

Relaciones entre la composición nutricional y parámetros anatómicos en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)

Teresa Elizabeth Torres Cepeda¹, María Guadalupe Alanis Guzmán², y Ratikanta Maiti¹

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. México

RESUMEN. Los parámetros químicos nutricionales con diferencias significativas ($P=0.05$) entre 10 variedades de sorgo, así como los rangos observados fueron: lípidos (2,76 a 3,75 %), fibra cruda (60,6 a 64,7%), proteína (9,01 a 11,43%), extracto libre de nitrógeno (77,65 a 83,07%), almidón (60,65 a 64,20%), taninos (2.50 a 10.16 mg/g) y calorías totales (380 a 400 Kcal). El contenido de cenizas fue de 1,17 a 1,91%, la digestibilidad de la proteína (23,8 a 38,8%) y del almidón «in situ» (54,4 a 66,6%) no fueron estadísticamente diferentes. Entre los componentes químicos se tuvieron las siguientes correlaciones positivas con significancia: carbohidratos con calorías totales y grasa con fibra. Entre las correlaciones negativas destacan: grasa y fibra con carbohidratos, fibra con calorías, y digestibilidad «in vitro» de la proteína con taninos. Con la finalidad de tratar de obtener equivalencias analíticas para sustituir una determinación anatómica o química; ya sea total o parcialmente, y facilitar la selección de variedades para distintos usos, y el procesamiento adecuado para el grano, se identificaron correlaciones entre los datos químicos obtenidos en este estudio con las características anatómicas determinadas en un trabajo previo con las mismas muestras, detectándose 19 coeficientes significativos, de los que 8 fueron positivos y 11 negativos. Entre las correlaciones con potencialidad de sustitución analítica destacan: tamaño del gránulo de almidón del endospermo córneo (EC) y longitud de las células del endospermo harinoso (EH), con cantidad de almidón; tamaño del cuerpo de proteína del EH, con digestibilidad de la proteína; largo y ancho de las células de aleurona con el contenido de fibra y de grasa. Entre las correlaciones negativas sobresalen: tamaño del gránulo de almidón del EC y EH, con ceniza; tamaño del cuerpo de proteína del EC, con cantidad de almidón y con tamaño de los gránulos del mismo; largo y ancho de las células de la aleurona con carbohidratos y con calorías totales; y tamaño de las células del mesocarpio con contenido de grasa.

Palabras Claves: Sorgo, bovino, químico, anatómico, nutricional.

SUMMARY. Relations between nutritional composition and anatomical parameter in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Nutritional and chemical parameters with significant differences ($P=0.5$) among 10 varieties of sorghum and rates observed in them were as follow: lipids (2.76 to 3.75%), raw fiber (60.0 to 64.7%) protein (9.01 to 11.43%), no nitrogen extract 977.65 to 83.07%, starch (60.5 to 64.20%), tannin (2.50 to 10.16 mg/g), and total calories (380 to 4000 Kcal). Ash content with value of 1.17 to 1.91% protein digestibility (23.8 to 38.8%) and «in situ» starch (54.4 to 66.6%) were not statistically different. When correlation indexes were determined between results of chemical analysis, it was obtained follow positive correlation having significance: carbohydrates with total calories and fat with fiber. The main negative correlations were: fat and fiber with carbohydrates, fiber with calories, and digestibility «In vitro» of protein with tannin. In order to obtain equivalent analytical tests to substitute an anatomic determination for a chemical one, or vice versa, and make easy the selection of varieties for different use, and the adequate process for sorghum grain, were obtained correlations between chemical data of this study and compared to anatomic features determined in a previous analysis with same samples (1), it was found 19 significant coefficients from which 8 were positives and 11 negatives. The main correlations with capacity of analytical substitution were: size of starch grain of cornea endosperm -starch amount; size of protein body of flourlike endosperm - digestibility «in vitro» and «in situ» of protein; length of cell of flour like endosperm - starch amount; length and broad of aleurona cells -fiber content. The major negative correlations were: size of starch grain of cornea and flourlike endosperm ash; size of protein body of cornea endosperm - starch amount; length and broad of aleurona cells- carbohydrates and total calories. Key words: Sorghum, bovine, chemical, anatomical, nutritional.

INTRODUCCION

La producción de sorgo ocupa el cuarto lugar en el mundo entre los cereales y es usado extensivamente como alimento tanto humano como animal. En 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 que es necesario seleccionar las mejores variedades que proporcionen un alto valor alimenticio y mejor digestibilidad para el ganado, lo que redundará en mejor producción de cárnico. La composición química de los granos utilizados en la

alimentación del ganado bovino presenta variación por factores del medio ambiente y genético, esto influye en la elaboración y calidad de los alimentos, por lo que son de importancia los programas de nutrición animal y un buen conocimiento del valor nutritivo de las materias primas empleadas en la alimentación.

Los estudios sobre la estructura de los granos son importantes, ya que intervienen en la determinación de la calidad y procesamiento del alimento utilizado para consumo humano o del ganado. En la actualidad existen trabajos realizados sobre estructura (2,3,4,5,6,7), pero se carece de estudios que valoren las posibles correlaciones entre ambos, por lo que el presente trabajo se enfoca además de analizar las diferencias químicas entre 10 variedades de sorgo, a correlacionar los valores obtenidos del análisis químico-nutricional con los resultados sobre las evaluaciones estructurales de los mismos granos obtenidos previamente (1) mediante el microscopio óptico y de barrido y utilizando la prueba de correlación de Pearson. La finalidad del trabajo es establecer la posibilidad de obtener equivalencias analíticas

1 Investigadores del Departamento de Botánica de la Fac. de C. Biol. U.A.N.L.

2 Jefe del Lab. de Alimentos del Departamento de Bioquímica de la Fac. de C. Biol. U.A.N.L. México.

para sustituir una determinación anatómica por una química o viceversa; ya sea total o parcialmente y con esto se pueda facilitar la selección de variedades para los distintos requerimientos o usos, así como también seleccionar el procesamiento adecuado para el grano de sorgo.

MATERIALES Y METODOS

A diez variedades de sorgo (Te-y-75, Te-y-77, Te-y-101-R, Master BI-83, Master RB-3006, Pronase RB-3030, Master Te-dinero, Master 911-R, Master Gold-R, Master Victoria) utilizadas en el Noreste del país, se les realizó un estudio químico-nutricional consistente en la determinación de: humedad, ceniza, extracto etéreo, fibra cruda, proteína cruda, contenido de almidón, extracto libre de nitrógeno y digestibilidad de proteína «in vitro» con pepsina (8). El contenido de taninos como equivalentes de catequina, por el método del ácido clorhídrico-vainillina modificado (9) y calorías totales con una bomba calorimétrica. La digestibilidad de la proteína fue determinada también «in situ» por 24 horas en el rumen de bovinos fistulados igual que la digestibilidad del almidón. Los datos fueron analizados estadísticamente para varianza, con un nivel de significancia de 0.05.

Para la observación y medición de las estructuras del grano al microscopio óptico, se realizaron cortes transversales del grano a nivel medio del embrión, utilizándose inclusión en parafina (10), y azul de anilina. Para cortes semifinos, se siguió la técnica modificada de inclusión en resina epóxica Durcupan (11) tiñendo con fucsina básica y azul de toluidina.

Por cada estructura, se realizaron cinco mediciones en cinco granos diferentes de la misma variedad y registrando los valores en micrómetros. De esta manera, para cada estructura se obtuvo un total de 25 mediciones por variedad.

Los parámetros considerados fueron: grosor del epicarpio, mesocarpio y endocarpio. El grosor del pericarpio para los granos de cada variedad, se consideró como la sumatoria de las medidas del grosor de sus componentes.

Del mesocarpio, además se midió el largo de las células. Del endospermo se tomaron el largo y ancho de las células, tanto de la aleurona como de las porciones periféricas, córneo y harinoso.

Para su estudio al microscopio electrónico de barrido (MEB), los granos fueron sometidos a la técnica de fractura, posteriormente se recubrieron con oro con un recubridor de cada fina (Jeol, JFC 1100), para su observación en el MEB (Jeol, JSM-35). Las estructuras fotografiadas para posteriores mediciones fueron: granos de almidón y cuerpos de proteína de los endospermos periférico, córneo y harinoso. Se realizaron 25 mediciones para cada estructura.

Se utilizó una correlación múltiple de Pearson para conocer si existe relación entre los parámetros químicos y anatómicos evaluados, determinando así las correlaciones existentes entre las 19 variables anatómicas y los doce parámetros químicos nutricionales, todo esto a un nivel de significancia de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSION

En general para los granos de las variedades estudiadas, en lo que respecta a la composición química cuyas medias se reportan en la Tabla 1. se observa que hay diferencias significativas entre las variedades en los siguientes parámetros: contenidos de grasa, fibra, almidón, proteína, extracto libre de nitrógeno, taninos y calorías

totales. Las variedades con mayor contenido de grasa fueron Te-dinero (3.75 %) y Gold-R (3.52 %); de fibra Te-dinero (8.4 %) y Te-y-101-R (7.7 %); con más almidón Te-dinero (64.1 %) y RB-3006 (64.2 %) y con más proteína BI-83 (11.41 %) y RB-3030 (11.43 %). Las más altas concentraciones de taninos se encontraron en las variedades RB-3030 (8.98 mg/g) y Te-y-101-R (10.16 mg/g). Las variedades Te-y-77, Master Victoria y BI-83 presentaron el mayor valor energético con 398 y 400 Cal/g respectivamente. No hubo diferencias significativas entre variedades en la digestibilidad de la proteína y del almidón en el rumen.

En lo que respecta a las correlaciones existentes (Tabla 2) entre los parámetros químicos analizados, la correlación negativa entre los contenidos de grasa y carbohidratos es similar a la observada en semillas oleaginosas (7). Es interesante hacer notar que las variedades que presentaron más altos porcentajes de fibra, fueron las más bajas en contenido de almidón, carbohidratos (E.L.N.) y calorías totales, confirmado esto con coeficientes de correlación negativos y significativos mostrados en la Tabla 2, lo que indica que la fibra es sustituida en el peso total del grano por carbohidratos por lo que, al aumentar ésta, disminuyen los carbohidratos y por lo tanto el valor energético de grano.

El contenido de carbohidratos (ELN) correlaciona positiva y significativamente con calorías totales ($r=0.91$), por lo que variedades que presenten más calorías tendrán más carbohidratos, no más grasa o proteínas, componentes también energéticos. Lo anterior debido a la alta correlación negativa citada anteriormente entre carbohidratos y grasa.

Existe una correlación significativamente positiva entre digestibilidad de proteína con digestibilidad del almidón ($r=0.87$) y negativa con el contenido de taninos. Debido a que la digestibilidad del almidón depende del grado en el que los gránulos de almidón estén embebidos en la matriz proteica del grano intacto. Wagner (12) indica 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, por lo que entre más digerible sea la proteína más expuesto quedará el almidón a la acción de las enzimas. Por otro lado los taninos inhiben la actividad enzimática como ha sido reportado ampliamente con anterioridad, ya que suelen enlazarse con las proteínas del alimento en el tracto digestivo, reduciendo su digestibilidad (13) y considerando lo anteriormente expuesto, afectan también indirectamente la digestibilidad del almidón. Los niveles altos en taninos en el sorgo reducen la eficiencia del alimento, obteniendo un coeficiente de correlación negativo entre taninos y digestibilidad de la materia seca (14). Los polifenoles de la testa y pericarpios de sorgos resistentes a pájaros, inhiben la hidrólisis del almidón (15).

Debido a que el sorgo se usa en la alimentación de ganado básicamente por su aporte energético y ya que las 10 variedades presentan de 380 a 400 Cal/g y la fluctuación en el contenido de proteína entre variedades es sólo de 2 puntos porcentuales, será el contenido de taninos lo que marque la diferencia de calidad nutricional en estos granos. Considerando lo anterior las variedades Te-y-75, Gold R, Te-dinero y Te-y-77 serían las mejores.

En la Tabla 3 se citan los valores promedio obtenidos para cada uno de los 19 parámetros anatómicos, algunos de los cuales se observan en las Figuras 1 y 2.

Al correlacionar los parámetros químicos y anatómicos se obtuvieron 19 coeficientes significativos, de las cuales 8 fueron positivos y 11 negativos (Tabla 4).

TABLA 1
Resultados de la composición química-nutricional de 10 variedades de granos de sorgo.
Literales diferentes indican diferencia significativa

Variedad	Grasa	Fibra	* Ceniza	* Humedad	Almidón	Proteína (Nx6.25)	Carbo- hidrato (ELN)	Digesti- bilidad «In vitro» de la proteína	Digesti- bilidad «In situ» de la proteína	Digesti- bilidad «In situ» del almidón	Contenido de taninos mg/g	Calorías totales Kcal
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Sorgo Master Gold R	ab 3,52	a 7,4	1,42	10,8	a 64,7	c 10,02	c 77,65	a 70	a 32,09	a 61,62	a 2,93	a 382
Sorgo Master Victoria	abc 3,31	b 2,77	1,77	15,2	d 61,75	c 10,03	ab 82,13	a 77,6	a 38,81	a 66,65	abc 5,02	b 398
Sorgo Master 911R	bc 3,04	b 2,65	1,57	13,4	bc 63,5	cd 9,62	a 83,07	a 60,4	a 27,18	a 60,62	bc 5,98	b 398
Sorgo Master BI 83	bc 3,28	b 2,31	1,7	bc 11,9	cd 63,2	a 11,41	a 81,3	a 47,8	a 28,7	a 54,75	cb 6,66	400
Sorgo Master TE-Y-75	abc 3,24	b 4,14	1,62	14,6	e 60,55	b 10,71	bc 80,31	a 70,1	a 30,19	a 65,11	a 2,5	b 393
Sorgo Master TE-Y-101-R	bc 3,16	a 7,72	1,25	11,7	de 60,85	de 9,62	c 78,18	a 49	a 33,95	a 54,46	e 10,16	a 380
Sorgo Master TE-Y-77	bc 3,01	b 3,01	1,91	14,7	de 61,5	c 10	ab 82,91	a 56	a 35,77	a 55,76	ab 4,05	b 399
Sorgo Master RB 3006	c 2,76	b 3,81	1,53	15,8	ab 64,2	de 9,44	ab 82,48	a 55,3	a 24,59	a 62,8	de 8,69	b 392
Sorgo Master RB 3030	bc 2,78	b 2,73	1,62	10,8	abc 64,05	a 11,43	ab 81,46	a 52,6	a 23,81	a 56,53	de 8,96	b 397
Sorgo Master TE DINERO	a 3,75	a 8,4	1,17	12,4	abc 64,1	e 9,01	c 77,68	a 55,6	a 36,82	a 60,49	ab 3,83	a 380

* En estas variables no se aplicó análisis estadístico.

TABLA 2
Coeficientes de correlación significativos detectados en la prueba de correlación de Pearson entre las 12 variables químico -
nutricionales estudiadas. El valor superior en cada cuadro representa el coeficiente de correlación y el inferior la probabilidad

	Fibra	Carbohidratos (E.L.N.)	Digestibilidad de la proteína «In situ»	Digestibilidad del almidón «In situ»	Taninos	Calorías totales
Grasa	0,6434 0,045	-0,7181 0,019	0,6704 0,034			
Fibra		-0,9312 0,000				-0,9894 0,000
Carbohidratos (E.L.N.)						0,9142 0,000
Digestibilidad de la proteína «In vitro»				0,8677 0,001	-0,6208 0,055	

TABLA 3
Promedios del estudio anatómico de los diferentes parámetros evaluados en el grano de sorgo de las diez variedades
(Torres Cepeda., 1993)

	Grosor del Epicarpio	Grosor del Mesocarpio	Long. de las células del Mesocarpio	Tamaño de granulos del almidón del Mesocarpio	Grosor del Endocarpio	Grosor del Pericarpio	Long. de las células de la Aleurona	Ancho de las células de la Aleurona	Long. de las células del Endospermo-periferico	Ancho de las células del Endospermo-periferico	Tamaño de granulos de almidón del Endospermo-periferico	Tamaño de los cuerpos de proteínas del Endospermo-periferico
Sorgo Master Gold R	17.9	85.7	35.2	4.6	9.9	113.51	24.2	15.0	39.7	30.5	9.2	1.7
Sorgo Master Victoria	28.7	101.5	38.6	5.2	12.7	142.98	22.5	15.5	33.2	27.1	8.1	1.4
Sorgo Master 911 R	9.9	91.5	48.7	4.3	7.4	108.78	23.3	16.9	41.1	36.0	11.4	2.41
Sorgo Master BI-83	11.4	82.0	45.1	4.0	7.5	100.94	21.8	16.1	35.2	31.0	9.5	2.2
Sorgo Master TE-Y-75	14.7	78.3	40.1	4.5	9.2	102.12	29.0	13.6	43.0	39.4	10.6	1.9
Sorgo Master TE-Y-101-R	21.6	124.8	46.9	4.8	7.8	154.22	26.0	16.1	47.8	24.0	6.5	1.4
Sorgo Master TE-Y-77	17.5	96.5	48.8	3.5	8.1	122.10	24.0	13.9	41.7	29.0	12.3	1.6
Sorgo Master RB 3006	14.5	80.4	46.9	4.4	7.4	102.27	23.4	14.8	40.5	25.0	8.4	1.4
Sorgo Master RB 3030	19.7	89.2	43.7	4.0	10.2	119.07	24.9	12.9	44.4	38.8	12.6	1.5
Sorgo Maser TE-Dinero	18.6	88.5	40.6	4.4	9.3	116.48	25.0	16.4	27.3	38.0	10.1	1.8

	Long. de las células Endospermo-Corneo	Ancho de las células del Endospermo-Corneo	Tamaño de los granulos de almidón del Endospermo	Tamaño de los cuerpos de proteínas del Endospermo-Corneo	Long. de las células del Endospermo Harinoso	Ancho de las células del Endospermo Harinoso	Tamaño de los granulos de almidón del Endospermo Harinoso	Tamaño de los cuerpos de proteínas del Endospermo Harinoso
Sorgo Master Gold R	128.2	72.0	14.6	1.0	150.5	110.1	9.2	1.5
Sorgo Master Victoria	120.5	66.5	11.1	1.5	112.2	59.2	8.9	1.7
Sorgo Master 911 R	127.1	47.1	15.0	1.3	152.2	97.5	15.7	1.2
Sorgo Master BI-83	103.2	50.6	14.2	1.2	164.9	91.2	13.0	1.7
Sorgo Master TE-Y-75	113.1	58.0	12.0	1.3	143.7	77.7	12.3	1.4
Sorgo Master TE-Y-101-R	129.9	59.8	12.5	1.9	145.8	78.4	10.8	1.7
Sorgo Master TE-Y-77	110.1	49.0	12.1	1.4	133.9	69.7	8.0	2.0
Sorgo Master RB 3006	124.1	70.9	19.1	1.3	168.0	86.4	15.3	1.5
Sorgo Master RB 3030	118.1	72.7	16.3	0.9	165.6	97.2	14.6	1.4
Sorgo Maser TE-Dinero	102.9	73.1	19.2	1.3	147.0	76.2	16.0	2

Nota: Las unidades de medidas están dadas en Micras.

TABLE 4
 Coeficientes de correlación significativos detectados en la prueba de correlación de Pearson entre las variables anatómicas y químico-nutricionales.
 El valor superior en cada cuadro representa el coeficiente de correlación y el inferior la probabilidad.

	Grasa	Fibra	Ceniza	Humedad	Almidón	Carbo- hidratos (E.L.N.)	Digesti- bilidad de la proteína «In vitro»	Digesti- bilidad de la proteína «In situ»	Calorías totales
Tamaño del almidón del endospermo córneo			-0,7719 0,009		0,7134 0,021				
Tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo córneo					-0,7626 0,010				
Tamaño de los gránulos del almidón del endospermo harinoso			-0,7547 0,012						
Tamaño de los cuerpos de proteína del endospermo harinoso							0,6141 0,59	0,6134 0,059	
Longitud de las células del endospermo periférico	-0,6659 0,036								
Grosor del epicarpio								0,6215 0,055	
Tamaño de las células del mesocarpio	-0,6461 0,044						-0,6840 0,029		
Grosor del endoscarpio				-0,6463 0,043					
Longitud de las células de la aleurona		0,7182 0,019				-0,6433 0,045			-0,6703 0,0034
Ancho de las células de la aleurona	0,6135 0,059	0,7401 0,014	-0,6465 0,043						-0,6386 0,029
Longitud de las células del endospermo harinoso					0,7107 0,021				

Entre las correlaciones significativas detectadas entre parámetros anatómicos y químicos, es interesante la relación positiva entre el tamaño del gránulo de almidón del endospermo córneo y la longitud de las células del endospermo harinoso (Fig. 1c) con la cantidad de almidón presente en el grano.

El tamaño de los gránulos o longitud de cadenas pueden afectar la degradación del almidón. Así mismo los gránulos de almidón del endospermo córneo, cuando son más pequeños presentan un grado de gelatinización más alta y una viscosidad intrínseca más alta comparada con los gránulos de almidón del endospermo harinoso (16), lo que es de importancia tecnológica en el uso del grano. Por lo que analizando las correlaciones obtenidas en este estudio se esperará que variedades con mayor contenido de almidón corresponderán a granos con mayor tamaño de gránulos que por lo mismo presentarían menor

grado de gelatinización y viscosidad.

El tamaño del cuerpo de proteína del endospermo harinoso (Fig. 4a) con digestibilidad «in vitro» e «in situ» de la proteína se relacionan positivamente. El tamaño del cuerpo de proteína del endospermo córneo (Fig. 3c) correlaciona negativamente con el contenido de almidón, además en el mismo endospermo córneo hay una correlación negativa entre el tamaño de los cuerpos de proteína ($X=1,3\mu$) y los gránulos de almidón ($X=14,6\mu$) (1). Una sustitución analítica para seleccionar variedades permitiría, con un examen microscópico suponer una mejor digestibilidad del grano si este presenta en el endospermo harinoso mayores cuerpos de proteína, y a menor tamaño en los cuerpos de proteína del endospermo córneo mayor contenido de almidón. Es importante considerar que dichas pruebas serían consideradas a manera de índice comparativos entre

variedades ya que existen otros factores diferentes a las medidas estructurales que afectan la utilización biológica de los nutrientes, una prueba de esto es el hecho de que en el endospermo córneo no se presenta correlación entre tamaño de cuerpos proteicos y digestibilidad de la proteína, lo anterior debido a que el arreglo del endospermo córneo es más compacto que en el endospermo harinoso, de tal manera que la digestibilidad de la proteína es favorecida también por la disposición o arreglo que guarda la proteína con los gránulos de almidón, permitiendo o dificultando la acción enzimática.

Los contenidos de fibra, carbohidratos y calorías presentaron correlaciones significativas entre sí como se discutió anteriormente, y los tres parámetros químicos están relacionados con el largo y ancho de las células de aleurona (Tabla 4), por lo que cuanto mayores sean estas medidas, el grano contendrá más fibra en las paredes de estas células y menos carbohidratos y calorías.

Los contenidos de grasa y de ceniza no son nutricionalmente determinantes en el caso del sorgo en la alimentación de ganado, sin embargo resultan interesantes las relaciones significativas entre ellos y algunas características estructurales del grano.

El contenido de grasa correlaciona positivamente con el ancho de las células de aleurona (Fig 1b y 2a) y negativamente con el tamaño de las células del mesocarpio y con la longitud de las células del endospermo periférico. En el sorgo los aceites están concentrados en el germen (79 %), pericarpio y aleuronas (6) y en las células de aleurona se encuentran cuerpos de lípidos que miden de 0.3 a 0.5 μm de diámetro (3), por lo que es lógica la correlación que indica mayor cantidad de grasa cuanto más anchas sean las células de aleurona que la contienen. Por otro lado el tamaño de las células del mesocarpio correlaciona positivamente con la longitud de las células del endospermo periférico (1) y ambas contienen almidón, así que la correlación negativa del tamaño de estas células con el contenido de grasa, se percibe razonable toda vez que el contenido de grasa guarda una correlación negativa con el de carbohidratos, por lo que, células de mesocarpio más pequeñas, corresponderán a las variedades con mayor contenido de grasa y variedades con células de mesocarpio mayores, tendrán por el contrario más carbohidratos.

En cuanto al contenido de ceniza correlaciona negativamente con el tamaño de gránulo de almidón del endospermo córneo y harinoso, y con el ancho de las células de aleurona, que contienen minerales (17).

Concluyendo que algunas mediciones anatómicas pudieran sustituir con cierta confiabilidad, al menos en selección de variedades, algunas determinaciones químicas en el sorgo, es necesario trabajar en las más prometedoras (mejores correlaciones), a fin de incrementar la confiabilidad y asegurar reproductibilidad. La importancia de lograrlo es que la metodología anatómica puede ser de utilidad sobretodo cuando la cantidad de muestra es limitada, o el acceso al menos, a un microscopio óptico para realizar mediciones de células sea más fácil que a un laboratorio analítico.

FIGURA 1

Fotomicrografía de microscopio óptico de un corte transversal de grano de sorgo, mostrando: a) pericarpio; b) células de aleurona; c) parte del endospermo periférico; d) del endospermo córneo y e) del endospermo harinoso

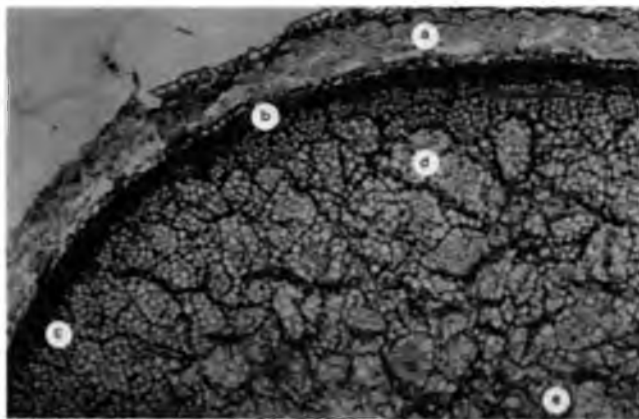


FIGURA 2

Fotomicrografía electrónica de barrido de grano de sorgo que muestra: a) células de aleurona; b) cuerpos de proteínas del endospermo periférico y c) gránulos de almidón del endospermo periférico



FIGURA 3

Fotomicrografía electrónica de barrido de grano de sorgo del endospermo córneo: a) células; b) cavidades donde estuvieron incrustados los cuerpos de proteína y c) cuerpos de proteína

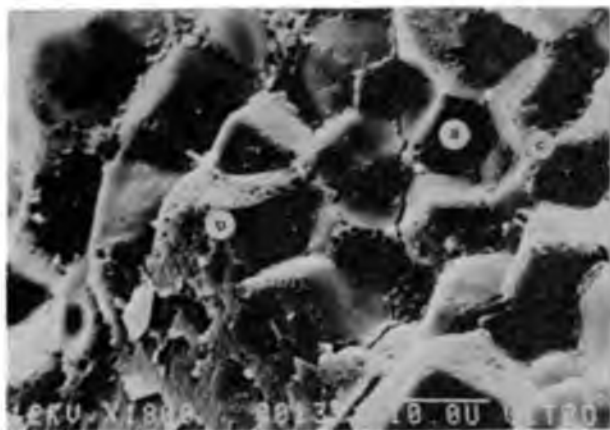
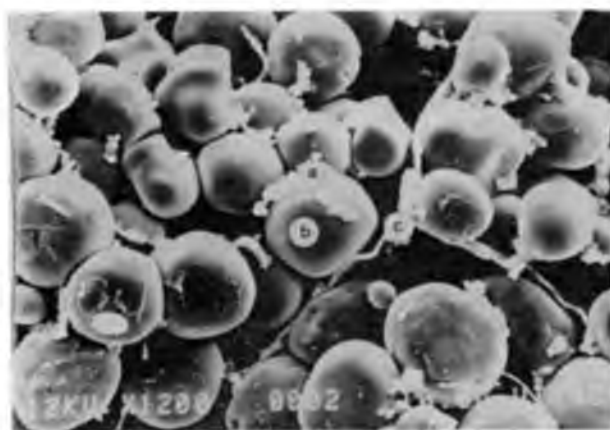


FIGURA 4

Fotomicrografía electrónica de barrido de grano de sorgo, mostrando el endospermo harinoso: a) cuerpos de proteínas; b) gránulos de almidón y c) paredes de las células



REFERENCIAS

1. Torres-Cepeda T.E., Maiti R. & Alanis-Guzmán M.G. Aspectos morfológicos y anatómicos de diez variedades de grano de sorgo utilizado en alimentación de ganado bovino. Universidad y Ciencia. 10(19): 101-110, 1993.
2. Rooney L.W. & Murty D.S. Evaluation of sorghum food quality. In: Sorghum in the eighties. Proceeding of the international symposium on sorghum. Vol 2. L. Mughogho & J.M. Peacock (Ed). Patancheru A.P. India ICRISAT. pp 571-588, 1982.
3. Zeleznak K. & Varriano-Maston E. Pearl millet (*Pennisetum americanum* (L) Leeke) and grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) ultrastructure. Am. J. Bot 69(8):1306-1313, 1982.
4. Ejeta G. & Axtell J.D. Dry-matter accumulation and carbohydrate composition in developing normal and high lysine sorghum grain. J. Agric. Food Chem. 35:981-985, 1987.
5. Yadav S.P. & Rana B.S. Tannin content at different stages of grain development in some bird susceptible and resistant sorghums. Current Sci. 52(17):804-806, 1983.
6. Rooney L.W., Khan M.N. & Earp C.F. The technology of sorghum products chapter in recent progress in cereal chemistry. In: Cereals for food and beverages. G. Inglett (Ed), New York, U.S.A., Academic Press Inc. pp. 513-554, 1980.
7. Duffus D. & Slaughter C. Las semillas y sus usos. México, AGT. Editores S.A pp.1-188, 1985.
8. Association of Official Agricultural Chemists. Official Methods of Analysis of the A.O.A.C. 15th ed. Washington D.C. The Association, 1990.
9. Burns R.E. Method for estimation of tannin in grain Sorghum. Agronomy Journal 63:511-512, 1971.
10. Torres-Cepeda T.E. Estudio comparativo de las características anatómicas, morfológicas y algunos aspectos bioquímicos y nutricionales de variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L.Moench), utilizado para la alimentación de ganado bovino en el noreste del país. Monterrey N.L. México. Tesis inédita, Fac. de C. Biol. U.A.N.L. 1990.
11. Lux A. & Ruíz J.O. Manuel de Microscopía electrónica, ultraestructura y citología vegetal. Monterrey, N.L. México. Ed.Fac de Ciencias Biológicas U.A.N.L. pp 1-70, 1987.
12. Wagner D.G. Improving Sorghum Grain. Feed Management 32(12): 12-16, 1981.
13. Butler L.G., Riedi D.J. & Lebyrk D.G. Interaction of proteins with sorghum tannins: mechanism, specificity and significance. J. of the Am Oil Chem. Soc. 60(44): 730, 1983.
14. Harris H.B., Cummins D.G. & Burns R.E. Tannin content and digestibility of sorghum grain as influenced by bagging. Agronomy Journal 62:633-635, 1970.
15. Kock J.L.F., Groenewald E.G., Kruger G.H.J., J.N. Eloff & Lategan P.M. Extraction of polyphenols and hidrolisis of bird proof sorghum starch. J. Of Sci. of Food and Agr. 36 (11):1140-1144, 1985.
16. Hibber C.A., Wagner D.G., R.L., Schemm E.D., Mitchell, Weibel D.E. & R.L. Hintz. Digestibility characteristics of isolated starch from sorghum and corn grain. J. Of Animal Sci. 55(6):1490-1497, 1982.
17. Maiti R. Morfología, crecimiento y desarrollo del sorgo. Monterrey, N.L. México, Ed. Fac. de Agronomía, U.A.N.L. pp 3-419, 1986.

Recibido: 25-07-1995

Aceptado: 15-07-1996