

## INTRODUCCION

En los países altamente desarrollados, el progreso extraordinario en la industria animal y la producción de alimento en general, constituyen un factor principal de su riqueza. Obviamente la base del progreso radica en la aplicación de los adelantos técnicos y científicos, que surgen tanto en el campo de la zootecnia como en la agronomía. Para alcanzar tales metas, se ha recurrido a un mejoramiento de razas, a un conocimiento más a fondo de los requerimientos nutricionales y de mayor disponibilidad de productos industriales para la alimentación. (*Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 1968*).

La producción de sorgo ocupa el cuarto lugar en el mundo entre los cereales y es usado extensivamente como alimento tanto humano como animal.

La producción mundial total en 1978 fué estimada en 68.6 millones de toneladas (2.696 billones de bushels) en 47.5 millones de hectáreas (119 millones de acres). Cerca del 50% del total de la producción es usado en la alimentación humana en diversas comidas tradicionales principalmente en Africa y la India (*Rooney, 1979*).

La producción de sorgo en términos de porcentaje de la producción total mundial del cultivo en 1975 fué: Norte

de las diferentes especies animales en diversas etapas de desarrollo son escasos, así como también los estudios realizados sobre la estructura de granos.

Por lo anterior, el presente trabajo enfatiza algunos aspectos químicos, nutricionales y estructurales de diez variedades de grano de sorgo, utilizadas en las zonas de Tamaulipas y Nuevo León para alimentación del ganado bovino de engorda. Esto con la finalidad de obtener datos confiables sobre el contenido químico, nutricional y estructural de los granos de diferentes variedades y utilizarlas como parámetros para poder diferenciar primordialmente las características que conduzcan a seleccionar las de mayor valor nutricional.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. ESTRUCTURA Y GENETICA DEL GRANO DE SORGO

La estructura del grano con respecto a forma, tamaño, proporción y naturaleza del endospermo; germen (embrión) y pericarpio; presencia o ausencia de testa y color del pericarpio, presentan variación por factores del medio ambiente y genéticos (Rooney y Murty, 1982). El conocimiento de esta estructura es importante para comprender las características de las cualidades del grano utilizadas en la elaboración de alimentos.

El grano o cariopside de sorgo es una esfera aplanada aproximadamente de 4.0 mm de longitud por 3.5 mm de ancho por 2.5 mm de grosor, con un peso de 25 a 35 mg (Rooney et al., 1980). El grano o cariopside está compuesto de tres partes principales: La externa o pericarpio, la parte media o tejido de almacenamiento (endospermo) y la parte más interna constituida por el germen o embrión. (FIGURA 1).

Cada una de esas partes pueden subdividirse. La capa más externa del pericarpio es la epidermis o epicarpio que consta de dos o tres capas de células. Las células son largas y de forma rectangular; contienen ceras y pigmentos. La capa media o mesocarpio se encuentra debajo del epicarpio,

varía en grosor, contiene pequeños gránulos de almidón incrustados en una densa matriz proteica (Rooney y Clark, 1968). Las células del mesocarpio en granos de sorgo tienen gránulos de almidón de 1 a 2  $\mu\text{m}$  en tamaño. Sobre esto, poco se sabe acerca de sus propiedades comparándolos con los gránulos de almidón del endospermo (Zeleznaĳ y Varriano-Marston, 1982). El mesocarpio varía en espesor, que va de grueso con apariencia del almidón de opaco blanquecino a un mesocarpio delgado traslúcido. Cuando el mesocarpio es grueso, contiene pigmentos y gránulos de almidón, presentando el grano una apariencia calcárea, en cambio, hay otros granos de sorgo como los aperlados que tienen muy delgado el mesocarpio sin gránulos de almidón (Rooney et al., 1980; Maiti, 1986). La porción interna del pericarpio (endocarpio), está compuesta de células de cruz y de tubo (FIGURA 3). El grosor del pericarpio es regulado por el gen Z. El pericarpio delgado (aperlado), resulta del gene dominante Z ( $Z^+$ ) y el pericarpio grueso (calcáreo) de la condición recisiva homocigota (zz).

El grosor del pericarpio varía en el grano individual, así como entre las variedades. En la variedad Nio-Fionto se observó en las fotomicrografías tomadas en el microscopio electrónico de barrido alrededor del grano, que éste presentaba variación en le grosor del pericarpio. El grosor del pericarpio en las siguientes partes fué: abajo del estilo, 56  $\mu\text{m}$ ; cerca de la punta del grano, 64 $\mu\text{m}$ ; a los lados del

grano 48  $\mu\text{m}$ ; y cerca del hilum, 80  $\mu\text{m}$  . En las variedades fluctúa de 8 a 32  $\mu\text{m}$  en los pericarpios delgados; 28- 48  $\mu\text{m}$  en los pericarpios intermedios y de 48 a 160  $\mu\text{m}$  en los pericarpios gruesos (Earp y Rooney, 1982; Scheuring et al., 1982). El grosor del pericarpio afecta el desgaste del grano (deterioro pre-cosecha). Sorgos con pericarpios gruesos generalmente se deterioran más rápidamente que los sorgos con pericarpio delgado (Earp y Rooney, 1982).

Algunas variedades de sorgo tienen una capa de células muy pigmentada debajo del pericarpio. Esta capa es conocida como testa, cubierta de la semilla, subcubierta, subcubierta interna o cubierta nucelar. El término de capa inferior o capa media, tal vez sea el más adecuado para evitar confusiones en el pericarpio (Rooney y Clark, 1968). Por otra parte, la testa frecuentemente está compuesta de dos capas superpuestas; sin embargo, en algunos granos la testa presenta un aspecto de subunidades de bloques y en otros tiene la apariencia de una simple capa (Blakely et al., 1979). La testa puede variar en grosor en el mismo grano, presentando la parte más gruesa debajo del estilo y la más delgada en los lados del grano (Blakely et al., 1979; Earp y Rooney, 1982). También pueden presentarse diferencias entre las variedades (Earp y Rooney, 1982). Por otra parte, Zeleznak y Varriano-Marston, (1982), dan valores para las diferentes partes del grano, señalando que la parte más gruesa, ubicada debajo del estilo era de 100-140  $\mu\text{m}$  y la parte más delgada,

localizada a los lados del grano varía de 18-25  $\mu\text{m}$ . *Earp* y *Rooney* (1982), mencionan valores diferentes para la testa a los lados del grano en diversas variedades, siendo de 16-40  $\mu\text{m}$  en testas gruesas y de 8-16  $\mu\text{m}$  en testas delgadas.

En cuanto a la presencia o ausencia de testa pigmentada en el grano maduro, *Blakely et al.*, (1979); *Rooney*, (1980) y *Earp* y *Rooney*, (1982), mencionan que está controlada por dos genes,  $B_1$  y  $B_2$ , los cuales pueden también afectar los niveles de polifenoles en el pericarpio. También *Han et al.*, (1983), hacen notar que la presencia de una testa (dominante  $B_1$  y  $B_2$ ), incrementa los niveles de fenoles del pericarpio. Sin embargo, enfatizan que los compuestos fenólicos estuvieron presentes sólo en las capas periféricas de variedades sin testa pigmentada. Adicionalmente, mencionan que un gene dominante incrementa los niveles de fenoles y disminuye el grado de polimerización de los taninos en el pericarpio y testa.

El endospermo del grano de sorgo consiste de una capa de aleurona y las porciones de endospermo periférico, córneo y harinoso (FIGURA 3). La capa de aleurona se localiza inmediatamente entre el pericarpio (o la testa si está presente) y el endospermo periférico; es una capa de células pequeñas gruesas con forma de bloques y alto contenido en proteína, grasas, minerales, fitina y enzimas (*Maiti*, 1986). Los cuerpos de lípidos miden de 0.3-0.5  $\mu\text{m}$  de diámetro y están localizados alrededor de los gránulos de aleurona que mide de

1 - 2  $\mu\text{m}$  (Zeleznaek y Varriano-Marston, 1982). Asociado con los cuerpos de proteína, se encuentra el ácido fítico que es la mayor fuente de fósforo en el sorgo, así como en otros cereales y semillas. El ácido fítico forma complejos con los cationes trivalentes y divalentes como el fierro, calcio, zinc y magnesio; lo que origina su indisponibilidad para el cuerpo. El ácido fítico también se une fuertemente con las proteínas a pH bajos; por tal motivo, la presencia de ácido fítico es considerada perjudicial en las características nutricionales del grano. Los niveles de fitato pueden variar entre los cultivares, en algunos el rango se ha observado de 1.72 - 4.05 mg/g (peso seco). En general, se ha comprobado que los niveles de fitato en el grano de sorgo son más altos que en el trigo (3.35 mg/g de peso seco), cebada (3.04 mg/g de peso seco) y maíz (2.80 mg/g de peso seco); sin embargo, es más bajo que en el frijol y soya. Los reservorios de fitato y total de fósforo en sorgo, se encuentran principalmente en la aleurona y cáscara del grano (Doherty et al., 1982). El endospermo periférico o subaleurona (FIGURA 3) se encuentra localizado debajo de la capa de aleurona y consta de algunas capas de células gruesas, distinguiéndose del resto del endospermo, porque las células son pequeñas en forma de bloque y contienen gránulos pequeños de almidón, los cuales están embebidos en una densa matriz protéica (Rooney et al., 1980). Las células de la subaleurona tienen cuerpos de proteína que miden de 0.4  $\mu\text{m}$  a 3.0  $\mu\text{m}$ ; éstos están fuertemente empaquetados

en la matriz citoplasmática y muestran anillos concéntricos o modelos radiales (Zeleznek y Varriano-Marston, 1982). El grosor del endospermo periférico está influenciado por el medio ambiente y la variedad de la semilla (Rooney y Clark, 1968). El endospermo córneo (FIGURA 2), tiene una interfase continua entre el almidón y la proteína. Los gránulos de almidón tienen una forma poliédrica angulosa encontrándose depresiones en los sitios donde están localizados los cuerpos de proteína.

El endospermo harinoso (FIGURA 1 y FIGURA 3), se encuentra localizado en el centro del grano y está rodeado por el endospermo córneo (Rooney y Clark, 1968). Este tiene células flojamente empaquetadas, los gránulos de almidón son esféricos y no están sostenidos por toda la matriz protéica. Entre los gránulos de almidón hay espacios y poca matriz continua (Rooney et al., 1980).

El embrión (FIGURA 1 y FIGURA 3) se encuentra en la base del grano, en el lado dorsal y es una estructura fuerte y altamente diferenciada. Contiene aproximadamente el 75% del extracto etéreo (Rooney y Clark, 1968). En el embrión se localiza además la radícula que es la primera estructura que emerge del cariopside. La vaina, forma parte del escutelo o del eje. El ápice caulinar está incluido en una hoja envainadora denominada coleoptilo (Fahn, 1978).

En las gramíneas el cotiledón tiene forma de escudo por



lo que a esta porción se le conoce como escutelo (FIGURA 1 y FIGURA 3). El escutelo se encuentra en contacto con el endospermo del que absorbe sustancias nutritivas. Esta parte se cubre de un epitelio bien definido que posee función secretora (Fahn, 1978). El escutelo es un sitio importante en la producción de la amilasa utilizada para la degradación de los gránulos de almidón durante la germinación. La síntesis de la amilasa está regulada en la cebada por el ácido giberélico y es inhibida por el ácido abscísico (Beck y Ziegler, 1989).

El hilum es una parte del grano que ayuda a la translocación de nutrientes desde las partes vegetativas de la planta hasta el óvulo, durante el desarrollo del cariósido (Matti, 1986).

## 2.2. MADUREZ DEL GRANO DE SORGO Y COMPOSICION NUTRICIONAL

En lo que respecta al desarrollo del grano de sorgo, House, (1980), menciona que la semilla pasa por tres estadios: lechoso, masoso-suave y masoso-duro, tomando alrededor de 30 días para que los granos alcancen su peso seco máximo (madurez fisiológica). Por su parte, Glennie y Liebenberg, (1984), realizaron un estudio sobre los diversos estadios de maduración y desarrollo en diferentes cultivares de sorgo, sus observaciones al microscopio electrónico de barrido y de

transmisión, les mostraron que en el período inmediato posterior a la fertilización se manifiesta un rápido desarrollo en el cariopside del sorgo. El endospermo se expande presionando al nucelo y en los sorgos no resistentes a pájaros (sorgos bajos en taninos), el integumento más interno es también presionado durante su expansión. Las células de la pared de ovario se expanden y alargan para formar el pericarpio. En el estado masoso suave, el endospermo tiene la mayor parte del material almacenado y más tarde hay una considerable pérdida de humedad. Durante el estado temprano de desarrollo, las paredes de las células del endospermo presentan gran cantidad de punteaduras, las cuales pueden permitir la translocación. Después del período de translocación, las paredes de las células permanecen intactas. Asimismo, *Taylor et al.*, (1985), realizaron un estudio durante el desarrollo del grano de sorgo, consistente en un análisis químico y observaciones al microscopio electrónico de transmisión, encontrando que los cuerpos de proteína eran visibles inicialmente en el estado lechoso, y en el estado masoso-duro llenaron completamente las células de la subaleurona. En estos estadios de desarrollo la cantidad de prolamina en la semilla fué incrementándose; ellos consideraron que los cuerpos de proteína en el sorgo son moléculas de prolamina sintetizadas en los ribosomas que son transferidas subsecuentemente hacia el lúmen del retículo endoplásmico.

Por otra parte, *Sanders, (1955)*, en su estudio sobre el desarrollo morfológico del grano de sorgo observó los eventos ocurridos durante el crecimiento del endospermo, testa y pericarpio en seis variedades de sorgo para grano desde el momento de la polinización hasta su madurez; encontrando que a pocos días después de la polinización aparecen en el endospermo una epidermis y una capa subepidermal distinta a la de otras células. Observó también el depósito de almidón alrededor del endospermo y la producción de aceite en la epidermis después de su crecimiento inicial. Adicionalmente, señala que durante la polinización se forma una capa de cutina entre los integumentos; así como en el integumento interno localizado entre el endospermo y el pericarpio. Indica que el depósito de almidón en el mesocarpio continúa a medida que madura el grano, evitando el colapso de esa región como sucede en otros cereales como el maíz.

*Ejeta y Axtell, (1987)*, en un estudio realizado con ocho variedades de sorgo evaluadas a los 21, 31 y 61 días después de la floración, encontraron que los mutantes de Etiopía altos en lisina (IS 11758, IS 11167, YM-3) mostraron bajo peso en su grano, bajo peso del endospermo, alto porcentaje del germen y alto porcentaje de humedad en comparación a las variedades de sorgo normal en todos los estadios de desarrollo del grano. Sin embargo, la síntesis de almidón se presentó hasta los 21 y

31 días posteriores a la floración en los sorgos ricos en lisina. Se detectó además que en el estadio masoso-duro ocurrió una acumulación de azúcar, cuyos niveles más altos se presentaron a los 31 días después de la floración.

Con respecto a la presencia de taninos en los diferentes estadios del grano, *Yadav y Rana, (1983)*, informaron que el contenido de taninos por cada 100 miligramos de grano resistente (altos en taninos), moderadamente resistente (contenido regular de taninos) y variedades susceptibles (bajos en taninos) era de 1.08 mg, 0.77 mg y 0.35 mg respectivamente, en el estado lechoso; y 0.658 mg, 0.436 mg y 0.260 mg respectivamente, en el estado masoso. También *Mc Grath et al., (1982)*, desarrollaron un trabajo sobre los polifenoles presentes en el estado lechoso del grano de sorgo, informando que durante esta etapa, las raíces y brotes desarrollan un largo complejo de polifenoles. En un trabajo emprendido por *El-Tuhani, (1982)*, sobre el desarrollo de taninos en las diferentes partes de la planta de 20 variedades de sorgo (10 de Egipto y 10 de Estados Unidos), observó que este tipo de compuestos se sintetizaban en tallos, hojas, raíces y glumas tanto en el estadio lechoso como en el masoso-duro. El análisis cuantitativo realizado reveló que el contenido de taninos se incrementa progresivamente en tallos, hojas, raíces y glumas conforme la planta alcanza su madurez. Las variedades de Egipto durante todos sus estadios y durante los dos años de la investigación, presentaron un

contenido menor de taninos en tallos, hojas, raíces y glumas que las variedades americanas. Su acumulación máxima en tallos, hojas y raíces se detectó desde el estadio masoso hasta el masoso-duro. Adicionalmente, se encontró un coeficiente de correlación positivo, que fué significativo, entre órgano de la planta y el porcentaje de taninos. Fue significativa la correlación positiva existente entre el porcentaje de taninos en los estadios lechoso, masoso y masoso-duro y su heredabilidad.

Por su parte, *Hoshino y Duncan, (1982)*, al analizar el contenido de taninos en el sorgo durante la madurez, bajo diferentes condiciones ambientales, determinaron que era más elevado en las plantaciones tardías (a los diez días del grano) que los recién plantados.

## 2. 2.1 COMPONENTES NUTRICIONALES IMPORTANTES

En general, los granos de los cereales contienen de 60 al 70% de almidón, 8 - 12% de proteína, 1 - 3% de minerales, 2 - 5% de lípidos, 12 - 15% de agua y del 3 - 11% de fibra. Los granos de los cereales se consideran como la fuente principal de energía para la mayor parte de animales domésticos y el hombre. No obstante, los granos no proporcionan una dieta completa, particularmente en el caso de animales monogástricos debido a su deficiencia en aminoácidos esenciales como la

lisina, metionina y triptófano (*Duffus y Slaughter, 1985*).

## C A R B O H I D R A T O S

Los carbohidratos incluyen al almidón, celulosa, azúcares simples (sacarosa, glucosa, fructosa, maltosa y rafinosa) y pentosas. Estos constituyen aproximadamente el 80% del peso del grano (*Rooney et al., 1980*). Otros polisacáridos presentes en los granos de los cereales son la hemicelulosa y levanas.

En un informe del *Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, (1968)*, se reporta que en 25 muestras de grano entero de sorgo, el extracto libre de nitrógeno (carbohidratos) representó el 68%. Por su parte *Neucere y Sumrell, (1980)*, refieren que al evaluar el contenido del extracto libre de nitrógeno en cinco variedades de sorgo, con diferencias estructurales en sus endospermos y pericarpios, detectaron un 67.61% en los granos enteros de la variedad NSA 740 y un 73.37% en la variedad GA 615. El almidón es el carbohidrato más intensamente estudiado, debido a su importancia energética en las dietas alimenticias, tanto para el hombre como para el ganado. La fuente de carbohidratos y lípidos en las semillas, proviene generalmente de la sacarosa, la cual, durante las etapas tempranas de desarrollo del endospermo es descompuesta por la enzima invertasa, resultando en la formación de UDP-glucosa así como pequeñas cantidades de otros materiales como la ADP-glucosa, glucosa libre y

fructosa. Durante la síntesis del almidón el donador de glucosa preferentemente utilizado es la ADP-glucosa. El depósito tanto de almidón como de proteína dentro de los amiloplastos ocurre desde el momento en que se inicia el desarrollo del grano (*Duffus y Slaughter, 1985*).

El análisis cuantitativo de azúcares libres efectuado por *Neucere y Sumrell, (1980)*, en cinco variedades de granos de sorgo reveló que el contenido de fructosa era del 0.05 - 0.38%, glucosa 0.04 - 0.34%, sacarosa 0.80 - 2.2%, maltosa 0.0 - 0.05%, rafinosa 0.10 - 0.13%. Los autores hicieron notar que en todas las variedades, la glucosa y la fructosa, fueron los azúcares presentes en mayor proporción.

## P R O T E I N A S            Y            A M I N O A C I D O S

Los granos de los cereales contienen generalmente cerca de un 10% de proteína en base a materia seca, aunque las variedades individuales pueden tener mucho más (*Duffus y Slaughter, 1985*). El Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, (*1968*), cita un promedio de 9.48% en un rango de 7.6% - 12.5% de contenido de proteína en granos de sorgo de diversas variedades estudiadas. Por otro lado, *Neucere y Sumrell, (1980)*, revelan valores de 9.75% y 14.32% en las variedades GA 615 y NSA 740, respectivamente. En adición, *WU, Y. V. y Stringfellow, (1981)*, informaron haber encontrado un

contenido de proteína del 9.9% en el endospermo harinoso y un 18.6% en el endospermo córneo.

En los cereales, las proteínas se encuentran como reservas y su acumulación más extensiva suele aparecer en unas estructuras denominadas cuerpos de proteína (Murray, 1984). La proteína de reserva es una sustancia ergástica que adquiere la estructura cristalina o amorfa; depositándose en el interior del retículo endoplásmico rugoso (Murray, 1984). Tanto la proteína cristalina como la amorfa aparecen juntas en los granos de aleurona, endospermo y embrión de muchas semillas (Fahn, 1978). Los cuerpos de proteína en la aleurona miden de 1 - 2  $\mu\text{m}$  de diámetro y en las células de la subaleurona miden de 0.4 - 3.0  $\mu\text{m}$  (Zeleznaek y Varriano-Marston, 1982). Taylor et al., (1984), mencionan que los cuerpos de proteína aislados del endospermo, son ligeramente circulares y miden entre 0.4 y 2.0  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Las proteínas del sorgo son la albúmina y la globulina, las cuales se localizan principalmente en el germen, capa de aleurona y pericarpio y se caracterizan por su elevado contenido de lisina. Otra proteína es la kafirina (fracción de prolamina) que se caracteriza por ser rica en ácido glutámico y aminoácidos no polares, pero deficiente en lisina y metionina. La fracción de kafirina está correlacionada positivamente con el contenido de proteína en el sorgo. Se localiza en cuerpos de proteína esféricos, los cuales están



asociados con los gránulos de almidón en una matriz proteica. Las gluteínas representan la mayor parte de los constituyentes de la matriz proteica del endospermo del sorgo (Rooney et al., 1980). Por su parte Neucere y Sumrell, (1971), hacen referencia a cuatro fracciones de proteínas, las albúminas, globulinas, prolaminas y gluteínas; señalando además que los perfiles de aminoácidos y la distribución de proteínas en las porciones aisladas, muestran algunas diferencias entre las variedades estudiadas. Los autores mencionados enfatizan que la metionina, cisteína, isoleucina y leucina fueron los aminoácidos limitantes en las fracciones de albúminas y globulinas, en tanto que lisina constituyó el aminoácido limitante en las fracciones de prolaminas y gluteínas de las variedades estudiadas. Los investigadores hacen resaltar el hecho de que la prolamina fué la fracción más abundante, seguida de la albúmina.

Hemos de considerar que Taylor et al., (1984), informan que los cuerpos de proteína (albúmina y globulina) son ricos en ácido glutámico, prolina, cistina, leucina y tirosina, pero pobres en lisina, arginina, ácido aspártico y valina; mencionando además, que la prolamina es rica en ácido glutámico y prolina, pero carente de lisina; en tanto que en las gluteínas el contenido de ácido glutámico, alanina y leucina es elevado.

Los resultados de Murray, (1984), indica que por lo general, las prolaminas contribuyen con no más de un 50 - 60%

del total de la proteína en el grano de los cereales, estos datos son apoyados en un estudio *Anonymus*, (1985), realizado sobre la kafirina (fracción de prolamina donde se informa que la prolamina representa la principal proteína del endospermo en el sorgo, constituyendo de un 30 a un 50% de la proteína total del grano; en este mismo trabajo se menciona que la kafirina aparece en dos formas, la kafirina soluble en alcohol acuoso (K-I) y la kafirina entrecruzada (K-II) que puede ser extraída en alcohol acuoso, pero usando un agente reductor. Al parecer la K-I se almacena en vesículas membranosas llamadas cuerpos de proteínas, pero se desconoce el origen de la K-II. En esta publicación se informa también que la matriz proteica incluye kafirina ligada como uno de sus constituyentes.

En otros estudios realizados sobre aminoácidos, *Schelling et al.*, (1981), determinaron el orden completo de aminoácidos en el grano de sorgo, obteniéndose el siguiente orden: lisina, 0; histidina, 55; fenilalanina, 56; metionina, 59; treonina, 61; triptófano, 67; leucina, 72; arginina, 72; valina, 77 e isoleucina, 100. Una investigación realizada en el *Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá*, (1968), con 25 muestras de granos enteros de sorgo se dedicó a establecer el perfil de aminoácidos y contenido particular en términos de mg/g de N, encontrando los siguientes datos: triptófano, con una cantidad máxima de 58, mínima de 32 y un promedio de 44; lisina, máxima de 229, mínima de 145 y un promedio de 184;

metionina, máxima de 127, mínima de 80 y un promedio de 101; fenilalanina, máxima de 345, mínima de 201 y un promedio de 270; tirosina, máxima 210, mínima de 137 y un promedio de 171; leucina, máxima de 971, mínima 793 y un promedio de 894; treonina, máxima de 282, mínima 200 y un promedio de 240; arginina, máxima 373, mínima 208 y un promedio de 295; valina, máxima 436, mínima 318 y un promedio de 375; isoleucina, máxima 345, mínima 260 y un promedio de 295; histidina, máxima de 245, mínima 148 y un promedio de 205. Se resalta la presencia de cistina y glicina, pero no se aportan datos.

En cuanto a su valor nutricional, el sorgo, al igual que otros cereales es deficiente en lisina, treonina y triptófano, aunque respecto a éste último se reconoce que la proteína del sorgo contiene una proporción un poco mayor a la presente en la proteína del maíz. El contenido porcentual de lisina en la proteína disminuye conforme aumenta el contenido de proteína, lo que refleja una correlación negativa entre ambas variables (Rooney et al., 1980). Respecto a este aminoácido Sullins et al., (1975), citan que los endospermos de sorgo ricos en lisina, poseen pocos cuerpos de proteína de tamaño pequeño en comparación a los que aparecen en el endospermo de sorgos normales. Ogunlela y Ologunde, (1982), han observado que como resultado de la fertilización con nitrógeno, el incremento en el contenido de proteína en granos de sorgo parece estar asociado con una disminución en el contenido de

lisina y un incremento en las fracciones de prolamina. Se han encontrado ciertos tipos de sorgos con un alto porcentaje de lisina, cultivados en el Distrito de Wollo en Etiopía e identificándose también varias fuentes de sorgo con esa característica, por lo que en la actualidad hay programas de mejoramiento dedicados a estudiar la posibilidad de incorporar este aminoácido en las mejores líneas y variedades para que puedan ser utilizadas por el agricultor (House, 1980).

Sikka y Johari, (1979), llevaron a cabo una comparación entre el valor nutritivo de diferentes variedades de sorgo y su relación tanto con el contenido de aminoácidos, así como el efecto de fortificación de la lisina; encontrando que el valor nutritivo y la retención neta de la proteína fueron los más altos en un nivel de proteína del 8.5% para la variedad CSH-1, informan también que la fortificación del sorgo con lisina en niveles del 9%, incrementaba significativamente los valores de la eficiencia en la proporción y retención neta de la proteína.

También Sarani et al., (1983), llevaron a cabo un trabajo con la finalidad de evaluar el efecto de la reconstitución con lisina, sobre el valor total alimenticio de dos variedades de granos de sorgo con contenidos bajos y altos de taninos, encontrando que la reconstitución con este aminoácido rendía efectos benéficos sobre los granos de sorgo ricos en taninos.

El exceso o deficiencia de ciertos aminoácidos en las proteínas ocasionan efectos perjudiciales en la nutrición.

Por ejemplo, una elevada cantidad de leucina en algunos cereales, incluyendo al sorgo, se ha sugerido como una posible causa de la pelagra (Neucere y Sumrell, 1979). En una investigación emprendida por Deosthale et al., (1970), sobre la variación de proteína, lisina y leucina contenidas en el el grano de sorgo, determinaron que niveles subóptimos de lisina limitan las cualidades de la proteína del sorgo, en tanto que niveles altos de leucina causan pelagra. Dichos investigadores observaron una correlación negativa entre la proteína y la lisina, en cambio fué claro que existía una correlación positiva entre la proteína y el contenido de leucina. Estos resultados sirvieron para identificar las variedades con mayores cualidades nutricionales y menos caracteres pelargénicos.

#### VALOR NUTRICIONAL DE LA PROTEÍNA

La digestibilidad de la proteína es el grado en que una proteína es hidrolizada y absorbida en el tracto digestivo del organismo que la ingiere. Los factores que afectan la utilización de la proteína por parte del organismo son: la digestibilidad de la proteína, la utilización metabólica de los productos de la digestión (fracción absorbida) y la proporción de la fracción absorbida que puede ser asimilada, es decir, la fracción retenida (Rodríguez, 1982). La digestibilidad de la proteína se define como la cantidad de

nitrógeno ingerido que es absorbido (National Research Council, Washington, D.C.). La digestibilidad puede expresarse en porcentaje empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Digestibilidad verdadera} = \frac{\text{Nitrogeno ingerido} - \left[ \begin{array}{cc} \text{Nitrogeno} & \text{Nitrogeno} \\ \text{fecal} & \text{endogeno} \end{array} \right]}{\text{Nitrogeno ingerido}} \times 100$$

Akingbala et al., (1981), consideran que los sorgos ricos en taninos son bajos en digestibilidad de su proteína. Otro factor que afecta la digestibilidad de la proteína es el efecto de cocción de los granos de sorgo, el cual es señalado por Hamaker et al., (1986), quienes informan que después de cocinado, la digestibilidad de la proteína del sorgo se disminuía significativamente, mencionan además que la proteína de los granos de maíz y sorgo se comportan de manera diferente al ser tratados con este método, ya que la digestibilidad de la proteína del sorgo disminuye considerablemente en contraste con la del maíz, donde la digestibilidad con pepsina no fué afectada por la cocción. Sin embargo, las prolaminas del sorgo fueron menos solubles y menos digeribles que las prolaminas del maíz.

## L I P I D O S

Los aceites de las semillas son de enorme importancia

económica en la industria alimenticia y proporcionan aproximadamente el 60% del consumo mundial de aceites y grasas (Duffus y Slaughter, 1985). Los ácidos grasos son otra forma de reserva de energía que tienen muchas especies. También éstos son almacenados frecuentemente por muchas especies para proporcionar la energía necesaria en su germinación. Los ácidos grasos que se acumulan durante el desarrollo de la semilla están casi siempre como triacilgliceroles (Slack y Browse, 1984). La síntesis del triglicérido resulta de la combinación de los derivados del Acil-Coenzima A con el L- $\alpha$ -glicerol fosfato proveniente de las vías de respiración de la semilla (Duffus y Slaughter, 1985). El triacilglicerol se acumula en el citoplasma celular como gotas de lípidos, son de forma esférica durante los primeros estadios de desarrollo de la semilla, pero después aparecen fuertemente empaquetados y comprimidos en las células ricas en aceites de las semillas maduras. Se les ha llamado cuerpos de aceites y organelos que contienen lípidos, pero también han sido llamados esferosomas, oleosomas, gotas de reserva de lípidos. Los cuerpos de aceite están rodeados por una membrana formada de fosfolípidos y proteínas (Slack y Browse, 1984). Los cuerpos de lípidos en las células de aleurona en los granos de sorgo, miden de 0.3 a 0.5  $\mu\text{m}$  de diámetro (Zeleznek y Varriano-Marston, 1982).

Los ácidos grasos más comunes en las semillas son el palmitato, estearato, oleato, linoleato y linolenato (Slack y

*Browse, 1984*). En el sorgo los aceites están concentrados en el germen, pericarpio y capa de aleuronas con un contenido aproximadamente de 3 - 5% (*Rooney et al., 1980*). Sin embargo, *Neucere y Sumrell, (1980)*, reportan valores de 2.66% a 3.49% en cinco variedades de grano de sorgo. Asimismo *Osagie, (1987)*, encontró en dos variedades de grano de sorgo, valores de 3.68% y 5.28%. Por otra parte, el *Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, (1968)*, publicó que en granos de sorgo hay un máximo de 4.5%, un mínimo de 3.0% y un promedio de 3.4%.

El germen tiene más del 79% del total de aceites. La composición de ácidos grasos en el sorgo consiste primordialmente de los ácidos linoléico, oleico, palmítico, esteárico y linolénico. La fracción libre de lípidos consiste de hidrocarburos tri-, di- y mono-glicéridos, ácidos grasos libres y algunos lípidos polares (*Rooney et al., 1980*). Mientras tanto, *Neucere y Sumrell, (1980)*, al analizar cualitativa y cuantitativamente los ácidos grasos de cinco variedades de granos de sorgo, encontraron que del total de ácidos grasos, los saturados representaron desde un 15.5% hasta un 23.6%, detectando entre ellos: el ácido mirístico (14:0), palmítico (16:0), esteárico (18:0), araquídico (20:0), behénico (22:0) y lignocérico (24:0) enfatizando que el presente en mayor cantidad era el ácido palmítico en un rango de 11.6 a 13.4%. Del total de ácidos grasos, los insaturados constituyeron desde el 74.6% hasta el 84.5%,



detectando entre ellos al ácido palmitoléico (C16)  $\Delta^9$ , oléico (C18)  $\Delta^9$ , linoléico (C18)  $\Delta^{9,12}$ , linolénico (C18)  $\Delta^{9,12,15}$  5-eicosenoico (C20)  $\Delta^5$  y el ácido erúcico (C22)  $\Delta^8$  encontrándose en mayor porcentaje el ácido oléico (30.5 - 41.3%) y el ácido linoléico (33.2 - 49.7%). Ciertos ácidos estuvieron ausentes en algunas variedades pero, presentes en otras entre ellos mencionan al araquídico, behénico, lignocérico, 5-eicosenóico y erúcico. En un estudio realizado por *Osagie, (1987)*, sobre la composición de lípidos en dos variedades de granos de sorgo, se encontraron ocho glicolípidos y seis fosfolípidos, siendo los lisofosfolípidos los que constituyeron más del 50% de los fosfolípidos.

### 2.2.2 OTRAS CARACTERISTICAS QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD NUTRICIONAL DE LOS GRANOS

Otras propiedades que influyen en la calidad nutricional de los granos son: la presencia o ausencia de taninos, dureza, densidad, absorción de agua; así como también la textura (relación del endospermo córneo y harinoso).

## T A N I N O S

Todos los granos contienen fenoles los cuales afectan no sólo la apariencia de los granos sino también, algunas veces, sus cualidades nutricionales. Los sorgos contienen pigmentos polifenólicos, su clase y cantidad está determinada por factores genéticos y por las condiciones ambientales durante el desarrollo del grano (Rooney et al., 1980; Baroccio et al., 1985). En una investigación realizada por Subramanian et al., (1983), sobre los caracteres bioquímicos y agronómicos de sorgos cafés y su posible papel en la resistencia a pájaros, descubrieron una variación significativa en los caracteres agronómicos, pero fué más evidente la variación en el contenido de taninos que en los demás constituyentes. Los distintos tipos de polifenoles incluyen: flavonoides, anthocyanidina, leucoanthocyanidina y taninos condensados (Rooney et al., 1980). Los compuestos fenólicos pueden ser divididos en tres grupos básicos: ácidos fenólicos, flavonoides y taninos.

Todos los sorgos contienen ácidos fenólicos y la mayoría contienen flavonoides, solamente los sorgos de color café resisten tes a pájaros (ricos en taninos) contienen taninos condensados (Hahn et al., 1984). Los ácidos fenólicos están presentes a través de todo el grano, pero se concentran preferentemente en la capa más externa (pericarpio, testa y

aleurona). Los flavonoides están localizados en las otras capas del grano, principalmente como los pigmentos anthocyanidina o anthocianina que suelen aparecer en los pericarpios de sorgos blancos y rojos. Los taninos son flavonoides poliméricos (Anthocyanidina), que poseen de cuatro a seis unidades monoméricas y que ocurren en sorgos con una testa pigmentada; estos materiales se detectan principalmente en las capas de la testa, pero también se encuentran en el pericarpio (Hahn et al., 1984). El principal tanino del sorgo es una anthocyanidina que se presenta sólo en sorgos con testa pigmentada (Bate-Smith y Rasper, 1969).

Referente a los métodos de análisis de taninos, Maxon et al., (1972), llevaron a cabo un estudio sobre los factores que afectan el contenido de taninos en los granos de sorgo, usando para ello dos métodos de análisis, el del sulfato férrico amónico y el del ácido clorhídrico-vanillina modificado; ambos fueron empleados para determinar el contenido de taninos en muestras de sorgo encontrando una correlación aceptable entre ambos métodos. Los ejemplares GA 615 (un híbrido de semillas café) fueron sembrados en seis localidades diferentes durante tres años, ambos métodos de análisis revelaron que el medio ambiente tiene un efecto significativo sobre el contenido de taninos. Los genes B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> S, que controlan el color del pericarpio y la presencia o ausencia de una testa pigmentada, afectaron significativamente el contenido de taninos asociados con la testa pigmentada. El contenido de

taninos fué mayor en granos con un pericarpio rojo que en granos con un pericarpio blanco; la pigmentación del pericarpio de los granos rojos está controlada por otros genes diferentes al B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> S.

*Burns, (1971)*, al estimar cuantitativamente los taninos presentes en granos de sorgo empleó el método de la vanillina que se usa ampliamente para cultivos forrajeros, sin embargo, introdujo una modificación al método que le permitió cuantificar el contenido relativo de taninos en el grano de sorgo. Esta modificación implicó la extracción con metanol durante toda la noche usando el grano en polvo; posteriormente una alícuota del extracto se adicionaba a una solución de vanillina y ácido clorhídrico y la intensidad del color desarrollado se evaluó al colorímetro a una longitud de onda de 500-525 nm. El reactivo es específico para compuestos astringentes en plantas. Los resultados obtenidos mostraron una estrecha correlación con la digestibilidad. *Maxon y Rooney, (1972)*, efectuaron una determinación de taninos en granos de sorgo, empleando para ello dos métodos de análisis, el primero consistía en la extracción con urea y la subsecuente reacción con sulfato férrico amónico; el otro era una modificación a la técnica del ácido clorhídrico-vanillina; ambos métodos resultaron ser promisorios para la cuantificación de compuestos fenólicos (taninos en granos de sorgo). Con el método del sulfato férrico amónico se detectaron valores en un rango de 0.20 a 0.76 mg/100 mg , y

los equivalentes de catequina de 0.21 a 3.11 mg/100 mg. *Reichert et al.*, (1980), mencionan que el método de la vanillina - HCl es adecuado para la evaluación de la calidad nutricional en granos de sorgo con alto contenido de taninos.

Con respecto a la toxicidad de los taninos, *Harris et al.*, (1970), han encontrado que niveles altos de taninos en el sorgo reducen la eficiencia del alimento, habiendo obtenido un valor de correlación negativo entre el contenido de taninos y la digestibilidad de la materia seca. Por su parte *Rooney et al.*, (1980), y *Earp y Rooney*, (1982), hacen hincapié en que la presencia de una testa pigmentada afecta adversamente el valor nutricional del sorgo en comidas y otros productos alimenticios. *Maxon et al.*, (1973), han informado que los polifenoles asociados con pericarpios café y una testa pigmentada resultante de un gene dominante B<sub>1</sub> B<sub>2</sub> S, ocasionan inhibición de la  $\alpha$ -amilasa lo que reduce la digestibilidad de la materia seca.

Los granos de color distinto al café que tienen una testa pigmentada no causan la inhibición de la  $\alpha$ -amilasa, pero si reducen la digestibilidad de la materia seca. *Koch et al.*, (1985), han indicado también que la presencia de polifenoles en la testa y pericarpios de sorgo resistente a pájaros (sorgos ricos en taninos), tienen un efecto inhibitorio de la actividad enzimática responsable de la hidrólisis del almidón en el sorgo.

*Leucere*, (1982), realizó una investigación para

establecer una relación entre la presencia de polifenoles en los granos de sorgo y su adversidad nutricional, con especial referencia a los taninos condensados, como la procianidina; los cuales están localizados en la testa y pericarpio de sorgos resistentes a pájaros, encontrando que la interrelación existente entre la proteína y los taninos es la responsable de la inhibición del crecimiento de microorganismos y animales, así como de la inactivación de ciertas enzimas metabólicas. Las asociaciones proteínas-taninos son usualmente fuertes y aparentemente inespecíficas. El autor menciona además que la interacción entre taninos y proteínas depende del pH, fuerza iónica del medio ambiente, cantidad de taninos, enzimas y otros factores. Tanto las mediciones de digestibilidad *in vitro* así como el estudio del forraje animal, indicaron una depreciación en el valor biológico de los sorgos con alto contenido de taninos. Simultáneamente *Okoh et al.*, (1982), realizaron un análisis proximal, composición de aminoácidos y determinación del contenido de taninos en ciertas variedades de sorgo mejoradas en Nigeria para establecer su potencial como alimento para aves de corral, encontrando que más de cuatro variedades consideradas como alimento, fueron afectadas por un alto contenido de taninos. Por su parte *Meyer y Gorbet*, (1984), al incluir granos de sorgo normales y cerosos en la dieta de cerdos jóvenes encontraron que las diferencias en el contenido de taninos entre ambos tipos de sorgos y no la diferencia en el tipo de endospermo, influían

notablemente en el valor alimenticio de los granos de sorgo utilizados. *Sell et al.*, (1983), encontraron que los taninos reducen significativamente la producción de huevo y la eficiencia alimenticia, en dos niveles de proteínas, demostrando también que la gravedad específica de los huevos así como el espesor de la cáscara eran afectadas adversamente cuando se usaba el nivel más bajo de proteína. En ese mismo año, *Butler et al.*, (1983), estudiaron la interacción de las proteínas con taninos del sorgo, encontrando que los efectos biológicos de los taninos, son resultado de su propensión para ligarse con proteínas; esta asociación con las proteínas de la dieta suele ocurrir en el tracto digestivo reduciendo por consiguiente su digestibilidad. Este hecho es la razón de que ciertas proteínas de las dietas sean encontradas unidas estrechamente a los taninos, cuando se analizan los residuos no digeribles resultantes de la digestión *in vitro* con pepsina.

En lo referente a la probable reducción de taninos *Cummins*, (1971), estudió como influyen los taninos sobre la digestibilidad *in vitro* de la materia seca en forrajes ensilados y no ensilados de dos híbridos de sorgo, uno resistente a pájaros (con un elevado contenido de taninos, 10.5%) y otro no resistente a pájaros (grano con bajo contenido de taninos, 4.2%) que fueron cosechados hasta la madurez del grano. El determinó además el contenido de taninos astringentes en muestras de plantas completas, con

diversas cantidades de grano, así como compuestos de la planta en muestras ensiladas y no ensiladas. Sus resultados le indicaron que el ensilaje aumentaba la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y que este incremento era superior en el híbrido con alto contenido de taninos ( $Y = 0.23 x + 42.0$ ,  $r = 0.98$ ); en los productos ensilados, el contenido de taninos de paja, hoja y tallos de híbridos resistentes fué de 9.7%, 6.6% y 6.8% respectivamente y de 7.8%, 6.1% y 7.6%, para las respectivas variedades no resistentes. Los taninos no se disiparon durante el ensilaje como ocurrió con los del grano en el híbrido con alto contenido de taninos. Los resultados indicaron también que la calidad del alimento preparado con sorgos resistentes sometidos a ensilaje, podía ser mejorada aún. *Strumeyer y Malin, (1975)*, desarrollaron un nuevo proceso para el aislamiento de taninos condensados, estos materiales eran adsorbidos por el Sephadex LH-20 en etanol al 95%, después del lavado exhaustivo con etanol, los taninos eran eluidos con acetona acuosa al 50%; los autores mencionan que con la aplicación de este proceso aislaron a partir del grano de sorgo, taninos condensados altamente purificados. En ese mismo año *Featherston y Rogler, (1975)*, estudiaron la influencia de los taninos sobre la utilización de granos de sorgo por ratas y pollos. Ellos informaron que la extracción de tales sustancias a partir de las variedades resistentes a pájaros, resultaba en un mejoramiento marcado tanto en la ganancia de peso como en la eficiencia alimenticia, en



comparación a lo observado en los animales alimentados con los granos intactos. La proteína y los valores de energía digerible, fueron reducidos significativamente del alimento de rata de la dieta de sorgos resistentes a pájaros, comparado con el alimento para ratas del sorgo resistentes a pájaros, al cual se le extrajeron los taninos o la dieta del grano de sorgo bajo en taninos. Chibber et al., (1978), introdujeron el descascarado del grano con el fin de eliminar los taninos, reportando que la baja eficiencia en la remoción de la testa y capas del pericarpio y la pérdida de altos niveles de proteína hacían que este procedimiento fuera inaceptable como medio de eliminación de taninos del sorgo. Por su parte Reicher et al., (1980), realizaron una investigación sobre la reducción del contenido de taninos por el método de imbibición con agua, ácido clorhídrico e hidróxido de sodio, empleando granos enteros y atmósfera de CO<sub>2</sub>. Ellos encontraron que el grado de reducción dependía del tiempo de almacenamiento y la temperatura, la cantidad de líquido embebido y la concentración del ácido o base empleado. Detectaron valores de reducción en el contenido de taninos desde 3.63% a 2.29%, 0.6% y 0.1% por imbibición del 25% por peso de agua, HCl 0.8 N y NaOH 0.8 N respectivamente, cuando se almacenaba durante dos días a 25 °C; si el almacenamiento de los granos tratados con agua se incrementaba durante nueve días más, el contenido de taninos disminuía hasta un 0.3%. Los taninos también fueron reducidos marcadamente por germinación. Los

investigadores señalan que los estudios sobre dietas en ratas, demuestran que esos tratamientos generan ganancia en peso y proporción de ganancia alimenticia equivalente a los obtenidos con dietas de sorgos bajos en taninos. El método utilizado para medir el contenido de taninos fué el de la vanillina-HCl, lo que sugiere que este método es adecuado para predecir la calidad nutricional de los sorgos ricos en taninos.

#### D U R E Z A   D E L   G R A N O

La dureza del grano está relacionada con la calidad del grano de sorgo y sus propiedades alimenticias. Esta se define como la relación del área del endospermo córneo con el área total del endospermo en granos de sorgo cortados transversalmente. Los granos de los diferentes cultivos pueden ser duros, parcialmente suaves o suaves. Algunos son difíciles de quebrar y algunos se rompen fácilmente (*Anonymus, 1985*).

La dureza del grano puede medirse con la ayuda del probador de dureza; y se expresa en términos de kilogramos de peso requerido para quebrar un grano. La dureza del grano difiere entre los genotipos, pudiendo variar desde 1.7 hasta 11.1 kg; esta diferencia en dureza se relaciona con la calidad del grano y con la resistencia a la intemperie (*Maiti, 1986*).

## D E N S I D A D   D E L   G R A N O

La densidad es la masa por unidad de volúmen de la semilla, que puede medirse por el desplazamiento de la semilla en una solución con azúcar. Sin embargo, la densidad de la semilla es medida usualmente por el desplazamiento del agua destilada. La densidad difiere extensamente entre las semillas, variando desde 0.85 g/ml hasta 1.52 g/ml. Los consumidores prefieren semillas más densas (Maiti, 1986).

$$\delta = \frac{\text{peso de la semilla en gramos}}{\text{volúmen de las semillas}}$$

## A B S O R C I O N   D E   A G U A

La absorción del agua es la capacidad de las semillas para absorber este líquido, se expresa en porcentaje arriba del peso original de la semilla después de un período definido de inmersión. Esto puede estar relacionado con la calidad de cocción del grano. Los estudios realizados sobre la absorción de agua por los granos en diferentes cultivos, muestran una variación del 13 al 47%, tomando como base el peso seco de la semilla observado después de seis horas de

imbibición (Maiti, 1986).

## T E X T U R A

La textura del endospermo juega un papel importante en la determinación de las cualidades del sorgo. La relativa proporción de endospermo córneo y harinoso del grano de sorgo influyen en la textura del grano o textura del endospermo. La textura del endospermo en el sorgo puede ser córneo, intermedio o harinoso, dependiendo de la porción de endospermo córneo o harinoso (Earp y Rooney, 1982). Esta cantidad de endospermo córneo y harinoso en el grano varían dependiendo del genotipo y condiciones ambientales (Rooney y Murty, 1982).

Las grandes porciones del endospermo periférico y córneo en el grano de sorgo, presentan mayor dificultad que el maíz, en la separación del almidón durante el procesado (Rooney y Clark, 1968). En un estudio realizado por Watson et al., (1955), sobre la comparación del molido en húmedo de diferentes variedades de granos de sorgo y maíz, encontraron que el almidón recuperado y su purificación, presenta mayor dificultad en el sorgo que en el maíz, debido a que el grano de sorgo contiene una gran proporción de endospermo córneo y una capa de células densas ricas en proteínas en la periferia del endospermo, justo al lado de la capa de aleurona. También en estudios realizados sobre las cualidades del alimento, han encontrado que el contenido de proteínas (kafirina), está relacionado con la dureza y textura del grano

(Anonymus, 1985).

### 2.2.3 PROCESAMIENTO, ESTRUCTURA Y CALIDAD.

En cuanto al sorgo que se utiliza como alimento para animales, es generalmente más suave que el empleado como alimento para los seres humanos, y éste es de color. Raras veces se utiliza como alimento sin moler o quebrar. Otros procesos requieren de diferentes técnicas de suavización, laminado y reventado del grano, ello con propósito de exponer una mayor proporción de la semilla a las enzimas digestivas del animal. Si el grano no está molido o quebrado, pasará a través del aparato digestivo del animal sin ser digerido (House, 1980).

Las propiedades en el molido del grano y consecuentemente las cualidades de la harina, son afectadas por la estructura y contenido de humedad del grano, así como por el equipo y técnicas de molido. Tradicionalmente, al sorgo se le quitaba la cáscara antes de molerlo para harina y a medio moler, los granos eran humedecidos en morteros y molidos a mano; de esta forma había una alta recuperación del endospermo y un mínimo de daño. Los granos procesados que poseen un pericarpio grueso y alto endospermo córneo, producen las cualidades máximas de descorticado del grano sin quebrarse y un mínimo de esfuerzo y tiempo requerido para molerlo (Rooney y Murty, 1982). Lo anterior fue comprobado también por Earp y Rooney, (1982), quienes mencionan que los pericarpios gruesos y la

presencia de una testa pigmentada, afectan el procesado de productos de sorgo; indican que una testa delgada es más fácil de remover durante el molido. Citan además que, los sorgos córneos con pericarpios gruesos requieren por lo general menos tiempo de molido, en comparación a los sorgos córneos con pericarpios delgados. Sin embargo hay limitaciones de dietas específicas en la utilización del cocinado y cocción de productos de sorgo para humanos, debido a factores tales como la alta temperatura de gelatinización del almidón y alta viscosidad de los primeros productos cocinados, éste es un problema significativo que se toma en consideración para la aceptabilidad y digestión (*Anonymus, 1985*).

El almidón del sorgo y del maíz generalmente tienen algunas propiedades que pueden ser usadas casi indistintamente. Existen pequeñas diferencias en el poder de inflado y viscosidad de la pasta de los gránulos de almidón del sorgo y el maíz. Sin embargo, las diferencias entre las variedades del maíz y el sorgo son más grandes que las diferencias entre los cultivos (*Ronney y Clark, 1968*). Sobre este aspecto, *Rooney, (1979)*, menciona que el procesamiento de los sorgos cerosos (100% de amilopectina) es más eficiente al emplear menos calor seco que el aplicado a los sorgos no cerosos. Al año siguiente *Rooney et al., (1980)*, expresaron que, en general, las propiedades del almidón del sorgo son similares a las del almidón de maíz; indicando además que el rango de temperatura de gelatinización del almidón del sorgo

es de 67 - 77 °C, el cual es ligeramente más alto que el del maíz. Citan también, que los sorgos cerosos son usados en productos alimenticios. *Akingbala et al., (1981)*, encontraron que el endospermo ceroso mostró el más alto rango de temperatura de gelatinización y mayor energía de gelatinización. Por otra parte *Hibberd et al., (1982)*, realizaron una investigación sobre las características de digestibilidad del almidón aislado de nueve variedades de sorgo y cuatro de maíz, los cuales mostraban diferencias en las características del endospermo; observaron que en los tipos de sorgo en donde se aisló el almidón ceroso (rico en amilopectina), generalmente posee más altos valores de producción de gas *in vitro* que los almidones no cerosos. Esto sugiere que otros factores tales como, el tamaño de los gránulos o la longitud de las cadenas polisacáridas, pueden afectar la degradación del almidón. Asimismo, en un estudio realizado para caracterizar las propiedades del gránulo de almidón aislado del endospermo córneo y harinosos, se encontró que cuando éstos eran más pequeños presentaban un grado más alto de gelatinización, así como una viscosidad intrínseca más alta, al compararlos con los gránulos de almidón del endospermo harinoso; hacen mención que éstas propiedades, además del bajo grado de degradación ácida, indican que los gránulos más pequeños del endospermo córneo tienen una estructura más cristalina y contienen componentes moleculares más grandes, que los gránulos del endospermo harinoso. Esto

significa que el almidón del endospermo córneo podría sufrir un mayor grado de retrodegradación sobre el enfriamiento, lo que podría resultar en un gel más consistente. Esos resultados concuerdan con estudios previos en los que se ha observado que los granos de sorgo duro producen un gel más consistente que los granos de sorgo suaves, y donde se señala también que los componentes del almidón y proteína del endospermo influyen en la calidad y aceptación como alimento (Anonymus, 1985).

Con respecto a los métodos de procesado del grano de sorgo, Tanksley y Osbourn, (1972), probaron cuatro procedimientos: molido en seco, donde el grano es molido en un molino y cribado en una malla de 1/4 de pulgada; micronizado, sujeto a las microondas que provienen de la conversión de la energía gaseosa por generadores infrarrojos durante menos de 30 segundos, el grano caliente es pasado después por rollos flojos, los cuales causan que el grano explote; aplastado a vapor, el grano es cubierto con vapor durante 15 - 20 minutos, consiguiendo con ello una temperatura interna del grano cercana a los 200°F a 210°F y cerca de un 18 a 20% de humedad, los granos calientes son pasados después por rollos con espacios mínimos, los cuales producen una hojuela delgada y aplanada; y el reconstruido, donde se adiciona agua al grano seco para dar cerca del 30% del contenido de humedad y colocan luego en bolsas con cierre hermético y se mantienen de esta manera durante un período de doce días antes de darlos como



alimento; después el grano se retira de la bolsa y se granula en un molino como el usado con el grano seco. Los investigadores encontraron que con cerdos, los cuatro métodos tuvieron un rendimiento altamente satisfactorio, no encontrando diferencias significativas en ganancia y promedio diario. Asimismo Tanksley y Brzozowski, (1972), investigaron por algunos métodos, los efectos del procesado del grano sobre la energía y disponibilidad de la proteína en el crecimiento de cerdos; encontrando que la materia seca, materia orgánica y energía bruta de digestibilidad de las raciones del micronizado y aplastado a vapor, fueron significativamente más altos que los del molido en seco. La dieta tratada con el procedimiento de aplastado a vapor, genera una proteína más digerible que la obtenida con los otros métodos. Mencionan también que no hubo alteraciones en los gránulos de almidón del grano tratado con el método de molido en seco, mientras que en el micronizado y aplastado a vapor se observó una gelatinización apreciable de los gránulos de almidón.

Por su parte Cohen y Tanksley, (1972), llevaron a cabo un estudio sobre la energía y proteína digerible de granos de sorgo con diferentes texturas de endospermo y tipos de almidón, sobre el crecimiento de cerdos. Indican que, los efectos sobre la digestibilidad de materia seca y materia orgánica en la dieta del endospermo intermedio normal, fué significativamente más alta que en las dietas de endospermo harinoso normal y endospermo córneo normal. La

digestibilidad de la energía bruta de la dieta del endospermo intermedio normal fué más alta que las de la dieta con endospermo harinoso normal; mientras que la digestibilidad del extracto etéreo de la dieta del endospermo córneo normal fué más alta que la dieta del endospermo harinoso normal. No encontraron diferencia significativa en la digestibilidad de la proteína y fibra cruda entre las tres texturas de endospermo. La más alta materia seca, materia orgánica y digestibilidad de energía bruta de la ración del endospermo intermedio normal fué significativamente más alta en contenido de energía metabolizable y digerible que en la dieta del endospermo harinoso normal. No hubo tampoco diferencia significativa en la retención de nitrógeno, ganancia o eficiencia alimenticia, debido a la textura del endospermo. La energía digerible de la dieta del endospermo intermedio normal fué significativamente más alta que la dieta del endospermo harinoso normal: 3.70 contra 3.55 Kcal/g.

Los efectos sobre el tipo de almidón no mostraron diferencias significativas para ninguno de los parámetros analizados respecto a las dietas de almidón normal y ceroso. El coeficiente de la digestibilidad de materia seca, materia orgánica y energía bruta así como los valores de energía metabolizable y digerible, fueron esencialmente los mismos. El almidón normal presentó una más alta (pero no significativa), digestibilidad de la proteína que el almidón ceroso (79.63% contra 77.84%), pero en retención de nitrógeno

fue bastante similar. La dieta de almidón ceroso tiene más alto promedio de ganancia diaria y mejor eficiencia alimenticia que la dieta de almidón normal. Esta ventaja es difícil de explicar después de que los valores de energía metabolizable y digestibilidad de energía bruta y digerible fueron aproximadamente los mismos.

Otro factor que interviene en las características nutricionales del sorgo es el nivel de fitato; se considera que de un 4 a 5% de fitato y fósforo total son removidos por el descascarado, ya que su contenido es mayor en la cáscara, menor en el grano entero y mínimo en el grano descascarado. Lo anterior sugiere que las áreas de la aleurona y cáscara constituyen reservas de estos materiales. Un aspecto que puede ayudar a seleccionar cultivos de sorgo con características nutricionales inmejorables sería conocer la localización y niveles de fitato, así como determinar su destino durante el procesado (Doherty et al., 1982).

### 3. O B J E T I V O S

#### OBJETIVOS GENERALES

- 1.-Caracterizar el grano de diez variedades de sorgo adaptadas y utilizadas en la región Noreste de México.
- 2.-Evaluar el potencial alimenticio y energético del grano de las diez variedades de sorgo mencionadas.
- 3.-Determinar si existe correlación entre las características cuantitativas estructurales y entre la composición química de variedades estudiadas.

#### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1.-Determinar las características macroscópicas y distribución del endospermo córneo y harinoso en el grano de diez variedades de sorgo.
- 2.-Analizar la variabilidad al microscopio óptico y microscopio electrónico de barrido cuantificando los componentes estructurales.
- 3.-Determinar la composición química proximal así como el valor nutricional de los granos.

América 37%, Centro América 7%, América del Sur 11%, Africa 20%, Oeste de Asia <1%, Sur de Asia 21%, Este de Asia 1%, Oceanía 2% y Europa <1%. En menos de un 75% del total de la producción mundial del sorgo es consumido directamente en la alimentación humana. La producción de sorgo en Argentina y México se ha incrementado en un 17% con respecto a la producción mundial. En México continúa incrementándose rápidamente porque hay más alta producción de sorgo en ciertas áreas, que la producción de maíz (Rooney et al., 1980). Las principales zonas sorgueras en México, son los Estados de: Tamaulipas, Michoacán, Jalisco y Sinaloa (Zavala, 1986; citado por Maiti, 1986).

En cuanto a la ganadería en América, el sorgo es uno de los productos más utilizados para la alimentación del ganado, demostrando ser un cultivo con alto rendimiento y utilizable en la producción de carne; por lo cual, el ganadero necesita seleccionar las mejores variedades de sorgo para grano que le proporcionen un alto valor alimenticio y mejor digestibilidad para el ganado. Por tal motivo, son de importancia los programas de nutrición animal y ello requiere el conocimiento del valor nutritivo y estructural de las materias primas empleadas en la alimentación. Una deficiencia en la nutrición y cuidados adecuados en el ganado y otros animales de crianza, son algunos de los factores que causan fuertes fugas de divisas. Actualmente, los trabajos de investigación en nuestro país relativos a los requerimientos nutricionales