

## 6. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

### 6.1 CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS

Los granos de las variedades de sorgo en estudio, presentaron dos coloraciones en el pericarpio: amarillo y café. Las variedades que presentaron color amarillo son: la Te-y-75, Te-y-77, 911-R, Gold-R y Victoria. Por otra parte las que presentaron color café el pericarpio fueron: la Te-y-101-R, RB-3006, RB-3030 y BI-83. Este dato mostró ser importante debido a que la coloración café en los granos, esta relacionada con la presencia de taninos. Esto se pudo comprobar en las variedades que mostraron pericarpio café, presentando los valores más altos en taninos, siendo la Te-y-101-R con 10.16 mg/g, la RB-3006 con 8.69 mg/g, RB-3030 con 8.98 mg/g y la BI-83 con 6.66 mg/g. Estos resultados confirman lo citado por *Hahn et al.*, (1984), quienes mencionan que los sorgos cafés (resistentes a pájaros), son altos en taninos, conteniendo taninos condensados.

Con respecto al brillo del grano, las variedades: BI-83, RB-3006, RB-3030 y 911-R, presentaron granos con pericarpio brillante. El resto de las variedades presentaron pericarpios no brillantes.

En la forma del grano, no hubo diferencias entre las variedades, mostrando todas una forma individual-globosa.

Con respecto a la textura del endospermo, los granos de las variedades, presentaron dos tipos de textura: el parcialmente córneo; en las variedades Te-y-77, Te-y-101-R, BI-83, RB-3006, RB-3030, Te-dinero y 911-R. Por otra parte la textura de casi córneo almidonado; fué para la Te-y-75, Gold-R y Victoria. Estos datos son interesantes ya que la textura del endospermo juega un papel importante en la determinación de las cualidades del sorgo. La cantidad de endospermo córneo y harinoso del grano de sorgo influyen en la textura del grano o textura del endospermo (Earp y Rooney, 1982). Una gran cantidad de endospermo periférico y córneo en el grano de sorgo, presenta mayor dificultad en la separación del almidón durante el procesado, (Rooney y Clark, 1968). Por otra parte Watson et al., (1955), mencionan que en el molido en húmedo de los granos de sorgo, el almidón recuperado y su purificación, presentan dificultad, 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 perifería del endospermo, abajo de la capa de aleurona. El contenido de proteína (Kafirina), es también importante ya que influye en la dureza y textura del grano (Anonymus, 1985).

El color del endospermo en los granos en las variedades fué para todas igual, presentando un color blanco.

En relación al aspecto del endospermo, todas las variedades presentaron un aspecto vitreo-translúcido en el endospermo córneo y blanco-opaco en el endospermo harinoso.

## 6.2 CARACTERISTICAS ANATOMICAS

Con respecto al grosor del pericarpio, los granos de las diez variedades mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), pudiéndose observar que las variedades BI-83 y la Te-y-75, presentaron los pericarpios más delgados con  $100.94 \mu\text{m}$  y  $102.12 \mu\text{m}$  respectivamente. Por otra parte las variedades Victoria y Te-y-101-R mostraron los pericarpios más gruesos con  $142.98 \mu\text{m}$  y  $154.22 \mu\text{m}$  respectivamente. Con estos datos podemos concluir que los granos de las diez variedades, presentaron pericarpios gruesos por tener más de  $48 \mu\text{m}$ , lo cual confirma a *Earp y Rooney, (1982)*, los cuales mencionan que las dimensiones del pericarpio es diferente entre las variedades, señalando un rango de  $8-32 \mu\text{m}$  en los pericarpios delgados y de  $48-160 \mu\text{m}$  en los pericarpios gruesos. Hacen hincapié en que el grosor del pericarpio difiere aún en el mismo grano, como lo observaron en la variedad Nio-Fionto; las micrografías en diferentes regiones del grano, mostraron que para cerca del hilum fué de  $80 \mu\text{m}$ , cerca de la punta del grano  $64 \mu\text{m}$ , cerca del estilo  $56 \mu\text{m}$  y a los lados del grano,  $48 \mu\text{m}$ . Por su parte *Blakely et al., (1979)*, menciona que del lado del hilum el grosor del pericarpio varía de  $140$  a  $155 \mu\text{m}$  y de  $30$  a  $50 \mu\text{m}$  del lado del endospermo.

El grosor del pericarpio es importante ya que puede presentar ventajas o desventajas. Dentro de las ventajas, se puede mencionar que los granos procesados que poseen un

pericarpio grueso y alto en 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 es también mencionado por Earp y Rooney, (1982), quienes mencionan además 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.

La presencia de un pericarpio grueso puede ser un inconveniente en las variedades que lo presentan, ya que generalmente se deterioran más rápidamente que los sorgos con pericarpio delgado (Earp y Rooney, 1982).

En lo referente al grosor del epicarpio se pudo observar que entre las variedades hubo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), encontrándose epicarpios delgados en las variedades 911-R ( $9.9 \mu\text{m}$ ) y BI-83 ( $11.4 \mu\text{m}$ ) y por otra parte se encontraron epicarpios gruesos en las variedades Victoria ( $28.7 \mu\text{m}$ ) y Te-y-101-R ( $21 \mu\text{m}$ ).

Con respecto al grosor del mesocarpio, en los granos de las diez variedades hubo diferencias entre las diez variedades ( $p < 0.05$ ), pudiéndose observar que las variedades que presentaron menor grosor fueron: la Te-y-75 ( $78.3 \mu\text{m}$ ) y la RB-3006 ( $80.4 \mu\text{m}$ ) y de las que presentaron mayor grosor se pueden mencionar la Victoria ( $101.5 \mu\text{m}$ ) y la Te-y-101-R ( $124.8 \mu\text{m}$ ).

Todas las variedades presentaron un mesocarpio formado de

células de almidón. Esto puede ser una desventaja en los granos ya que proveen de un sustrato fácil a los hongos *Leukel* y *Martin* 1943; *Ellis*, 1972; *Glueck*, 1979; citados por *Earp* y *Rooney*, 1982.

Con alusión a la longitud de las células del mesocarpio, se encontró diferencia entre las variedades ( $p < 0.05$ ), presentándose valores desde 35.2  $\mu\text{m}$  en la Gold-R y 38.6  $\mu\text{m}$  en la Victoria. Por otra parte las longitudes mas grandes las presentaron, la 911-R (48.7  $\mu\text{m}$ ) y la Te-y-77 (48.8  $\mu\text{m}$ ).

Del Tamaño de los gránulos de almidón del mesocarpio, se encontró que hubo diferencia entre las variedades ( $p < 0.05$ ), presentándose valores desde 3.5  $\mu\text{m}$  en la variedad Te-y-77 y 4.0  $\mu\text{m}$  en la BI-83, hasta 4.8  $\mu\text{m}$  y 5.2  $\mu\text{m}$  en la Te-y-101-R y Victoria respectivamente. Estos valores quedan dentro de lo que menciona *Glennie, C.W.*, citado por *Earp* y *Rooney*, (1982), el cual reporta un tamaño del gránulo de almidón en el pericarpio de 2 a 8  $\mu\text{m}$ . Sin embargo *Zelezna* y *Varriano-Marston*, (1982), citan que las células del mesocarpio en granos de sorgo, contienen gránulos de 1 a 2.5  $\mu\text{m}$ .

En lo concerniente al grosor del endocarpio, no se detectó diferencia significativa de las variedades ( $p > 0.05$ ). Sin embargo se observaron valores bajos de 7.4  $\mu\text{m}$  en la 911-R y 7.5  $\mu\text{m}$  en la BI-83 y dentro de los valores mas altos se encuentran las variedades RB-3030 (10.2  $\mu\text{m}$ ) y Victoria (12.7  $\mu\text{m}$ ).

En el parámetro de longitud de las células de la

aleurona, se observaron diferencias significativas entre las variedades ( $p < 0.05$ ), observándose que los valores menores los presentaron la BI-83 ( $21.8 \mu\text{m}$ ) y la Victoria ( $22.5 \mu\text{m}$ ) y los valores mayores la obtuvieron las variedades Te-y-101-R ( $26.0 \mu\text{m}$ ) y la Te-y-75 ( $29.0 \mu\text{m}$ ).

Con respecto al ancho de las células de la aleurona, se encontró diferencia significativa entre las variedades ( $p < 0.05$ ), mostrando valores desde  $12.9 \mu\text{m}$  en la RB-3030 y  $13.6 \mu\text{m}$  en la Te-y-75 hasta  $16.4 \mu\text{m}$  en la Te-dinero y  $16.9 \mu\text{m}$  en la 911-R.

De la longitud de las células del endospermo periférico, se encontraron diferencias significativas entre las variedades ( $p < 0.05$ ). Entre las longitudes menores, se encontraron las variedades Te-dinero ( $27.3 \mu\text{m}$ ) y Victoria ( $33.2 \mu\text{m}$ ) y de las longitudes mayores la RB-3030 ( $44.4 \mu\text{m}$ ) y Te-y-101-R ( $47.8 \mu\text{m}$ ).

Lo relacionado al ancho de las células del endospermo periférico, no mostró diferencia significativa entre las diez variedades ( $p > 0.05$ ). Sin embargo se obtuvieron valores bajos desde  $24.0 \mu\text{m}$  en la Te-y-101-R y  $25.0 \mu\text{m}$  en la RB-3006 hasta de  $38.8 \mu\text{m}$  en la RB-3030 y  $39.4 \mu\text{m}$  en la Te-y-75.

En el parámetro; tamaño de los gránulos de almidón de las células del endospermo periférico, se detectó diferencia significativa entre los granos de las diez variedades ( $p < 0.05$ ). Los valores más bajos los presentaron las variedades

Te-y-101-R (6.5 $\mu$ m) y Victoria (8.1 $\mu$ m) y de los valores más altos se encuentran la Te-y-77 (12.3  $\mu$ m) y RB-3030 (12.6  $\mu$ m). Estos valores corroboran los mencionados por *Subramanyam et al., 1981*, citado por *Maiti, 1986*, el cual reporta un tamaño del gránulo del almidón de éste endospermo de 11.0 a 12.0  $\mu$ m en la madurez. Por otra parte *Glennie*, citado por *Earp y Rooney, 1982*, reporta un tamaño del gránulo de 6 a 10  $\mu$ m.

En relación al tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo periférico, se detectó diferencia significativa entre las variedades ( $p < 0.05$ ), encontrándose valores desde 1.4  $\mu$ m en las variedades Te-y-101-R hasta 2.4  $\mu$ m en la 911-R. Estos valores están dentro del rango que menciona *Zeleznaek y Varriano-Marston, (1982)*, los cuales citan un rango para el tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo periférico de 0.4  $\mu$ m a 3.0  $\mu$ m. Sin embargo *Subramanyam et al., 1981*, citado por *Maiti, 1986*, menciona un rango de tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo en general de 0.75  $\mu$ m a 1.0  $\mu$ m. Por su parte *Taylor et al., (1984)*, indican que los cuerpos de proteína aislados del endospermo, miden entre 0.4  $\mu$ m a 2.0  $\mu$ m.

Con respecto a la longitud de las células del endospermo córneo, se puede mencionar que no se logró detectar una diferencia significativa entre las variedades ( $p > 0.05$ ). Sin embargo se presentaron valores desde 102.9  $\mu$ m en la Te-dinero, hasta 129.9  $\mu$ m en la Te-y-101-R.

En lo que se refiere al ancho de las células del endospermo córneo, hubo diferencia significativa entre las

variedades ( $p < 0.05$ ). Las variedades que obtuvieron los valores más bajos fueron la 911-R (47.1  $\mu\text{m}$ ) y la Te-y-77 (49.0  $\mu\text{m}$ ) y los que tuvieron valores más altos se encontraron la RB-3030 (72.7  $\mu\text{m}$ ) y la Te-dinero (73.1  $\mu\text{m}$ ).

En el parámetro del tamaño de los granulos de almidón del endospermo córneo si se detectó una diferencia significativa entre las variedades ( $p < 0.05$ ). Los valores más bajos se encontraron en las variedades Victoria (11.1  $\mu\text{m}$ ) y Te-y-75 (12.0  $\mu\text{m}$ ) y de los valores más altos están las variedades RB-3006 (19.1  $\mu\text{m}$ ) y la Te-dinero (19.2  $\mu\text{m}$ ). La mayoría de las variedades estudiadas presentaron valores mas altos que las reportadas por Glennie, C.W., citados por Earp y Rooney, 1982, el cual reporta un tamaño del granulo de almidón en el endospermo córneo de 7.0 a 13.0  $\mu\text{m}$ .

En cuanto al tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo córneo, se encontró diferencia significativa entre las variedades ( $p < 0.05$ ). De los valores más bajos obtenidos en éste parámetro se encontraron las variedades RB-3030 (0.9  $\mu\text{m}$ ) y Gold-R (1.0  $\mu\text{m}$ ) y de los valores más altos están las variedades Victoria (1.5  $\mu\text{m}$ ) y la Te-y-101-R (1.9  $\mu\text{m}$ ).

Con respecto a la longitud de las células del endospermo harinoso se detectó diferencia significativa entre las variedades ( $p < 0.05$ ). Las variedades Victoria y Te-y-77 presentaron los valores más bajos, siendo de 111.2  $\mu\text{m}$  y 133.9  $\mu\text{m}$  respectivamente y los valores más altos fueron para la RB-3030 (165.6  $\mu\text{m}$ ) y RB-3006 (168.0  $\mu\text{m}$ ).

En relación al parámetro de ancho de las células del endospermo harinoso, se encontró diferencias significativas entre las 10 variedades ( $p < 0.05$ ), encontrándose valores menores para la Victoria ( $59.2 \mu\text{m}$ ) y Te-dinero ( $76.2 \mu\text{m}$ ) y los mayores valores para la variedad RB-3030 ( $97.2 \mu\text{m}$ ) y la Gold-R ( $110.1 \mu\text{m}$ ).

En alusión al tamaño de los gránulos de almidón del endospermo harinoso se encontró diferencia significativa entre las variedades ( $p < 0.05$ ) encontrándose valores bajos en las variedades Te-y-77 ( $8.0 \mu\text{m}$ ) y Victoria ( $8.9 \mu\text{m}$ ) y valores más altos para las variedades 911-R ( $15.7 \mu\text{m}$ ) y Te-dinero ( $16.0 \mu\text{m}$ ). Estos resultados están dentro del rango que menciona Glennie, C. W., citado por Earp y Rooney, (1982), que es de  $13.0-30 \mu\text{m}$ .

Con respecto al tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo harinoso no se detectó diferencia significativa alguna entre las variedades ( $p > 0.05$ ). Sin embargo se encontraron valores desde  $1.2 \mu\text{m}$  en la variedad 911-R hasta  $2.1 \mu\text{m}$  en la Te-y-77.

En todos los granos de las variedades se pudo observar que para los grosores de las partes integrantes del pericarpio (epicarpio, mesocarpio y endocarpio) hubo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Por otra parte la región que presentó mayor grosor del pericarpio fué el mesocarpio seguido del epicarpio y endocarpio (FIGURA 43).

En los parámetros de longitud y ancho de las células de

la aleurona, endospermo periférico, endospermo córneo, y endospermo harinoso se pudo observar que hay diferencias entre las variedades ( $p < 0.05$ ). Sin embargo es interesante hacer notar que en los granos de las diez variedades, la longitud y ancho fué mayor para las células del endospermo harinoso, seguido del endospermo córneo, endospermo periférico y aleurona (FIGURAS 44 y 45). Estos datos son apoyados con un alto coeficiente de correlación positiva entre la longitud y ancho de las células de los endospermos córneo y harinoso (CUADRO IV).

En los parámetros de tamaño del gránulo de almidón y de los cuerpos de proteína, se puede observar que hay diferencias en el tamaño de los gránulos de almidón y de los cuerpos de proteína en las diferentes partes del grano, así como entre las variedades ( $p < 0.05$ ). Es importante hacer notar que los gránulos de almidón fueron más grandes en el endospermo córneo, seguido del endospermo harinoso, periférico y mesocarpio. En cambio el tamaño mayor de los cuerpos de proteína fué para el endospermo periférico, seguido del endospermo harinoso y endospermo córneo. Con estos resultados podemos concluir que a mayor tamaño de almidón, menor tamaño de los cuerpos proteína (FIGURAS 46 Y 47). También se indica que se obtuvo un alto coeficiente de correlación negativa entre el tamaño del gránulo del almidón del endospermo córneo con el tamaño de los cuerpos de la proteína del endospermo córneo (CUADRO IV).

De los datos obtenidos en los resultados del ANOVA sobre los parámetros anatómicos y de las correlaciones entre lo anatómico y químico-nutricional, se deja abierta la posibilidad de hacer más estudios, con más repeticiones, tendientes a comprobar si en la mayoría de las variedades de sorgo se presentan estas mismas diferencias y con esto, se logren establecer equivalencias analíticas para sustituir una determinación anatómica por una química o viceversa, ya sea total o parcialmente y con esto se puedan seleccionar las variedades de acuerdo a los distintos requerimientos o usos, así como también escoger el tipo de procesamiento adecuado del grano de sorgo.

### 6.3 CARACTERISTICAS QUIMICO NUTRICIONALES

Se encontró que hubo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el % de grasa en los granos de las diez variedades, encontrándose los más altos porcentos en las variedades Te-dinero (3.75%) y Gold-R (3.52%). Por otra parte las variedades que mostraron los más bajos porcentos fueron la RB-3006 (2.76%) y la RB-3030 (2.78%). Estos porcentos confirman lo que encontraron *Neucere y Sumrell, (1980)*, los cuales dan valores de 2.66-3.49 %. Por otra parte *Rooney et al., (1980)*, cita un valor de 3.5 %. Sin embargo *Osagie (1987)*, proporcionan valores más altos de los encontrados en este estudio (3.68-5.28 %). Por su parte el *Instituto de*

*Nutrición de Centroamérica y Panamá, (1968)*, menciona un promedio de 3.4 % con un máximo de 4.5 % y un mínimo de 3.0 % para el grano de sorgo.

El % de fibra para los granos mostró que hubo diferencias significativas entre las variedades, encontrándose variedades con valores bajos de fibra en la BI-83 (2.31 %) y 911-R (2.65 %). Por otra parte las variedades que presentaron más altos porcentos, fueron la Te-dinero (8.4 %) y la Te-y-101-R (7.72 %). Estos valores son semejantes a los que proporcionan *Duffus y Slaughter, (1985)*, los cuales dan un rango de 3.0-11.0 % de fibra para el grano de sorgo. Sin embargo el *Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, (1968)*, cita valores más bajos a los encontrados en este estudio, siendo de 2.0-3.0 %.

En el parámetro de ceniza no se pudo aplicar el análisis de varianza, por lo tanto no se determinó si las variedades presentaban diferencias significativas. Sin embargo se presentaron valores desde 1.17 % en la variedad Te-dinero hasta los más altos en la variedad Te-y-77 (1.91 %). Las variedades bajo estudio salieron bajas en ceniza. Sin embargo están dentro del rango que menciona el *Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, (1968)*, el cual da valores de 1.4 % como mínimo, 3.7 % como máximo, y un promedio de 2.6 % para los granos de sorgo.

De los datos obtenidos para el contenido de almidón se pudo observar que todas las variedades fueron muy similares con respecto a este parámetro. Sin embargo se logró detectar

diferencias significativas entre las variedades, encontrándose % bajos en la Te-y-75 (60.65 %) y Te-y-101-R (60.85 %) y los porcentajes más altos fueron para las variedades Te-dinero (64.10 %) y RB-3006 (64.20 %). Estos porcentajes están de los que menciona *Rooney (1980)*, que son de 70-75 % de almidón en el grano de sorgo .

Del parámetro de proteína se encontró que hubo diferencias significativas entre las variedades, encontrándose dentro de los valores más bajos al Te-dinero (9.01 %) y a las variedades Te-y-101-R y 911-R (9.62 %) y las variedades que mostraron porcentajes más altos fueron la BI-83 (11.41 %) y la RB-3030 (11.43 %). Estos resultados están dentro del rango que mencionan algunos autores para el grano de sorgo, siendo de un 10 %, de acuerdo a *Duffus y Slaughter, (1985)*. Por su parte el *Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, (1968)*, da un rango de 7.6-12.5 %. Sin embargo *Neucere y Sumrell, (1980)*, proporcionan valores de 9.75 % y 14.32 % en las variedades GA 615 y NSA 740 respectivamente; y *W. V., Y. V. y Stringfellow, (1981)*, citan un 9.0 % de proteína para el endospermo harinoso y un 18.61 % para el endospermo córneo.

Con respecto a los carbohidratos (E. L. N.) se obtuvieron porcentajes muy similares entre las variedades. Sin embargo se detectaron diferencias significativas entre estas, encontrándose dentro de los valores más bajos la Gold-R (77.65 %) y Te-dinero (77.68 %) y entre los valores altos se encuentran las variedades Te-y-77 (82.91 %) y 911-R (83.07 %).

Estos resultados que presentaron los granos de las diez variedades, estuvieron arriba de lo que reportan el *Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá*, (1968), que es de 68.0 % y *Neucere y Sumrell*, (1980), reportan un 67.61 % en la variedad NSA 740 y 73.37 % para la variedad GA 615 en granos enteros.

Para la digestibilidad de la proteína en el rúmen, no se logró detectar diferencias significativas entre las variedades. Sin embargo hubo valores desde 23.81 % en la RB-3030 y 24.59 en la RB-3006 hasta 36.82 % en la Te-dinero y 38.81 % en la variedad Victoria.

En la digestibilidad del almidón en el rúmen no se logró detectar diferencias significativas entre las variedades. Sin embargo dentro de los valores bajos se encuentran la Te-y-101-R (54.46 %) y la BI-83 (54.75 %) y los valores altos los presentaron las variedades Te-y-75 (65.11%) y Victoria (66.65 %).

El contenido de taninos mostró diferencias significativas entre las variedades ( $p < 0.05$ ), encontrándose variedades con bajo contenido de taninos, como la Te-y-75 (2.50 mg/g) y la Gold-R (2.93 mg/g). Por otra parte se encontraron variedades con alto contenido en taninos, como la RB-3030 (8.98 mg/g) y la Te-y-101-R (10.16 mg/g). Estos valores están dentro de lo que menciona *Cummins*, (1971), quien reporta dos porcentajes: uno resistente a pájaros (alto contenido de taninos, 10.5 %) y otro no resistente a pájaros (bajo contenido de taninos, 4.2

%).

Con respecto a las calorías totales se detectaron diferencias significativas entre las variedades, encontrándose dentro de los valores más bajos a las variedades Te-y-101-R (380.36 Kcal/g) y Te-dinero (380.49 Kcal/g). Por otra parte los valores más altos fueron para las variedades Te-y-77 (398.67 Kcal/g) y la BI-83 (400.30 Kcal/g). Para este parámetro el *Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá* menciona un promedio de 342 Kcal/g para el sorgo.

En general para los granos de las variedades estudiadas, en la composición química se puede observar que hay diferencias entre las variedades, encontrándose que los mayores porcentajes fueron para carbohidratos, seguido del contenido de almidón, humedad, proteína (N X 6.25), fibra, grasa y ceniza. Se encontró que los granos de las variedades fueron más diferentes en humedad y contenido de fibra. Sin embargo fueron más similares en contenido de proteína, grasa y ceniza. Es interesante hacer notar que también en la composición química las variedades que presentaron más altos porcentajes de fibra, fueron las más bajas en contenido de almidón, carbohidratos (E. L. N.) y calorías totales (FIGURAS 77 y 79).

En general sobre los parámetros de los tres tipos de digestibilidad y contenido de taninos, se puede observar que a mayor contenido de taninos hay menos digestibilidad de la proteína en el rúmen, de la proteína con pepsina y del almidón

en el rúmen y a menor contenido de taninos mayor digestibilidad de la proteína en el rúmen, de la proteína con pepsina y del almidón. Por otra parte los mayores porcentos de digestibilidad en general fué para la digestibilidad de la proteína con pepsina, seguida de la digestibilidad del almidón y por último de la digestibilidad de la proteína en el rúmen (FIGURA 78).

Con respecto a los parámetros de carbohidratos, contenido de almidón y calorías totales en general hubo poca diferencia entre las variedades. Sin embargo se observa que las variedades que presentaron porcentos bajos de carbohidratos, fueron bajos también para contenido de almidón y calorías totales (FIGURA 79).

En los parámetros de grasa con carbohidratos, se obtuvo una correlación negativa de estos, pudiendose mencionar que debido a que los granos los cuales son fuente de carbohidratos y no de grasas. Esto resulta lógico por lo que mencionan *Duffus y Slaughter (1985)*, los cuales indican que en semillas oleaginosas que son fuente de proteína y aceite, hay una correlación negativa entre estos (CUADROS III Y V).

En lo que respecta a los parámetros de fibra, carbohidratos y calorías totales se tuvo una correlación negativa de fibra con carbohidratos y calorías totales. Esto nos indica que hay menor contenido de fibra, esta es sustituida en el peso total del grano por carbohidratos y que al aumentar esta, disminuyen los carbohidratos y por lo tanto

el valor energético del grano. Esto fué observado entre las variedades (CUADROS III Y V).

En lo que se refiere a los parámetros de digestibilidad "in vitro" con pepsina y contenido de taninos, se obtuvo una correlación negativa entre estos. Estos resultados confirman lo que mencionan *Butler et al.*, (1983), los que mencionan que los taninos suelen enlazarse con las proteínas del alimento y en el tracto digestivo, reduciendo su digestibilidad. Por su parte *Okoh et al.*, (1982), encontraron que en más de cuatro variedades de alimento fueron afectadas por un alto contenido de taninos.

De los resultados obtenidos en el contenido químico-nutricional podemos concluir que debido a que los cereales como el sorgo, son fuentes de carbohidratos y que el contenido de fibra disminuye la cantidad de carbohidratos y calorías totales en el grano, como se puede ver en el CUADRO III. Las variedades que tienen más alto contenido de fibra como son: la Gold-R, 7.4 %; Te-y-101-R, 7.72 % y Te-dinero con 8.4 %, tienen los valores más bajos en carbohidratos o extracto libre de nitrógeno, siendo de 77.65 %, 78.18 % y 77.68 % respectivamente, CUADRO III, y por otra parte otro parámetro que influye en la calidad de estos granos es el contenido de taninos, ya que estos afectan a la digestibilidad de las proteínas al enlazarse con estas, formando complejos. Las variedades que resultaron con alto contenido de taninos fueron: la Te-y-101-R, 10.16 mg/g; RB-3006, 8.69 mg/g; la

RB-3030, 8.98 mg/g y la BI-83, 6.66 mg/g. Con estos resultados podemos inferir que las variedades que presentaron mejores cualidades químico-nutricionales son: Victoria, 911-R, Te-y-75 y Te-y-77.

#### 6.4 CARACTERISTICAS ANATOMICAS Y QUIMICO-NUTRICIONALES

Los granos de las variedades que presentaron color café en el pericarpio, como la Te-y-101-R, RB-3006, RB-3030 y BI-83, mostraron los valores mas altos en taninos siendo de 10.16 mg/g, 8.69 mg/g, 8.98 mg/g y 6.66 mg/g respectivamente. Estas variedades también exhibieron los mas bajos porcentajes de digestibilidad "in vitro" de la proteína con pepsina, siendo estos valores de 49.0%, 55.3%, 52.6% y 47.8%. Estos resultados confirman los estudios de *Butler et al.*, (1993), los cuales indican que los taninos con frecuencia se enlazan a las proteínas por lo que en el tracto digestivo los taninos del sorgo pueden enlazarse a las proteínas del alimento y reducir su digestibilidad. Esto fue reforzado en este estudio al obtener una correlación negativa (CUADRO V). Entre la digestibilidad "in vitro" de la proteína con pepsina y el contenido de taninos. Por su parte *Harris et al.*, (1970), encontraron que los niveles altos en taninos en el sorgo reducen la eficiencia del alimento, obteniendo un coeficiente de correlación negativo entre taninos y

digestibilidad la materia seca. También Koch et al., (1985), indica que la presencia de polifenoles, en la testa y pericarpios de sorgo resistentes a pájaros (sorgos altos en taninos ), tienen un efecto inhibitor sobre la actividad enzimática durante la hidrólisis del almidón. Por otra parte Leucere (1982), indica que la interacción de enzimas-taninos, son usualmente fuertes y aparentemente no específicos, por lo que los taninos reducen la palatabilidad, digestibilidad y calidad nutricional del sorgo utilizado como alimento. Citan también que esta interacción entre taninos y enzimas digestivas depende del pH, fuerza iónica del medio ambiente, cantidad de taninos o enzimas y otros factores (CUADRO III).

En lo que se refiere a la textura del endospermo, las variedades presentaron dos tipos de textura del endospermo, siendo el parcialmente córneo o casi córneo almidonado. Estos son semejantes al endospermo intermedio (igual cantidad de endospermo córneo y harinoso), citado por Cohen y Tanksley, (1972). Esto nos indica que habrá una buena digestibilidad en general en las variedades, siempre y cuando el contenido de taninos no sea elevado. Esto es apoyado por el ANOVA en este estudio, el cual mostró que no hubo diferencias significativas en este parámetro a un nivel de significancia de 0.05. Sin embargo es interesante hacer notar que las variedades que presentaron la textura del endospermo de casi córneo almidonado, como la Victoria, Te-y-75 y Gold-R, mostraron los mas altos porcentos de digestibilidad del almidón en el

rúmen, siendo de 66.65%, 65.11% y 61.62%. Esto probablemente se deba a lo mencionado por *Cohen y Tanksley (1972)*, quienes obtuvieron mayores valores de digestibilidad de materia seca y materia orgánica con los sorgos con endospermo intermedio, al compararlos con sorgos de endospermo harinoso y córneo. Sin embargo, *Meyer y Gorbet, (1984)*, en su trabajo sobre granos de sorgo normales y cerosos con variación en el contenido de taninos en dietas de cerdos jóvenes, reportan que los niveles de taninos, pero no el tipo de endospermo, influye en el valor alimenticio del grano para el crecimiento de los cerdos. Por otra parte *Leucere (1982)*, menciona que los taninos se unen a enzimas digestivas inactivándolas, por lo que la digestibilidad de los nutrientes en general disminuye.

Otra posibilidad sería lo que cita *Wagner (1981)*, sobre el grado en el cual los gránulos de almidón son embebidos en la matriz protéica en el grano intacto. Indican también que la proteína que rodea al gránulo de almidón es más densa en el sorgo crudo y que esto puede presentar alguna barrera para la digestión del almidón, contribuyendo a una baja digestibilidad del almidón o relativo valor alimenticio en ausencia de procesamientos adecuados. Estos autores indican que en distintas partes del grano hay diferencias, señalando que los gránulos más pequeños de almidón y con matriz protéica mas densa están cerca de la porción mas externa del grano. También *Hibberd et al., (1982)*, mencionan que el tamaño de los gránulos o longitud de cadenas pueden afectar la degradación

del almidón. Así mismo citan que los gránulos de almidón del endospermo córneo, cuando son mas pequeños presentan un grado de gelatinización más alta y una viscosidad intrínseca mas alta comparada con los gránulos del almidón del endospermo harinoso. Por lo que esto puede ser de importancia tecnológica en el uso del grano. Por otra parte, estos autores mencionan que la digestibilidad del almidón se ve afectada por el contenido de taninos. Por lo anteriormente mencionado, la textura del endospermo de casi córneo almidonado, presenta más área de endospermo harinoso y en donde la matriz protéica es menos densa comparada con el endospermo periférico y córneo y también el tamaño pequeño de los gránulos de almidón y poco contenido de taninos que presentaron estas variedades se deba que obtuvieron los mas altos porcentos de digestibilidad del almidón (CUADROS II y III). Cabe mencionar que las variedades Te-y-75 y Victoria, presentaron el tipo de endospermo casi córneo almidonado, gránulos pequeños de almidón y poco contenido de taninos, mostrando los más altos porcentos de digestibilidad del almidón.

En lo referente a la digestibilidad de la proteína con pepsina y en el rúmen, no fue tan evidente las diferencias en los porcentajes de digestibilidad entre los granos de las variedades. Esto confirma a *Cohen y Tanksley, (1972)*, los cuales muestran en sus resultados sobre digestibilidad de la proteína o retención de nitrógeno en cerdos alimentados con dietas elaboradas con sorgos de tres texturas del endospermo,

pero igual almidón, que no hubo diferencias significativas. Esto mismo fué observado en el análisis de varianza, realizado para los granos de las diez variedades, el cual mostró que no hubo diferencias significativas a un nivel de significancia de 0.05. Sin embargo, es interesante hacer notar que se obtuvieron dos correlaciones positivas del tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo harinoso con digestibilidad "in vitro" de la proteína con pepsina y en el rúmen (CUADRO VI).

Con respecto a la textura del endospermo, los granos de las variedades, presentaron dos tipos de textura: el parcialmente córneo; en las variedades Te-y-77, Te-y-101-R, BI-83, RB-3006, RB-3030, Te-dinero y 911-R. Por otra parte la textura de casi córneo almidonado; fué para la Te-y-75, Gold-R y Victoria. Estos datos son interesantes ya que la textura del endospermo juega un papel importante en la determinación de las cualidades del sorgo. La cantidad de endospermo córneo y harinoso del grano de sorgo influyen en la textura del grano o textura del endospermo (Earp y Rooney, 1982). Una gran cantidad de endospermo periférico y córneo en el grano de sorgo, presenta mayor dificultad en la separación del almidón durante el procesado, (Rooney y Clark, 1968). Por otra parte Watson et al., (1955), mencionan que en el molido en húmedo de los granos de sorgo, el almidón recuperado y su purificación, presentan dificultad, 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 perifería del endospermo, abajo de la capa de aleurona. El contenido de proteína (Kafirina), es también importante ya que influye en la dureza y textura del grano (Anonymus, 1985).

El color del endospermo en los granos en las variedades fué para todas igual, presentando un color blanco.

En relación al aspecto del endospermo, todas las variedades presentaron un aspecto vitreo-translúcido en el endospermo córneo y blanco-opaco en el endospermo harinoso.

## 6.2 CARACTERISTICAS ANATOMICAS

Con respecto al grosor del pericarpio, los granos de las diez variedades mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), pudiéndose observar que las variedades BI-83 y la Te-y-75, presentaron los pericarpios más delgados con  $100.94 \mu\text{m}$  y  $102.12 \mu\text{m}$  respectivamente. Por otra parte las variedades Victoria y Te-y-101-R mostraron los pericarpios más gruesos con  $142.98 \mu\text{m}$  y  $154.22 \mu\text{m}$  respectivamente. Con estos datos podemos concluir que los granos de las diez variedades, presentaron pericarpios gruesos por tener más de  $48 \mu\text{m}$ , lo cual confirma a *Earp y Rooney, (1982)*, los cuales mencionan que las dimensiones del pericarpio es diferente entre las variedades, señalando un rango de  $8-32 \mu\text{m}$  en los pericarpios delgados y de  $48-160 \mu\text{m}$  en los pericarpios gruesos. Hacen hincapié en que el grosor del pericarpio difiere aún en el mismo grano, como lo observaron en la variedad Nio-Fionto; las micrografías en diferentes regiones del grano, mostraron que para cerca del hilum fué de  $80 \mu\text{m}$ , cerca de la punta del grano  $64 \mu\text{m}$ , cerca del estilo  $56 \mu\text{m}$  y a los lados del grano,  $48 \mu\text{m}$ . Por su parte *Blakely et al., (1979)*, menciona que del lado del hilum el grosor del pericarpio varía de  $140$  a  $155 \mu\text{m}$  y de  $30$  a  $50 \mu\text{m}$  del lado del endospermo.

El grosor del pericarpio es importante ya que puede presentar ventajas o desventajas. Dentro de las ventajas, se puede mencionar que los granos procesados que poseen un

pericarpio grueso y alto en 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 es también mencionado por Earp y Rooney, (1982), quienes mencionan además 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.

La presencia de un pericarpio grueso puede ser un inconveniente en las variedades que lo presentan, ya que generalmente se deterioran más rápidamente que los sorgos con pericarpio delgado (Earp y Rooney, 1982).

En lo referente al grosor del epicarpio se pudo observar que entre las variedades hubo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), encontrándose epicarpios delgados en las variedades 911-R ( $9.9 \mu\text{m}$ ) y BI-83 ( $11.4 \mu\text{m}$ ) y por otra parte se encontraron epicarpios gruesos en las variedades Victoria ( $28.7 \mu\text{m}$ ) y Te-y-101-R ( $21 \mu\text{m}$ ).

Con respecto al grosor del mesocarpio, en los granos de las diez variedades hubo diferencias entre las diez variedades ( $p < 0.05$ ), pudiéndose observar que las variedades que presentaron menor grosor fueron: la Te-y-75 ( $78.3 \mu\text{m}$ ) y la RB-3006 ( $80.4 \mu\text{m}$ ) y de las que presentaron mayor grosor se pueden mencionar la Victoria ( $101.5 \mu\text{m}$ ) y la Te-y-101-R ( $124.8 \mu\text{m}$ ).

Todas las variedades presentaron un mesocarpio formado de

células de almidón. Esto puede ser una desventaja en los granos ya que proveen de un sustrato fácil a los hongos *Leukel* y *Martin* 1943; *Ellis*, 1972; *Glueck*, 1979; citados por *Earp* y *Rooney*, 1982.

Con alusión a la longitud de las células del mesocarpio, se encontró diferencia entre las variedades ( $p < 0.05$ ), presentándose valores desde 35.2  $\mu\text{m}$  en la Gold-R y 38.6  $\mu\text{m}$  en la Victoria. Por otra parte las longitudes mas grandes las presentaron, la 911-R (48.7  $\mu\text{m}$ ) y la Te-y-77 (48.8  $\mu\text{m}$ ).

Del Tamaño de los gránulos de almidón del mesocarpio, se encontró que hubo diferencia entre las variedades ( $p < 0.05$ ), presentándose valores desde 3.5  $\mu\text{m}$  en la variedad Te-y-77 y 4.0  $\mu\text{m}$  en la BI-83, hasta 4.8  $\mu\text{m}$  y 5.2  $\mu\text{m}$  en la Te-y-101-R y Victoria respectivamente. Estos valores quedan dentro de lo que menciona *Glennie, C.W.*, citado por *Earp* y *Rooney*, (1982), el cual reporta un tamaño del gránulo de almidón en el pericarpio de 2 a 8  $\mu\text{m}$ . Sin embargo *Zelezak* y *Varriano-Marston*, (1982), citan que las células del mesocarpio en granos de sorgo, contienen gránulos de 1 a 2.5  $\mu\text{m}$ .

En lo concerniente al grosor del endocarpio, no se detectó diferencia significativa de las variedades ( $p > 0.05$ ). Sin embargo se observaron valores bajos de 7.4  $\mu\text{m}$  en la 911-R y 7.5  $\mu\text{m}$  en la BI-83 y dentro de los valores mas altos se encuentran las variedades RB-3030 (10.2  $\mu\text{m}$ ) y Victoria (12.7  $\mu\text{m}$ ).

En el parámetro de longitud de las células de la

aleurona, se observaron diferencias significativas entre las variedades ( $p < 0.05$ ), observándose que los valores menores los presentaron la BI-83 ( $21.8 \mu\text{m}$ ) y la Victoria ( $22.5 \mu\text{m}$ ) y los valores mayores la obtuvieron las variedades Te-y-101-R ( $26.0 \mu\text{m}$ ) y la Te-y-75 ( $29.0 \mu\text{m}$ ).

Con respecto al ancho de las células de la aleurona, se encontró diferencia significativa entre las variedades ( $p < 0.05$ ), mostrando valores desde  $12.9 \mu\text{m}$  en la RB-3030 y  $13.6 \mu\text{m}$  en la Te-y-75 hasta  $16.4 \mu\text{m}$  en la Te-dinero y  $16.9 \mu\text{m}$  en la 911-R.

De la longitud de las células del endospermo periférico, se encontraron diferencias significativas entre las variedades ( $p < 0.05$ ). Entre las longitudes menores, se encontraron las variedades Te-dinero ( $27.3 \mu\text{m}$ ) y Victoria ( $33.2 \mu\text{m}$ ) y de las longitudes mayores la RB-3030 ( $44.4 \mu\text{m}$ ) y Te-y-101-R ( $47.8 \mu\text{m}$ ).

Lo relacionado al ancho de las células del endospermo periférico, no mostró diferencia significativa entre las diez variedades ( $p > 0.05$ ). Sin embargo se obtuvieron valores bajos desde  $24.0 \mu\text{m}$  en la Te-y-101-R y  $25.0 \mu\text{m}$  en la RB-3006 hasta de  $38.8 \mu\text{m}$  en la RB-3030 y  $39.4 \mu\text{m}$  en la Te-y-75.

En el parámetro; tamaño de los gránulos de almidón de las células del endospermo periférico, se detectó diferencia significativa entre los granos de las diez variedades ( $p < 0.05$ ). Los valores más bajos los presentaron las variedades

Te-y-101-R (6.5 $\mu$ m) y Victoria (8.1 $\mu$ m) y de los valores más altos se encuentran la Te-y-77 (12.3  $\mu$ m) y RB-3030 (12.6  $\mu$ m). Estos valores corroboran los mencionados por *Subramanyam et al.*, 1981, citado por *Maiti*, 1986, el cual reporta un tamaño del gránulo del almidón de éste endospermo de 11.0 a 12.0  $\mu$ m en la madurez. Por otra parte *Glennie*, citado por *Earp y Rooney*, 1982, reporta un tamaño del gránulo de 6 a 10  $\mu$ m.

En relación al tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo periférico, se detectó diferencia significativa entre las variedades ( $p < 0.05$ ), encontrándose valores desde 1.4  $\mu$ m en las variedades Te-y-101-R hasta 2.4  $\mu$ m en la 911-R. Estos valores están dentro del rango que menciona *Zeleznaek y Varriano-Marston*, (1982), los cuales citan un rango para el tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo periférico de 0.4  $\mu$ m a 3.0  $\mu$ m. Sin embargo *Subramanyam et al.*, 1981, citado por *Maiti*, 1986, menciona un rango de tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo en general de 0.75  $\mu$ m a 1.0  $\mu$ m. Por su parte *Taylor et al.*, (1984), indican que los cuerpos de proteína aislados del endospermo, miden entre 0.4  $\mu$ m a 2.0  $\mu$ m.

Con respecto a la longitud de las células del endospermo córneo, se puede mencionar que no se logró detectar una diferencia significativa entre las variedades ( $p > 0.05$ ). Sin embargo se presentaron valores desde 102.9  $\mu$ m en la Te-dinero, hasta 129.9  $\mu$ m en la Te-y-101-R.

En lo que se refiere al ancho de las células del endospermo córneo, hubo diferencia significativa entre las

variedades ( $p < 0.05$ ). Las variedades que obtuvieron los valores más bajos fueron la 911-R ( $47.1 \mu\text{m}$ ) y la Te-y-77 ( $49.0 \mu\text{m}$ ) y los que tuvieron valores más altos se encontraron la RB-3030 ( $72.7 \mu\text{m}$ ) y la Te-dinero ( $73.1 \mu\text{m}$ ).

En el parámetro del tamaño de los granulos de almidón del endospermo córneo si se detectó una diferencia significativa entre las variedades ( $p < 0.05$ ). Los valores más bajos se encontraron en las variedades Victoria ( $11.1 \mu\text{m}$ ) y Te-y-75 ( $12.0 \mu\text{m}$ ) y de los valores más altos estan las variedades RB-3006 ( $19.1 \mu\text{m}$ ) y la Te-dinero ( $19.2 \mu\text{m}$ ). La mayoría de las variedades estudiadas presentaron valores mas altos que las reportadas por Glennie, C.W., citados por Earp y Rooney, 1982, el cual reporta un tamaño del granulo de almidón en el endospermo córneo de  $7.0$  a  $13.0 \mu\text{m}$ .

En cuanto al tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo córneo, se encontró diferencia significativa entre las variedades ( $p < 0.05$ ). De los valores más bajos obtenidos en éste parámetro se encontraron las variedades RB-3030 ( $0.9 \mu\text{m}$ ) y Gold-R ( $1.0 \mu\text{m}$ ) y de los valores más altos están las variedades Victoria ( $1.5 \mu\text{m}$ ) y la Te-y-101-R ( $1.9 \mu\text{m}$ ).

Con respecto a la longitud de las células del endospermo harinoso se detectó diferencia significativa entre las variedades ( $p < 0.05$ ). Las variedades Victoria y Te-y-77 presentaron los valores más bajos, siendo de  $111.2 \mu\text{m}$  y  $133.9 \mu\text{m}$  respectivamente y los valores más altos fueron para la RB-3030 ( $165.6 \mu\text{m}$ ) y RB-3006 ( $168.0 \mu\text{m}$ ).

En relación al parámetro de ancho de las células del endospermo harinoso, se encontró diferencias significativas entre las 10 variedades ( $p < 0.05$ ), encontrándose valores menores para la Victoria ( $59.2 \mu\text{m}$ ) y Te-dinero ( $76.2 \mu\text{m}$ ) y los mayores valores para la variedad RB-3030 ( $97.2 \mu\text{m}$ ) y la Gold-R ( $110.1 \mu\text{m}$ ).

En alusión al tamaño de los gránulos de almidón del endospermo harinoso se encontró diferencia significativa entre las variedades ( $p < 0.05$ ) encontrándose valores bajos en las variedades Te-y-77 ( $8.0 \mu\text{m}$ ) y Victoria ( $8.9 \mu\text{m}$ ) y valores más altos para las variedades 911-R ( $15.7 \mu\text{m}$ ) y Te-dinero ( $16.0 \mu\text{m}$ ). Estos resultados están dentro del rango que menciona Glennie, C. W., citado por Earp y Rooney, (1982), que es de  $13.0-30 \mu\text{m}$ .

Con respecto al tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo harinoso no se detectó diferencia significativa alguna entre las variedades ( $p > 0.05$ ). Sin embargo se encontraron valores desde  $1.2 \mu\text{m}$  en la variedad 911-R hasta  $2.1 \mu\text{m}$  en la Te-y-77.

En todos los granos de las variedades se pudo observar que para los grosores de las partes integrantes del pericarpio (epicarpio, mesocarpio y endocarpio) hubo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Por otra parte la región que presentó mayor grosor del pericarpio fué el mesocarpio seguido del epicarpio y endocarpio (FIGURA 43).

En los parámetros de longitud y ancho de las células de

la aleurona, endospermo periférico, endospermo córneo, y endospermo harinoso se pudo observar que hay diferencias entre las variedades ( $p < 0.05$ ). Sin embargo es interesante hacer notar que en los granos de las diez variedades, la longitud y ancho fué mayor para las células del endospermo harinoso, seguido del endospermo córneo, endospermo periférico y aleurona (FIGURAS 44 y 45). Estos datos son apoyados con un alto coeficiente de correlación positiva entre la longitud y ancho de las células de los endospermos córneo y harinoso (CUADRO IV).

En los parámetros de tamaño del gránulo de almidón y de los cuerpos de proteína, se puede observar que hay diferencias en el tamaño de los gránulos de almidón y de los cuerpos de proteína en las diferentes partes del grano, así como entre las variedades ( $p < 0.05$ ). Es importante hacer notar que los gránulos de almidón fueron más grandes en el endospermo córneo, seguido del endospermo harinoso, periférico y mesocarpio. En cambio el tamaño mayor de los cuerpos de proteína fué para el endospermo periférico, seguido del endospermo harinoso y endospermo córneo. Con estos resultados podemos concluir que a mayor tamaño de almidón, menor tamaño de los cuerpos proteína (FIGURAS 46 Y 47). También se indica que se obtuvo un alto coeficiente de correlación negativa entre el tamaño del gránulo del almidón del endospermo córneo con el tamaño de los cuerpos de la proteína del endospermo córneo (CUADRO IV).

De los datos obtenidos en los resultados del ANOVA sobre los parámetros anatómicos y de las correlaciones entre lo anatómico y químico-nutricional, se deja abierta la posibilidad de hacer más estudios, con más repeticiones, tendientes a comprobar si en la mayoría de las variedades de sorgo se presentan estas mismas diferencias y con esto, se logren establecer equivalencias analíticas para sustituir una determinación anatómica por una química o viceversa, ya sea total o parcialmente y con esto se puedan seleccionar las variedades de acuerdo a los distintos requerimientos o usos, así como también escoger el tipo de procesamiento adecuado del grano de sorgo.

### 6.3 CARACTERISTICAS QUIMICO NUTRICIONALES

Se encontró que hubo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el % de grasa en los granos de las diez variedades, encontrándose los más altos porcentos en las variedades Te-dinero (3.75%) y Gold-R (3.52%). Por otra parte las variedades que mostraron los más bajos porcentos fueron la RB-3006 (2.76%) y la RB-3030 (2.78%). Estos porcentos confirman lo que encontraron *Neucere y Sumrell, (1980)*, los cuales dan valores de 2.66-3.49 %. Por otra parte *Rooney et al., (1980)*, cita un valor de 3.5 %. Sin embargo *Osagie (1987)*, proporcionan valores más altos de los encontrados en este estudio (3.68-5.28 %). Por su parte el *Instituto de*

*Nutrición de Centroamérica y Panamá, (1968)*, menciona un promedio de 3.4 % con un máximo de 4.5 % y un mínimo de 3.0 % para el grano de sorgo.

El % de fibra para los granos mostró que hubo diferencias significativas entre las variedades, encontrándose variedades con valores bajos de fibra en la BI-83 (2.31 %) y 911-R (2.65 %). Por otra parte las variedades que presentaron más altos porcentajes, fueron la Te-dinero (8.4 %) y la Te-y-101-R (7.72 %). Estos valores son semejantes a los que proporcionan *Duffus y Slaughter, (1985)*, los cuales dan un rango de 3.0-11.0 % de fibra para el grano de sorgo. Sin embargo el *Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, (1968)*, cita valores más bajos a los encontrados en este estudio, siendo de 2.0-3.0 %.

En el parámetro de ceniza no se pudo aplicar el análisis de varianza, por lo tanto no se determinó si las variedades presentaban diferencias significativas. Sin embargo se presentaron valores desde 1.17 % en la variedad Te-dinero hasta los más altos en la variedad Te-y-77 (1.91 %). Las variedades bajo estudio salieron bajas en ceniza. Sin embargo están dentro del rango que menciona el *Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, (1968)*, el cual da valores de 1.4 % como mínimo, 3.7 % como máximo, y un promedio de 2.6 % para los granos de sorgo.

De los datos obtenidos para el contenido de almidón se pudo observar que todas las variedades fueron muy similares con respecto a este parámetro. Sin embargo se logró detectar

diferencias significativas entre las variedades, encontrándose % bajos en la Te-y-75 (60.65 %) y Te-y-101-R (60.85 %) y los porcentajes más altos fueron para las variedades Te-dinero (64.10 %) y RB-3006 (64.20 %). Estos porcentajes están de los que menciona *Rooney (1980)*, que son de 70-75 % de almidón en el grano de sorgo .

Del parámetro de proteína se encontró que hubo diferencias significativas entre las variedades, encontrándose dentro de los valores más bajos al Te-dinero (9.01 %) y a las variedades Te-y-101-R y 911-R (9.62 %) y las variedades que mostraron porcentajes más altos fueron la BI-83 (11.41 %) y la RB-3030 (11.43 %). Estos resultados están dentro del rango que mencionan algunos autores para el grano de sorgo, siendo de un 10 %, de acuerdo a *Duffus y Slaughter, (1985)*. Por su parte el *Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, (1968)*, da un rango de 7.6-12.5 %. Sin embargo *Neucere y Sumrell, (1980)*, proporcionan valores de 9.75 % y 14.32 % en las variedades GA 615 y NSA 740 respectivamente; y *W. V., Y. V. y Stringfellow, (1981)*, citan un 9.0 % de proteína para el endospermo harinoso y un 18.61 % para el endospermo córneo.

Con respecto a los carbohidratos (E. L. N.) se obtuvieron porcentajes muy similares entre las variedades. Sin embargo se detectaron diferencias significativas entre estas, encontrándose dentro de los valores más bajos la Gold-R (77.65 %) y Te-dinero (77.68 %) y entre los valores altos se encuentran las variedades Te-y-77 (82.91 %) y 911-R (83.07 %).

Estos resultados que presentaron los granos de las diez variedades, estuvieron arriba de lo que reportan el *Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá*, (1968), que es de 68.0 % y *Neucere y Sumrell*, (1980), reportan un 67.61 % en la variedad NSA 740 y 73.37 % para la variedad GA 615 en granos enteros.

Para la digestibilidad de la proteína en el rúmen, no se logró detectar diferencias significativas entre las variedades. Sin embargo hubo valores desde 23.81 % en la RB-3030 y 24.59 en la RB-3006 hasta 36.82 % en la Te-dinero y 38.81 % en la variedad Victoria.

En la digestibilidad del almidón en el rúmen no se logró detectar diferencias significativas entre las variedades. Sin embargo dentro de los valores bajos se encuentran la Te-y-101-R (54.46 %) y la BI-83 (54.75 %) y los valores altos los presentaron las variedades Te-y-75 (65.11%) y Victoria (66.65 %).

El contenido de taninos mostró diferencias significativas entre las variedades ( $p < 0.05$ ), encontrándose variedades con bajo contenido de taninos, como la Te-y-75 (2.50 mg/g) y la Gold-R (2.93 mg/g). Por otra parte se encontraron variedades con alto contenido en taninos, como la RB-3030 (8.98 mg/g) y la Te-y-101-R (10.16 mg/g). Estos valores están dentro de lo que menciona *Cummins*, (1971), quien reporta dos porcentajes: uno resistente a pájaros (alto contenido de taninos, 10.5 %) y otro no resistente a pájaros (bajo contenido de taninos, 4.2

%).

Con respecto a las calorías totales se detectaron diferencias significativas entre las variedades, encontrándose dentro de los valores más bajos a las variedades Te-y-101-R (380.36 Kcal/g) y Te-dinero (380.49 Kcal/g). Por otra parte los valores más altos fueron para las variedades Te-y-77 (398.67 Kcal/g) y la BI-83 (400.30 Kcal/g). Para este parámetro el *Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá* menciona un promedio de 342 Kcal/g para el sorgo.

En general para los granos de las variedades estudiadas, en la composición química se puede observar que hay diferencias entre las variedades, encontrándose que los mayores porcentajes fueron para carbohidratos, seguido del contenido de almidón, humedad, proteína (N X 6.25), fibra, grasa y ceniza. Se encontró que los granos de las variedades fueron más diferentes en humedad y contenido de fibra. Sin embargo fueron más similares en contenido de proteína, grasa y ceniza. Es interesante hacer notar que también en la composición química las variedades que presentaron más altos porcentajes de fibra, fueron las más bajas en contenido de almidón, carbohidratos (E. L. N.) y calorías totales (FIGURAS 77 y 79).

En general sobre los parámetros de los tres tipos de digestibilidad y contenido de taninos, se puede observar que a mayor contenido de taninos hay menos digestibilidad de la proteína en el rúmen, de la proteína con pepsina y del almidón

en el rúmen y a menor contenido de taninos mayor digestibilidad de la proteína en el rúmen, de la proteína con pepsina y del almidón. Por otra parte los mayores porcentos de digestibilidad en general fué para la digestibilidad de la proteína con pepsina, seguida de la digestibilidad del almidón y por último de la digestibilidad de la proteína en el rúmen (FIGURA 78).

Con respecto a los parámetros de carbohidratos, contenido de almidón y calorías totales en general hubo poca diferencia entre las variedades. Sin embargo se observa que las variedades que presentaron porcentos bajos de carbohidratos, fueron bajos también para contenido de almidón y calorías totales (FIGURA 79).

En los parámetros de grasa con carbohidratos, se obtuvo una correlación negativa de estos, pudiendose mencionar que debido a que los granos los cuales son fuente de carbohidratos y no de grasas. Esto resulta lógico por lo que mencionan *Duffus y Slaughter (1985)*, los cuales indican que en semillas oleaginosas que son fuente de proteína y aceite, hay una correlación negativa entre estos (CUADROS III Y V).

En lo que respecta a los parámetros de fibra, carbohidratos y calorías totales se tuvo una correlación negativa de fibra con carbohidratos y calorías totales. Esto nos indica que hay menor contenido de fibra, esta es sustituida en el peso total del grano por carbohidratos y que al aumentar esta, disminuyen los carbohidratos y por lo tanto

el valor energético del grano. Esto fué observado entre las variedades (CUADROS III Y V).

En lo que se refiere a los parámetros de digestibilidad "in vitro" con pepsina y contenido de taninos, se obtuvo una correlación negativa entre estos. Estos resultados confirman lo que mencionan *Butler et al.*, (1983), los que mencionan que los taninos suelen enlazarse con las proteínas del alimento y en el tracto digestivo, reduciendo su digestibilidad. Por su parte *Okoh et al.*, (1982), encontraron que en más de cuatro variedades de alimento fueron afectadas por un alto contenido de taninos.

De los resultados obtenidos en el contenido químico-nutricional podemos concluir que debido a que los cereales como el sorgo, son fuentes de carbohidratos y que el contenido de fibra disminuye la cantidad de carbohidratos y calorías totales en el grano, como se puede ver en el CUADRO III. Las variedades que tienen más alto contenido de fibra como son: la Gold-R, 7.4 %; Te-y-101-R, 7.72 % y Te-dinero con 8.4 %, tienen los valores más bajos en carbohidratos o extracto libre de nitrógeno, siendo de 77.65 %, 78.18 % y 77.68 % respectivamente, CUADRO III, y por otra parte otro parámetro que influye en la calidad de estos granos es el contenido de taninos, ya que estos afectan a la digestibilidad de las proteínas al enlazarse con estas, formando complejos. Las variedades que resultaron con alto contenido de taninos fueron: la Te-y-101-R, 10.16 mg/g; RB-3006, 8.69 mg/g; la

RB-3030, 8.98 mg/g y la BI-83, 6.66 mg/g. Con estos resultados podemos inferir que las variedades que presentaron mejores cualidades químico-nutricionales son: Victoria, 911-R, Te-y-75 y Te-y-77.

#### 6.4 CARACTERISTICAS ANATOMICAS Y QUIMICO-NUTRICIONALES

Los granos de las variedades que presentaron color café en el pericarpio, como la Te-y-101-R, RB-3006, RB-3030 y BI-83, mostraron los valores mas altos en taninos siendo de 10.16 mg/g, 8.69 mg/g, 8.98 mg/g y 6.66 mg/g respectivamente. Estas variedades también exhibieron los mas bajos porcentajes de digestibilidad "in vitro" de la proteína con pepsina, siendo estos valores de 49.0%, 55.3%, 52.6% y 47.8%. Estos resultados confirman los estudios de *Butler et al.*, (1993), los cuales indican que los taninos con frecuencia se enlazan a las proteínas por lo que en el tracto digestivo los taninos del sorgo pueden enlazarse a las proteínas del alimento y reducir su digestibilidad. Esto fue reforzado en este estudio al obtener una correlación negativa (CUADRO V). Entre la digestibilidad "in vitro" de la proteína con pepsina y el contenido de taninos. Por su parte *Harris et al.*, (1970), encontraron que los niveles altos en taninos en el sorgo reducen la eficiencia del alimento, obteniendo un coeficiente de correlación negativo entre taninos y

digestibilidad la materia seca. También Koch et al., (1985), indica que la presencia de polifenoles, en la testa y pericarpios de sorgo resistentes a pájaros (sorgos altos en taninos ), tienen un efecto inhibitor sobre la actividad enzimática durante la hidrólisis del almidón. Por otra parte Leucere (1982), indica que la interacción de enzimas-taninos, son usualmente fuertes y aparentemente no específicos, por lo que los taninos reducen la palatabilidad, digestibilidad y calidad nutricional del sorgo utilizado como alimento. Citan también que esta interacción entre taninos y enzimas digestivas depende del pH, fuerza iónica del medio ambiente, cantidad de taninos o enzimas y otros factores (CUADRO III).

En lo que se refiere a la textura del endospermo, las variedades presentaron dos tipos de textura del endospermo, siendo el parcialmente córneo o casi córneo almidonado. Estos son semejantes al endospermo intermedio (igual cantidad de endospermo córneo y harinoso), citado por Cohen y Tanksley, (1972). Esto nos indica que habrá una buena digestibilidad en general en las variedades, siempre y cuando el contenido de taninos no sea elevado. Esto es apoyado por el ANOVA en este estudio, el cual mostró que no hubo diferencias significativas en este parámetro a un nivel de significancia de 0.05. Sin embargo es interesante hacer notar que las variedades que presentaron la textura del endospermo de casi córneo almidonado, como la Victoria, Te-y-75 y Gold-R, mostraron los mas altos porcentos de digestibilidad del almidón en el

rúmen, siendo de 66.65%, 65.11% y 61.62%. Esto probablemente se deba a lo mencionado por *Cohen y Tanksley (1972)*, quienes obtuvieron mayores valores de digestibilidad de materia seca y materia orgánica con los sorgos con endospermo intermedio, al compararlos con sorgos de endospermo harinoso y córneo. Sin embargo, *Meyer y Gorbet, (1984)*, en su trabajo sobre granos de sorgo normales y cerosos con variación en el contenido de taninos en dietas de cerdos jóvenes, reportan que los niveles de taninos, pero no el tipo de endospermo, influye en el valor alimenticio del grano para el crecimiento de los cerdos. Por otra parte *Leucere (1982)*, menciona que los taninos se unen a enzimas digestivas inactivándolas, por lo que la digestibilidad de los nutrientes en general disminuye.

Otra posibilidad sería lo que cita *Wagner (1981)*, sobre el grado en el cual los gránulos de almidón son embebidos en la matriz protéica en el grano intacto. Indican también que la proteína que rodea al gránulo de almidón es más densa en el sorgo crudo y que esto puede presentar alguna barrera para la digestión del almidón, contribuyendo a una baja digestibilidad del almidón o relativo valor alimenticio en ausencia de procesamientos adecuados. Estos autores indican que en distintas partes del grano hay diferencias, señalando que los gránulos más pequeños de almidón y con matriz protéica más densa están cerca de la porción más externa del grano. También *Hibberd et al., (1982)*, mencionan que el tamaño de los gránulos o longitud de cadenas pueden afectar la degradación

del almidón. Así mismo citan que los gránulos de almidón del endospermo córneo, cuando son mas pequeños presentan un grado de gelatinización más alta y una viscosidad intrínseca mas alta comparada con los gránulos del almidón del endospermo harinoso. Por lo que esto puede ser de importancia tecnológica en el uso del grano. Por otra parte, estos autores mencionan que la digestibilidad del almidón se ve afectada por el contenido de taninos. Por lo anteriormente mencionado, la textura del endospermo de casi córneo almidonado, presenta más área de endospermo harinoso y en donde la matriz protéica es menos densa comparada con el endospermo periférico y córneo y también el tamaño pequeño de los gránulos de almidón y poco contenido de taninos que presentaron estas variedades se deba que obtuvieron los mas altos porcentos de digestibilidad del almidón (CUADROS II y III). Cabe mencionar que las variedades Te-y-75 y Victoria, presentaron el tipo de endospermo casi córneo almidonado, gránulos pequeños de almidón y poco contenido de taninos, mostrando los más altos porcentos de digestibilidad del almidón.

En lo referente a la digestibilidad de la proteína con pepsina y en el rúmen, no fue tan evidente las diferencias en los porcentajes de digestibilidad entre los granos de las variedades. Esto confirma a *Cohen y Tanksley, (1972)*, los cuales muestran en sus resultados sobre digestibilidad de la proteína o retención de nitrógeno en cerdos alimentados con dietas elaboradas con sorgos de tres texturas del endospermo,

pero igual almidón, que no hubo diferencias significativas. Esto mismo fué observado en el análisis de varianza, realizado para los granos de las diez variedades, el cual mostró que no hubo diferencias significativas a un nivel de significancia de 0.05. Sin embargo, es interesante hacer notar que se obtuvieron dos correlaciones positivas del tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo harinoso con digestibilidad "in vitro" de la proteína con pepsina y en el rúmen (CUADRO VI).