

# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

ESCUELA DE AGRICULTURA



Utilización del Sorgo Sorghum bicolor (L.) Moench solo y en  
Mezclas con otras Especies, en la Elaboración de Tortillas.

**T E S I S   P R O F E S I O N A L**

**Q U E   P A R A   O B T E N E R   E L   T I T U L O   D E**

**I N G E N I E R O            A G R O N O M O**

**P R E S E N T A**

**J O S E   A R I E L   R U I Z   C O R R A L**

**G U A D A L A J A R A            J A L .            1 9 8 3**

Las Agujas, Mpio. de Zapopan, Jal. 12 de Noviembre 1981

C. ING. LEONEL GONZALEZ JAUREGUI  
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE AGRICULTORES  
UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

Habiendo sido revisada la Tesis del PASANTE \_\_\_\_\_

JOSE ARIEL RUIZ CORRAL \_\_\_\_\_ Titulada:

" UTILIZACION DEL SORGO (Sorghum bicolor L. Moench ) EN LA -  
ELABORACION DE TORTILLAS, SOLO Y EN MEZCLAS CON OTRAS ES -  
PECIES."

Damos nuestra aprobación para la Impresión de la misma

DIRECTOR



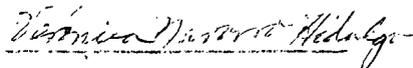
DR. JESUS ALBERTO BETANCOURT VALLEJO

ASESOR



ING. CARLOS AGUIRRE TORRES

ASESOR



QFB. VERONICA NAVARRO HIDALGO

## DEDICATORIAS

A la gran fraternidad Universal.

A mis padres:

Gustavo Ruiz Franco  
y  
Bertha C. de Ruiz

Por darme la oportunidad de vivir, por guiarme, --  
amarme y comprenderme.

A mi hermana:

Chuy

Por su gran solidaridad, comprensión, ayuda y con-  
sejos.

A mi novia:

Paty

Por llenarme de amor y ternura, por darme compren-  
sión y calor y más que nada por haberme ayudado a encontrar-  
la felicidad.

A mis hermanos:

Tavo, Julieta, Taly, Silvia, Alma,-  
Rosy y Carlos.

Por su gran cariño.

A mis sobrinos:

Sergio, Julieta, Dulce, Calel, Ma -  
gus, Pity, Berene, Roberto, Rocío,-  
Karina, Jorgito, Luisito, Nando, Vi  
viana, Carmelita y Clarisa.

A mis cuñados.

A mis amigos; en especial, al mejor de ellos:

Ríos.



I N D I C E

ESCUELA DE AGRICULTURA  
BIBLIOTECA

	Pag.	
CAP. I	Introducción	1
CAP. II	Revisión de Literatura.	3
	Estructura del Grano de Sorgo	5
	Composición Química del Grano de Sorgo	11
	Métodos de Predicción de Calidad en -- Variedades de Sorgo	12
	Elaboración de Productos para consumo- humano	14
	Otros factores que afecten la calidad- del grano y sus productos	19
CAP. III	Materiales y Métodos	16
	Materiales	19
	Métodos	28
CAP. IV	Resultados	28
	Análisis de Varianza del Rendimiento	29
	Pruebas de Predicción de las Propieda- des Tortilleras de los sorgos	30
	Comportamiento del sorgo en la produc- ción de tortillas	31
	Mezclas Sorgo-Yuca	31
	Mezclas Sorgo-Maíz	32
	Mezclas Sorgo-Triticale	34
CAP. V	Discusión de Resultados	36
CAP. VI	Conclusiones	38
CAP. VII	Recomendaciones	39
	Resumen	41
	Bibliografía	44
	Apendice	

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.

	Pag.
Cuadro 1.	8
Cuadro 2.	17
Cuadro 3	28
Cuadro 4	29
Cuadro 5	29
Cuadro 6	30
Cuadro 7	31
Cuadro 8	33
Cuadro 9	44
Cuadro 10	45
Cuadro 11	46
Cuadro 12	47
Cuadro 13	47
Figura 1	4
Figura 2	6

## CAPITULO I INTRODUCCION

El sorgo, es una fuente importante de alimento para el hombre y los animales en muchos países de clima cálido; en Africa, cercano y Medio Oriente, se le cultiva desde hace siglos y constituye un alimento humano básico. En América es un importante vegetal por su grano y forraje que se destinan principalmente a la alimentación del ganado.

De reciente introducción en México, el sorgo va cobrando mayor importancia debido a que compite ventajosamente al lado de otras especies, como el maíz, al cual va desplazando paulatinamente. Muy resistente a la deshidratación el sorgo es además un cultivo totalmente mecanizable y su rendimiento en condiciones adversas le otorga un valor porcentual del económico, permitiendo que un sistema agrícola sea más estable.

No obstante a que es un cultivo reciente en México el sorgo ocupa ya a nivel nacional el tercer lugar en cuanto a superficie sembrada y el segundo en lo que se refiere a producción. (2)

Los usos de esta planta, van desde la construcción de casas con los tallos, hasta la elaboración de cerveza -- con el grano, fabricación de pan y preparación de numerosos platillos (1) (5) (7) (11) (20) (22) (24).

Nuestro país cuenta con una población de hábitos alimenticios eminentemente maiceros, con un consumo per cápita de 120 Kg; consumiéndose la mayor parte de este cereal en forma de tortillas. Sin embargo, para satisfacer los requerimientos de este grano, se recurre con frecuencia a las importaciones.

Por otro lado, en otros países el sorgo se ha utilizado en la elaboración de alimentos, en especial, en algunos países de Centroamérica, como Honduras, El Salvador, y Guatemala donde constituye una materia prima barata para la producción de tortillas. Sin embargo, el sorgo actualmente disponible a nivel comercial en México no puede utilizarse en la elaboración de tortillas, debido al mal color y a la pobre calidad que le imparte al producto.

Son los pigmentos fenólicos, en especial un grupo de polifenoles de alto peso molecular denominados taninos, los causantes de esta coloración indeseable en la tortilla, que generalmente es verde, café o rojo oscuro; estos pigmentos se encuentran con mayor frecuencia en sorgos de color café o rojo y en la capa localizada después del pericarpio, a la que se le denomina testa.

Aunado a ello, existe el factor sociocultural por parte del consumidor, que también limita su aceptación, ya que es difícil romper con los hábitos tradicionales de alimentación de un pueblo que tiene miles de años consumiendo tortillas de maíz.

El color indeseable en la tortilla de sorgo, puede ser evitado utilizando variedades que no contengan testas ni precursores de polifenoles en alguna otra parte del grano; mientras que la calidad del producto en cuanto a textura y sabor, puede incrementarse mediante el mejoramiento genético o utilizando mezclas de sorgo con otras especies que puedan tener un comportamiento satisfactorio en la elaboración de alimentos, las mezclas también pueden utilizarse como recurso para mejorar la coloración de la tortilla.

Por lo anteriormente expuesto se desarrolló la presente investigación con los siguientes objetivos:

- 1.- Determinar la factibilidad de identificar variedades de sorgo de grano blanco, rendidoras y que puedan ser utilizadas directamente para consumo, principalmente en la elaboración de tortillas.
- 2.- Obtener información sobre el comportamiento de mezclas de sorgo con yuca, maíz y triticale que permitan elevar la calidad de las tortillas en cuanto a textura, sabor, color y nivel de proteína.
- 3.- Identificar variedades que posean características ideales para la elaboración de tortillas, como son pericarpio de color claro, planta color canela, almidón no ceroso, endospermo de textura córnea a intermedia y estar libre de pigmentos y otras manchas coloreadas sobre el grano.

El presente trabajo estuvo basado en un proyecto cooperativo entre el ICRISAT<sup>1</sup> y el INIA<sup>2</sup> con el que se evaluaron en un ensayo uniforme 29 variedades de grano blanco en Ocotlán, Jalisco; las diez mejores variedades del experimento se evaluaron por calidad mediante procedimientos de Laboratorio para llevar a cabo los objetivos propuestos.

Los sorgos con calidad mejorada, específicamente para la elaboración de tortillas, pueden guiar a una provisión de alimentos más estable.

<sup>1</sup> Centro Internacional de Investigación para los Trópicos - semiáridos. Hyderabad, India.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. México.



## CAPITULO II

### REVISION DE LITERATURA

ESCUELA DE AGRICULTURA

BIBLIOTECA

#### Estructura del grano de sorgo.

En 1978, Glueck y Rooney (12) consignaron que el - cariopsis del sorgo está compuesto de tres partes principa - les: Pericarpio, endospermo y embrión (Fig. 1), aunque en -- ciertos tipos de sorgos se encuentra presente la testa, el - pericarpio, es la cubierta más externa y puede ser subdividi - do en epicarpio, mesocarpio y endocarpio. El epicarpio es la porción exterior, constituido de 2 a 3 capas de células en cuanto a - grosor, contiene cera y a veces pigmentos. La presencia o au - sencia de pigmentos en el epicarpio, es controlada por el gē - ne propagador "S". Durante la molienda en seco de sorgo, los pigmentos imparten un mal color a la sémola o harina. El mesocarpio es la capa de en medio puede contener gránulos de almidón y es generalmente la capa más gruesa del pericar - pio, su espesor varía de un grueso de apariencia yesosa a un delgado trasluciente, y es controlado por el gene "Z", donde delgado es dominante sobre grueso. El endocarpio es la capa más interna, consiste en células tubulares y cruzadas. Una - de las principales funciones de éstas, es el transporte de - humedad. Estas células son el punto de rotura, cuando el per - icarpio (Salvado en términos de molienda) es removido duran - te el molido del grano.

Los mismos autores reportaron que debajo del peri - carpio, algunas variedades de sorgo, tienen una capa sumamen - te pigmentada llamada testa. La presencia o ausencia de tes - ta está controlada por los genes  $B_1$  y  $B_2$ . La testa está pre - sente cuando ambos genes se encuentran en estado dominante. - ( $B_1$  y  $B_2$ ), mientras que todas las demás combinaciones produ - cen su ausencia. La pigmentación de la testa es asociada con una alta concentración de polifenoles o taninos.

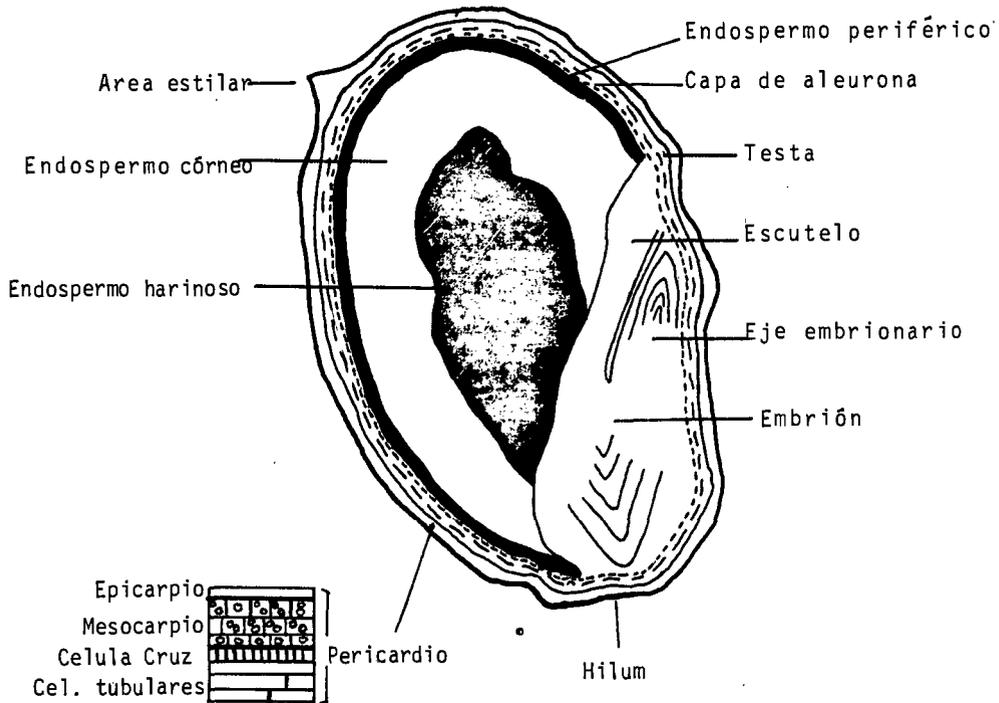
El endospermo está compuesto por una capa de aleurona el en - dospermo periférico, el endospermo córneo y endospermo hari - noso.

La capa de aleurona es una capa celular localizada justo in - mediatamente después del pericarpio o testa, si esta ésta -- presente. Las células de la aleurona, de forma de bloques -- rectangulares, juegan un papel esencial en la autólisis y mo - vilización de los componentes del grano, durante la germina - ción. Las células de aleurona contienen cuerpos esféricos -- llenos de proteínas de buena calidad nutritiva. Las células - de aleurona contienen además gran cantidad de aceite.

El endospermo periférico está junto a la capa de aleurona y - es una área mal definida constituida por las primeras dos a - seis células del endospermo, que contienen pequeños gránulos de almidón, embebidos en una densa matriz de proteína.

El endospermo córneo, se encuentra localizada en seguida del - endospermo periférico, hacia el interior del grano, tiene una interfase continua entre el almidón y proteína. Los granos - de almidón son muy angulosos o poliédricos, con depresiones -

Fig. 1 Estructura del grano de sorgo



FUENTE: Variation in the Structure and Kernel characteristics of Sorghum In International Symposium on Sorghum Grain Quality. L.W. Rooney y F.R. Miller. 1981.

donde los cuerpos protéicos son atrapados entre granos de almidón en expansión. El ligamento proteína almidón es bastante fuerte y algunos gránulos de almidón, primero se rompen - que ser arrastrados hasta la matriz. De ahí la consistencia - de esta parte del grano.

El endospermo harinoso, contiene células endospermáticas débilmente embaladas. Los espacios de aire alternantes con - - constituyentes celulares, difunden la luz, a través del endospermo, lo cual explica la apariencia yesosa u opaca de esta región. Esta área representa la porción del endospermo - - más pobre en proteínas. Es extremadamente susceptible a la acción enzimática.

Rooney y Miller (27) en 1981, describieron la textura del endospermo como la proporción relativa en que se encuentran presentes la porción harinosa y la porción córnea - en el endospermo del grano. De acuerdo con los mismos autores, la textura afecta las propiedades de procesamiento del grano; en sorgos con endospermo córneo, el salvado se remueve más fácilmente del endospermo almidonoso, dando así un mayor rendimiento durante la molienda en seco. (Figura 2).

En 1971, Norris, citado por Rooney y Miller (27), - encontró que los sorgos harinosos dieron un mayor rendimiento en almidón, utilizando un procedimiento húmedo de laboratorio.

La textura ha sido también relacionada con el potencial de almacenamiento; los insectos atacan más fácilmente a sorgos con endospermo harinoso que a sorgos con endospermo córneo. Rooney y Miller (27)

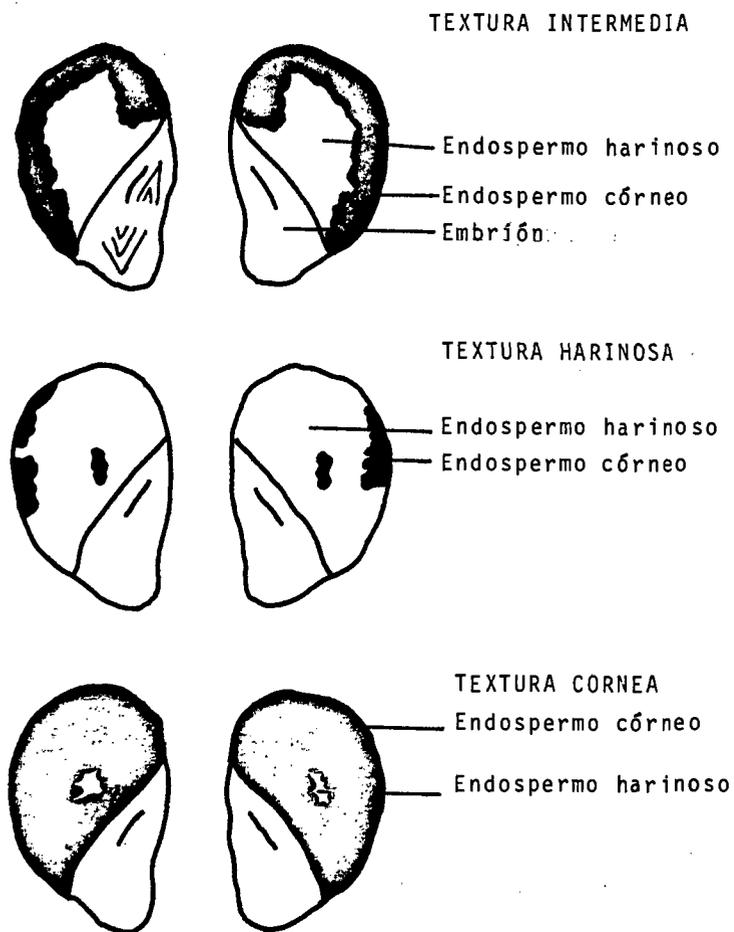
Glueck y Rooney (12), consignaron en 1978, que el embrión es el germen del grano y constituye aproximadamente el 10% del peso seco total del grano. El escutelo y el eje embrionario son las partes principales del embrión. La estructura del embrión no ha sido caracterizada completamente.

#### Composición química del grano de sorgo.

##### Carbohidratos y Proteínas.

En 1975, Wall y Blessin (30), señalaron que la composición del grano de sorgo es comparable a la de otros que se cultivan extensivamente para alimento humano y animal. Como el maíz y el trigo, el grano de sorgo tiene bajo contenido en fibra y ceniza, porque las glumas se desprenden fácilmente en la mayoría de las variedades. Su nivel protéico es un poco más elevado que el que posee el maíz y el arroz. El contenido de aceite es menor, comparado con el del maíz o - - avena, pero superior al del arroz, trigo o cebada. Entre los cereales más comunes, luego del maíz, es el que tiene mayor-

Fig.2 Tipos de textura de Endospermo en granos de sorgo.



FUENTE: Variation in the Structure and Kernel characteristics of Sorghum In International Symposium on Sorghum Grain Quality. L.W. Rooney y F.R. Miller. 1981.

cantidad de energía total. El sorgo es importante por su contenido energético en forma de almidones. (cuadro) 1.

En 1943, Edwards y Curtis, citados por Wally Blessin (30), comprobaron que el almidón constituía entre el 68- y 73% del grano en 20 variedades graníferas y azucaradas.

El almidón comprende el 83% del endospermo, el 13.4% del gérmen y el 34.6% del afrecho, Hubbard et al, 1950, citados por Wally Blessin. (30).

Deatherage et al, citados por Wally Blessin (30), concluyeron en 1955, que en las variedades normales de sorgo granífero, el contenido de amilosa en el almidón oscila entre 23 y 28% y que el resto del almidón es amilopectina.

En 1975, Wall y Blessin (30) afirmaron que el sorgo tiene muchas proteínas que presentan distintas propiedades físicas, actividades biológicas y valores nutritivos. En el grano de sorgo predominan las prolaminas, siendo las glutelinas la segunda fracción proteica en importancia. La Kafirina es la proteína más abundante en este grano y su valor nutritivo es bajo, lo que hace que el sorgo tenga también poco valor nutritivo.

En cuanto al desarrollo y distribución de las proteínas en el grano, se tiene que en el gérmen y la cáscara abundan las albúminas y globulinas, mientras que en el endospermo las más abundantes son las prolaminas.

Glueck y Rooney (12), en 1978, consignaron que las proteínas del grano de sorgo se encuentran en forma de matriz, que la matriz de proteína consta principalmente de glutelinas y prolaminas y que las prolaminas existen en pequeñas esferas llamadas cuerpos de proteínas.

En 1971, Rooney (26), señaló que la proteína del grano de sorgo, como las de otros cereales, es deficiente en los aminoácidos lisina, treonina, triptofano y metionina. Así mismo, el contenido de proteína está negativamente correlacionado con el rendimiento en grano.

Por su parte, Schelling (28) reportó en la variedad TAM 680 que los aminoácidos más limitantes en orden de creciente son lisina, histidina, fenilalanina, metionina, treonina, triptofano, leucina, arginina, valina e isoleucina.

Kirleis (17), asentó que las proteínas del arroz, maíz y trigo son mucho más digeribles que las del sorgo, en niños (66-81% contra 46%). Sin embargo, consignó que las proteínas del sorgo tienen una alta digestibilidad (78-100%) cuando no son cocidas, pero después de cocerse, la digestibilidad cae a un 45-55%.

Cuadro 1. Composición aproximada del grano de diferentes cereales.

Cereal	Proteína C %	Grasa C%	Carbohidratos Solubles (%)	Fibra Cruda C%	Materia Mineral (%)
Trigo	16	2.9	74.1	2.6	1.8
Maíz	11.1	4.9	80.2	2.1	1.7
Sorgo	12.4	3.6	79.7	2.7	1.7
Mijo	13.6	5.4	77.9	1.3	1.8
Centeno	13.8	1.4	79.7	2.6	2.2
Cebada	11.8	1.8	78.1	5.3	3.1
Arroz	9.1	2.2	71.2	10.2	7.2
Avena	11.6	5.2	69.8	10.4	2.9

Fuente: Technology of Cereals with special reference to wheat. Kent, N.L. 1975.

ESCUELA DE AGRICULTURA  
BIBLIOTECA



Leach citado por Wall y Blessin (30), en 1965, indicó que al calentarse en agua los gránulos de almidón sufren un proceso de gelatinización o ruptura de su organización interna, pierden su birrefringencia, absorben agua y se vuelven furgentes. En el almidón de sorgo, la gelatinización se produce entre los 68 y 76°C mientras que en el almidón de maíz, este proceso ocurre entre los 62 y 72°C.

De acuerdo con Wall y Blessin (30), la ruptura de la cadena de almidón por medio de enzimas, es más rápida cuando el gránulo está gelatinizado.

Heusdens y King, citados por Wall y Blessin (30), reportaron en 1963, que cuando la semilla de sorgo es almacenada por más de un año, la temperatura de gelatinización del almidón aumenta de 1 a 3°C.

#### Fenoles.

De acuerdo con Wall y Blessin (30), los fenoles comprenden muchos compuestos orgánicos aromáticos como flavonoides, glucósidos cianogénicos, taninos y lignina. Los compuestos fenólicos contribuyen al sabor y color de los alimentos y piensos derivados del sorgo. Los colores que imparten los pigmentos fenólicos se pueden transferir a la sémola resultante de la elaboración en seco, así como al almidón y al gluten durante el procesamiento húmedo.

Un grupo de precursores de pigmentos flavonoides sin color, denominados leucoantocianinas o antocianógenos, pueden ser los responsables de la aparición de pigmentos durante la industrialización del grano, cuando éste no contiene taninos, ya que según Cejudo (4), 1978, los fenoles no taninos pueden coincidir con una alta actividad enzimática y producir pigmentos, obteniéndose productos de mala calidad, por lo cual es conveniente efectuar las determinaciones de contenido de fenoles totales y la cuantificación de la enzima catecol-oxidasa.

De acuerdo al mismo autor, podría suceder que la cantidad de fenoles en sorgo fuera muy reducida, pero existiera una gran actividad catecolasa; si una línea de este tipo es usada para hacer mezclas con otros cereales que tuvieran fenoles, habría una formación de pigmentos producidos por obscurecimiento enzimáticos. En el caso de que no existieran taninos y la actividad enzimática fuera reducida, pero se presentara gran cantidad de menofenoles, habría que evitar la formación de complejos con los metales pesados, en especial el hierro y el aluminio, los que por razones de obscurecimiento - - -

<sup>1</sup> Particularidad de producir una refracción doble, o sea que de un rayo incidente dan dos rayos refractados.

no enzimático, también formarían pigmentos que bajarían la calidad o aceptación del producto terminado.

Pero el compuesto flavonoide más importante en el procesamiento del grano de sorgo, son los taninos. En 1962, Swain y Bate-Smith, citados por Cejudo (4), los definen como compuestos fenólicos con pesos moleculares entre 500 y 3000, con las propiedades químicas clásicas de los fenoles (como dar coloraciones verdes y oscuras con las sales de hierro y aluminio) y con la capacidad de precipitar alcaloides y proteínas.

Se clasifican en hidrolizables y condensados, los primeros son poliésteres de ácido gálico o elágico con azúcar (glucosa), los cuales se hidrolizan fácilmente por medios químicos o enzimáticos; Cejudo (4), los segundos, se forman por polimerización de las catequinas o antocianidinas constituyendo la parte principal de los taninos de maderas y cortezas, no se conoce completamente su estructura.<sup>1</sup>

Por su parte, Doggett (6), en 1981, consignó a los taninos como responsables de hacer al grano astringente y no palatable especialmente en el estado inmaduro. Según el mismo autor, los altos niveles de taninos, dan como resultado una baja digestibilidad y reducen el nivel de eficiencia proteica.

En algunas variedades de sorgo, la astringencia disminuye cuando el grano alcanza la madurez, hasta el punto en que casi desaparece. Tales sorgos pueden ser transformados en harina y ser usados en alimentación humana en forma normal, aunque el producto no deja de ser de color obscuro.

En algunas regiones africanas, donde predominan los sorgos de grano color café, la cerveza constituye la forma de aprovechar el grano para alimentación humana.

<sup>1</sup> Ing. Juan Carlos Aguirre Torres. Encargado del Depto. de desarrollo Rural, Esc. de Agricultura, Universidad de Guadalajara, Comunicación personal. 1983.

## Métodos de Predicción de Calidad en Variedades de Sorgo.

Debido a los problemas de aceptación de los productos alimenticios hechos de grano de sorgo, ocasionados por los fenoles y en especial por los taninos, que muchos genotipos los contienen en altos niveles, han sido desarrollados algunos métodos para determinar la cantidad de estos pigmentos en el grano y poder predecir el comportamiento de diferentes tipos de sorgos en la elaboración de alimentos.

Burns et al (3), en 1971, establecieron un método para determinar taninos, utilizando vainillina y ácido clorhídrico diluido en metanol.

Maxson y Rooney (18), en 1972, hicieron una modificación al método vainillina-HCl, utilizando HCl al 1% en metanol, en lugar de metanol puro y agitando las muestras por 24 horas, en lugar de agitaciones ocasionales, como recomendaba el método original.

Por su parte en 1977, Price y Butler (25) hicieron notar con respecto al método de vainillina-HCL, que el extracto interfiere en la absorbancia de la reacción con vainillina, por lo que recomendaron hacer una lectura de absorbancia del extracto sin vainillina y usarlo como blanco para restarla a la absorbancia obtenida en la reacción. En 1977 desarrollaron el método de formación del Complejo Azul de Prusia para determinar fenoles en sorgos blancos.

Cejudo (4), en 1978, consignó que el método de Azul de Prusia presentaba diversas ventajas, tales como tiempo corto de extracción (1 Min.), por lo que esta prueba es un buen estimador del contenido de fenoles para mediciones rápidas; el método requiere de una pequeña cantidad de muestra para realizar la prueba y además, la variación de colores desde amarillo hasta azul, dependiendo de la cantidad de fenoles presentes, que hace posible clasificar a simple vista, variedades de sorgo con bajo, intermedio y alto contenido de polifenoles, utilizando el análisis cuantitativo únicamente en el material seleccionado.

Indicó que el método de vainillina-HCL para determinación de taninos y el método de Azul de Prusia son complementarios, ya que cuando la cantidad de taninos medidos por el método vainillina-HCl, es baja o nula, el método del Azul de Prusia detecta los fenoles totales no taninos que pueden estar en forma de cianidinas o como monómeros simples.

Khan y Rooney (16), propusieron en 1980 una microprueba de álcali para predecir las aptitudes de color de tortilla, en sorgos con pericarpio blanco y sin testa.

Khan et al (16), en 1980, al aplicar la microprueba de álcali a granos de once diferentes tipos de sorgos, obtu-

vieron calificaciones de color de grano significativamente - correlacionados con los valores E, L y b, de la tortilla, -- determinados con el colorímetro Hunterlab MD-25. Señalaron que tal prueba ha servido para identificar genotipos de sorgo, con un potencial para uso en tortillas, inclusive superior al de algunos sorgos centroamericanos, considerados como los mejores sorgos tortilleros. Concluyeron que mediante el método Vainillina-ácido clorhídrico modificado para determinación de taninos, se obtuvieron resultados satisfactorios ya que los niveles de coloración de tortilla, correspondieron con los contenidos de taninos de los genotipos de sorgo estudiados.

#### Elaboración de productos para consumo humano.

En 1977, Sergio y Ruano, citados por Johnson, Rooney y Khan (20) condujeron un estudio entrevistando a familias de Jutiapa, Guatemala; concluyendo que el sorgo es usado en mezclas con maíz, o reemplazando a éste, para hacer tortillas, cuando el maíz escasea.

En 1981, Futrell, McCulloch y Jones (10), llevaron a cabo un estudio en tres poblaciones del sur de Honduras y revelaron que el 29% de las familias de Corpus, el 80% de las familias en Guajinquil y el 37% de las familias en Pavana, utilizaban el sorgo para la elaboración de tortillas, tanto solo como en mezclas con maíz. Asimismo Pitner Lazo y Sánchez (23), consignaron que no todas las variedades de sorgo son propias para la fabricación de tortillas, sino que queda esta particularidad limitada a las variedades Shallú, principalmente, y Kafir secundariamente, usándose esta última en menor proporción junto con la primera únicamente cuando se quiere dar a la masa una mayor consistencia.

Rooney (26), en 1970, consignó que los tipos de sorgo que tienen el mayor potencial para usarse en alimentación humana, son los de color blanco, con endospermo córneo, de color amarillo o blanco.

Pitner, Lazo y Sánchez (23), afirmaron al concluir sus trabajos en 1955, que la masa de sorgo se puede obtener mediante el mismo procedimiento que se sigue para obtener la de maíz; que el producto resultante, la masa, tiene las mismas características con ambos cereales y que las tortillas de sorgo tienen un sabor casi idéntico que las de maíz.

Más tarde, en 1978, Nolasco, citado por Khan et al (21), al trabajar con la variedad NGA-740, concluyó que los sorgos de endospermo harinoso producen masa pegajosa y que por lo tanto son indeseables para la producción de tortillas. Asimismo, trabajó con sorgos cerosos y llegó a la conclusión de que resultan indeseables por tornarse pegajosos y gomosos durante la elaboración de la tortilla. Consignó que los sor

gos centroamericanos criollos poseen buen potencial tortillero, por proporcionar un producto de buen color, sabor y elasticidad, recomendando la variedad PESPIRE

Khan et al (16), indicaron que el tiempo de cocción y las propiedades de molienda del sorgo, son afectadas por el tamaño, textura y estructura del grano, los sorgos -- con grano córneo, requieren un tiempo de cocción más largo -- que el que necesitan los granos suaves harinosos. Tanto los sorgos café como los sorgos rojos producen tortillas de color obscuro inaceptable. También señalaron que los sorgos -- centroamericanos criollos, sin testa, con pericarpio blanco produjeron tortillas de color claro y consideraron que poseen buen potencial para ser usados en la fabricación de tortillas.

Mencionaron que en cuanto al efecto de las características del grano de sorgo, sobre las propiedades tortilleras, el -- más significativo fué sobre el color de las tortillas.

Futrell, McCulloch y Jones (10), reportaron en -- 1981, de sus estudios realizados en Honduras, que las tortillas integrales de sorgo eran inferiores a las de maíz en -- cuanto a textura, sabor y apariencia pero que la mezcla 50%-sorgo-50% maíz, producía una gran mejora en estas propiedades a tal grado que la gente opinaba que dichas tortillas tenían aceptación casi igual a las de maíz.

En 1981, Iruegas, Cejudo y Guiragossian (14), llevaron a cabo la evaluación de diversos genotipos por su aptitud tortillera y señalaron que las líneas M-62724 y M-62588 -- produjeron tortillas aceptables 100% de sorgo, por su bajo -- contenido de taninos y fenoles, en cuanto a color tuvieron -- los valores más altos, próximos a los de maíz blanco (testigo). Sus determinaciones organolépticas indicaron buena aceptación.

La línea M-62499, a pesar de tener bajos contenidos de taninos y fenoles y color de grano aceptable, produjo tortillas inaceptables organolépticamente, por razones aún desconocidas.

La línea SEPON-78 y la variedad RTAM-428 produjeron tortillas inaceptables por su gran contenido de fenoles. Entre -- las variedades probadas, tales genotipos registraron los valores más bajos de color y sus propiedades organolépticas -- fueron pobres.

En 1979, Scheuring y Rooney (29), señalaron que -- el perlado<sup>1</sup> puede incrementar la calidad de color, textura y cocción de los alimentos hechos del grano y que ese procedimiento puede ser efectuado con una perladora de cebada o en un molino de arroz.

En 1979 Johnson, Rooney y Khan (15) reportaron que

<sup>1</sup> Remoción de las capas de salvado de los granos de cereales

un sorgo rojo perlado, micronizado, produjo tortillas que -- fueron considerablemente más claras en color que aquellas hechas de granos rojos íntegros. Consignaron que mediante el uso de la micronización<sup>1</sup> el grano de sorgo común, con pericarpio obscuro, podría ser utilizado en la producción de -- tortillas.

Asimismo, señalaron que si la micronización fuera empleada -- para producir harina para tortillas, el proceso sería más rápido y económico pues se evitaría el tiempo tan largo de cocción y secado del método ordinario de producción de harina -- nixtamalizada.

Consignaron, que el uso de grano de sorgo perlado micronizado, probablemente permitiría un nivel de sustitución mayor de maíz por sorgo en la elaboración de tortillas.

En 1981, Betancourt<sup>2</sup> opinó que la yuca podría contribuir a obtener, una tortilla de sorgo-yuca con buenas características organolépticas y de color.

Otros factores que afectan la calidad del grano y sus productos.

En 1980, Khan et al (16), reportaron que el color de las tortillas es afectado por las condiciones de cultivo y ambientales. Las condiciones prevalecientes durante la maduración del grano y antes de la cosecha son determinantes -- en la calidad del grano y sus productos.

La alta humedad, lluvia y condiciones moderadamente cálidas por un período de tres semanas, fomentan el intemperismo del grano. Durante el intemperismo, los polifenoles penetran desde las glumas hasta el interior del grano, lo cual produce -- que el grano se manche. Aunado a esto, los mohos atacan al grano y probablemente estimulan la proliferación de polifenoles.

De esta forma, los granos de sorgo contienen cantidades suficientemente grandes de polifenoles, los cuales son activados por el álcali (cal) para dar el color verdoso, observado en las tortillas.

Frederiksen y Castor (8), consignaron en 1981, que existen principalmente dos agentes que afectan la calidad del grano, mohos e intemperismo. El moho es una de las enfermedades más importantes en sorgo, ocurre antes de la maduración, resultando de la infección de la cariopsis en desarrollo (tan

2 Dr. Alberto Betancourt, investigador en el Programa de sorgo en el Centro Agrícola Experimental de los Altos de Jalisco (CAEAJAL), INIA, CIAB, Comunicación Personal.

1 Proceso mediante el cual se calienta el grano con llama de gas infrarrojo hasta casi el punto de eversión, pasándose -- después el grano a través de rodillos de acero corrugado.

pronto como ocurre la antesis) por hongos parasíticos. Los hongos responsables son Fusarium moniliforme, Curvilaria lunata y otros hongos de menor importancia.

El intemperismo es la deterioración del grano que ocurre después de la madurez, resultando de interacciones entre factores ambientales y biológicos. Los hongos más comunes asociados con la deterioración por intemperismo son: Fusarium semitectum y Alternaria spp.

El tipo de daño causado por estos dos problemas incluye decoloración y mohosidad del grano, degradación del endospermo, reducción del llenado de grano, reducción de la germinación y producción de micotoxinas en el grano.

Guiragossian (13), señaló en 1981, que los genotipos de sorgos que vayan a ser usados para consumo humano directo, deberán además de ser rendidores, estables y de tipo adecuado para consumo humano poseer resistencia a los mohos del grano. Se han identificado ya, fuentes estables de resistencia al ataque de Curvilaria lunata y Fusarium semitectum.



ESCUELA DE AGRICULTURA  
BIBLIOTECA

## CAPITULO III MATERIALES Y METODOS

### A. Materiales

#### Materiales genéticos.

Las variedades de sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench, utilizados en este estudio, fueron evaluados a través del "Ensayo de rendimiento de variedades de sorgo en regiones tropicales bajas", que fué cultivado en Ocotlán, Jal., en el ciclo Primavera-Verano de 1981, bajo condiciones de temporal.

El ensayo corresponde al programa de colaboración entre el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), el Instituto Internacional de Investigación en Cultivos para Trópicos Semiáridos -- (ICRISAT) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Incluyó 28 variedades de grano claro (ver cuadro 2), que proviene de generaciones  $F_4$  de un grupo de cruzas simples y triples avanzadas a  $F_5$  aunque en algunos casos fueron derivados de pruebas multilocacionales llevadas a cabo por el ICRISAT en Hyderabad, India.

El testigo, fué el híbrido comercial PUREPECHA de grano blanco perlado, que tiene buen rendimiento y su comportamiento en la elaboración de tortillas es aceptable, cuando se le mezcla con el maíz.

#### Mezclas.

Para producir las tortillas mixtas sorgo-triticale se utilizó semilla de la variedad "Cananea TCL 79", la cual fué proporcionada por el Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste (CIANO). "Cananea" es una variedad de reciente liberación, con buenas propiedades de panificación y aptitud para la preparación de otros productos alimenticios como galletas y tortillas de harina.

Las mezclas sorgo-yuca se efectuaron con harina de una variedad de yuca criolla, de color blanco y clasificada como dulce.

Para las mezclas sorgo-maíz, se dispuso de harina nixtamalizada de maíz (MINSA) y grano de la variedad ZOAPILA, que es un maíz blanco que produce tortillas de color blanco y excelentes propiedades organolépticas.

#### Equipo de Laboratorio.

Microprueba para predecir las aptitudes de color de tortillas de sorgos con pericarpio blanco sin testa. Khan y Rooney (16).

Este método está basado en el color desarrollado por el grano, debido a la presencia de polifenoles, cuando es sometido a calentamiento en la presencia de hidróxido de sodio.

En esta se utilizaron los siguientes materiales: Tubos de ensayo de 30 ml. pipetas volumétricas de 1 ml. "baño maría" mecheros, cronómetros, toallas de papel absorbente. Reactivos: Hidróxido de sodio.

CUADRO 2. GENEALOGIA Y ORIGEN DE LAS 28 VARIETADES DE SORGO EVALUADAS

NO. VAR.	GENEALOGIA	ORIGEN <sup>a</sup>	
1	(IS12611xSC108-3)-1-1-2-1	Zac.	81A 1530
2	" 1-2-1	"	" 1531
3	" 4-4-8	"	" 1533
4	" 7-2-1	"	" 1534
5	(TAM428xE35-1) -2-1	"	" 1536
6	(GPR168x170-6-17)-1-1	"	" 1538
7	(GPR158xE35-1)4-1xCS3541)5-1-2	"	" 1543
8	IS12611x(bulk-yxGPR165)-4-3)8-2-4	"	" 1544
9	(2Kx17-1) (SC108-3xSC3541)-3-1) -1-1	"	" 1545
10	(CS3541xET2039)-11-2x(SC-108-3) (GPR148)-12-10)-42-1-1	"	" 1547
11	M90360	SEPON TL	81A-729
12	M90608	SEPON	735
13	2027	D.T.	56 - 759
14	SEPON 80-6	SEPON	766
15	SEPON 80-83	"	778
16	M 63656	"	849
17	D 71443	ICRISAT	JSDRON 29-1131
18	D 71444	"	" 30-1132
19	D 71205	"	" 31-1133
20	D 71448	"	" 33-1135
21	M 36285 (SC108XE35-1)	PR 81A	61-61
22	M 50009	"	" 190-195
23	M 62641 (SC108XCS3541)E-1S-5	"	" 215-222
24	M 63594 (SC108XS3541)-19	"	" 313-318
25	M 50013 (S.B.)	"	" 432±435
26	SEPON 78 (Bulk)	"	" 453-466
27	SEPON 77	"	" 480-489
28	M 90975	"	" 725-726
29	Hibrido INIA-Purépecha (Testigo)	INIA	

Determinación de fenoles en sorgos blancos por el método de formación de Complejo Azul de Prusia.

Se basa en la propiedad que tienen los fenoles de reducir el cloruro férrico a cloruro ferroso, el cual reacciona con el ferricianuro de potasio, dando el complejo ferrocianuro férrico-potásico, conocido como Azul de Prusia, soluble.

Equipo: Matraces Erlen Meyer de 125 ml, probetas graduadas de 50 ml., -- pipetas volumétricas de 1 y 3 ml., vasos de precipitados de 250 ml., matraces volumétricos de 100 ml, tubos de vidrio para centrifuga de 10 ml, tubos para colorímetro Bausch & Lomb, frascos de vidrio color "ámbar" de 500 ml, colorímetro Bausch & Lomb Spectronic 20, agitador rotatorio G-10 (Precisión instruments), centrifuga IEC mod. K, 3/4 H.P., balanza analítica (0.1 mg. precisión), molino tipo ciclón UDY con malla 0.4 mm, papel parafilm.

Reactivos: Metanol, Solución ácida de cloruro férrico 0.01 M; Solución -- ácida de cloruro férrico 0.01 M; Solución de ferricianuro de potasio, -- 0.0008 M; ácido tánico (Baker 0377).

Determinación de taninos por el método Vainillina - Acido clorhídrico.

Mide el contenido de taninos condensados, como son catequinas- y leucoantocianidinas.

Equipo: Matraces Erlen Meyer de 125 ml, probetas de 50 ml, pipetas volumétricas de 1 y 5 ml, vasos de precipitados de 250 ml, matraces volumétricos de 100 ml, tubos de vidrio de 10 ml, para centrifuga, tubos para colorímetro Bausch & Lomb, colorímetro Bausch & Lomb (Spectronic 20), -- agitador rotatorio mod. G-10 (Precision Instruments), centrifuga IEC mod. K (3/4 H.P.), balanza analítica (Precisión 0.1 mg. molino tipo ciclón - UDY con malla 0.4 mm, papel parafilm.

Reactivos: Mezcla de extracción (HCl en metanol al 1%), Solución A (HCl en Metanol al 8%), Solución B (Vainillina en metanol al 4%), Solución C - HCL en metanol al 4%), catequina tetrahidratada (NBC 101295).

Método de elaboración de tortillas.

El proceso de elaboración de tortillas, tiene como finalidad - estudiar el comportamiento del grano durante la nixtamalización, así como también evaluar las características de las tortillas producidas.

Equipo: Balanza granataria marca Ohaus, vasos de precipitados de 600 ml, extractor de fibra cruda con sistema de enfriamiento marca Precisión - Scientific, CO., cronómetros, vidrios de reloj; molino de piedra con motor de 1 H.P. en 8 polos 850 r.p.m. estructura de acero inoxidable, piedras con diam. 6", espesor 2.5"; tortilladora semimanual; estufa de gas con plancha metálica de 61 cm., de largo, 30 cm., de ancho y 2.3 cm., al tura.

Reactivos: Óxido de calcio.

Determinación de color en tortillas, mediante reflectometría.

Equipo: Colorímetro digital "Hunter Lab MD-25".

Este aparato mide el color de superficies planas, como se ve -

rían a la luz del día. Los valores del color son leídos directamente en tres escalas digitales: "L", "a" y "b". La escala "L" mide brillantez y varía de 100 para el blanco perfecto a cero para el negro, la escala "a" mide rojos en la parte positiva (+a) y verdes en la parte negativa (-a), la escala "b" mide amarillos en la parte positiva (+b) y azules en la negativa (-b). Con estas escalas es posible representar los colores de la muestra por la posición de un punto en un sistema de coordenadas en tres dimensiones.

## B. Métodos.

Diseño experimental y procedimientos de campo.

Los materiales genéticos experimentales fueron -- evaluados por rendimiento a través de un Diseño en Bloques al Azar con 3 repeticiones, procediéndose a efectuar el análisis de varianza respectivo y la Prueba de Duncan para comparación de medias.

Los datos tomados fueron rendimiento en grano, -- días a floración, altura de planta, excursión<sup>1</sup> longitud de panoja tipo de panoja. Además, el material se calificó por su reacción a las principales enfermedades de la región de estudio, como son Fusarium, Mildiú, Roya y Tizón foliar; la calificación se llevó a cabo de acuerdo con las siguientes -- escalas propuestas por Frederiksen y Rosenow (9).

### Putridiones del Tallo (Fusarium moniliforme)

- 1.- Entrenudos total o parcialmente decolorados sin penetración al área nudosa.
- 2.- Penetración de un nudo, pero no más de dos entrenudos, -- afectados, debe haberse diseminado por lo menos a través de un entrenudo.
- 3.- La infección ha pasado a través de 2 ó más entrenudos.
- 4.- Invasión extensa de la planta, pero no hay muerte de la misma.
- 5.- Muerte de la planta debido a la pudrición del tallo.

### Enfermedades foliares (Roya y Tizón foliar)

- 0 - Evaluación no posible.
- 1 - Resistente. Enfermedad no presente, si está presente es ocasionalmente.
- 2 - Enfermedad presente (más del 50% de plantas infectadas -- con baja severidad; aparentemente causando pequeño daño económico.
- 3.- Enfermedad severa (100% de plantas infectadas, área foliar destruída estimada del 25%, la enfermedad es de importancia)

<sup>1</sup> Distancia que existe entre el nudo de la hoja bandera y la base de la panoja.

- 4 - Lo mismo que en el punto anterior, pero con más del 25% del área foliar destruida.
- 5 - Muerte de las hojas o plantas debido a la enfermedad.

La incidencia de Mildiú se cuantificó determinando el porcentaje de plantas infectadas (se hicieron conteos). Por último se calificó el material por acame, siguiendo la Escala Internacional de CIMMYT que a continuación se describe:

- 0 - Evaluación no posible.
- 1 - 0-2% plantas afectadas
- 2 - 3 - 10% plantas afectadas
- 3 - 11 - 30% plantas afectadas.
- 4 - 31 - 70% plantas afectadas.
- 5 - 71 -100% plantas afectadas.

#### Métodos físicos de análisis del grano.

Se llevaron a cabo en las instalaciones de Producto ra Nacional de Semillas (PRONASE), en Guadalajara, Jal. Se tomó una muestra de 0.5 Kg. de semilla de cada una de las variedades de estudio.

#### Preparación de la muestra.

Se limpiaron los granos de sorgo, quitándoles las glumas y se asignó un número de laboratorio a cada variedad.

#### Peso de mil granos.

Se tomó una muestra al azar de 200 granos, para determinar su peso en una balanza analítica, se calculó posteriormente el peso de 1000 granos teniendo en cuenta su contenido de humedad.

#### Tamaño de grano.

Se determinó en base a los siguientes rangos:

- 8 - 10 mg = grano pequeño.
- 11 - 24 mg = grano mediano.
- 25 - 35 mg = grano grande.

Para los cálculos se tomó el dato de peso de 200 granos y se dividió entre 200.

#### Determinación de la presencia de testa.

En forma manual con una navaja, se eliminó el pericarpio y se descubrió el grano para observar si existía o no una capa altamente pigmentada (testa).

### Determinación de humedad.

Se trituro el grano en molino UDY y se desecó una muestra de 0.5 gr. de cada variedad.

De las 28 variedades de sorgo que originalmente con formaban el material de estudio, se seleccionaron 10 por rendimiento, comportamiento en campo y características físicas del grano.

Las diez selecciones se trasladaron al laboratorio de Tecnología de Alimentos de INIA, en Chapingo, México, con el objeto de evaluar su potencial tortillero. Para ello se realizaron pruebas físico-químicas que pueden clasificarse en dos etapas; las primeras denominadas predictivas que incluyeron la prueba álcali y análisis de fenoles y taninos y las pruebas finales que abarcaron el proceso completo de nixtamalización, elaboración de tortillas, determinación de color y análisis sensorial de los productos.

### Métodos de predicción de aptitud tortillera.

Microprueba para predecir las aptitudes de color de tortilla de sorgos con pericarpio blanco y sin testa.

- 1) Se colocaron 5 granos limpios, sin manchas en tubo de ensayo.
- 2) Se adicionó 1 ml., de agua y 2 perlas de hidróxido de sodio.
- 3) El tubo fué colocado en baño maría a temperatura de ebullición, durante 2 horas.
- 4) Se retiró el grano del tubo y se colocó sobre toallas de papel con la finalidad de secarlo y efectuar la observación visual, sobre una superficie blanca.

### Interpretación:

En esta prueba es posible determinar cinco diferentes tipos de respuesta que corresponden a la siguiente escala de colores y valor codificado de selección; seleccionando se los valores del código 1 y 2.

COLOR	CODIGO
Crema o amarillo claro	1
Amarillo	2
Café claro	3
Rojo ladrillo	4
Morado	5

Determinación de fenoles en sorgos blancos por el método de formación del Complejo Azul de Prusia.

Este método permitió seleccionar los genotipos con-

un contenido fenólico menor a 0.40 mg<sup>1</sup> de ácido tánico/gr. - sorgo.

- 1) Se molió el grano de sorgo, mediante un molino UDY, tipificación con malla 0.4 mm.
- 2) Se pesó 0.5 gr. de harina de sorgo por cada variedad, colocándola en un matraz Erlen Meyer de 125 ml.
- 3) Se agregaron 25 ml. de metanol a cada matraz, se cubrieron los tapones de hule con papel parafilm y se taparon los matraces, se agitaron los matraces durante 2 1/2 horas.
- 4) Se centrifugaron 6 ml. de la muestra, en tubo de vidrio-10 ml., a 3000 X G, durante 10 minutos.
- 5) Se tomó una alícuota de 1 ml. del sobrenadante en un matraz Erlen Meyer, se agregó agua destilada (50 ml).
- 6) Se agregaron 3 ml. de la solución de FeCl<sub>3</sub> 0.01 M y 3 ml. de K<sub>3</sub>Fe (CN)<sub>6</sub> 0.0008 M, cronometrando el tiempo de reacción.
- 7) A partir del instante en que se adicionó la primera solución, se cronometraron 10 minutos para efectuar las lecturas de absorbancia en el colorímetro Bausch & Lomb a -- una longitud de onda de 720 nm.
- 8) Para ajustar al 100% de transmitancia en el colorímetro, se preparó un blanco, substituyendo 1 ml. de metanol por el sobrenadante obtenido de la extracción con metanol y procediendo en igual forma como en la muestra.

#### Curva Patrón.

Se preparó una curva patrón disolviendo 0.100 g. de ácido tánico en metanol hasta 100 ml., para obtener una concentración de 1.0 mg/ml. De esta solución se tomaron 10 ml. y se diluyeron para obtener un volumen de 100 ml, con metanol, obteniéndose así una concentración de 0.1 mg/ml. Con esta solución se prepararon once tubos conteniendo diferentes concentraciones.

TUBO	DILUCION	METANOL	CONCENTRACION (mg/ml)
0	0	10	0.00
1	1	9	0.01
2	2	8	0.02
3	3	7	0.03
4	4	6	0.04
5	5	5	0.05
6	6	4	0.06
7	7	3	0.07
8	8	2	0.08

<sup>1</sup> Héctor Cejudo, encargado del Lab. de Tecnología de Alimentos, INIA, Chapingo, Mex., Comunicación personal. 1982.

9	9	1	0.09
10	10	0	0.10

Se tomó 1 ml., de cada tubo, se transfirió a un matraz Erlenmeyer de 125 ml, se agregaron 50 ml. agua, 3 ml. de  $\text{FeCl}_3$  0.01 M y 3 ml. de  $\text{K}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  0.0008 M. Se dejó reaccionar por 10 minutos y se leyó a 720 nm

Se obtuvo la línea de regresión de la curva patrón, usando las concentraciones en el eje "Y" y las absorbancias en el eje "X", se calculó la ordenada al origen y la pendiente.

$$\text{mg de ácido tánico/g de sorgo} = \frac{A - a \times 100,000}{b \times 20 (100 - \% \text{Hum})}$$

en donde:

A = Absorbancia de la muestra

a = Ordenada al origen.

b = Pendiente.

1000 = Peso de la muestra en mg.

20 = Dilución, 20 mg de sorgo/ml.

$$\text{mg Ac. tánico/g. sorgo} \times 20 (100 - \% \text{Hum}) = \frac{A - a}{b} \times 100,000$$

Determinación de taninos por el método vainillina ácido clorhídrico modificado.

Este método permitió seleccionar los sorgos con un contenido menor a 0.05 equivalentes de catequina.<sup>1</sup>

- 1) Se pesó 0.5 g. de harina de sorgo de cada variedad, colocándola en un matraz Erlenmeyer de 125 ml.
- 2) Se agregaron 25 ml. de la mezcla de extracción (HCl en metanol al 1%), se cubrieron los tapones de hule con papel parafilm, se taparon los matraces y se agitaron durante 2 horas y 30 minutos.
- 3) Se centrifugaron 6 ml. de la muestra en tubo de vidrio de 10 ml. a 3000 X G durante 10 minutos.
- 4) Se tomaron dos alícuotas de 1 ml. del sobrenadante (por cada variedad), colocándolas en tubos para el colorímetro Bausch & Lomb, para ser usados, uno en la reacción con vainillina y otro en el blanco.
- 5) Se preparó la mezcla de reacción usando las soluciones A y B en proporción 1:1. esta mezcla se hizo inmediatamente antes de ser usada, pues su color se puede alterar de claro a amarillento, por oxidación.
- 6) Se preparó la mezcla para el blanco usando las soluciones A y C en proporción 1:1.
- 7) Se agregaron 5 ml., de la mezcla de reacción (A y B) a --

<sup>1</sup> Héctor Cejudo G. Encargado del Laboratorio de Tecnología de Alimentos de INIA, Chapingo, Mex., Comunicación personal. 1982.

uno de cada par de tubos conteniendo sobrenadante, se cronometró el tiempo de reacción.

- 8) Se agregaron 5 ml. de la mezcla (A y C) para el blanco, - al otro tubo restante.
- 9) A partir del instante en que se adicionaron las mezclas, - se cronometraron 20 minutos para efectuar las lecturas -- de absorbancia en el colorímetro Bausch & Lomb a una longitud de onda de 500 nm
- 10) La mezcla de reacción (solución (A y B) fué usada para -- ajustar el 100% de transmitancia en el colorímetro, antes de hacer las lecturas.
- 11) Las lecturas de las diez muestras y sus blancos, se efectuaron agregando las mezclas de reacción y mezclas para - los blancos con intervalos de 30 segundos a cada tubo con teniendo la alicuota del sobrenadante.

#### Curva Patrón.

Se preparó una curva patrón disolviendo 100 mg. de catequina en 50 ml. de metanol. Se tomaron 10 ml. de esta -- solución y se diluyeron a 100 ml. en metanol. Con esta dilu ción se prepararon once tubos con diferentes concentraciones

TUBO	DOLUCION (ml)	METANOL (ml)	CONCENTRACION (mg/ml)
0	0	10	0.00
1	1	9	0.02
2	2	8	0.04
3	3	7	0.06
4	4	6	0.08
5	5	5	0.10
6	6	4	0.12
7	7	3	0.14
8	8	2	0.16
9	9	1	0.18
10	10	0	0.20

De cada tubo se tomó 1 ml y se agregaron 5 ml de la mezcla de reacción (solución A y B en proporción 1:1), esto se hizo por duplicado y se leyó a 500 nm después de 20 minutos de reacción.

Se obtuvo la línea de regresión de la curva stan- - dard, colocando las concentraciones en el eje "Y" y las ab- - sorbancias en el eje "X", se calculó la pendiente.

$$\frac{5}{b} (\text{DOC}) = E_c \cdot x \cdot \frac{100}{(100 - \% H)} \quad b = \frac{E \cdot X \cdot Y - \frac{E \cdot X \cdot E \cdot Y}{N}}{E \cdot X^2 - \frac{(E \cdot X)^2}{N}}$$

en dónde:

DOC = Densidad Optica corregida = D.O. Muestra- D.O: Blanco

b = pendiente.

%H = por ciento de Humedad de la muestra

E<sub>c</sub> = Equivalentes de catequina.

Nota: D.O.C. con valor negativo indica la ausencia de taninos, o que el valor del blanco es mayor que la D.O. - con vainillina que puede, ser atribuido a la presencia de -- otros compuestos que no son taninos.

Método de elaboración de tortillas.

Procedimiento:

- 1) Se pesaron 150 g. de grano de cada variedad y se depositaron en un vaso de precipitado de 600 ml.
- 2) Se adicionaron 300 ml. de agua y 1.5 g de óxido de calcio (cal).
- 3) Se colocaron los vasos en el extractor de fibra cruda modificado. El tiempo de cocimiento se empezó a contar en el momento en que se inició la ebullición. Se mantuvo la ebullición durante 30 minutos y se retiró el vaso de la fuente calefactora.
- 4) Se taparon los vasos con un vidrio de reloj y se dejó en reposo aproximadamente durante 17 horas.
- 5) Se separó el agua de cocimiento (nejayote) y se lavó el grano con agua.
- 6) Se molió el grano en el molino de piedra, agregando pequeñas cantidades de agua.
- 7) La masa obtenida se amasó con agua, hasta obtener una consistencia apropiada para la elaboración de tortilla.
- 8) Se pesaron porciones de 25 g y se formaron las tortillas usando una tortilladora semimanual.
- 9) Se colocaron las tortillas en la plancha caliente con una temperatura aproximada de 180°C y se cocieron durante 1 minuto por un lado, se voltearon para cocinar el otro lado durante 30 segundos y finalmente se volteó la tortilla para formar la ampolla.

Método para determinación de color de la tortilla.

Procedimiento:

- 1) Se calibró el aparato de acuerdo a los valores "a", "b" y "L" del patrón de color más próximo al color de la muestra problema.
- 2) Se colocó la tortilla en el recipiente que acompaña al colorímetro y se efectuaron las lecturas.

Cálculo:

De acuerdo con las escalas citadas anteriormente -- se representó el color de la tortilla de acuerdo con un punto en el sistema de coordenadas, aplicando la siguiente fórmula:

$$E^2 = L^2 + a^2 + b^2$$

Siendo posible usar solo uno de estos valores, cuando interesa solo un color. Este valor obtenido fue comparado con un testigo, tortilla de maíz blanco "ZOAPILA", cuyos va-

lores fueron leídos con anterioridad.

#### Análisis sensorial de las tortillas.

Estudios realizados en el Laboratorio muestran que factores tales como, proporción de cal, tiempo de cocción, temperatura de cocimiento y tiempo de reposo influyen en el comportamiento para cada tipo de maíz, durante la nixtamalización y por consiguiente en las propiedades reológicas de la masa, cuyo comportamiento dará a las tortillas, características organolépticas aceptables o no aceptables.

Las tortillas recién elaboradas fueron colocadas en platos, haciendo su análisis de acuerdo con sus características externas de color, resistencia al doblado y forma. Características internas de color, textura y consistencia, complementando su análisis con las características organolépticas de aroma, sensación en la boca, gusto y sensación después de comer.

Todas estas pruebas fueron realizadas por un equipo de personas previamente entrenadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) y la forma de calificar cada una de las características evaluadas, fué mediante una escala arbitraria del 1 al 5, la cual se describe a continuación.

<u>RANGO</u>	<u>CALIFICACION</u>
0-1.5	Excelente
1.6-2.5	Buena
2.6-3.5	Regular
3.6-4.5	Mala
más de 4.5	Muy mala

#### Obtención de harinas.

De acuerdo con Méndez y Zaragoza (19), la harina de yuca se obtuvo picando en trozos los raíces, los cuales fueron secados al sol en piso de cemento, durante 12 horas-sol, aproximadamente. Una vez seca, la yuca se molió en un molino de mano, del cual se obtuvo un producto final con 12% de humedad.

En cuanto a la harina de triticale, ésta, se obtuvo moliendo el grano de triticale en molino UDY.

#### Elaboración de Mezclas.

Cada una de las diez variedades de sorgo, fué sometida a mezclas con maíz, yuca y triticale, con el fin de incrementar la calidad de la tortilla integral de sorgo. Las mezclas se efectuaron como se muestra a continuación:

MEZCLA	PROPORCION (%)	MATERIA PRIMA
1) Sorgo	75	Harina Nixtamalizada
Maíz	25	Harina Nixtamalizada (MINSa)
2) Sorgo	50	Harina Nixtamalizada
Maíz	50	Harina Nixtamalizada (MINSa)
3) Sorgo	90	Harina Nixtamalizada
Triticale	10	Harina
4) Sorgo	85	Harina Nixtamalizada
Triticale	15	Harina
5) Sorgo	90	Harina Nixtamalizada
Yuca	10	Harina
6) Sorgo	85	Harina Nixtamalizada
Yuca	15	Harina

Los productos de estas mezclas fueron objeto de determinaciones de color y análisis sensorial, en forma similar a la metodología descrita anteriormente.

Determinación de Proteína, Lisina y Triptofano.

Se tomaron muestras de cada una de las 10 variedades de sorgo evaluadas, así como de cada una de las mezclas para determinar estos tres índices. Las determinaciones fueron hechas por personal de Laboratorio de Calidad Proteínica de INIA en Chapingo, Mex.

## CAPITULO IV

## RESULTADOS.

## Análisis de Varianza del rendimiento.

Los cuadros 3 y 4 muestran las diez variedades seleccionadas en forma preliminar, por rendimiento, comportamiento en campo y características físicas del grano. Nótese que el nivel de rendimiento de las 10 variedades, desde el punto de vista estadístico es similar al del híbrido Purepecha utilizado como testigo. (Ver cuadro 9 del apéndice). En el cuadro 4, se puede notar que todas las selecciones poseen grano grande, de color claro, con endospermo de textura intermedia y carecen de testa. Los datos de las variedades no seleccionadas se hallan en el cuadro 10 del apéndice.

CUADRO 3. GENEALOGIA Y RENDIMIENTO DE 10 VARIETADES DE SORGO CULTIVADAS EN OCOTLAN, JALISCO. 1981 T.

No. Var. GENEALOGIA	Rendimiento (Kg/Ha)	No. de Laboratorio
4 (IS 12611xSC108-3) -7-2-1	8536.67 a <sup>1</sup>	4
3 (IS 12611XSC108-3) -4-4-8	8094.00 a	5
9 (2KX17-1) (SX180-3X (CS3541)-3-1)-1-1	7892.00 a	10
19 D-71205	7853. a	8
21 M-36285 (SC108XE 35-1) 5 (GPR 168 X SC 170-6-17) -1-1	7690 b	3
18 D-71444	7269 b	6
2 (IS 12611 X SC108-3) -1-1-2-1	7228.67 b	2
15 SEPON 80-38	7204.33 b	1
23 M 62641 (SC 108 X CS 3541) E 15-5	7187.67 b	9
29 HIBRIDO PUREPECHA	6181.00 b	7
	8215.33 a	

<sup>1</sup> Las variedades relacionadas con la misma letra, son estadísticamente iguales por rendimiento, al 0.05 de probabilidad (prueba de Duncan) C.V. del experimento= 26.8

CUADRO 4. Reacción a las principales enfermedades y características físicas del grano, de 10 variedades de sorgo en Ocotlán, Jal., - - 1981 T.

No. Lab.	Tizón			Peso 1000 granos (gr)	Tamaño Grano	Textura de color		
	Foliar	Roya	Fusarium			Testa	Endospermo	Grano
1	3.0	2.5	1.5	27.4	Grande	A <sup>1</sup>	I <sup>2</sup>	Blanco
2	3.0	3.0	1.5	30.2	Grande	A	"	Perla
3	2.5	2.0	1.5	33.4	Grande	A	"	Blanco
4	2.5	2.0	1.5	36.2	Grande	A	"	Perla
5	2.5	2.0	1.5	30.2	Grande	A	"	Blanco
6	3.0	2.5	1.5	33.4	Grande	A	"	Blanco
7	2.5	2.0	1.5	28.6	Grande	A	"	Blanco
8	3.0	3.0	1.0	34.5	Grande	A	"	Blanco
9	2.5	2.0	1.5	33.5	Grande	A	"	Blanco
10	3.0	2.5	1.5	26.8	Grande	A	"	Blanco

<sup>1</sup> Ausente

<sup>2</sup> Intermedia

Pruebas de Predicción de las propiedades tortilleras de los sorgos.

En la prueba de álcali, como se puede observar en el cuadro 5, siete sorgos resultaron de color amarillo (código 2) y los tres restantes produjeron una coloración entre amarillo y café claro, correspondiendo este matiz a las variedades 3, 8 y 10. La determinación de fenoles, en las diez muestras, arrojó valores de aceptación dentro de los límites establecidos. En cuanto a taninos, se registró ausencia de ellos en ocho muestras y una pequeña concentración de equivalentes de catequina, en los sorgos 1 y 8, (Cuadro 5)

CUADRO 5. Análisis de calidad de 10 variedades de sorgo. Chapingo, México 1982.

No. Lab.	Prueba de álcali (cal).	Fenoles (mg. AT/g sorgo)	Taninos (E.C.)	Selección de Laboratorio
1	2	0.351	0.001	+++
2	2	0.151	0.000	+++
3	2.5	0.249	0.000	++
4	2	0.266	0.000	+++
5	2	0.230	0.000	+++
6	2	0.248	0.000	+++
7	2	0.343	0.000	+++
8	2.5	0.246	0.001	++
9	2	0.284	0.000	+++
10	2.5	0.246	0.000	++

AT = Ac. tánico

EC = Equivalentes de Catequina

+++ Seleccionada por bajo contenido de fenoles taninos y en la prueba de álcali.

++ Seleccionada en 2 de los 3 factores est.

Comportamiento de las 10 variedades de sorgo en la producción de tortillas (Sorgo 100%)

Todos los materiales se comportaron satisfactoriamente en el proceso de nixtamalización. En el análisis sensorial, como se puede apreciar en el cuadro 6, seis variedades produjeron tortillas de excelentes propiedades organolépticas, ya que registraron promedios dentro del rango 0-1.5, -- de la escala respectiva.

En las determinaciones de color de tortilla, los -- sorgos 8 y 3 registraron los promedios (E)<sup>1</sup> más altos, 59.85 y 58.91 respectivamente. Estos valores constituyeron el 90.5 y 89% del valor del testigo (MINSA) que fue de 66.16 -- (Cuadros 7 y 8)

CUADRO 6. Evaluación organoléptica de las tortillas de sorgo 100% y en diferentes combinaciones con maíz, yuca y triticale. Chapingo, Mex. 1982.

No. Var	Sorgo 100%	S 50% M 50%	S 75% M 25%	S 85% Y 15%	S 90% Y 10%	S 85% Tc 15%	S 10% T 10%	MAIZ 100%
1	B	E	E	E	B	B	B	E
2	E	E	E	E	E	B	B	
3	E	E	E	E	E	B	B	
4	B	E	E	E	E	B	B	
5	E	E	E	E	E	B	B	
6	B	E	E	B	E	B	B	
7	B	E	E	E	E	B	B	
8	E	E	E	B	E	B	B	
9	E	E	E	E	E	B	B	
10	E	E	E	E	E	B	B	

E = Excelente  
B = Buena  
S = Sorgo  
M = Maíz  
Y = Yuca  
Tc=Triticale

<sup>1</sup>  $E^2 = a^2 + b^2 + L^2$ ; donde a, b y L constituyen las escalas de coloración del colorímetro.

Cuadro 7. Evaluación colorimétrica de las tortillas producidas con sorgo solo y en mezclas con maíz, yuca y triticale. Chapingo, Mex. - 1982.

No. Var.	Sorgo 100%	S 50% M 50%	S 75% M 25%	S 85% Y 15%	S 90% Y 10%	S 85% Tc115%	S 90% TcL 10%	Maíz 100%
1	54.87 <sup>1</sup>	58.41	57.62	56.93	54.99	50.51	52.47	66.16
2	56.58	59.20	58.08	57.27	55.70	52.27	54.12	
3	58.91	58.50	59.23	57.67	57.57	53.08	54.27	
4	55.75	57.60	57.02	59.32	57.58	50.99	50.73	
5	58.32	58.38	58.57	58.06	58.72	53.66	53.66	
6	55.41	56.92	55.06	55.39	55.52	50.23	51.27	
7	58.55	58.13	58.91	60.59	56.97	52.56	53.86	
8	59.85	59.83	59.94	55.64	57.64	57.94	53.77	
9	57.30	58.60	59.34	59.90	57.88	52.16	53.65	
10	57.40	56.67	55.73	58.31	57.77	51.81	52.00	
$\bar{x}$	57.29	58.22	57.95	57.91	57.01	52.11	52.98	

<sup>1</sup> Valores E. Coloriméto.

El rendimiento en tortillas de 1 Kg de semilla de la variedad D-71205 (8) fué de 72, mientras que la variedad M-36285 (3) produjo 60 -- tortillas y el testigo maíz blanco rindió únicamente 56 tortillas por - Kg. de grano.

#### Mezclas Sorgo-Yuca.

El comportamiento que las 10 variedades de sorgo probadas tuvieron en mezclas con maíz, yuca y triticale, fué diverso. En lo que respecta a características organolépticas, - las tortillas sorgo-yuca, fueron excelentes en ambas proporciones (10 y 15% de yuca); pues solo la variedad 1 en la mezcla 9:1 y la variedad 6 en la proporción 8.5:1.5, resultaron excelentes (Cuadro 6).

En las mezclas sorgo-yuca, la yuca influyó favorablemente en el color de la tortilla. El promedio de las calificaciones (E) de color alcanzadas por las 10 variedades de sorgo probadas en la proporción de 15% de yuca fue de 57.91 mientras que en un nivel de 10% de yuca, las variedades registraron un promedio de 57.01

La variedad 7 en mezcla 85% sorgo-15% yuca, produjo la tortilla de mejor color, con una calificación (E) de 60.59 (cuadro 7).

#### Mezclas Sorgo-Maíz.

En las mezclas sorgo-maíz, todas las variedades produjeron tortillas excelentes en el análisis sensorial aunque-

la diferencia entre las dos proporciones en que se efectuó la mezcla, no fué notable, se observó que la relación 5:5 -- fué ligeramente superior a la 7.5:2.5 Al promediar las calificaciones que las diez variedades de sorgo obtuvieron en cada mezcla, en el análisis sensorial, la mezcla 50% sorgo-50% maíz registró un promedio de 1.3 y la mezcla 75% sorgo-25% maíz, un valor de 1.5 (Cuadro 6).

En cuanto a color de tortilla, el maíz tuvo un efecto mejorador, lo cual se puede observar si se comparan los valores (E) de coloración de las tortillas hechas 100% de sorgo, con los valores (E) de las tortillas sorgo-maíz. Las mezclas 50% sorgo-50% maíz, tuvieron un promedio de valores (E) igual a 58.22 y las mezclas 75% sorgo-25% maíz, un promedio de 57.95. La variedad 8 en la mezcla 75% sorgo-25% maíz, produjo las tortillas de mejor color, con un registro (E) de 59.94 (cuadro 7).

#### Mezclas Sorgo-Triticale.

En las mezclas sorgo-triticale, se produjeron -- tortillas simplemente aceptables organolépticamente ya que en ambas mezclas, los valores de los productos oscilaron entre 1.6-2.5, que corresponden al término de buenas tortillas (cuadro 6).

En todas las variedades de sorgo probadas, se observó un empobrecimiento en el color de tortilla, cuando se llevaron a cabo mezclas sorgo-triticale, obteniéndose los valores más bajos, en la proporción 8.5 sorgo: 1.5 triticale, donde las variedades 1, 4 y 6 alcanzaron apenas registros de 50.51, 50.99 y 50.29, siendo éstas, las peores calificaciones de todo el estudio (cuadro 7) Por otro lado, la presencia del triticale enriqueció el nivel protéico de la tortilla así como los niveles de lisina y triptofano. (cuadro 13 del apéndice).

Cuadro 8. Porcentaje del color de la tortilla de maíz blanco logrado por cada uno de los tratamientos estudiados, Chapingo, Mex. 1982.

No. Var.	Sorgo 100%	S 50% M 50%	S 75% M 25%	S 85% Y 15%	S 90% Y 10%	S 90% Tc1 10%	S 85% Tc1 15%	Maíz <sup>1</sup> 100%
1	82.9%	88.3	87.1	86.0	82.4	79.3	76.3	100%
2	85.5	89.5	87.8	86.6	84.2	81.8	79.0	
3	89.0	88.4	89.5	87.2	87.0	82.0	80.2	
4	84.3	87.1	86.2	89.7	87.0	76.7	77.1	
5	88.1	88.2	88.5	87.8	88.8	81.1	81.1	
6	83.8	86.0	83.2	83.7	83.9	77.5	75.9	
7	88.5	87.9	89.0	91.6	86.1	81.4	79.4	
8	90.5	90.4	90.6	84.1	87.6	81.3	81.3	
9	86.6	88.6	89.7	90.5	87.5	81.1	78.1	
10	86.8	85.6	84.2	88.1	87.3	78.6	78.3	
$\bar{x}$	86.6	88.0	87.6	87.5	86.2	80.1	79.4	

<sup>1</sup> Testigo MINSA.

## CAPITULO V

## DISCUSION DE RESULTADOS

Las 10 variedades seleccionadas tuvieron alto rendimiento en campo, muy semejante al del testigo Purépecha, - lo que habla de su aceptable nivel heterótico, a pesar de -- ser variedades.

Las diez variedades seleccionadas para la aplicación de las pruebas predictivas de calidad (cuadro 4, Pág. 29), poseen grano grande, de color claro, con endospermo de textura intermedia y carecen de testa, características que - según Khan et al (16) deberán reunir los genotipos que se va yan a destinar a la producción de tortilla.

En la selección de laboratorio (cuadro 5, Pág. 29) las variedades 3 y 8 fueron rechazadas por la prueba de álcali, sin embargo, el comportamiento que estos dos materiales - tuvieron durante la nixtamalización y elaboración de torti - llas, fué bueno y se reflejó en la prueba organoléptica, don de ambas variedades produjeron tortillas de excelente cali - dad.

Estos resultados positivos, pueden explicarse, si considera - mos que ambas variedades contienen niveles bajísimos de feno les y taninos, por lo que los resultados de la prueba álcali deben tomarse con cierta reserva.

Todos los materiales produjeron masa con propieda - des aceptables de manejo. Esto puede deberse a que las diez - variedades poseen grano con endospermo de buenas propiedades reológicas, muy semejantes a las del maíz.

Otra explicación podría ser el hecho de que ninguno de los - sorgos probados es de endospermo ceroso, ya que, de acuerdo - con Khan et al (16) y Nolasco, citado por Khan et al (16), - los sorgos cerosos, al someterse a la nixtamalización, produ cen masa gomosa y pegajosa.

La calidad de la tortilla de sorgo integral, produ cida por cada una de las variedades, fué buena, lo que puede atribuirse a que todos los genotipos que integraron el mate - rial de estudio de la presente investigación, han sido ya so metidos a mejoramiento genético por calidad de grano para -- usos en alimentación humana.

El mayor rendimiento en tortilla, observado con las varieda - des D-71205 (8) y M-36285 (3), en comparación con maíz blan - co (comercial), puede ser atribuido a la mayor absorción de - agua, por parte del sorgo, durante la nixtamalización.

Tanto las propiedades organolépticas como el color de la tortilla, mejoraron al aumentar la proporción de maíz, en las mezclas entre estos dos cereales; resultados que con - cuerdan con los obtenidos por Iruegas, Cejudo y Guiragossian

(14), y que pueden tener explicación por las excelentes propiedades tortilleras del maíz blanco y la gran afinidad en estructura y composición química del sorgo al compararlo con el del maíz.

Las mezclas sorgo-yuca, tuvieron efectos similares a los de las mezclas sorgo-maíz, no obstante, la yuca tuvo un mayor efecto en el color de la tortilla; proporcionándole a ésta mayor claridad, a medida que se incrementó el porcentaje de yuca en las mezclas. Esto puede explicarse si se considera que la variedad criolla de yuca utilizada en el estudio, produce harina muy blanca, siempre y cuando la harina se obtenga por el procedimiento explicado en Materiales y Métodos.

El obscurecimiento observado en la tortilla, cuando se llevaron a cabo mezclas de sorgo con triticale, pueden ser atribuido a la acción de pigmentos del tipo de los carotenos y carotenoides que el grano de triticale contiene en grandes cantidades, pues la semilla de este cereal, no tiene taninos ni fenoles.<sup>a</sup> Por otro lado, el incremento en el nivel protéico de la tortilla, así como en los contenidos de lisina y triptofano, se deben indudablemente a la presencia del triticale ya que este grano es superior al sorgo en porcentaje de proteína y de estos dos aminoácidos.

<sup>a</sup> Ing. Fernando Martínez, colaborador en el Lab. de Tecnología de Alimentos, INIA, Chapingo, Mex. Comunicación personal. 1983.

## CAPITULO VI

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos de la presente investigación, los materiales estudiados, los métodos de análisis - desarrollados y los resultados obtenidos, se presentan a nivel laboratorio las siguientes conclusiones:

El sorgo, además de ser un cultivo para la alimentación del ganado, puede ser utilizado en la alimentación humana; en especial, puede constituir materia prima barata para la producción de tortillas. Este cereal puede constituir una valiosa alternativa para la industria molinera ya que -- puede emplearse en mezclas con maíz para la obtención de masa para tortillas, con calidad comercial.

Las variedades de sorgo con calidad de grano para la alimentación humana, presentaron un nivel de rendimiento- aceptable; similar al del híbrido comercial Purépecha, utilizado como testigo.

En la elaboración de tortillas, el grano de sorgo- (tortillero) observa mayor rendimiento que el grano de maíz- comercial.

Es posible predecir con alta confiabilidad las propiedades tortilleras<sup>1</sup> de genotipos de sorgo, mediante el empleo de la prueba de álcali, análisis de fenoles y determinación de taninos.

Las diez variedades de sorgo probadas tienen grano con endospermo de propiedades reológicas muy semejantes, a las del maíz blanco (zoapila y harina MINSA) y se pueden utilizar para la producción comercial de tortillas o harina nix tamalizada.

Con las variedades D-71205 (8) y M-36285 (3), se pueden producir tortillas integrales de sorgo de color aceptable, logrando obtener hasta un 90.5 y 89.0% del color de la tortilla comercial de maíz (MINSA).

El mejoramiento del color de las tortillas de sorgo, se logra más eficientemente a través de mezclas con yuca que con maíz (MINSA) o triticale.

Las mezclas 75% sorgo-25% maíz (MINSA) y 50% sorgo 50% maíz (MINSA), tienen efectos muy similares en el color y propiedades organolépticas de la tortilla. Con ambas mezclas

<sup>1</sup> Se refiere al comportamiento de los sorgos en la nixtama - lización, producción de masa y características organolépticas y de color de la tortilla.

se logran productos, organolépticamente excelentes.

Con la mezcla 85% sorgo-15% yuca, se producen tortillas con calificación de excelentes en el análisis sensorial de los productos.



**ESCUELA DE AGRICULTURA  
BIBLIOTECA**

## CAPITULO VII

## RECOMENDACIONES

Fomentar programas para la difusión del sorgo como alimento humano en México.

Establecer un programa en colaboración con la industria molinera, para estudiar el uso comercial de sorgos en elaboración de tortillas.

Trabajar sobre la posible utilización del sorgo en la producción de harina nixtamalizada para tortillas, pues en esa forma es más fácil llevar a cabo las mezclas sorgo-maíz, y es más factible una buena aceptación del producto por parte del público consumidor.

Observar el comportamiento de las variedades de sorgo con aptitud tortillera, en la elaboración de productos alimenticios industriales que actualmente se derivan del maíz.

Ampliar los programas de mejoramiento tendientes a obtener genotipos de doble propósito, con alto rendimiento y con buena calidad de grano para su posible utilización en la producción de tortillas.

Definir las zonas donde la producción de maíz sea raquílica y que sean factibles para producir con sorgos, en especial, materiales genéticos como las variedades M-36285 y D-71205, que pueden ser empleados en la elaboración de tortillas.

Promover la difusión del sorgo en zonas marginadas para lograr mayor producción con menor riesgo, y reajustar los precios de garantía del sorgo y maíz para aumentar la rentabilidad del sorgo.

Difundir el cultivo del sorgo tortillero en las zonas de producción de yuca.

Trabajar sobre mezclas sorgo-triticale, evitando el efecto de obscurecimiento en la tortilla, pues con la adición de triticale se puede incrementar el nivel protéico del producto.

Trabajar con mezclas sorgos-maíz opaco 2, para obtener tortillas de mayor valor nutritivo.

## RESUMEN

El gran consumo que en México se hace del grano de maíz, en forma de tortilla y como materia prima de productos industriales, aunado a los bajos niveles de producción que se registran en la mayor parte de las regiones maiceras del país, provocan en gran medida la insuficiencia de este grano lo que ocasiona que constantemente se hagan importaciones para satisfacer la demanda de la población.

Esto hace necesaria, la substitución de este cultivo, al menos parcialmente, por otro que haga un uso más eficiente del suelo. El sorgo es la mejor alternativa para substituir al maíz, tanto en campos agrícolas como en alimentación humana, a través del consumo de tortillas producidas a base de este cereal; ya que además de su mayor rentabilidad, el sorgo rinde más que el maíz en la producción de tortillas

En 1981-82, se llevó a cabo un estudio, en 28 variedades de sorgo blanco, con el fin de determinar su calidad agronómica y evaluar su comportamiento en alimentación humana, específicamente en la elaboración de tortillas. La evaluación agronómica fué hecha teniendo en cuenta los resultados del análisis de varianza de rendimientos, comparación de medias de las variedades y datos relacionados con su desarrollo en campo. Para determinar la aptitud tortillera del material, se aplicaron análisis físicos del grano, así como procedimientos de laboratorio, que ayudaron a predecir el comportamiento de las variedades en el proceso de nixtamalización y preparación de tortillas.

Una vez obtenidos los productos, fueron hechas determinaciones más precisas, como color de tortilla y análisis sensorial, lo que permitió establecer un juicio más certero de los materiales probados.

Después de la producción de tortillas integrales de sorgo, se llevaron a cabo mezclas con maíz, yuca y triticale, para tratar de incrementar la calidad del producto.

Los resultados de las tortillas integrales de sorgo, fueron aceptables. Las mezclas sorgo-maíz y sorgo-yuca mejoraron, la coloración de la tortilla y sus propiedades organolépticas, mientras que las mezclas con triticale, oscurecieron el producto final, pero aumentaron su nivel protéico, a medida que se incrementó el porcentaje de triticale en la tortilla.

Se llegó a la conclusión de que las diez variedades de sorgo probadas en laboratorio, poseen buen potencial de rendimiento y su comportamiento en la elaboración de tor-

tillas es aceptable, destacándose las variedades D-71205 y -M-26285 tanto en mezclas como individualmente.

Los objetivos planteados en la presente investigación, fueron cumplidos en su totalidad, de lo cual se deduce que la utilización del sorgo para la elaboración de productos alimenticios, constituye una alternativa potencial en la lucha actual contra el hambre, sobre todo en los países en que este cereal, es equivocadamente considerado una fuente de alimentación animal.



ESCUELA DE AGRICULTURA  
BIBLIOTECA

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Bedolla, C., González, M.J. y Rooney, L.W. 1981. Características del sorgo en calidad alimenticia para la producción de Tortillas, in Proceedings of the Short Course on Sorghum Diseases for Latin America INIA-ICRISAT-CIMMYT-INTSORMIL. México.
- 2.- Betancourt, V.A. 1981. Sorgo, en Logros y Aportaciones de la Investigación Agrícola en el Estado de Jalisco. -- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. SARH México p. 26.
- 3.- Burns R.E. 1971. Method of Estimation in Tannin in Grain Sorghum, Agronomy Journal 63:511-512.
- 4.- Cejudo, G.H. 1978. Estudio de Metodologías físicas, Determinación de Taninos y Actividad de la Enzima Catecol-Oxidasa, en Granos de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) Utilizados para Alimentación, Tesis M.C. México p.p. 15, 16, 52, 53, 75, 76, 84 y 85.
- 5.- Da. S., Akingbala, J.O., Rooney, L.W., Scheuring, J.F. and Miller, F.R. 1981. Evaluation of to Quality in a sorghum Breeding Program, in Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. Patancheru, India P. 11.
- 6.- Doggett, H. 1981. The Importance of Food in Sorghum Improvement Programs, in Proceedings of the International Sorghum Grain Quality. Patancheru, India, p.p. 5 y 6
- 7.- Ejeta, G. 1981. Testing New Sorghum Varieties and Hybrids, in the International Symposium on Sorghum Grain Quality. Patancheru, India p. 67.
- 8.- Frederiksen, R.A. y Castor, L.L. 1981. Mohos del Grano, in proceedings of the Short Course on Sorghum Diseases for Latin America. Trad por J. Alberto Betancourt V. -- INIA-ICRISAT-CIMMYT México p. 26.
- 9.- Frederiksen, R.A. y Rosenow, D.T. 1980. Breeding for Disease Resistance to Arthropods and Pathogens in Agricultural Plants. Editado por M.L. Harris. Texas A and M. University College Station, Texas p. 156-162.
- 10.- Futrell, M., McCulloch, E. and Jones R. 1981. Use of Sorghum as Food in Southern Honduras, in Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. -- ICRISAT. Patancheru, India. p. 100.

- 11.- Gebrekidan, B. and Gebrethiwot, B. 1981 Sorghum Injera Preparation and Quality Parameters, in Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality.- ICRISAT. Patancheru, India.
- 12.- Glueck, S.A. and Rooney L.W. 1978. Chemistry and Structure of Grain in Relation to mold Resistance, in Proceedings of the International Workshop on Sorghum Diseases ICRISAT, Hyderabad, India. p.p. 141, 142.
- 13.- Guiragossian, V. 1981. Búsqueda de Fuentes de Resistencia a Mohos del Grano, in Proceedings of the Short Course on Sorghum Diseases for Latin America. Traducido -- por J. Alberto Betancourt V. INIA-ICRISAT-CIMMYT México p.p. 24, 26.
- 14.- Iruegas, A. Cejudo, H. and Guiragossian, V. 1981. Screening and Evaluation of Tortilla from Sorghum and Sorghum-Maize Mixtures, in Proceedings of the International Symposium on Grain Quality, ICRISAT Patancheru, India. p. 92
- 15.- Jonhson, B.A., Rooney L.W. and Khan, M.N. 1980. Tortilla-Making Characteristics of Micronized Sorghum and Corn Flours, Journal of food science 45:671-674
- 16.- Khan, M.N. Rooney, L.W. Rosenow, D.T. and Miller, F.R.- 1980. Sorghums with Improved Tortilla-Making Characteristics. Journal of food science 45: 720, 722, 725.
- 17.- Kirleis, A. In Vitro Protein Digestibility Studies on the Nutritional Value of Sorghum. Purdue University, U. S.A. p. 30.
- 18.- Maxson, E.D. and Rooney, L.W. 1972. Evaluation of Methods for Tannin Analysis, in Sorghum Grain Cereal chem-U.S.A. 49: 719-729.
- 19.- Méndez, A. y Zaragoza, L. 1980. Sustitucion del Sorgo por Harina de Yuca en la Alimentación de Cerdos. Agricultura Técnica en México 6:(2). INIA SARH México. p. 86.
- 20.- Mukuru, D., Mushonga, J.N. and murty, D.S. 1981. Sorghum ugali, in Proceedings of the International Symposium in Sorghum Grain Quality. ICRISAT. Patancheru, India. p. 39
- 21.- Murty, D.S., Patil, H. and House, L.R. 1981. Sankati - Evaluation on Sorghum Cultivars, in Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. ICRISAT. Patancheru, India. p. 36
- 22.- Novellie, H. 1981. Fermented Beverages, in Proceedings-

of the International Symposium on Sorghum Grain Quality ICRISAT, Patancheru, India. p. 113

- 23.- Pitner, J., Lazo, S.L. y Sánchez, D.N. 1955. El cultivo del sorgo. Secretaría de Agricultura y Ganadería. OEE.- México p. 13, 14.
- 24.- Prasada, K. and Murty, D.S. 1981. Sorghum for Special - Uses, in Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. ICRISAT Patancheru, India. p. - 129.
- 25.- Price M.L. and Butler, L.G. 1977. Rapid Visual Estima - tion and Spectrophotometric Determination of Tannin - - Contents of Sorghum Grain. J. Agric. Food Chem. 25:(6) 1268-1273.
- 26.- Rooney, L.W. 1970. Utilization of Sorghum Grain: Food- and Industrial, in Grain Sorghum Research in Texas. Te- xas A. and M. University. The Texas Agricultural Sta - - tion, A.S.S. and C.S. p.p. 73, 74.
- 27.- Rooney, L.W. y Miller, F.R. 1981. Variation in the - -- Structure and Kernel Characteristic of Sorghum, in Pro- ceedings of the International Symposium on Sorghum - - Grain Quality. ICRISAT Patancheru, India p. 156, 157.
- 28.- Schelling, L. The Orther of Nutritionally Limiting Ami- noacids in Sorghum Grain. Texas A & M University, Colle- ge Station, Tx. 77840 Datos no publicados.
- 29.- Scheuring, J.F. and Rooney, L.W. 1979. A Staining Proce- dure to Determin the extent of Bran Removal in Pearled- Sorghum. Ed. Association of Cereal Chemists. Cereal -- Chemistry.
- 30.- Wall, J. y Blessin, Ch. 1975. Composición de la planta- y del grano de sorgo, en Producción y Usos del Sorgo. - 1a. Ed Hemisferio Sur, Buenos Aires, pp. 71, 77, 79, - 84.



ESCUELA DE AGRICULTURA  
BIBLIOTECA

A P E N D I C E

Cuadro 9. Análisis de varianza para rendimiento de grano en Kg/ha de 29 variedades de sorgo. Ocotlán, Jal, 1981.

Fuente de variación	gl	S.C.	C.M.	F.C.	.01	.05
Bloques	2	16.240273	8.12023	3.01**	2.25	1.757
Tratamientos	28	88.682467	3.16723	1.1777		
Error	55	147.907340	2.68922			
Totales	85	252.830280				

C.V. = 26.8 %

\*\* Significativo al 1% de probabilidad de error.



Cuadro 10. Rendimiento y calificaciones por reacción a enfermedades, acame y características físicas del grano de 29 variedades de sorgo, Ocotlán, Jal. 1981.

No. Var.	Rendimiento (Kg/ha)	Tizón foliar	Tizón de			Acame	Color		
			Roya	la Panoja	% mildrú		Textura	Testa	Grano
4	8536.67	2.5	2.0	1.5	0.00	2.0	I	A	Claro
3	8094.00	2.5	2.0	1.5	0.62	2.5	"	"	"
9	7892.00	3.0	2.5	1.5	0.46	2.0	"	"	"
19	7853.00	3.0	2.9	1.0	0.00	3.0	"	"	"
21	7680.33	2.5	2.0	1.5	0.00	2.0	"	"	"
5	7269.33	3.0	2.5	1.5	1.24	3.5	"	"	"
18	7228.67	3.0	3.0	1.5	0.00	2.5	"	"	"
2	7204.33	3.0	2.5	1.5	0.00	2.0	"	"	"
15	7167.67	2.5	2.0	1.5	0.00	2.5	"	"	"
14	7012.00	2.5	2.5	1.0	1.14	2.5	"	"	"
17	6688.33	2.5	2.5	1.0	0.73	1.5	"	"	"
20	6631.00	2.5	2.5	1.5	0.00	3.0	"	"	"
26	6761.20	2.5	2.5	1.5	1.78	3.5	"	"	"
27	6754.66	2.5	2.0	1.5	2.18	1.5	"	"	"
22	6654.00	3.0	3.0	1.0	0.55	2.0	"	"	"
7	6633.10	2.5	2.0	1.0	0.66	3.5	"	"	"
23	6481.00	2.5	2.0	1.5	0.47	2.0	"	"	"
8	6430.00	2.0	1.5	1.5	0.00	1.0	"	"	"
24	6406.33	2.0	3.0	1.5	0.00	3.5	"	"	"
13	6225.00	3.5	2.5	1.5	0.00	2.5	"	"	"
28	5869.67	2.5	2.0	1.5	0.00	3.5	"	"	"
25	5842.33	3.0	3.0	1.5	0.00	3.5	"	"	"
12	5804.67	3.5	3.0	1.5	0.00	2.0	"	"	"
6	5284.33	3.0	2.0	1.0	0.00	2.0	"	"	"
10	5248.67	3.0	2.0	1.5	2.04	2.0	"	"	"
11	5240.67	3.0	2.5	1.5	0.00	4.0	"	"	"
1	5116.67	2.5	2.0	1.5	0.00	1.0	"	"	"
16	4517.00	3.0	3.0	1.5	0.00	3.0	"	"	"
29	8215.33	3.0	2.5	3.0	1.58	2.0	"	"	"

\*Purépecha (testigo)

I=Intermedia

A=Ausente

Cuadro 11. Determinación del color de la tortilla 100% sorgo producida con cada una de las 10 variedades de -- sorgo probadas. Chapingo, Mex. 1982.

No. Var.	L E C T U R A S *			Valor E
	L	A	B	
1	51.9	-0.5	17.8	54.87
2	53.8	-0.5	17.5	56.58
3	56.4	-0.4	17.0	58.91
4	52.9	-0.5	17.6	55.75
5	55.7	0.0	17.3	58.32
6	52.7	-1.0	17.1	55.41
7	55.8	-1.1	17.7	58.55
8	57.1	-1.1	17.9	59.85
9	54.7	-1.6	17.0	59.30
10	54.8	-1.6	17.0	54.40
MINSA*	63.8	-0.3	17.5	66.16

\*Lecturas del colorímetro - L; 0=negro y 100=blanco; +b=amari  
llo, -b=azúl; +a=rojo, -a=verde.



**ESCUELA DE AGRICULTURA  
BIBLIOTECA**

Cuadro 12. Análisis de proteína, lisina y triptófano en 10 - variedades de sorgo. Chapingo, Mex. 1982.

No. Var.	Proteína (%)	Triptófano/p*(%)	Lisina/P (%)
1	10.11	0.022	2.81
2	10.81	0.100	2.90
3	11.47	0.160	2.92
4	11.30	0.080	2.49
5	10.61	0.110	2.19
6	10.72	0.160	1.59
7	10.55	0.200	2.18
8	10.82	0.160	2.58
9	10.61	0.210	2.79
10	11.58	0.250	1.99
MAIZ ZOAPILA**	10.00	0.790	2.57

\*Proteína  
\*\*Testigo

Resultados informados en base se-  
ca.

Cuadro 13. Análisis proteína, lisina y triptófano en mezclas sorgo-triticales.

No. Var.	Proteína (%)	Triptófano/Proteína (%)	Lisina/Proteína (%)
100% Trit.	14.54	1.39	4.88
1 A	10.83	0.26	1.98
2 A	11.20	0.32	2.01
3 A	12.08	0.38	1.91
4 A	12.30	0.30	2.18
5 A	11.99	0.37	2.38
6 A	11.45	0.35	2.41
7 A	11.49	0.33	2.92
8 A	11.55	0.35	2.27
9 A	11.44	0.32	2.23
10 A	12.54	0.33	1.90
1 B	11.49	0.34	1.52
2 B	12.31	0.41	2.07
3 B	13.07	0.28	2.04
4 B	12.63	0.27	2.62
5 B	12.43	0.26	2.32
6 B	11.77	0.22	2.77
7 B	11.93	0.25	2.67
8 B	11.06	0.32	2.87
9 B	11.88	0.23	3.16
10 B	12.76	0.28	2.03

A: 90% Sorgo-10% Triticales B: 85% Sorgo-15% Triticales.

## RECETAS A BASE DE SORGO.

J. Ariel Ruíz Corral, Bertha C. Leyva y Alberto Betancourt - V.

I) Sorgo al estilo "Arroz con leche" (Postre)

Ingredientes:

- 1) 1/4 Kg. grano de sorgo.
- 2) 1 lata de leche condensada.
- 3) 1/4 Kg. azúcar.
- 4) Canela en trozos.

Modo de preparación:

- 1) Se pone a remojar el grano durante toda la noche
- 2) Se pone a cocer el grano en poca agua.
- 3) Cuando el grano se encuentre blando, se le añade la leche, la canela en trozos y la azúcar.
- 4) Se deja que se consuma un poco, hasta que quede más o menos espeso; se le añade canela en polvo y se sirve.

II) Atole de sorgo con leche. (BEBIDA)

Ingredientes:

- 1) 1/4 harina nixtamalizada de sorgo.
- 2) 1 litro de leche.
- 3) 1/4 Kg. de piloncillo.
- 4) Canela al gusto.

Modo de preparación:

- 1) Se pone a diluir el piloncillo en agua caliente-junto con la canela.
- 2) La harina se disuelve en leche por separado.
- 3) Se vacía la harina disuelta en leche al recipiente con agua dulce y se agita constantemente hasta que comience a hervir.
- 4) En caso de quedar muy espeso se añade un poco -- más de leche.

III) Sorgo al estilo "Sopa de arroz" (SOPA)

Ingredientes:

- 1) 1/4 de grano de sorgo.
- 2) 1/2 lata chica de puré de tomate.
- 3) 1 cubito de consomé de pollo.

Modo de preparación:

- 1) Se remoja el grano durante toda la noche.
- 2) El grano remojado se tiende al sol por 15 min.
- 3) Se pone agua a calentar.
- 4) Se acitróna el grano en una cacerola y se le añe de cebolla, se le pone puré de tomate y el cubi- to de consomé de pollo.
- 5) Se agrega el agua caliente a la cacerola con el preparado, se tapa y se espera a que se consuma- el exceso de líquido,

IV) SOPA DE SORGO. (SOPA)

Ingredientes:

- 1) 2 tazas de grano de sorgo.
- 2) 1 taza de calabacitas en cuadritos.
- 3) Jitomate y cebolla picados.
- 4) 125 grs. de queso.
- 5) 1/4 litro de leche.

Modo de preparación:

- 1) Se pone a cocer el grano remojado desde la noche anterior, en un litro de agua; si se requiere -- más agua, añador la necesaria.
- 2) Una vez que el grano esté blando, se añaden las- calabacitas, cebolla y jitomate, un poco de acei- te o manteca.
- 3) Cuando las calabacitas se han cocido, añadir la- leche y después de un rato de hervir, el queso - en cuadritos.
- 4) Se sirve caliente.

V) "CORICOS" (GALLETAS).

Ingredientes:

- 1) 1 Kg. de harina nixtamalizada de sorgo (ó 1/2 -- Kg. de MINSA y 1/2 Kg. de harina nixtamalizada de sorgo).
- 2) 1/2 Kg. de manteca vegetal.
- 3) 1/2 Kg. de azúcar.
- 4) 4 huevos.
- 5) 1 cucharadita de polvo para hornear.

Modo de preparación:

- 1) Se hace la mezcla de todos los ingredientes y se agregan al agua para formar la masa.
- 2) Una vez formada la masa, se forman los coricos o el tipo de galletas que se deseen.
- 3) Se meten al horno a 200°C, en moldes previamente engrasados.

## AGRADECIMIENTOS:

El autor expresa su agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

Ph. D.J. Alberto Betancourt Vallejo, director de esta tesis, por la aportación de sus valiosas ideas, por el material facilitado, por el asesoramiento durante la planeación, organización y desarrollo de la investigación y por la revisión del manuscrito.

M.C. Héctor Cejudo Gómez y M.C. Fernando Martínez - Bustos, por facilitar el equipo y reactivos necesarios para la ejecución de las pruebas de laboratorio, etapa fundamental del presente estudio.

Q.F.B. Verónica Navarro Hidalgo e Ing. Carlos Aguirre Torres, por su asesoría, sugerencias y revisión de manuscrito.

M.C. Salvador Hurtado de la Peña, por las facilidades otorgadas para la utilización de materiales y datos del ensayo de variedades de sorgo para regiones tropicales bajas.

Laboratorista Felipa Almeraya G., por su gran ayuda en la realización de las pruebas de laboratorio y elaboración de tortillas.

Sra. Bertha Corral L., por su valiosa ayuda durante pruebas de nixtamalización y elaboración de tortillas.

Ing. Irma Patricia Rodríguez Rocha, por su colaboración en el trabajo de campo, por su ayuda en las pruebas físicas de laboratorio y por sus contribuciones para la buena presentación del trabajo.

Ingenieros Jorge J. Martínez Casillas, M. Acela Montaño Luna, J. Carlos Labeaga Martínez, Juan José Ríos Chávez Alberto Distancia Barragán y Javier Solís Juárez, por la ayuda prestada en la realización del presente estudio.

Escuela de Agricultura de la Universidad de Guadalajara, por haberme otorgado la oportunidad de forjarme profesionalmente.

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, por facilitar sus instalaciones para llevar a cabo la investigación.

Productora Nacional de Semillas por las facilidades brindadas para el desarrollo de la investigación.