten en una jalea equivalente a dextrosa 25 % (DE) por una digestión alfa-amilasa durante 8 h a 86°C. Luego se sacarifica un extracto purificado con amiloglucosidasa para rendir una jalea DE

43 o 73 que contiene 0,01% de proteínas. La glucosa cristalina se obtiene cristalizando jalea Brix de 56° a 58° o introduciendo cloruro de sodio y precipitando sal doble (Obukhovskii y Malyzhev 1961).

Elaboración de Cerveza y Fermentación.-Durante la Segunda Guerra Mundial, la escasez de los productos elaborados con maíz y arroz ocasionó que la industria cervecera usara otros cereales (Davis *et al.* 1944). El consumo de los productos de sorgo molido seco para la elaboración de cerveza llegó a las 70.800 toneladas en 1946 (Nakayama 1946). Al finalizar la guerra, los fabricantes de cerveza volvieron a usar los materiales que estaban más acostumbrados y, temporalmente, el interés en la elaboración de cerveza con sorgo fue desapareciendo. En los últimos años, varias fábricas de cerveza volvieron a usar granos de sorgo en la fabricación. El consumo actual supera las 2.300 toneladas mensuales. (Anón. 1968). Con las pruebas piloto de elaboración de cerveza y el gran uso de plantas, se probó que la cerveza que se fabrica con granos de sorgo es totalmente equivalente en análisis químico, sabor y estabilidad a las que se fabrican con otros complementos (Stewart y Hahn 1965A). La composición promedio de estos granos sobre una base de sustancia seca es la siguiente: humedad: 11,7%, aceite 0,73% y extracto 91,4% (Hahn 1966). El sorgo no requiere procedimientos de manejo o cocido especial en la fabricación de cerveza y se adapta a todos los estilos de complementos de fabricación de la misma. En la molienda seca de sorgo

se deben usar técnicas especiales para preparar los granos para que cumplan con los requisitos estrictos de elaboración de cerveza. Además, la selección de los granos es un factor importante, ya que no todos los tipos de sorgo son igualmente adecuados para elaborar cerveza (Nakayama 1963).

Malta de Sorgo.-El sorgo granífero malteado se usa como alimento en muchas partes del mundo (Aucamp *et al.* 1961). Uno de sus mayores usos es en la cerveza de Kaffir, la bebida tradicional de los habitantes de Bantu en el Sur de África (Novellie 1968). Esta bebida tiene un sabor agrio muy rico y la consistencia de una sopa espesa. El contenido de alcohol oscila entre 2 y 4% por peso y es particularmente una buena fuente de vitaminas del grupo B (Schwartz 1956). La cerveza de Kaffir se produce al pisar, agriar y convertir una mezcla de sorgo granífero malteado y no malteado. Se consume en un estado activo de fermentación.

Las técnicas modernas de malteado que se usan para la cebada, se aplican para el sorgo granífero (Novellie 1962). Para un desarrollo óptimo del poder diastático, se requiere una temperatura entre 25° y 35°C y riego durante la germinación. La malta de sorgo es rica en alfa-amilasa con sólo de 18 a 39% de actividad sacarífica por su beta-amilasa (Novellie 1960). Esta característica es especialmente buscada por la malta para destilación.

Producción de Alcohol

Las principales materias primas de las industrias de fermentación son el almidón y el azúcar. Éstas se pueden

obtener de varias fuentes y el sorgo granífero es la preferida sólo cuando su relación con el precio es favorable. La producción de alcohol etílico es, sin ninguna duda, el producto de fermentación de sorgo granífero más antiguo e importante y se usan una cantidad de procesos de molienda y sacarificación (Flygare 1949; Deckenbrock 1954). El proceso general es moler el grano entero para producir una harina 12-60. Se cocina el grano y se sacarifica el “puré” usando hidrólisis ácida, malta diastática o amilasa de organismos de hongos. La “cerveza” de fermentación se enfría e inocula con células de levadura. Para completar la fermentación se requieren entre treinta y noventa horas. El alcohol se recupera por destilación. El rendimiento del alcohol que se produce con sorgo es aproximadamente 23 litros de alcohol cada 25 kg de grano sobre una base de sustancia seca con rendimientos de fermentación de 93% o mayores (Underkofler y Hickey 1954).

La producción de bebidas alcohólicas sigue el mismo procedimiento con diastasa de malta para la sacarificación. Las bebidas alcohólicas destiladas, que contienen aproximadamente 95% de alcohol por volumen, se filtran con carbón, mezcla y añejamiento en toneles de roble carbonizados para obtener el sabor y color deseados. Como la composición de cereal de varios tipos de bebidas alcohólicas está regulada legalmente, el sorgo se relega a

un rol secundario o a la producción de bebidas alcohólicas neutrales.

Otros productos de Fermentación

El sorgo granífero molido tuvo buenos resultados en su uso para producir ácido cítrico, ácido láctico, riboflavina, antibióticos y polisacáridos microbial (Cadmus *et al.* 1966). La jalea que contiene entre 20 y 25% de D-glucosa se produce por digestión de glucoamilasa entre 24 a 48 h. Luego de la filtración, esta jalea sirve como substrato para fermentación. El rendimiento del producto es el mismo que se obtiene de la D-glucosa comercial.

Usos Industriales de la Harina de Sorgo

Los usos industriales de la harina de cereal aumentaron considerablemente durante los últimos años. Los molineros intensificaron sus esfuerzos para capturar mercados pertenecientes tradicionalmente al almidón y desarrollaron una cantidad de usos nuevos. El uso industrial estimado de harinas de sorgo y maíz de molienda seca durante 1964 se observa en la Tabla 16.4 (Senti 1965). No se conoce exactamente la participación en el mercado de los productos de sorgo granífero. Sin embargo, se aceptan los productos de sorgo para cada uno de estos usos.

TABLA 16.4
 USOS INDUSTRIALES DE PRODUCTOS DE MAÍZ Y SORGO MOLIDO SECO
 ESTIMACIÓN-1964

MERCADO	TONELADAS
Industria de la Construcción	45.400
Aglutinante para fundición	34.050
Procesamiento de minerales	29.510
Bloques de carbón	22.700
Almidón para perforación	6.810
Varios	6.810

Fuente: After Senti (1965)

Industria de la Construcción.-Uno de los primeros y principales usos de productos de sorgo molido seco es en la fabricación de placas para la construcción de tabiques de yeso (Martín y MacMasters 1951). Al yeso calcinado se le agrega un producto de harina fina hirviendo o dextrinizado. Esta mezcla se incorpora con una pasta de una espuma pesada en láminas finas en un proceso continuo. El almidón va hacia la superficie durante el secado y controla el crecimiento del cristal y pega el centro de yeso con la funda de papel. El contenido del producto debe ser altamente soluble en agua fría y debe tener un peso molecular alto con baja viscosidad. Se describieron varios procesos para producir harina de sorgo con estas características. Slotter (1952) sugirió que el tratamiento de harina de sorgo debe tener de 0.25% a 1.50% por peso de ácido mineral en agua. La mezcla se pasa por un molino de flujo continuo, luego por una cámara de calor para dextrinizar y secar el producto. Un segundo proceso usa harinas de grados bajos mezclándolas con hasta un 2% de cloruro de aluminio (Hart 1952). El calor generado en la trituración modifica el producto. Wimmer y Meindl (1959)

propusieron gelatinizar primero la harina y luego secar y acidificar con condiciones de molienda con cloruro de hidrógeno gaseoso seco. Se puede usar un proceso alternativo de un solo paso que consiste en cocinar, secar y modificar el producto simultáneamente. Se le agrega ácido al agua que se usa para atenuar la sémola de sorgo y los granos acidificados se pasan por rollos de acero caliente. Stickley y Griffith (1966) sugirieron un proceso similar usando un extrusor para completar la modificación. La intensidad de la modificación puede variar y los productos se pueden dispersar.

Un segundo uso de los productos de sorgo molido seco en la industria de la construcción es como agente aglutinante en placas aislantes. “Celotex” y otros productos similares se preparan con bagazo y otras fibras de desperdicio. Si se agrega harina de cereal a la pasta, se produce una placa más fuerte y liviana. Girard y Rose (1965) descubrieron que cortes de grado bajo y la fracción de salvado de molienda seca de sorgo son casi tan efectivos como las harinas altamente refinadas. Es necesario un material de una medida de partícula fina. La harina se debe cocinar sin hervir para obtener una partícula acorde

en dimensiones con la fibra de la masa. También se puede agregar la harina seca a la fibra y gelatinizar *in situ* durante el secado de la placa. Otra mejora es cocinar la harina con colofonia. Esto se agrega a la pasta y precipita en la fibra con alumbre para fabricar papel.

Está aumentando el uso de la harina de cereal para aumentar el volumen de adhesivos de resina de formaldehído que se usa para contrachapado, laminado y aglomerado. Se recomienda agregar entre un 25 y un 100% de harina basada en sólidos de resina seca. Generalmente, se requiere un producto altamente refinado y finamente molido. Tanto el almidón como las proteínas presentes en harinas molida seca son funcionales (Arnold 1965). El almidón sirve para espesar el pegamento, mientras que las proteínas del tipo albúmina reaccionan con formaldehído para prolongar la vigencia y reducir la tensión interna en la unión.

Aglutinante para Fundición.-Las harinas de sorgo gelatinizadas se usan como aglutinantes principales en fundición y como aditivos de arena para hacer moldes. La función del material de modelado es mantener la forma de la cavidad del molde hasta que se solidifique el metal fundido. Al agregar entre 1 y 3% de harina de sorgo pregelatinizada a arena de moldeo, se aumenta la fuerza y la dureza y se disminuye la permeabilidad y la expansión termal del molde.

Recientemente se informó sobre un avance en un aglutinante para fundición de sorgo (Santmyer 1967). El aglutinante está compuesto por cantidades individuales de partículas pequeñas de óxido de hierro y

harina pregelatinizada. Este aglutinante da como resultado una pieza fundida mucho más suave con menos uso de máquinas que la que se puede obtener con materiales convencionales.

Refinamiento de Minerales.-Se descubrió que el almidón y los productos de cereal molido seco tienen muchas funciones en minería y en industrias afines. La mayor parte del proceso está basada en una separación selectiva de los minerales deseados y los que no se usan. La flotación de espuma es el principal medio de concentración de cobre, plomo, zinc, fosfato y potasio. El mineral dividido finamente se suspende en un líquido que contiene burbujas de aire. Los minerales que tienen una afinidad específica para que las burbujas suban a la superficie y se separan de los minerales que se humedecen con agua. Para aumentar la eficacia y la selectividad, se agregan una cantidad de reactivos. Entre estos se incluyen espumantes, recolectores, activantes y degradantes. Las harinas de sorgo se usan como degradantes para evitar que se adhieran los colectores por “bloqueo de superficie”. Además, la harina de sorgo funciona como floculante agregado para ayudar a la filtración y engrosamiento de los productos (Anón. 1650).

El refinamiento del mineral de aluminio con el proceso de Bayer consume muchas toneladas de harina de sorgo granífero. El aluminio en bauxita se puede disolver en una solución de soda cáustica. Entre los productos de desecho que se producen durante la digestión, se encuentran las partículas muy finas de óxido de hierro, silicato de aluminio de

sodio, óxido de titanio y otras impurezas secundarias. Las harinas de cereal y de almidón se usan para ayudar la fijación de las partículas finamente divididas (Hollo *et al.* 1995). Las harinas de sorgo crudas del tipo de extracción de 90% suministran una buena floculación ya que la alta alcalinidad del proceso dispersa los componentes del almidón y de las proteínas. Los índices de fijación son los mismos que los de las partículas más altamente refinadas (Hollo *et al.* 1967).

En el proceso de fabricación de bolitas de mineral de taconite, se puede mejorar la producción de las mismas agregando harina de sorgo granífero expandida (Stickley *et al.* 1964). La harina se puede usar en el proceso de enrollar con humedad o compactar en seco el mineral finamente dividido. Este aglutinante produce bolitas de una medida uniforme que tienen la composición y características físicas adecuadas para usarlas en un horno.

Aglutinante para Carbón.-Otro uso importante de la harina de sorgo molida a seco es en la preparación de bloques de carbón. Se usan tanto la harina gelatinizada como la no gelatinizada. La única diferencia es que la harina cruda requiere una cocción aparte antes de incorporarla en el carbón. Para un aglutinante eficaz, se requiere harina refinada. La harina correctora con bajo contenido de proteínas es solicitada especialmente ya que disminuye los olores adversos que surgen cuando se queman los aglutinantes de proteínas.

Almidón para Perforación.- Un líquido de perforación de aceite es una

suspensión coloidal compleja que tiene como función principal mantener y preservar el agujero ya perforado. Está formado por agua, arcillas, material de peso y una fase química que controla el comportamiento del material coloidal presente y produce las propiedades deseadas de viscosidad, tixotropía y pérdida de líquido. Las harinas de sorgo refinadas que se pregelatinizaron son agentes efectivos de pérdida de agua (Sanderude 1967). Su función es formar una capa gelatinosa en la superficie del agujero que retrasa la filtración de líquido en la formación que lo rodea.

Fabricación de Papel.-Los productos de sorgo granífero seco se usaban en la fabricación de papel como adhesivos, en encolado y como adhesivo para revestimiento. Jones *et al.* (1966) informó que si se agrega entre un 2 y un 5% de una harina cocida como adhesivo, se obtiene una retención menor, pero la misma resistencia al doblado, la tensión y la rotura para el papel resultante, cuando se lo compara con un mismo agregado de almidón de maíz. Para ser efectiva, una harina debe tener un alto contenido de almidón, bajo contenido de proteínas y fibras y debe ser finamente molida. Las harinas de sorgo también se encuentran en forma pregelatinizada para agregarse en seco a la batidora o a la máquina para hacer pulpa de papel. Recientemente, se informó sobre la existencia de harina de sorgo catiónica para agregar a sustancias húmedas (Dep. Agr. de EE.UU. 1967). El producto se produce con una harina de reactivo seca con etilenimina. La harina

catiónica incrementa la retención de fibras y las características vinculantes de la fibra.

Se prepararon harinas de cereal modificadas con ácido y se usaron en el encolado de papel (Rankin 1967). El papel tratado con cola de harina modificada tiene propiedades de superficie y resistencia comparadas con papeles tratados con colas muy conocidas comercialmente. La modificación ácida de la harina debe ser suficiente para debilitar los gránulos de almidón y obtener la viscosidad deseada. Entre los factores que afectan la conversión de la harina se incluyen: tiempo y temperatura de reacción; concentración de ácido; método de mezclar el ácido en la harina y contenido de proteínas y humedad de la harina. Los procesos húmedos de unión de ingredientes que se usan para modificar la fécula no son satisfactorios para la harina debido a la presencia de proteínas. En consecuencia, se desarrollaron una cantidad de procesos de conversión de estado seco. Rankin *et al.* (1964) informó haber secado la harina a menos de 3% de humedad y pulverizarla con ácido clorhídrico diluido en una cinta mezcladora, una batidora o un reactor. Después de un tiempo de conversión adecuado, se termina la reacción pulverizando con una solución de hidróxido de sodio. Lancaster *et al.* (1963) hizo una reacción usando un recipiente a presión y gas de cloruro de hidrógeno seco mientras que Henry y Greenberg (1964) usaron un equipo convencional de decoloración de harina con un reactivo de cloro gaseoso.

Se puede lograr un mejoramiento extra en las características de dispersión de harina por hidroxietilación en el estado

seco antes o después de modificarse con ácido (Rankin *et al.* 1959). La reacción con óxido de etileno gaseoso aumenta significativamente la claridad de la pasta y mejora su desempeño como agente encolante en papel y textiles (Lancaster y Pfeifer 1960).

Las harinas de grano de cereal y las fracciones de molienda seca se convirtieron químicamente en derivados de xantato de cereal soluble en agua (Naffziger *et al.* 1963; Russel *et al.* 1964). Esto implica la reacción entre grupos de hidroxilo libres del almidón con hidróxido de sodio y bisulfito de carbono. Estas conocidas “pulpas de cereal” se agregan a la pulpa de papel en cantidades de hasta 40% del peso de la pulpa. Al unir los derivados *in situ*, aumentan las propiedades de tensión seca, rotura, doblez y tensión húmeda del papel resultante.

Adhesivo para Corrugado.- Se hicieron una cantidad de intentos para producir un adhesivo para corrugado con harina. El adhesivo se compone con fécula desgelatinizada suspendida en un acarreador viscoso y se aplica en las ondulaciones de un medio corrugado. Cuando se le aplica calor, se gelatiniza el almidón y se forma una unión adhesiva entre la funda protectora y el medio corrugado. Cuando se cambia la harina por almidón en una fórmula de un adhesivo convencional, el adhesivo es difícil de manejar y se pega en las bandejas de pegamento y tanques de almacenamiento. Además, se obtienen funciones de pasta que dan como resultado una plancha húmeda y no muy bien unida. Wimmer (1959) sostenía que el problema era debido

al comportamiento tixotrópico del complejo ácido de grasas y amilasa presente naturalmente en la harina. La derivación de la fécula elimina este efecto. Wimmer sugirió usar almidón de hidroxietil o carboximetil almidón en la porción gelatinizada del adhesivo o agregando un agente ramificante como cloroacetato de sodio al acarreador, para que la modificación se pueda realizar *in situ* durante la preparación del adhesivo. También se descubrió que el almidón o la harina de sorgo ceroso como acarreador pueden ser efectivos en eliminar la tixotropía (Horner 1961). El tratamiento de

una harina de sorgo finamente molida con una enzima proteolítica elimina la tixotropía de las proteínas y resulta un adhesivo satisfactorio (Vallink y Hunt 1964). Fortney y Hunt (1966) prepararon un adhesivo basado en la harina simple agregando hasta un 5% de pegamento soluble en agua. También se usan cantidades limitadas de harina de sorgo granífero en: agentes de relleno y a prueba de agua en dinamita; adhesivos para telas y alfombras (Werler 1967); como aglutinante para alimentos; en planchas de amianto y en espuma rígida de uretano (Bennett *et al.* 1967).