

**Evaluación de la calidad tortillera de cinco
variedades de maicillos mejorados
(*Sorghum bicolor* L.)**

300801

Jorge Daniel Medina Fonseca

ZAMORANO
Programa de Tecnología de Alimentos

Diciembre, 1998

Evaluación de la calidad tortillera de cinco variedades de maicillos mejorados (*Sorghum bicolor*)

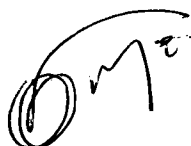
Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura.

Presentado por:

Jorge Daniel Medina Fonseca

Zamorano, Honduras
Diciembre, 1998

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.



Jorge Daniel Medina Fonseca

Zamorano, Honduras
Diciembre, 1998

DEDICATORIA

A Dios el Padre Celestial, al Hijo mi Redentor, al Eterno Consolador, por perfeccionar la buena obra que empezó en mí. A Él toda la Gloria, la Honra y el Honor.

A mis padres Miguel Angel Medina y Nayiri Fonseca, por el amor y cuidado que me han brindado para llegar a ser lo que soy. A mis hermanos Miguel y Saida Carolina, Josias, Yerson y Damaris, a mi tía Gloria y a mi Abuelo, a mi tío Lester y Maritza por darse a querer. Todos han sido parte de la fuerza que me impulsa a seguir.

A mi tíos Noé y Carmencita y a mis primos, por todo el cariño que me dan sin pedir nada a cambio. Los quiero mucho.

A la familia Marriaga, por velar por mi bienestar.

A mis hermanos en Cristo del PTB y la Confraternidad de Cristianos Zamoranos, por sus oraciones que me han ayudado a vencer una vez más.

A Any, por brindarme una amistad transparente y apoyarme en los momentos difíciles. Te quiero mucho.

A Susy, mi ñaña, por sus detalles y consejos que me transmiten amor, paz, paciencia, bondad, fe, mansedumbre y templanza. Tienes un lugar muy especial dentro de mí.

A todas aquellas personas que me quieren y conocen.

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios, en quien yo estoy completo, por ser mi verdad y luz en mi camino. ¿Qué puedo decir? Tú eres el motivo de mi vida.

A mis asesores. Ing. Javier Bueso, por brindarme todos sus conocimientos y por ser una persona de calidad. Al Dr. Raúl Espinal y Lic. Ligia Contreras, sin los cuales no hubiese sido posible llevar a cabo la investigación. Su apoyo y ayuda incondicional fueron pilares claves para concluir esta etapa de mi vida. ¡¡Gracias!!

Al Dr. Roberto Cuevas, por sus sabios consejos que ayudaron a mi formación. Lo considero una persona ejemplar, a quien admiro mucho.

A la Lic. Gladys de Flores, quien me brindó su amistad y sus conocimientos, los cuales fueron importantes en la culminación de mi carrera.

A mis tres catadores, Ing. Leonardo Osorio, Ing. Plácido Ek Uk y Marvin Fúnez, por invertir parte de su tiempo en este proyecto.

Al equipo de trabajo del Citesgran: Maricruz, Vilma, Varinia, Rafael Mateo, Juan Carlos Barcenás, Rodolfo Pacheco, Mauricio Zuniga, Efraín, los cuales estuvieron siempre atentos a ayudarme en cualquier momento.

A los trabajadores del Comedor Doris Zemurray, por su colaboración y valiosa ayuda.

A mis colegas y compañeros, por los buenos momentos compartidos.

A mis hermanos en Cristo y amigos: Susy, Any, Paúl, Dan, Adán, Josué Pineda y Josué Vigil, Luis Daniel, Albert, Martín, Guillermo, Ernesto (El pequeño), Carolina, Dilia, Hector y Vicky, Miguel Angel, Jaime, José y Andrea, Luwbia, Silvana, Milagros, Mildred García y Mildred Alvarado, María Villaroel, Hugo, Mónica Valdez. El haberlos conocidos es el mejor regalo que Dios me halla podido dar. Recuerden que tienen una gran misión que realizar. ¡Adelante!

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron a que mis sueños fueran hechos realidad, mil gracias.

“Los buenos amigos no quedan atrás, siguen viviendo aun, ellos saben que tienen guardado un lugar muy dentro de mi corazón. Ellos son rostro de ayer que llevan la mente a volar y nos traen recuerdos que hacen pensar que a valido la pena el amar. Pero lo escribo y lo digo, para que se sepa bien, mi Dios es mi amigo más fiel.”

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

A INTSORMIL (Programa de Apoyo Investigativo de Sorgo y Mijo), por aportar parte del financiamiento de mis estudios.

RESUMEN

Medina, J. 1998. Evaluación de la calidad tortillera de cinco variedades de maicillos mejorados (*Sorghum bicolor* L.). Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 37 p.

Las tortillas son una importante fuente alimenticia para la mayoría de la población en México y Centroamérica. Las tortillas generalmente son hechas de maíz a través de un cocimiento alcalino (nixtamalización). El sorgo se utiliza en forma satisfactoria en la sustitución parcial o completa del maíz en la elaboración de tortillas en zonas de baja precipitación, porque es más tolerante a sequía. Estos sorgos son conocidos como maicillos criollos. Actualmente a través de la introgresión, usando materiales genéticos exógenos estos maicillos han elevado su potencial de rendimiento y resistencia a enfermedades y plagas y disminuido su altura. También se encuentran libres de taninos lo cual evita pérdidas en el valor nutritivo. El objetivo central fue evaluar la calidad de cinco variedades de maicillos mejorados, como sustitutos parciales o totales de maíz en la elaboración de tortillas. Se compararon los rendimientos en masa y en tortillas entre los maicillos y maíz, evaluándose sus características organolépticas y se determinó la mejor combinación para cada maicillo en términos de rendimientos y calidad de tortillas. Se realizó un presupuesto parcial, para obtener la variedad más rentable. Las variedades de sorgo evaluadas obtuvieron mayores rendimientos que maíz en masa y tortillas. La apariencia, sensación bucal y textura de las tortillas fueron los que tuvieron mayor influencia en la calidad. La apariencia fue afectada por la coloración del grano y de las glumas, para lo que se recomienda una buena selección de las características de calidad del grano. La sensación bucal y la textura se vieron afectada por deficiencia del molino y por la cantidad de pericarpio que no fue removido, dejando la masa con partículas gruesa y viscosa. Los maicillos mejorados DMV219 y DMV228 presentaron una mejor calidad, con mejores rendimientos y aceptación, siendo los más rentables debido a una mayor cantidad de tortillas producidas.

Palabras claves: maíz, sorgo, nixtamalización, características organolépticas, combinación, rendimientos.

Nota de Prensa

¿Conoce el Potencial del Sorgo para hacer tortillas?

El grano de sorgo actualmente es utilizado en zonas de baja precipitación, como un sustituto parcial o total del maíz para la elaboración de tortillas, debido a que es más tolerante a la sequía.

Las variedades de sorgo utilizadas en estas zonas son conocidos como maicillos, los cuales presentan desventajas agrónomicas, en cuanto a rendimiento y susceptibilidad a plagas, enfermedades y al acame por su gran altura. Gracias a la introducción de materiales genéticos, se ha mejorado estas desventajas y también el grano se encuentra libre de taninos, lo cual evita pérdidas en el valor nutritivo de la tortilla. A estas nuevas variedades se les conoce como maicillos mejorados.

Se ha evaluado la calidad tortillera de cinco variedades de maicillos mejorados, entre los cuales el DMV219 y DMV228, obtuvieron los mejores rendimientos en masa por kilogramo de grano procesado en comparación a maíz, produciendo tortillas de buen sabor, olor y aceptable apariencia.

Los factores que más influyen en la aceptabilidad de las tortillas fueron la coloración más oscura de la tortilla, la presencia de grumos (pericarpio) y la poca flexibilidad que tenía la tortilla al enrollarse. La apariencia oscura es causada por la coloración del grano y de las glumas, para lo que se recomienda una buena selección de las características de calidad del grano. La presencia de grumos y la flexibilidad son afectadas por la gran cantidad de pericarpio que no es removido por el procesamiento alcalino.

Una combinación de maíz con sorgo a un nivel de 75 % maíz y 25 % sorgo es muy difícil de diferenciar de una tortilla elaborada con de maíz. Esta combinación se recomienda para elevar el rendimiento y obtener mayores cantidades de tortillas.

En conclusión podemos decir que las tortillas de sorgo tienen una buena aceptación, pero es necesario que se sigan mejorando las variedades de sorgo, para lograr tener una coloración más blanca del grano y por ende de la tortilla. También es necesario buscar equipos adecuados al proceso para producir tortillas de mejor la calidad.

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Resumen.....	vii
	Nota de prensa.....	viii
	Contenido.....	ix
	Indice de cuadros.....	xi
	Indice de anexos.....	xiii
1.	INTRODUCCION.....	1
1.1	Antecedentes	2
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	Objetivo General	3
1.2.2	Objetivos Específicos.....	3
1.3	Hipótesis.....	3
2.	REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1	Importancia del Sorgo.....	4
2.2	Componentes estructurales y químicos del sorgo.....	4
2.2.1	Estructura.....	4
2.2.1.1	Pericarpio.....	5
2.2.1.2	Endospermo.....	5
2.2.1.3	Germen.....	6
2.2.2	Composición Química.....	6
2.2.2.1	Carbohidratos.....	6
2.2.2.2	Proteínas.....	7
2.2.2.3	Lípidos.....	8
2.2.2.4	Minerales y Vitaminas.....	8
2.3	Cambios del sorgo durante la nixtamalización.....	8
2.3.1	Cocimiento.....	9
2.3.2	Molienda.....	9
2.3.3	Moldeado y Horneado.....	10
3.	MATERIALES Y METODOS.....	11
3.1	Ubicación del Estudio.....	11
3.2	Etapas del Estudio.....	11
3.2.1	Selección de materiales genéticos.....	11
3.2.2	Cosecha y almacenamiento de maicillos.....	12
3.2.3	Control de materia prima.....	12
3.2.4	Diseño experimental para la elaboración de tortillas.....	14

3.2.4.1	Tratamientos.....	14
3.2.4.2	Unidades experimentales.....	14
3.2.4.3	Cocimiento del grano.....	14
3.2.4.4	Molienda.....	14
3.2.4.5	Moldeado y Horneado.....	15
3.2.4.6	Variables medidas.....	15
3.2.5	Evaluación organoléptica.....	15
3.2.6	Remoción de pericarpio.....	16
3.2.7	Humedad.....	16
3.3	Análisis de costos.....	16
3.4	Análisis estadístico.....	16
4.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	17
4.1	Control de calidad de materia prima.....	17
4.1.1	Propiedades físicas del grano.....	17
4.1.2	Composición química de los granos.....	17
4.1.3	Color del grano.....	18
4.2	Remoción de pericarpio y humedad de la masa.....	19
4.3	Rendimiento en masa y tortilla.....	20
4.4	Evaluación organoléptica.....	21
4.4.1	Tortillas 100 % sorgo.....	21
4.4.2	Combinación al 75 % sorgo y 25 % maíz.....	22
4.4.3	Combinación al 50 % sorgo y 50 % maíz.....	23
4.4.4	Combinación al 25 % sorgo y 75 % maíz.....	23
4.4.5	Comparación de las combinaciones para cada una de las variedades de sorgo.....	24
4.5	Presupuesto parcial.....	26
4.5.1	Análisis de Costos.....	26
4.5.2	Presupuesto parcial del sorgo y maíz.....	27
5.	CONCLUSIONES.....	28
6.	RECOMENDACIONES.....	30
7.	BIBLIOGRAFIA.....	31
8.	ANEXOS.....	32

INDICE DE CUADROS

Cuadro

1.	Composición química proximal	7
2.	Composición de los aminoácidos del grano de sorgo y maíz.....	8
3.	Composición de vitaminas y minerales del grano de sorgo y maíz.....	8
4.	Características agronómicas a considerar para la selección de la materia.....	12
5.	Determinación de la calidad del grano para nixtamalización.....	17
6.	Composición química de los granos utilizados en el proceso de nixtamalización.....	18
7.	Comparación del color del grano de siete variedades de sorgo y una variedad maíz.....	19
8.	Remoción del pericarpio después de nixtamalizar (escala de 1 a 5) y porcentaje de humedad de la masa.....	19
9.	Porcentaje de humedad de la masa de siete variedades sorgo y una variedad de maíz en diferentes combinaciones.....	20
10.	Rendimiento en Masa y Tortillas de seis variedades de sorgo y una de maíz obtenidos de un kilogramo de granos	20
11.	Comparación de las propiedades organolépticas de las tortillas 100% Sorgo vrs Maíz (escala de 1 a 9), con siete variedades de sorgo, para medir la calidad de las tortillas.	21
12.	Comparación de las propiedades organolépticas de las tortillas con 75% Sorgo vrs Maíz (escala de 1 a 9), con siete variedades de sorgo, para medir la calidad de las tortillas	22
13.	Comparación de las propiedades organolépticas de las tortillas con 50 % Sorgo vrs Maíz (escala de 1 a 9), con siete variedades de sorgo, para medir la calidad de las tortillas	23
14.	Comparación de las propiedades organolépticas de las tortillas con 25 % Sorgo vrs Maíz (escala de 1 a 9), con seis variedades de sorgo, para medir la calidad de las tortillas	24
15.	Comparación de las propiedades organolépticas de las combinaciones por cada variedad de sorgo (Escala de 1 a 9), para visualizar la mejor	25

	combinación.....	
16.	Comparación de costos del sorgo y maíz para procesar 100 libras de granos (Lempiras).....	27
17	Comparación del Presupuesto Parcial de seis variedades de Sorgo y el Maíz. (Dólares E.U).....	27

INDICE DE ANEXOS**Anexo**

1.	Proceso de elaboración de tortillas.....	33
2.	Representación gráfica del color de sólidos en tres dimensiones.....	34
3.	Coeficientes de correlación de Pearson entre cada una de las características organolépticas, humedad y combinación.....	75
4.	Presupuesto de costos diferenciales de producción.....	76

1. INTRODUCCIÓN

Las tortillas de maíz (*Zea mays* L.) son un importante alimento para la mayoría de la población mexicana y centroamericana, siendo la fuente principal de carbohidratos para una gran proporción de la población rural de estas zonas. Las tortillas son hechas a través del proceso que se conoce como nixtamalización¹, que consiste en el cocimiento alcalino del grano para remover el pericarpio. Después se muele el nixtamal para formar la masa, con la cual se hacen círculos delgados que son cocinados al comal, obteniendo de esta manera las tortillas.

El sorgo (*Sorghum bicolor* L.) es considerado en ciertas zonas de Centroamérica, como una alternativa al uso del maíz, ya sea sustituyéndolo en forma parcial o completa, debido a que tiene mayor rendimiento en zonas de baja precipitación, por su resistencia a la sequía, es utilizado como cultivo de respaldo del maíz en la mayoría de las zonas rurales de la región.

En zonas rurales se cultivan variedades de sorgo criollo fotosensitivas, que se conocen con el nombre de maicillos. Las plantas son de baja producción y de gran altura, razón por lo cual presentan problemas de acame, son muy susceptible a las enfermedades y sus granos son de color crema, con presencia de taninos. Los maicillos criollos tienen marcada sensibilidad al fotoperíodo, evitando la sequía en periodos críticos de crecimiento, lo cual motiva a los agricultores al cultivo de los mismos. (Gómez, Cerritos y Morán, 1995).

Actualmente, por medio de la introducción de materiales genéticos, los maicillos han sido mejorados elevando su potencial genético de rendimiento, la calidad del grano y su capacidad defensiva contra enfermedades y plagas; también se ha estabilizado la productividad a nivel de fincas mediante obras de conservación de suelos (Gómez et al. 1995). Los maicillos mejorados se encuentran libres de taninos (compuestos polifenólicos), los que causan pérdidas del valor nutritivo del grano. Además, el mejoramiento en la disminución de la altura, ha incidido en la reducción de la susceptibilidad del maicillo al acame.

En el presente estudio se analizará la calidad de cinco variedades de maicillos mejorados, entre los cuales se encuentran DMV179 y DMV198² que ya han sido previamente evaluados, presentando un buen comportamiento en lo que respecta a rendimiento y resistencia a enfermedades y plagas, así como también en la elaboración de tortillas. (Gómez et al. 1995). El DMV219, DMV221 y DMV228 se encuentran en fase

¹ Del Azteca Nixtli = cenizas, tamalli = masa

² DMV (Dwarf Maicillo Variety) Maicillos Enanos Mejorados

experimental, presentando buenas características agronómicas, pero no se tiene datos de la calidad del grano para la elaboración de tortillas.

El objetivo central del presente estudio es evaluar la calidad de cinco variedades de maicillos mejorados, como sustitutos parciales o totales de maíz en la elaboración de tortillas, además con el mismo se pretende ofrecer alternativas para el uso del sorgo en la elaboración de tortillas, en lugares en los cuales la sequía es más pronunciada, y brindar respuesta al consumo de tortillas en períodos de escasez de maíz o cuando el precio de éste se incrementa.

1.1 ANTECEDENTES.

El sorgo es de origen africano, el cual es introducido a América en el siglo XVI a través del comercio de esclavos y traído por navegantes de comercio Europa-Africa-América. Los maicillos criollos provienen de sorgos guinea criollos cuyo uso principal en esa época era de alimento para los esclavos negros. (Quinby y Martin; citados por Compton, 1990).

Las tortillas a base de maíz han sido un importante bien alimenticio, que durante muchas generaciones han pasado a ser indispensables en la dieta de una gran cantidad de centroamericanos y mexicanos. Actualmente, este producto se ha popularizado en gran medida en América a través de comidas rápidas tales como las tortillas tostadas (chips) que vienen en una forma atractiva e higiénicamente empaquetadas y tacos, entre otros.

Sin embargo, las tortillas a base de maicillos (sorgo), no son usualmente utilizadas en América para consumo humano, por falta de cultura alimenticia y por los prejuicios ocasionados por el color oscuro del producto y porque tradicionalmente ha sido utilizado únicamente para alimento animal, lo que conduce a un rechazo de los productos elaborados a base de este cereal.

La documentación sobre el uso y procesamiento del sorgo fue muy pobre hasta la década de los 60s. En las últimas dos décadas, varias instituciones han hecho esfuerzos conscientes para recabar información sobre este aspecto; entre estas instituciones se encuentran: ICRISAT (Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para el Trópico Semi-Árido), IDRC (Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo), la USAID en colaboración con INTSORMIL (Programa de Apoyo Investigativo de Sorgo y Mijo) e ICC (Asociación Internacional de Ciencia y Tecnología de Cereales).

También se han evaluado las características agronómicas de los maicillos mejorados, en el Valle del Zamorano, departamento de Francisco Morazan, Honduras. Encontrando que el DMV221, DMV228, DMV219 y DMV198 estaban entre los mejores maicillos mejorados en cuanto a rendimiento t/ha (Tabla 3). Según Pacheco (1998), los maicillos criollos tienen rendimientos moderados, estables y mostraron buena adaptación a las condiciones de las zonas maicilleras y algunos maicillos mejorados producen mayor cantidad de forraje que los maicillos criollos. Con el fin de darle seguimiento al estudio

de Pacheco (1998), se realizaron análisis de laboratorio para conocer la calidad tortillera de cinco maicillos mejorados.

En estudios anteriores, se han analizado las propiedades de diferentes variedades de sorgo para el procesamiento alcalino del grano. Sureño esta entre las mejores variedades que presenta buenas propiedades para la elaboración de tortillas. Según las pruebas realizadas por Almeida-Domínguez, Serna-Saldivar y Rooney (1991), el grano de Sureño es de color blanco, con un peso de 1000 granos de 31.3 gramos, densidad (g / cm³) de 1.372 y una dureza de 15.4 % de remoción o de decorticamiento. El tiempo de cocción requerido fue de 1.10 minutos, dando como resultado una remoción de pericarpio casi nula. A pesar de esto es el que presenta una mejor coloración de la tortilla, por lo tanto una mejor aceptación. Según Rooney (1988), en el informe anual de INTSORMIL, la tortilla a base de Sureño tiene una textura un poco flexible, siendo una de las más firmes a la vez (a mayor firmeza, menor calidad).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Evaluar la calidad tortillera de cinco variedades de maicillos mejorados como sustitutos parciales o totales del maíz en la elaboración de tortillas.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Comparar el rendimiento en masa y en tortillas entre las diferentes variedades de maicillos.
- Evaluar las características organolépticas de las tortillas elaboradas con los diferentes tipos de maicillos y compararlas con las tortillas de maíz.
- Evaluar combinaciones de maíz con los diferentes tipos de maicillos para determinar rendimiento y calidad de las tortillas

1.3 HIPÓTESIS.

No existen diferencias sustanciales entre las características organolépticas de las tortillas elaboradas con maicillo y las elaboradas con maíz.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 IMPORTANCIA DEL SORGO

El sorgo es el quinto cereal de mayor importancia en el mundo, detrás del trigo, arroz, maíz y la avena. Se cultiva principalmente, en zonas áridas y semiáridas de trópicos y subtrópicos, siendo una importante fuente de energía y proteína en Africa y Asia, en la dieta humana. (Compton, 1990, p. 150). Este cereal es utilizado mayormente en la elaboración de concentrados para la alimentación animal.

La producción y destino del sorgo a nivel de Honduras es aproximadamente de 2'000,000 de quintales por año, de los cuales se pierden 100,000 quintales en post-cosecha, quedando una producción neta de 1'900,000. De estos el 65 % es destinado a la industria de elaboración de concentrados para la alimentación animal, el 6.5 % es para autoconsumo, 15 % es consumo animal en fincas, el 12 % es dirigido a la venta de consumo humano y 1.5 % para semilla. (Nuñez y Castillo, 1995)

Según un estudio realizado en tres departamentos de Honduras por ADAI (1991), la ingesta diaria en calorías es de 2,175 , de las cuales el 75 % proviene de carbohidratos (1,631) y de estos 12 % vienen de maicillos y el 50 % de maíz.

Los maicillos mejorados se originaron de cruces de maicillos criollos con variedades mejoradas, con lo cual se buscaba incrementar los rendimientos de los maicillos, adaptabilidad a diversas zonas, fotosensitividad y la resistencia a sequía. (Gómez, Cerritos y Morán, 1995). Los maicillos DMV179 y DMV198 se adaptan muy bien a siembras en cultivo puro o intercalado con maíz, y poseen un buen rendimiento en grano, madurando 10-15 días más temprano que los criollos, se obtiene mayor cantidad de grano, con la fertilización nitrogenada. (Gómez et al.1995). El DMV179 tiene color de planta amarillo y produce tortillas de excelente calidad y el DMV198 tiene color de planta rojo y produce tortillas de color oscuro.(Rooney citado por Gómez et al.1995)

2.2 COMPONENTES ESTRUCTURALES Y QUÍMICOS DEL SORGO

2.2.1 Estructura

El grano de sorgo es considerado como un cariósido desnudo, sin embargo algunas variedades africanas retienen las glumas después del trillado. Generalmente tienen una densidad aparente entre 82-91 kg/Hl y una densidad real entre 1.15-1.38 g/cm³. (Serna y Rooney, 1995, pp. 72-73).

Según Serna (1996), El grano se divide en tres partes fundamentalmente, pericarpio, endospermo y germen. Se encuentran en una proporción de 8.0-10.9, 81.7-86.2 y 4.3-8.7% respectivamente. Las glumas no son parte del grano, son estructuras florales en forma de hojas sirven únicamente como mecanismo de defensa en el grano desarrollado y maduro contra insectos, hongos y humedad. (pp. 34-35)

2.2.1.1 Pericarpio: Las funciones principales del pericarpio son proteger el grano contra agentes bióticos externos, conducir y distribuir el agua y otros nutrientes en la germinación, e impedir la pérdida de agua.

Es la parte exterior del fruto que encierra a la semilla, esta estructura se divide en epicarpio, mesocarpio y endocarpio. Esta última capa se subdivide en células intermedias, cruzadas y tubulares. Las células cruzadas tienen como función, evitar que la humedad conducida por las células tubulares se pierda. Las células tubulares sirven como medio de conducción y distribución del agua que se absorbe. El epicarpio es la capa más externa del pericarpio. El sorgo puede tener el mesocarpio delgado o grueso y es el único cereal comercial que puede tener gránulos de almidón en esta parte. (Serna, 1996, p. 37).

Para la elaboración de tortillas el color del grano es de mucha importancia al momento de seleccionar una variedad o cultivar. Serna y Rooney (1995), explicaron que el color del grano estaba controlado por los genes **R** y **Y**. La combinación de ambos producen diferentes colores, por ejemplo **R-yy** o **rryy** producen el color blanco, **rrY-** produce el amarillo limón, **R-Y-** el color rojo.

También la testa puede modificar el color del grano y por ende la tortilla, esta se encuentra en la parte ventral de las células tubulares. (Serna, 1996 p. 37). La presencia o ausencia de testa es controlada por el gen **B₁B₂**. Cuando hay testa pigmentada (**B₁B₂**) y está presente el gen **S**, entonces el pericarpio también contiene taninos (color café o morado). (Serna y Rooney, 1995, pp. 72-73). La presencia de taninos disminuyen la calidad nutricional del grano, debido a que disminuye la digestibilidad de la proteína y tienen la capacidad de ligar a enzimas digestivas frenando de esta manera su capacidad hidrolítica. También le dan un sabor amargo a las tortillas. (Serna, 1996 p. 38). Sin embargo, los maicillos mejorados han sido genéticamente modificados para que no cuenten con la presencia de taninos.

2.2.1.2 Endospermo: Se divide en aleurona, endospermo periférico, endospermo vítreo y endospermo harinoso. La aleurona tiene alto contenido de proteína (20%), aceite (20%) y minerales (20%). Es importante en germinación, debido a que sintetiza las enzimas necesarias para desdoblar a los compuestos del endospermo. El endospermo periférico se caracteriza por su alto contenido proteico, según Serna (1996), esta asociado con la disminución de la digestibilidad de nutrientes. (p. 40). El endospermo vítreo o córneo, esta conformado por paredes celulares, gránulos de almidón, matriz y cuerpos proteicos. Entre sus células no existen espacios de aire, teniendo un color traslúcido, debido a que la luz se refleja. En cambio el endospermo almidonoso se encuentra encerrado por el

endospermo vítreo, se encuentra ubicado en la parte central del grano. De acuerdo a la explicación de Serna (1996), en lo único que difiere del vítreo, es que el almidonoso presenta gránulos de almidones de mayor tamaño, una asociación entre el almidón y la matriz proteica más débil, teniendo un menor contenido de proteínas. Esto da lugar a la presencia de espacios de aire, y es la razón de la apariencia almidonosa y opaca del endospermo almidonoso.

La relación entre el endospermo vítreo y el almidonoso, determina la dureza y densidad del grano, y por consiguiente afectando el procesamiento de alimentos, por ejemplo, la calidad de la masa para tortillas, en granos con mayor contenido de endospermo vítreo, se obtiene una masa más dura. (Serna, 1996, p. 42).

Según Serna y Rooney, (1995), el color del endospermo afecta la apariencia del grano especialmente en granos con una capa delgada de pericarpio y ausentes de testa. Cultivares de endospermo amarillo contienen altos contenidos de carotenoides.

2.2.1.3 Germen: El embrión es diploide dado a la unión de un gameto masculino y un femenino. El germen o embrión esta compuesto de axis embrionario y escutellum (escudo). El escudo es el que mantiene adherido el germen al endospermo. El axis embrionario resulta de la diferenciación del embrión y está formado por la radícula y la plúmula (Formarán las raíces y parte vegetativa de la planta, respectivamente). (Serna y Rooney, 1995, p. 76).

El germen se caracteriza por su alto contenido de aceite, proteína, azúcares solubles y cenizas, alto contenido de vitaminas B y E. También genera la mayoría de las enzimas para el proceso de germinación. (Serna, 1996, p. 42). Durante el proceso de nixtamalización no se elimina el germen.

2.2.2 Composición química

El sorgo tiene una composición similar al maíz, pero el sorgo contiene menor contenido de lisina y un mayor contenido de triptófano que el maíz. El sorgo esta compuesto de carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos, vitaminas y sales minerales. Por ende el valor nutricional de las tortillas de sorgo es similar a las de maíz.

Según Serna y Rooney (1995), el pericarpio es rico en fibra dietética, el endospermo contiene mayormente almidón y proteína, con pequeñas cantidades de grasa y fibra, mientras que el germen tiene un alto contenido de proteína cruda, grasa y minerales.

Cuadro 1. Composición Química proximal.

Variedad	Carbohidratos	Proteína	Grasa	Fibra
SORGO	81.3	11.0	3.2	2.7
	68.1-89.9	7.3-15.6	0.5-5.2	1.2-6.6
MAIZ	81.8	9.1	4.4	3.0
	77.2-84.2	8.1-11.5	3.9-5.8	2.4-3.5

Serna Saldivar, (1996).

2.2.2.1 Carbohidratos: De acuerdo con Serna y Rooney (1995), los carbohidratos están compuestos de almidón, azúcares solubles, pentosas, celulosas y hemicelulosas. El almidón es el compuesto químico más abundante, mientras que los azúcares solubles y fibra cruda son los más bajos.

Según Serna y Rooney (1995), el almidón representa la mitad a tres cuartas parte del peso del grano, contiene aproximadamente entre 60-70% de amilopectina y 30-40% de amilosa. (p. 83). En cambio los sorgos cerosos (granos cuyo endospermo tienen dicha apariencia) contienen 95-100% de amilopectina. (Serna, 1996, p. 52).

El sorgo contiene una pequeña cantidad de azúcares solubles (2%), los cuales se encuentran ubicados en su mayoría en el germen. Entre los principales carbohidratos solubles tenemos: Fructosa, glucosa, sacarosa, rafinosa y estaquiosa; siendo la sacarosa la que se encuentra en mayor cantidad. (Serna y Rooney, 1995, p. 86).

La fibra dietética es un carbohidrato que ha cobrado mucha relevancia en los últimos años, debido a que actúa como agente terapéutico para diabéticos, arteroscleróticos y personas con problemas digestivos. (Serna, 1996, p. 60). La fibra dietética se compone de celulosa, hemicelulosa, lignina, pectinas y gomas, estos se encuentran localizados en el pericarpio y endospermo. (Serna y Rooney, 1995, p. 87).

2.2.2.2 Proteínas: El contenido y la composición de la proteína varía debido al genotipo de la planta, la fertilidad de suelos, y las condiciones ambientales durante el desarrollo del grano. Según Serna y Rooney (1995), las proteínas se clasifican en cuatro fracciones, albuminas, globulinas, prolaminas y glutelinas. Estas se encuentran localizadas en el endospermo (80%), germen (16%) y pericarpio (3%). (pp. 91-96).

Las albuminas y globulinas están compuestas por enzimas, nucleoproteínas y glucoproteínas, que juegan un papel importante en la germinación. Estas fracciones son las que tienen el mejor balance de aminoácidos esenciales, porque son ricas en lisina. Estas fracciones de proteínas se encuentran en el germen y aleurona. (Serna, 1996, p. 61). Por lo tanto en la nixtamalización al disminuir el porcentaje de fibra, disminuimos la calidad de la proteína porque eliminamos parte de aleurona, por lo tanto la tortilla es deficiente en lisina y treonina.

Las prolaminas (kafirinas) constituyen la fracción más grande, aproximadamente el 80% de las proteínas del grano. Son proteínas de almacenamiento y reservas al igual que las glutelinas. (Hoseney, 1994, p. 74-75). Las glutelinas son las principales proteínas estructurales del endospermo, están situados dentro de la matriz proteica y asociadas con las prolaminas. (Hoseney, 1994, p. 68-69). Las prolaminas son deficientes en lisina y

treonina, siendo esta fracción la más grande, afecta la disponibilidad de estos dos aminoácidos a nivel de grano.

Cuadro 2. Composición de los Aminoácidos (AA's) del grano de Sorgo y Maíz.

AA's Esenciales	SORGO	MAIZ	AA's No esenciales	SORGO	MAIZ
g/100 g de proteína			g/100 g de proteína		
Arginina	4.5	3.8			
Histidina	2.3	2.8	Alanina	9.2	8.1
Isoleucina	4.0	3.8	Ácido aspártico	7.7	6.2
Leucina	13.2	14.3	Ácido glutámico	22.8	21.3
Lisina	2.8	2.0	Glicina	3.3	3.2
Metionina	1.7	2.8	Prolina	7.7	9.7
Fenilalanina	5.1	5.3	Serina	4.2	5.2
Triptófano	1.0	0.5	Tirosina	4.3	5.3
Treonina	3.3	3.5			
Valina	5.1	4.7			

Fuente: HOSENEY, 1994.

2.2.2.3 Lípidos: De acuerdo con Serna (1996), el sorgo contiene una baja cantidad de compuestos liposolubles. Estos se encuentran localizados en el esculetum. Los lípidos están divididos en saponificables e insaponificables. Los carotenoides están presentes en pequeñas cantidades, aproximadamente 1.5 ppm, sin embargo en granos de endospermo amarillo, contiene entre 8-9 ppm. (pp. 97-97).

2.2.2.4 Minerales y Vitaminas: El pericarpio, el germen y la capa aleurona contiene el mayor contenido de estos constituyentes. El fósforo es el mineral que esta disponible en mayores cantidades y es prácticamente carente de sodio. El sorgo es una importante fuente de vitaminas del complejo B, la cual esta localizada en la capa aleurona y el germen. (Serna y Rooney, 1995, pp. 99-101).

Cuadro 2. Composición de Vitaminas y Minerales del grano de Sorgo y Maíz.

Vitamina / Mineral	SORGO	MAIZ
Vitaminas	mg/100 g	
Tiamina	0.58	0.44
Ribloflavina	0.17	0.13
Niacina	4.80	2.60
Acido pantoténico	1.00	0.70
Piridoxina	0.60	0.57
Minerales		
Fósforo	405	310
Potasio	400	330
Calcio	20	30
Magnesio	150	140
Hierro	6.00	2.00
Cobre	0.50	0.20
Manganeso	1.50	0.60

Fuente: HOSENEY, 1994..

2.4 CAMBIOS DEL SORGO DURANTE LA NIXTAMALIZACIÓN.

En el cocimiento alcalino del grano de maíz, se usa una relación de agua grano de 3:1, con una cantidad de cal del 1-2% del peso del grano, durante 30 a 45 minutos a una temperatura cerca del punto de ebullición. El principal objetivo es desprender el pericarpio del grano. Después del cocimiento el grano se deja 12 a 16 horas en reposo, con el fin de obtener el color, olor, sabor característicos de productos nixtamalizados y una mayor hidratación del grano. Esto es lo que se conoce como nixtamal. El proceso de molienda del nixtamal se hace para obtener la masa, la cual posee un porcentaje de humedad del 50-55%. Durante el cocinado de la masa para la elaboración de tortillas se pierde un 10% de humedad. (Serna y Rooney, 1995).

Sin embargo el cocimiento alcalino del sorgo presenta algunas variaciones, como la cantidad de cal (0.85 a 1%) y el tiempo de cocimiento (20 a 35 minutos), siendo similares en las demás operaciones del proceso. (Anexo 1).

2.4.1. Cocimiento.

La nixtamalización causa el debilitamiento de las paredes celulares, facilitando la remoción del pericarpio de la capa de endocarpio. Las células del endospermo periférico son degradadas o solubilizadas, mientras que los gránulos de almidón se hidratan e hinchon completamente el grano. Los almidones del endospermo periférico y córneo son parcialmente gelatinizados y las proteínas se hidratan y permanecen alrededor de los gránulos de almidón. (Gómez, McDonough, Rooney y Waniska, 1989, p. 331).

2.4.2. Molienda

Cuando el nixtamal es molido, el grano es físicamente dividido en partes por el corte mecánico ocasionado por los discos del molino, por ello se tiene que añadir agua, para reducir el calentamiento generado por la fricción de los discos. Los gránulos de almidón y proteínas son levemente hidratados por la adición del agua en la molienda. La molienda causa que los gránulos de almidón reciban un calentamiento adicional, dando lugar a la gelatinización de más gránulos de almidón. (GOMEZ *et al*, 1989, p. 332).

El degradamiento y debilitamiento de las paredes del grano causado por el cocimiento alcalino facilita la operación de molienda y de esta manera se obtiene una típica distribución de partículas de masa. La masa consiste de partículas de germen, pericarpio, aleurona y endospermo. (GOMEZ *et al*, 1989, p. 332).

La molienda del grano crudo o cocido en ausencia de cal, no produce el apropiado rompimiento de la estructura del grano, la cual es necesaria para obtener una textura de masa aceptable.

2.4.3 Moldeado y Horneado.

Cuando la masa es cocinada para la elaboración de la tortilla, los cambios en su microestructura son causados primeramente por el calor intenso ($> 240^{\circ}\text{C}$). La tortilla es expuesta al calor por ambos lados y se gelatiniza otra parte de los almidones que no fueron gelatinizados en el cocimiento y en la molienda, pero dada a la poca cantidad de agua y un tiempo corto de residencia en el calor, los almidones solo son parcialmente gelatinizados. En esta cocción adicional se ha dado una degradación de las células externas y una destrucción parcial de los cuerpos de proteínas. (GOMEZ *et al*, 1989, p. 333).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO.

El presente estudio se realizó con el apoyo del Programa de Tecnología de Alimentos, Sección de Procesamiento de Granos de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), ubicada en el valle del Yeguaré, a 30 km al sur de Tegucigalpa. Las evaluaciones se llevaron a cabo en la planta tortillera del comedor de la EAP.

Los siguientes análisis se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Cereales de la Universidad de Texas A&M University, E.U.A.: densidad real, proteína, grasa, fibra, carbohidratos y dureza. En CISTESGRAN¹, Sección de Procesamiento de Granos de la EAP, se llevaron a cabo las pruebas de humedad del grano, densidad aparente y peso de los 1000 granos, remoción de pericarpio y humedad de la masa.

3.2 ETAPAS DEL ESTUDIO

3.2.1 Selección de materiales genéticos

Para la realización de este estudio se seleccionaron siete variedades de sorgo, de las cuales cinco son maicillos mejorados, 1 variedad (Sureño) y un híbrido de ASGROW (MX7124) en fase experimental. Se usó el H29 (Híbrido de maíz) como testigo.

Sureño fue utilizado para compararlo con los maicillos, debido a que es ampliamente utilizado como estándar de calidad de grano para la elaboración de tortillas, mientras que el MX7124 fue seleccionado para ver como es la calidad de un híbrido.

- Variedades de Sorgo: DMV179, DMV198, DMV219, DMV221, DMV228, MX7124 y Sureño.
- Variedad de maíz: H-29

Las variedades fueron seleccionadas en base a las siguientes características:

- Color de Planta: Preferiblemente amarilla, sin pigmentación roja.
- Tamaño de la planta: 1.5-3 m.
- Color del Grano: Blanco.
- Color de Glumas: Paja o amarillas, no rojas.
- Endospermo: Alta proporción de endospermo vítreo o córneo (Mayor contenido de almidón), que endospermo harinoso (Menor contenido de almidón).

¹ Centro Internacional de Tecnología de Semillas y Granos

Cuadro 4. Características Agronómicas a considerar para la selección de la materia prima.

Variedad	Rendimiento t/ha	Materia Seca (t/ha)	Floración días	Altura de Planta (m)	Color de Planta	Color de Grano	Color de Glumas
DMV179	1.8	41.5	124	2.3	Amarilla	Crema	Paja
DMV198	2.7	27.8	124	2.0	Roja	Crema	Roja
DMV219	2.7	38.7	121	1.6	Amarilla	Crema	Paja
DMV221	2.8	37.9	117	2.1	Amarilla	Crema	Paja
DMV228	2.8	38.2	122	1.5	Amarilla	Crema	Paja
MX7124	6.0	27.0	65	1.6	Amarilla	Crema	Paja
Sureño	4.8	29.0	70	1.6	Amarilla	Crema	Paja

Fuente: PCCMCA, 1997
Pacheco, 1998.

3.2.2 Cosecha y almacenamiento de maicillos.

El estudio se inició en el mes de marzo con la cosecha de las diferentes variedades de maicillos que serían objeto de análisis para determinar rendimiento y calidad de las tortillas. Posteriormente las panojas de maicillos fueron trilladas y el grano limpio se almacenó en un cuarto frío a una temperatura de 5 °C con 60% de HR. Este material fue del mismo lote de la tesis de Ing. Agr. Rodolfo Pacheco (Caracterización agronómica de dieciséis maicillos mejorados en diferentes localidades), por lo tanto sus datos son compatibles con esta tesis.

3.2.3 Control de materia prima.

Se hicieron diferentes pruebas, para determinar si el grano era apto para elaborar tortillas.

- **Densidad real:** La densidad del grano se calculó después de medir exactamente el volumen real de los granos a través del desplazamiento del gas con un multipycnometro. Una densidad de 1.3 gramos/cc tiene aceptable calidad para cocimiento alcalino. (Prueba realizando en Lab. Calidad de Cereales, Texas A&M University). (Rooney, et al, 1997).
- **Densidad aparente:** esto se hizo con un Winchester bushel que indicó directamente el peso Bushel. Luego se hizo la conversión a peso hectolítrico. El peso hectolítrico óptimo para sorgo es de 85.5 kg / hl.
- **Peso de 1000 granos:** Se contaron exactamente 100 granos con 3 repeticiones y los pesos obtenidos se extrapolaron a 1000 granos y se pesaron en una balanza (OHAUS, dial – 0 – gram, capacidad 2610 gramos). Esta prueba permite determinar el tamaño

del grano. Mil granos de una variedad de sorgo deben pesar por lo menos 28 gramos para considerarla de buena calidad.

- **Inspección visual:** Esta se realizó para detectar posibles daños por hongos, insectos, impurezas, etc. para determinar la calidad del grano la cual tiene que ser, según PRODEPAH (1994), en la Propuesta de Normas de Calidad de Grano para Centroamérica, CA-1. El grano de esta calidad tiene que tener un porcentaje menor del 1% de granos quebrados, materia extraña y otros granos, menor de 0.5% de granos recalentados, menor 2.0% de microorganismos y menor del 2% de grano contrastante, siendo este ultimo el más importante porque mancha la tortilla.
- **Humedad:** El contenido de humedad se midió con el Motomco (Modelo No 919, Serial No: G-6392, Patented 1955 Canadá). Esto se hizo para tener referencia para los futuros procesos y análisis y ver si se podía almacenar o se tendría que secar.
- **Prueba de Flotación:** La técnica de flotación es un estimador de la dureza del endospermo, obtenida por una determinación del porcentaje de granos que flota en una solución de densidad conocida (densidad de $\text{NaNO}_3 = 1.275 \text{ g/cm}^3$). Los granos suaves contienen cantidades grandes de aire en el endospermo, teniendo baja densidad y flotan, mientras que los duros se hunden. Granos con % de flotación entre 30 – 70 son aceptables para el cocimiento alcalino. (Rooney, et al, 1997).
- **Dureza:** Una manera de estimar la dureza del endospermo es midiendo el porcentaje de decorticamiento del grano por medio del Aparato Tangencial de Decorticación Abrasivo (TADD). Granos suaves pierden mayor peso durante el decortinado y el endospermo es severamente quebrado y pulverizado por la abrasión. Altos porcentajes de remoción corresponden a granos suaves, y valores menores al 40% son aptos para el cocimiento alcalino. (Rooney, et al, 1997).
- **Color:** Para determinar el color se utilizó un colorímetro, el cual funciona por medio de la longitud de ondas reflectadas. El colorímetro dio las lecturas en la escala Hunter (L, a, b), donde el eje +L indica la coloración blanca y -L negro (a mayor sea la lectura de L el grano será más blanco y por ende la tortilla), el eje +a es rojo y -a verde, y el eje +b es amarillo y -b azul. (Anexo 2).
- **Composición Química:** Para determinar la cantidad de carbohidratos, proteína, grasa, fibra y materia seca, se utilizó NIR que es una aparato de reflectancia cercano a luz infrarroja. Cada componente tiene un patrón de reflectancia a una determinada longitud de luz infrarroja.

Las pruebas de flotación, remoción de pericarpio y color juntas son las que mejor predicen la calidad tortillera de una variedad.

3.2.4 Diseño experimental para la elaboración de tortillas.

El diseño experimental realizado fue un factorial de 7x4x2 (siete variedades, cuatro combinaciones y dos combinaciones). El orden de la elaboración de cada tortilla fue aleatorizado.

3.2.4.1 Tratamientos: Las combinaciones fueron las siguientes:

MAIZ	SORGO
Porcentaje	
100	0
75	25
50	50
25	75
0	100

3.2.4.2 Unidades experimentales: Son las variedades.

3.2.4.3 Cocimiento del grano: Se tomaron dos muestras de 1.5 kg cada una, para realizar dos repeticiones por variedad de maicillo. Estas primeramente se lavaron con agua (aproximadamente de 6 - 8 lt), separando de esta manera las impurezas y suciedades del grano. La cantidad de agua utilizada para el cocimiento fue de una relación de 1:3, con una concentración de cal de 0.85% con respecto al peso del grano.

La solución de agua y cal se calentó hasta alcanzar una temperatura aproximada de 96 °C. Una vez alcanza la temperatura deseada se puso el grano en la solución alcalina y se dejó durante 35 minutos a una temperatura cerca del punto de ebullición (96 °C). Para hacer la combinación sorgo-maíz, se utilizó el maíz (H-29) ya cocido de la tortillería del comedor de la EAP.

Para comparar los maicillos al 100% se utilizaron bolsas de nylon perforadas, para que recibieran el mismo tratamiento todas y de esta manera se pueden cocer varias muestras simultáneamente, para poder ofrecer las tortillas al mismo tiempo.

3.2.4.4 Molienda: El grano de maicillo, después de cocido se dejó dos horas en reposo, con el fin de que el grano se terminara de hidratar y se obtuvieran las características típicas de los productos nixtamalizados. Seguidamente se lavó para remover el exceso de cal y el pericarpio. Una vez lavado el grano, se procedió a hacer las mezclas maíz-sorgo, para obtener un peso total de 1000 gr por mezcla, para lo cual se utilizó una balanza (OHAUS, dial - 0 - gram, capacidad 2610 gramos). Por último cada

una de las combinaciones se molió y para evitar contaminación, se lavó el molino después de procesar cada combinación maíz-sorgo.

3.2.4.5 Moldeado y Horneado: Una vez preparada la masa, se moldearon cinco porciones con un peso de 40 gr, usando una prensadora de madera. Posteriormente se hornearon en la máquina tortillera (Tortilladora automática, CELORIO, tipo standard, hecha en México por Industrial de Ensamblajes S.A.) a una temperatura entre 260 y 290 °C y un tiempo de residencia de la tortilla de 30 segundos. Las tortillas para mantenerlas calientes, se las dejó equilibrar la temperatura y se empacaron en papel de aluminio y esta envoltura se introdujo en una bolsa plástica. Este empaque se colocó en un termo hermético hasta el momento de la evaluación organoléptica.

3.2.4.6 Variables a medir:

- Rendimiento en masa
- Rendimiento en Tortillas
- Características organolépticas: Olor, Color, Sabor, Sensación Bucal, Textura
- Humedad de la masa
- Remoción de pericarpio

3.2.5 Evaluación organoléptica.

Para esta evaluación se escogieron tres catadores, de los cuales dos son hondureños y uno beliceño. La selección de los catadores se realizó tomando en consideración los siguientes criterios: sin ningún problema respiratorio, que no fumaran, y especialmente que en su dieta estuviera incluida la tortilla.

Previo a la evaluación se les explicó a los catadores el método de evaluación. Las evaluaciones fueron contestadas individualmente, en momentos diferentes, a fin de evitar interacciones que sesgaran la información, y alteraran la validación realizada por los mismos.

Al momento de la validación, los catadores disponían de un vaso de agua para realizarse un enjuague bucal entre las muestras, el orden en el cual se presentaron las tortillas fue aleatorizado. El total de tortillas fue de 10, incluyendo las dos repeticiones. También se hicieron pruebas comparando todos los maicillos al 100% sorgo.

Para el análisis se utilizó una escala hedónica del 1 al 9, donde del 1= Pésimo, 2= Malo, 3= Inaceptable, 4= Regular, 5= Aceptable, 6= Bueno, 7-8=Muy Bueno, 9 Excelente.

3.2.6 Remoción de Pericarpio.

Se utilizó la solución May-Gruenwald, que es un gramo de **eosine** y, un gramo de **azul de metileno** en 200 ml de **metanol**. La solución de trabajo es de una parte de la solución madre en tres partes de metanol. Después del cocimiento alcalino se expusieron de 15 a 20 granos sumergidos en la solución, durante 15 segundos. La escala de la prueba es de 1 a 5, donde 1=todo el pericarpio fue removido (color del grano blanquecino) y 5=no hubo remoción de pericarpio (color del grano azul). (Rooney, et al, 1997).

3.2.7 Humedad.

Se tomaron aproximadamente 10 gramos de muestra de cada masa de tortillas, y se colocaron en una cámara de incineración a una temperatura de 80 °C durante 5 días, y por diferencia se obtuvo el porcentaje de humedad que tenía la muestra. El óptimo de humedad tiene que ser entre 40-50%.

3.2.8 Análisis de costos.

Para determinar los costos de producción en los que se incurrieron en la elaboración de las tortillas, se realizaron diferentes estimaciones, tanto de los costos directos como los indirectos. Los cálculos efectuados fueron: el número de tortillas por kg de grano, agua consumida en el lavado inicial, cocimiento y lavado final, cantidad de cal, gas propano, electricidad y fuerza de trabajo. A cada una de estas variables estimadas se le aplicaron los precios respectivos, para calcular el costo por tortilla

Para determinar el nivel ingreso, se estimaron los rendimientos en masa teniendo en cuenta el peso del grano y de la masa en base a materia seca. El número de tortillas se calculó dividiendo el peso total de la masa por el peso de cada tortilla (40 gr), aplicándole posteriormente el precio por tortilla.

3.2.9 Análisis estadístico.

Los resultados obtenidos de las evaluaciones, se analizaron a través del programa estadístico SAS® 6.12, con el cual se realizó un análisis de varianza (ANDEVA). Las fuentes de variación fueron:

- **Variedad:** Se realizó una comparación múltiple de medias y contrastes entre las variedades, con el fin de comprobar si alguna variedad produce tortillas de una calidad significativamente mayor que las demás.
- **Combinaciones:** También se realizó una comparación múltiple de medias y además un análisis de correlación.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 CONTROL DE CALIDAD DE MATERIA PRIMA

4.1.1 Propiedades físicas de los granos

Los granos de las variedades de sorgo y maíz evaluadas resultaron ser aptas para nixtamalización. Según el Cuadro 5 aunque el grano de sorgo es de menor tamaño que el maíz (Peso 1000 granos), el sorgo tiene una mayor densidad real, esto hace que tenga una mayor rendimiento en masa, sin embargo no se encontró ninguna diferencia en densidad aparente.

También se notó que el sorgo tiene un endospermo más duro, según el porcentaje de dureza y flotación que se obtuvo, sin embargo el grano de sorgo necesitó un tiempo más corto en cocción, porque se hidrataba en menor tiempo

Cuadro 5. Determinación de la Calidad del grano para Nixtamalización.

Variedad	Densidad real (g/cm ³)	Densidad Aparente (kg/hl)	Peso de 1000 granos (g)	Dureza (Porcentaje)	Flotador
DMV179	1.38a	91.06a	23.87b	20.11c	27b
DMV198	1.38a	92.41a	25.25b	21.52c	37b
DMV219	1.38a	87.30a	19.00c	31.74b	71a
DMV221	1.38a	88.51a	20.37c	26.86b	69a
DMV228	1.39a	88.35a	20.62c	30.85b	69a
SUREÑO	1.39a	87.23a	26.00b	13.00d	32b
MX7124	1.37a	91.06a	23.87b	27.38b	43b
MAIZ	1.30b	87.00a	301a	40.00a	70a

Prueba SNK nivel de significancia: 0.05.

Medias con diferentes letras en la misma columna son diferentes significativamente.

1. Densidad Real: Aceptable calidad, mayor a 1.3 g/cm³.

2. Densidad Aparente: Peso óptimo para Sorgo es de 85.5 kg/hl.

3. Peso de 1000 granos: Mínimo peso 28 gramos.

4. Dureza: Valores menores al 40% son aptos para el cocimiento alcalino.

5. Flotador: Entre 30-70% son aceptables para el cocimiento alcalino.

4.1.2 Composición Química de los granos.

La composición química de las variedades de sorgo y maíz, se encontraban entre los rangos estipulados por Serna (1996), a excepción de las variedades DMV198, DMV221 y DMV228 que no estaban dentro del rango de carbohidratos. La variedad de sorgo Sureño contiene mayor cantidad de materia seca y carbohidratos que las demás variedades de sorgo, pero no es significativamente diferente a maíz. ($\alpha = 0.05$). (Cuadro 6).

Los maicillos mejorados DMV219 y DMV228 contienen mayor contenido de proteína que todos los demás maicillos, con un porcentaje en base a materia seca de 11.75 y 11.56 respectivamente, sin embargo no es significativamente diferente con la variedad Sureño ($\alpha = 0.05$), como se puede ver en el cuadro 6.

En relación al contenido de grasa, el maicillo mejorado DMV179 y el híbrido MX7124 resultaron ser los que contenían mayor cantidad. ($\alpha = 0.05$). Por otra parte, la variedad Sureño presentó la mayor cantidad de fibra cruda que las demás variedades, pero los maicillos mejorados DMV228, DMV198, DMV219, DMV221 al igual que la variedad Sureño obtuvieron una cantidad significativamente mayor que el maíz ($\alpha = 0.05$). (Cuadro 6).

Cuadro 6. Composición Química de los granos utilizados en el proceso de nixtamalización.

Variedad	Materia Seca	CHDS	Proteína	Grasa	Fibra
Porcentaje					
DMV179	85.76 ^{bc}	70.98 ^c	9.88 ^c	3.92 ^a	0.98 ^b
DMV198	84.68 ^{cd}	67.13 ^d	10.71 ^b	3.83 ^{bc}	3.01 ^b
DMV219	82.35 ^e	70.60 ^c	11.75 ^a	3.76 ^c	3.00 ^b
DMV221	84.00 ^d	66.78 ^d	10.71 ^b	3.83 ^{bc}	2.68 ^b
DMV228	82.76 ^e	64.24 ^e	11.56 ^a	3.79 ^c	3.17 ^b
SUREÑO	88.10 ^a	76.72 ^a	11.07 ^{ab}	3.46 ^d	3.70 ^a
MX7124	86.54 ^b	72.90 ^b	9.32 ^c	3.90 ^{ab}	0.42 ^c
MAÍZ	87.00 ^{ab}	75.00 ^a	9.00 ^c	3.50 ^d	2.00 ^c

Prueba SNK nivel de significancia: 0.05

Medias con diferentes letras en la misma columna son diferentes significativamente.

Proteína, grasa y fibra son porcentajes en bases seca.

4.1.2 Color del grano.

En la coloración de los granos de las variedades DMV219, DMV228, DMV221 y Sureño, no se encuentra diferencia significativa ($\alpha = 0.05$), en cuanto al eje L, pero si tienen diferencia comparados con Maíz. ($\alpha = 0.05$), esto quiere decir que el grano de maíz es más blanco que las demás variedades de sorgo.

Por otra parte los maicillos mejorados DMV179 y DMV198 presentaron la coloración más oscura de todos. ($\alpha = 0.05$). (Cuadro 7).

Cuadro 7. Comparación del Color del grano de siete variedades de sorgo y una variedad de maíz.

Variedad	Color		
	L	a	B
DMV179	57.32 ^{cd}	4.28 ^b	17.57 ^c
DMV198	54.83 ^d	4.73 ^a	8.10 ^c
DMV219	63.18 ^b	2.85 ^e	16.68 ^c
DMV221	58.82 ^{bcd}	4.36 ^b	16.58 ^c
DMV228	61.64 ^{bc}	3.22 ^d	17.07 ^c
SUREÑO	62.63 ^b	3.64 ^c	19.68 ^b
MX7124	57.07 ^{cd}	4.42 ^b	19.67 ^b
MAIZ	73.12 ^a	1.60 ^f	21.90 ^a

Prueba SNK nivel de significancia: 0.05

Medias con diferentes letras en la misma columna son diferentes significativamente.

Color: Eje L (Blanco / Negro), a (Rojo / Verde), b (Amarillo / Azul).

4.2 REMOCIÓN DE PERICARPIO Y HUMEDAD DE LA MASA

La remoción del pericarpio de los granos de sorgo después de la nixtamalización, fue bastante deficiente en comparación con la de maíz. (Cuadro 8). Al no tener una remoción total, afectó directamente las características organolépticas de la tortilla. Un ejemplo, en **Sensación Bucal** se siente la presencia de grumos, en **Apariencia** afecta en la aceptabilidad ya que da una coloración no deseada en la tortilla, debido al color del pericarpio y en **Textura** no se obtiene la flexibilidad deseada por la gran cantidad de pericarpio en la masa.

La humedad de la masa de las tortillas de sorgo fue menor que la de maíz, a pesar de la gran cantidad de pericarpio que contenía la masa, sin embargo no fue influyente en el rendimiento de la masa. El bajo contenido de humedad de la masa de sorgo se debió al tiempo en reposo del grano después de nixtamalización, fue de 2 horas, mientras que en maíz fue de 16 horas. (Cuadro 8).

Cuadro 8. Remoción del pericarpio después de nixtamalizar (escala de 1 a 5), porcentaje de Humedad de la Masa.

Variedad	Remoción de Pericarpio	Humedad de la masa (%)
DMV179	2.5 ^b	31.63 ^d
DMV198	3.0 ^b	38.16 ^b
DMV219	3.0 ^b	35.93 ^{bc}
DMV221	2.0 ^b	33.53 ^{cd}
DMV228	2.5 ^b	38.19 ^b
SUREÑO	2.5 ^b	38.85 ^b
MX7124	3.5 ^a	34.54 ^c
MAIZ	1.5 ^c	44.68 ^a

Prueba SNK nivel de significancia: 0.05

Medias con diferentes letras en la misma columna son diferentes significativamente.

Remoción de Pericarpio: 1= Se remueve todo el pericarpio; 3= Aceptable;

5= Todo el pericarpio se quedo en el grano.

El contenido de humedad de la masa, se incrementaba a medida que aumentaba la cantidad de Maíz en la mezcla. (Cuadro 9). Hubo un correlación de -0.69 con una probabilidad altamente significativa ($Pr > 0.0001$). (Anexo 3).

Cuadro 9. Porcentaje de humedad de la masa de siete variedades de sorgo y una variedad de maíz en diferentes combinaciones.

Variedad	Combinación (% de Sorgo)			
	25	50	75	100
DMV179	44.76 ^{ab}	35.89 ^b	33.39 ^b	31.63 ^d
DMV198	41.83 ^c	40.72 ^{ab}	39.82 ^{ab}	38.16 ^b
DMV219	42.71 ^{bc}	35.82 ^b	42.39 ^a	35.93 ^{bc}
DMV221	44.41 ^{ab}	46.52 ^a	44.72 ^a	33.53 ^{cd}
DMV228	42.12 ^c	42.96 ^a	40.72 ^{ab}	38.19 ^b
SUREÑO	42.95 ^{bc}	41.52 ^{ab}	43.04 ^a	38.85 ^b
MX7124	46.23 ^a	41.16 ^{ab}	39.72 ^{ab}	34.54 ^c
MAÍZ	44.68 ^{ab}	44.68 ^{ab}	44.68 ^a	44.68 ^a

Prueba SNK nivel de significancia: 0.05

Medias con diferentes letras en la misma columna son diferentes significativamente.

4.3 RENDIMIENTO EN MASA Y TORTILLA.

El grano de las variedades de sorgo seleccionadas tienen un mayor rendimiento que el grano de la variedad maíz seleccionada, esto se debe a que los sorgos tienen una densidad real mayor que el maíz, por lo tanto al momento de moler el grano obtuvimos una mayor cantidad de masa y tortillas.

Sureño presento el mayor rendimiento en masa y tortillas que todos los demás, con una relación de 2 kg / kg de grano procesado. El DMV221 y DMV198 fueron los que menos rindieron de todos con 1.24 y 1.33 kg / kg de grano respectivamente. (Cuadro 10).

Cuadro 10. Rendimiento en Masa y Tortillas de seis variedades de sorgo y una de maíz obtenidos de un kilogramo de granos.

Variedad	Rendimiento de Masa	Rendimiento en Tortillas
	(kgs/kg de grano)	(Número de tortillas/kg de grano)
DMV179	1.53 ^b	38 ^b
DMV198	1.33 ^{cd}	33 ^{cd}
DMV219	1.65 ^b	41 ^b
DMV221	1.24 ^d	31 ^d
DMV228	1.62 ^b	41 ^b
SUREÑO	2.06 ^a	52 ^a
MX7124	1.45 ^{cb}	36 ^{cb}
MAÍZ	0.91 ^e	23 ^e

Prueba SNK nivel de significancia: 0.05

Medias con diferentes letras en la misma columna son diferentes significativamente.

4.4 EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA

4.4.1 Tortillas 100 % Sorgo.

Las características organolépticas mostraron modelos altamente significativos ($Pr > 0.006$). (Anexo 4). Las propiedades organolépticas de las tortillas hechas con sorgo fueron significativamente inferiores a las de las tortillas hechas con maíz. ($\alpha = 0.05$).

Las tortillas de las variedades de sorgo DMV198, DMV219, DMV228, Sureño y MX7124 en comparación con las de maíz mostraron un **Olor** significativamente igual. ($\alpha = 0.05$). (Cuadro 11).

La mayoría de los sorgos reportaron un **Sabor** regular a excepción del DMV179, DMV198 Y DMV228 que fueron categorizados con un mal sabor, en cambio las tortillas a base de Maíz presentaron un Muy Buen sabor. En cuanto a **Sensación Bucal** todos las variedades de sorgo, mostraron una regular aceptación por parte de los catadores, pero siempre Maíz fue significativamente superior. (Cuadro 11). Las tortillas de Sureño tenía una **Apariencia** significativamente igual a las tortillas de Maíz. ($\alpha = 0.05$).

Respecto a la **Textura** de las tortillas de sorgo en la mayoría de los resultados se obtuvo baja calificación, ocasionada mayormente por el mayor grosor de la tortilla y por la granulometría de la masa, ya que contenía una alta cantidad de pericarpio que a su vez no permitía una buena cohesividad de la masa. También cuando se le daba un grosor delgado a la tortilla, el plástico utilizado para darle forma no permitía que la tortilla se desprendiera en su totalidad, que obligaba a hacerlas gruesas. Esto fue debido a la alta viscosidad de la masa, causada por el sobrecalentamiento de los discos del molino. Entre las tortillas de sorgo sobresalió la variedad Sureño con una mejor **Textura** que los demás, pero inferior a la textura de Maíz ($\alpha = 0.05$), como se muestra en el cuadro 11.

Cuadro 11. Comparación de las propiedades organolépticas de las tortillas 100% Sorgo vrs Maíz (escala de 1 a 9), con seis variedades de sorgo, para medir la calidad de las tortillas.

Variedad	Olor	Sabor	Sensación Bucal	Apariencia	Textura
DMV179	5.0b	1.5c	4.5b	4.5b	3.0c
DMV198	6.5ab	2.0c	4.0b	4.0b	1.0c
DMV219	6.0ab	4.5b	4.5b	4.5b	1.0c
DMV221	5.0b	4.5b	4.0b	4.0b	2.0d
DMV228	5.5ab	2.5bc	4.5b	4.5b	1.5de
SUREÑO	6.0ab	4.0b	4.0b	7.5a	5.0b
MX7124	6.0ab	4.5b	5.5b	5.5b	2.0d
MAIZ	8.36a	7.7a	7.1a	8.41a	7.5a

Prueba SNK nivel de significación: 0.05

Medias con diferentes letras en la misma columna son diferentes significativamente.

Escala: 1= Pésimo, 2= Malo, 3= Inaceptable, 4= Regular, 5= Aceptable, 6= Bueno, 7 y 8= Muy Bueno, 9= Excelente.

4.4.2 Combinación al 75 % Sorgo y 25% Maíz.

Los modelos de las características de evaluación fueron altamente significativos ($Pr > 0.02$), a excepción de Olor y Sabor que son significativos a $Pr > 0.1$. (Anexo 4). A este nivel de combinación, se encontró una marcada diferencia entre las variedades de sorgo y el maíz en todas las propiedades organolépticas. ($\alpha = 0.05$).

Las tortillas de las variedades con 75 % sorgo, DMV221, DMV228, Sureño y MX7124 tenían un **Olor** significativamente igual a maíz, a un nivel de significación de 0.1. Por otro lado el **Olor** de las tortillas de variedades DMV179, DMV198 y DMV219 fue significativamente igual a las demás variedades de sorgo, pero significativamente diferente al maíz.

El **Sabor** de las tortillas se vio afectado por la textura, siendo el DMV198 y DMV179 los de peor sabor con un puntaje de 2.5 y 3.5 respectivamente, en cambio las demás variedades obtuvieron calificación aceptable, pero con gran diferencia a la de Maíz. (Cuadro 12).

La **Apariencia** de las tortillas de sorgo fue significativamente diferente a la de Maíz. ($\alpha = 0.05$). Siendo los maicillos mejorados DMV219 y DMV228 los que mejor aceptación tenían. (Cuadro 12).

Las tortillas que contenían sorgo tenían una **Textura** deficiente en comparación a las tortillas de maíz ($\alpha = 0.05$), por las mismas causas anteriormente mencionadas. Sureño aunque no fue significativamente diferente a las demás variedades de sorgo ($\alpha = 0.05$), obtuvo una textura regular, como se muestra en el cuadro 12.

Cuadro 12. Comparación de las propiedades organolépticas de las tortillas con 75% Sorgo vrs Maíz (escala de 1 a 9), con siete variedades de sorgo, para medir la calidad de las tortillas.

Variedad	Olor	Sabor	Sensación Bucal	Apariencia	Textura
DMV179	5.0b	3.5de	5.0ab	4.5c	1.5b
DMV198	4.5b	2.5e	4.5ab	3.0d	1.5b
DMV219	5.0b	6.5b	4.5ab	6.5b	1.5b
DMV221	5.5ab	4.0d	3.5b	5.0c	2.0b
DMV228	6.0ab	4.5d	6.0ab	6.5b	3.0b
SUREÑO	7.0ab	6.0cb	4.0ab	5.5bc	4.0b
MX7124	5.5ab	5.0cd	6.0ab	5.0c	2.5b
MAIZ	8.4a	7.8a	7.1a	8.4a	7.5a

Prueba SNK nivel de significación: 0.05

Olor: nivel de significación: 0.1

Medias con diferentes letras en la misma columna son diferentes significativamente.

Escala: 1= Péximo, 2= Malo, 3= Inaceptable, 4= Regular, 5= Aceptable, 6= Bueno, 7 y 8= Muy Bueno, 9= Excelente.

300801

4.4.3 Combinación al 50 % Sorgo y 50% Maíz.

El modelo de Olor, Sabor, Apariencia, Textura son altamente significativas ($Pr > 0.004$), en cambio en Sensación Bucal resulto ser no significativo ($Pr > 0.1649$). (Anexo 4). En la mayoría de las características organolépticas hubo diferencia entre las tortillas que contenía sorgo con las tortillas hechas completamente a base de maíz. ($\alpha = 0.05$).

En los maicillos mejorados DMV228, DMV221, DMV179 junto con Sureño y MX7124 no se encontraron diferencias en el **Olor** de las tortillas al compararlas con las de Maíz, pero sí con las demás variedades ($\alpha = 0.05$). A este nivel de combinación, podemos notar que no hay cambios relevantes en cuanto al olor de las tortillas, como se puede ver en el cuadro 13.

Con relación al **Sabor** de las tortillas, la variedad Sureño fue el mejor de todas las variedades de sorgo, pero si hubo diferencia con Maíz que lo superó por 1.3 puntos. ($\alpha = 0.05$).

En la **Apariencia** de la tortilla de la variedad Sureño tuvo una mejor aceptación que las demás, aunque prácticamente sin ninguna diferencia con la de MX7124, DMV228, DMV179 y Maíz. ($\alpha = 0.05$). En lo referente a **Textura**, se presento el mismo problema del grosor, por lo cual presentan bajas calificaciones en comparación con la de Maíz. ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 13. Comparación de las propiedades organolépticas de las tortillas con 50 % Sorgo vrs Maíz (escala de 1 a 9), con seis variedades de sorgo, para medir la calidad de las tortillas.

Variedad	Olor	Sabor	Sensación Bucal	Apariencia	Textura
DMV179	6.5abc	5.5cd	6.0a	6.5abc	1.5c
DMV198	5.0c	4.5d	4.5a	4.0c	2.0c
DMV219	6.0bc	6.0cd	6.5a	5.5bc	1.0c
DMV221	7.0ab	5.0d	6.0a	4.5c	1.0c
DMV228	6.5abc	4.5d	5.0a	6.0abc	1.5c
SUREÑO	7.5ab	6.5b	6.0a	8.5a	4.0b
MX7124	8.0a	4.5d	7.0a	7.5ab	4.5b
MAIZ	8.4a	7.8a	7.1a	8.36a	7.5a

Prueba SNK nivel de significación: 0.05

Medias con diferentes letras en la misma columna son diferentes significativamente.

Escala: 1= Pésimo, 2= Malo, 3= Inaceptable, 4= Regular, 5= Aceptable, 6= Bueno, 7 y 8= Muy Bueno, 9= Excelente.

4.4.4 Combinación al 25 % Sorgo y 75% Maíz.

El modelo fue significativo para cada uno de los patrones de evaluación ($Pr F > 0.05$). Anexo 4. Al comparar las tortillas elaboradas con 25 % de sorgo contra maíz, se observó que hubo una diferencia entre maíz y las variedades de sorgo en olor, sensación bucal, apariencia y textura, mientras que en sabor el comportamiento fue similar. ($\alpha = 0.05$).

El **Olor** de las tortillas del DMV228 reportaron los mejores índices en comparación con las demás variedades de sorgo, pero sin ninguna diferencia significativa con excepción del DMV198 que tenía un olor regular. ($\alpha = 0.05$). A este nivel de combinación no se encontró diferencia con las tortillas de Maíz, a excepción del DMV198. ($\alpha = 0.05$). Esto se da porque hay una gran influencia del alto contenido de maíz de las tortillas. En cambio el **Sabor** de las tortillas que contenían sorgo no mostraron ninguna diferencia con maíz. ($\alpha = 0.05$). (Cuadro 14).

Por otro lado la **Sensación Bucal** de las tortillas de Sureño obtuvieron el mayor puntaje, aunque sin tener diferencia significativa con DMV228, MX7124 y Maíz, en cambio las demás variedades tuvieron una calificación aceptable, también influenciado por la gran cantidad de maíz. ($\alpha = 0.05$).

La **Textura** de las tortillas del DMV228, Sureño y MX7124 no fue significativamente diferente de las tortillas de maíz. En cambio con las demás variedades, aunque fueron aceptables, se noto una diferencia. ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 14. Comparación de las propiedades organolépticas de las tortillas con 25 % Sorgo vrs Maíz (escala de 1 a 9), con seis variedades de sorgo, para medir la calidad de las tortillas.

Variedad	Olor	Sabor	Sensación Bucal	Apariencia	Textura
DMV179	7.0ab	5.0a	5.0b	2.0b	4.0b
DMV198	4.5b	4.0a	5.0b	1.5b	3.5b
DMV219	7.0ab	6.0a	4.5b	1.5b	4.0b
DMV221	7.0ab	6.0a	4.5b	1.5b	4.0b
DMV228	8.0a	7.5a	7.0ab	1.5b	7.5a
SUREÑO	6.0ab	7.0a	8.0a	5.0a	7.5a
MX7124	7.5ab	5.5a	6.0ab	7.0a	7.0a
MAIZ	8.4a	7.8a	7.1ab	7.5a	8.4a

Prueba SNK nivel de significación: 0.05

Medias con diferentes letras en la misma columna son diferentes significativamente.

Escala: 1= Pésimo, 2= Malo, 3= Inaceptable, 4= Regular, 5= Aceptable, 6= Bueno, 7 y 8= Muy Bueno, 9= Excelente.

4.4.5 Comparación de las combinaciones por cada una de las variedades de sorgo.

En cada una de las variedades se encontró diferencia entre las combinaciones de maíz y sorgo, para cada una de las características organolépticas evaluadas. También se observó que a medida que se incrementaba la cantidad de maíz en las tortillas, las características organolépticas mejoraban.

En el **Olor** de las tortillas se observó un Coeficiente de Correlación de Pearson de -0.63 con una probabilidad altamente significativa de 0.0001 (Anexo 3), lo cual indica que a medida que se reduce el porcentaje de sorgo en la mezcla, se mejora el olor de la tortilla, y en todos los casos, la tortilla de Maíz que representa el cero por ciento de sorgo obtuvo la mejor puntuación. De igual manera el **Sabor**, **Sensación Bucal**, **Apariencia** y **Textura** presentaron una correlación mayor -0.57 con una probabilidad de 0.0001.

Por otra parte, las características organolépticas tienen una moderada correlación entre sí, por ejemplo, el **Sabor** tiene una relación de 0.61 ($Pr > 0.0001$) con la **Apariencia** de la tortilla, que quiere decir que a mejor **Apariencia** será mejor el **Sabor**. (Anexo 3).

En la mayoría de las variedades, en forma general se puede decir, que las mezclas que tenían 25 y 50 por ciento de sorgo presentaron los mejores resultados, aunque en **Textura** todas las combinaciones tuvieron una gran diferencia con las tortillas de maíz (0 % sorgo). (Cuadro 15).

En las combinaciones de 75 y 100 por ciento sorgo, a pesar que se encontró una diferencia con las otras dos combinaciones, obtuvieron calificaciones de Regular a aceptable, y en pocos casos calificaciones de mala calidad en **Textura**, **Sensación Bucal** y **Sabor**, como se presenta en el cuadro 15.

Cuadro 15. Comparación de las propiedades organolépticas de las combinaciones por cada variedad de sorgo (Escala de 1 a 9), para visualizar la mejor combinación

Combinación Maíz - Sorgo (%)		Olor	Sabor	Sensación bucal	Apariencia	Textura
DMV179						
100	0	7.5a	8.0a	7.0a	8.0a	9.0a
75	25	7.0a	5.0a	6.0a	4.0c	2.0b
50	50	8.0a	5.0a	5.0a	6.5ab	1.5b
25	75	5.0b	3.5a	5.0a	4.5bc	1.5b
0	100	5.0b	1.5a	1.5b	4.5bc	2.0b
DMV198						
100	0	8.0a	8.0a	6.5a	9.0a	6.0a
75	25	4.5c	4.0bc	5.0a	6.5ab	1.5b
50	50	4.5c	4.5b	4.5a	4.5b	2.0b
25	75	4.5c	2.5bc	4.5a	3.0b	1.5b
0	100	6.5b	2.0c	2.0b	4.0b	1.0b
DMV219						
100	0	8.5a	7.0a	7.0a	6.5a	7.5a
75	25	7.0a	6.0a	4.5b	4.0a	1.5b
50	50	6.0a	3.5a	4.5b	5.5a	1.0b
25	75	5.0a	6.5a	6.5a	6.5a	1.5b
0	100	6.0a	4.5a	4.5b	4.5a	1.5b
DMV221						
100	0	8.5a	8.0a	7.5a	9.0a	8.5a
75	25	7.0ab	6.0ab	4.5a	4.0b	1.5b
50	50	7.0ab	5.0b	6.0a	4.5b	1.0b
25	75	5.5b	4.0b	3.5a	5.0b	2.0b
0	100	5.0b	4.5b	4.5a	4.0b	2.5b

Prueba SNK nivel de significación: 0.05

Medias con diferentes letras en la misma columna son diferentes significativamente.

Escala: 1= Pésimo, 2= Malo, 3= Inaceptable, 4= Regular, 5= Aceptable, 6= Bueno, 7 y 8= Muy Bueno, 9= Excelente.

Cuadro 15. Continuación

Combinación Maíz Sorgo (%)		Olor	Sabor	Sensación bucal	Apariencia	Textura
DMV228						
100	0	8.5a	8.5a	6.5a	9.0a	8.5a
75	25	8.0a	7.5ab	7.0a	7.5ab	1.5b
50	50	6.0a	4.5bc	5.0a	6.5ab	1.5b
25	75	6.0a	4.5bc	6.0a	6.0ab	3.0b
0	100	5.5a	3.0c	2.5b	4.5b	3.0b
SUREÑO						
100	0	9.0a	7.5a	7.0b	8.5a	6.0a
75	25	6.0a	7.0a	8.0a	8.0a	1.0b
50	50	7.5a	5.0c	6.0c	8.5a	1.0b
25	75	7.0a	6.0b	4.0d	5.5a	4.0ab
0	100	6.0a	2.0d	4.0d	7.5a	3.5ab
MX7124						
100	0	8.5a	7.5a	8.0a	8.5a	7.0a
75	25	7.5a	5.5a	6.0a	7.0abc	7.0a
50	50	8.0a	5.5a	7.0a	7.5ab	4.5ab
25	75	5.5a	5.0a	6.0a	5.0c	2.5b
0	100	6.0a	5.0a	4.5a	5.5bc	2.0b

Prueba SNK nivel de significación: 0.05

Medias con diferentes letras en la misma columna son diferentes significativamente.

Escala: 1 Pésimo, 2 Malo, 3 Inaceptable, 4 Regular, 5 = Aceptable, 6 Bueno, 7 y 8 Muy Bueno,

9 Excelente.

4.5 PRESUPUESTO PARCIAL

4.5.1 Análisis de costos

Los costos en los cuales se incurre en procesar el sorgo y el maíz, varían únicamente en el precio de la materia prima, el cual en algunas zonas es mayor el del sorgo que del el maíz y viceversa. También hay diferencia en el costo de la cal, el cual es menor en el sorgo, debido a que se utiliza menor cantidad. (Cuadro 16).

La materia prima en sorgo representa el 57 % del total de costos, lo cual resulta ser el egreso más importante en el proceso de nixtamalización. La mano de obra es el segundo costo más alto que es aproximadamente un 21 % de los costos totales. (Cuadro 16).

Los costos directos fueron el 96 % de los costos totales, mientras que los indirectos el 4% el cual solamente incluye los gastos administrativos. (Cuadro 16).

Cuadro 16. Comparación de Costos del Sorgo y Maíz para procesar 100 libras de materia prima. (Lempiras)

CONCEPTO	Cantidad	Unidad	Sorgo c/u	Maíz c/u	Total Sorgo	Total Maíz
I. Costo Directo						
- Sorgo / Maíz	100	lb	1.5	1.2	150.00	120.00
- Cal						
a) Sorgo	0.85	lb	0.42		0.38	
b) Maíz	1.20	lb		0.42		0.50
- Agua	0.70	mt ³	5.00	5.00	3.50	3.50
- Mano de Obra	5.5	hr/hombre	9.16	9.16	50.40	50.40
- Gas propano	0.75	gl	15.5	15.5	21.00	21.00
- Electricidad	1.44	kw/hr	1.27	1.27	1.82	1.82
- Depreciación Estufa	1.5	horas	0.25	0.25	0.38	0.38
- Depreciación Molino	1.0	horas	4.25	4.25	4.25	4.25
- Depreciación Tortillera	3.0	horas	7.88	7.88	23.63	23.63
Total de Costos Directos					255.36	225.48
II. Costo Indirectos						
- Gastos Administrativos	1	día	10	10	10.00	10.00
Total de Costos Indirectos						
TOTAL DE COSTOS					265.36	235.48

Taza de Cambio = 13.60 lempiras por dólar.

4.5.2 Presupuesto parcial del Sorgo y Maíz.

La utilidad de procesar sorgo es mayor que la de maíz, a pesar que el precio de sorgo es mayor, pero en zonas donde el precio de sorgo fuera menor se obtendría una mejor utilidad. Esto se da a que el sorgo tiene mayores rendimientos que el maíz y por lo tanto mayores ingresos (precio por tortilla = 0.02 dólares)

La variedad Sureño obtuvo la mejor utilidad, cuya rentabilidad sobre costos fue del 195 %, que quiere decir que por cada dólar que se incurre en el procesamiento se obtienen 1.95 dólares de utilidad. Entre los maicillos mejorados DMV219 Y DMV228 presentan las mejores utilidades con una rentabilidad sobre costos de 132 %. Por otra parte, Maíz sólo obtuvo una rentabilidad sobre costos de 0.51 muy por debajo que las variedades de sorgo. (Cuadro 17).

Cuadro 17. Comparación del Presupuesto Parcial de seis variedades de Sorgo y el Maíz, procesando 100 libras de materia prima (Dólares E.U.)

Concepto	Maíz	Sureño	DMV179	DMV198	DMV219	DMV221	DMV228	MX7124
Ingreso	25.36	57.35	42.00	36.40	45.20	34.19	45.20	39.70
Costos Directos	16.53	18.78	18.78	18.78	18.78	18.78	18.78	18.78
Costos Indirectos	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
UTILIDAD	8.78	37.83	22.48	16.88	25.68	14.67	25.68	20.18

Taza de Cambio = 13.60 lempiras por dólar.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demuestran que:

- Se obtuvo mayor rendimiento en tortilla con el grano de sorgo utilizados que con el maíz, donde la variedad de Sureño obtuvo el mejor rendimiento en masa y por ende de tortillas.
- Todos los maicillos mejorados evaluados cumplen con las características físicas de grano requeridas para el procesamiento alcalino.
- Entre los maicillos mejorados, los DMV219 y DMV228 presentaron los mejores rendimientos y produjeron tortillas con características organolépticas aceptables.
- El rendimiento en masa tenía una relación directa a la densidad real del grano.
- Las propiedades organolépticas de las tortillas elaboradas a base de sorgo comparado con las de maíz, fueron de menor calidad, sin embargo tuvieron buena aceptación en los consumidores.
- Entre las variedades de sorgo, la variedad Sureño presentó las tortillas con mejores características organolépticas comparadas con maíz.
- La coloración del grano y de las glumas es un factor indispensable en la aceptabilidad de las tortillas (Apariencia), afectando directamente las demás propiedades organolépticas. Por esta razón el DMV198 en la mayoría de los casos resultó ser el que tuvo menor aceptabilidad.
- Las características organolépticas de las tortillas fueron de menor calidad a medida se aumentaba la proporción de sorgo.
- La combinación con 25 % sorgo fue la que mayor semejanza tuvo con las tortillas de maíz.
- Hubo una menor remoción de pericarpio del grano de sorgo en comparación con el de maíz, afectando directamente la calidad de la masa.
- La única diferencia entre producir tortillas de maíz y sorgo está en el costo del grano (> 50 % de los costos totales) y el costo de la cal que fue un poco mayor en maíz por la cantidad suministrada en el proceso.

- Se obtienen mejores rentabilidades con el procesamiento del sorgo para hacer tortillas que con el maíz, dado que el sorgo tiene mejor rendimiento en masa que el maíz y por lo tanto menor cantidad de tortillas.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para siembra los maicillos mejorados DMV219 y DMV228, por todas las ventajas agronómicas que presentan y por tener una buena aceptabilidad en las características organolépticas de sus tortillas. También por tener altos rendimientos en masa por kg de grano, lo cual es una ventaja en comparación con el maíz, por la rentabilidad que ofrece.
- También seguiría recomendando Sureño para el consumo humano, el cual en este estudio resultó ser la mejor variedad en las características organolépticas y rendimiento.
- Tomar en cuenta la coloración del grano y glumas en el proceso de selección porque influyen significativamente en la calidad de las tortillas.
- La combinación con 25 y 50 % de sorgo se recomendaría, primeramente porque no se encontró una diferencia significativa en la mayoría de las propiedades organolépticas de las tortillas y en segundo lugar para incrementar el rendimiento en masa por kilogramo de grano.
- Mejorar el proceso de cocción, determinando el mejor tiempo, la cantidad de agua y cal y el tiempo de reposo. También el proceso de molienda, para obtener una masa más fina y evitar el calentamiento de la masa. Por último, en el lavado del grano, es necesario la utilización de un tamiz adecuado al tamaño del grano. Con esto podemos incrementar el potencial del sorgo como tortilla.
- Evaluar la calidad tortillera de las otras 11 variedades de maicillos mejorados que fueron estudiadas por Pacheco, (1998).
- Hacer pruebas de aceptabilidad evaluando las características organolépticas, en zonas donde se consume tortillas de sorgo.
- Se recomienda realizar otros estudios de aceptación en productos fritos y extruidos a base de sorgo, debido a que resulta otra buena alternativa para su uso en la alimentación humana.

7.BIBLIOGRAFÍA

- ADAI. (1996). Estudio de linea de Base de los departamentos de Lempira, Intibuca y La Paz. Honduras, CA. 50 p.
- ALMEIDA, H.; SERNA, S.; y ROONEY, L. (1991). Properties of new and comercial sorghum hybrids for use in alkaline-cooked foods. American Association of Cereal Chemists, Inc. 68(1): 25-30.
- COMPTON, L.P. 1990. Agronomía del sorgo. Trad. Por Ma. Guadalupe López Abdelrague (Ind.). Instituto Internacional para el Mejoramiento de Cultivos para los Trópicos Semiáridos. Hyderabad, India (ICRISAT). 316 p.
- GOMEZ, M.; McDONOUGH, C.; ROONEY, L. y WANISKA, R. (1989). Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. Cereal Quality Laboratory Department of Soil and Crop Sciences and Nutrition Laboratory. Texas A&M University, USA. Journal of Food Science 54(2): 330-336.
- GÓMEZ, F.; CERRITOS, M. y MORÁN, J. (1995). Conservación (*in situ*) y mejoramiento del maicillo. INFORME ANUAL DE INVESTIGACIÓN – 1994, Departamento de Agronomía, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. p. 61 – 70
- HOSENEY, C. (1994). Principles of cereal science and technology. Ed. 2nd. American Association of Cereal Chemists, Inc. Minnesota, USA. 378 p.
- NUÑEZ, R. Y CASTILLO, A. 1995. El mercado de maíz y sorgo en Honduras. Editado por la Secretaría de Recursos Naturales, Unidad de Planificación Sectorial Agrícola (UPSA). Tegucigalpa, Honduras. 68 p.
- PACHECO, R. 1998. Caracterización agronómica de dieciséis maicillos mejorados *Sorghum bicolor* en diferentes localidades. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agronomo, Zamorano, Honduras. 48 p.
- ROONEY, et al. 1997. Maize evaluation for alkaline cooking. Cereal quality laboratory. Soil & Crop Sciencies Dept. Texas A&M University, USA. 308 p.
- ROONEY, et al. 1988. Food and nutritional quality of sorghum and millet. INTSORMIL annual report. Texas A&M University, USA. p. 163 – 172.

SAS INSTITUTE Inc. 1996. SAS/User's Guide: Version 6.12 Edition SAS Institute Inc. Cary, NC. 1163 p.

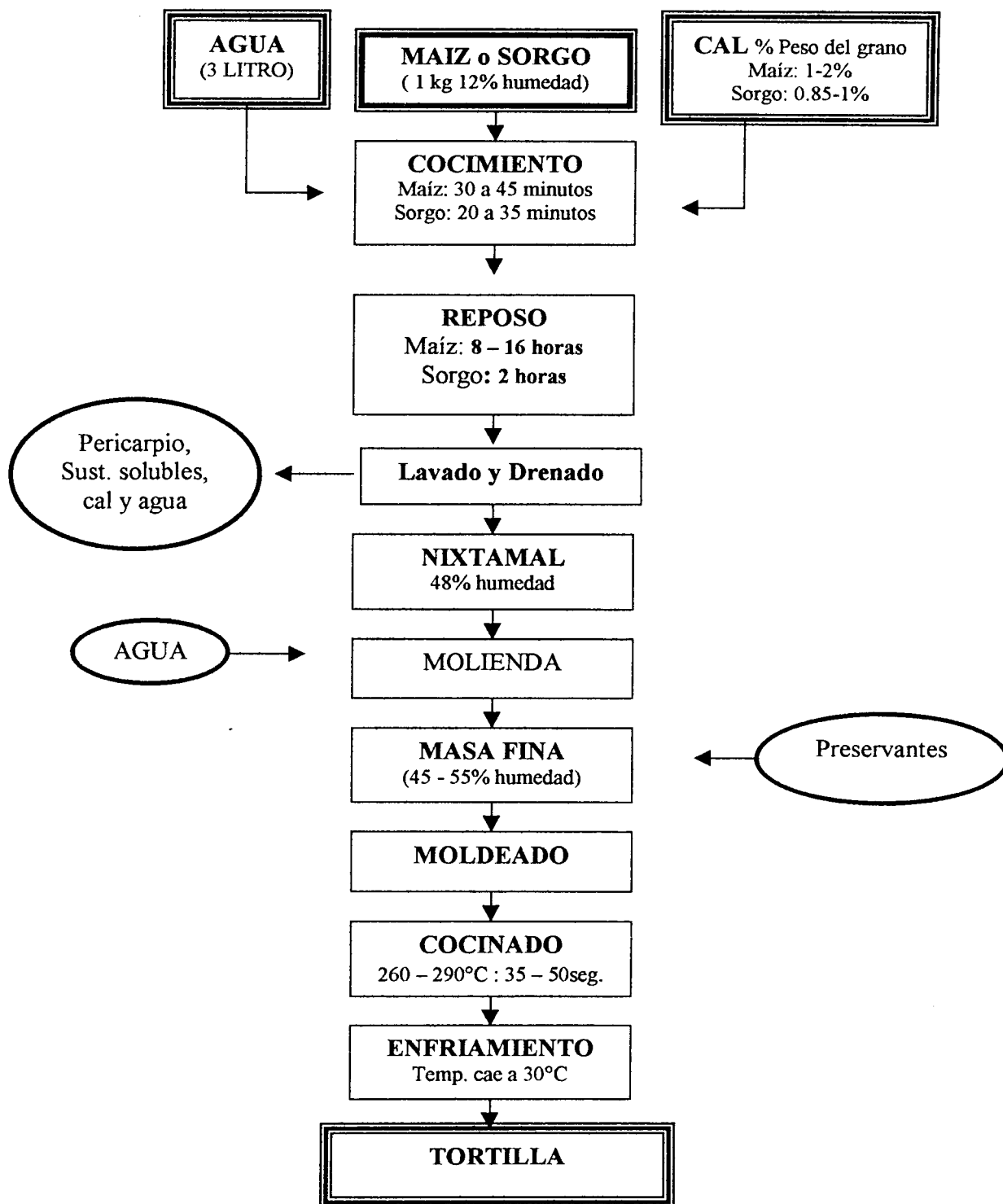
SERNA-SALDÍVAR, S. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT EDITOR, S.A. Monterrey, México. p 205 – 223.

SERNA, S.; KNABE, K.; ROONEY, L.; TANKSLEY, J.; y SPROULE, M. (1988). Nutricional value of sorghum and maize tortillas. Cereal Quality Laboratory Department of Soil and Crop Sciences and Nutrition Laboratory. Department of Animal Science. Texas A&M University, College Station, Texas, USA. Journal of Cereal Science 7: 83 – 94 p.

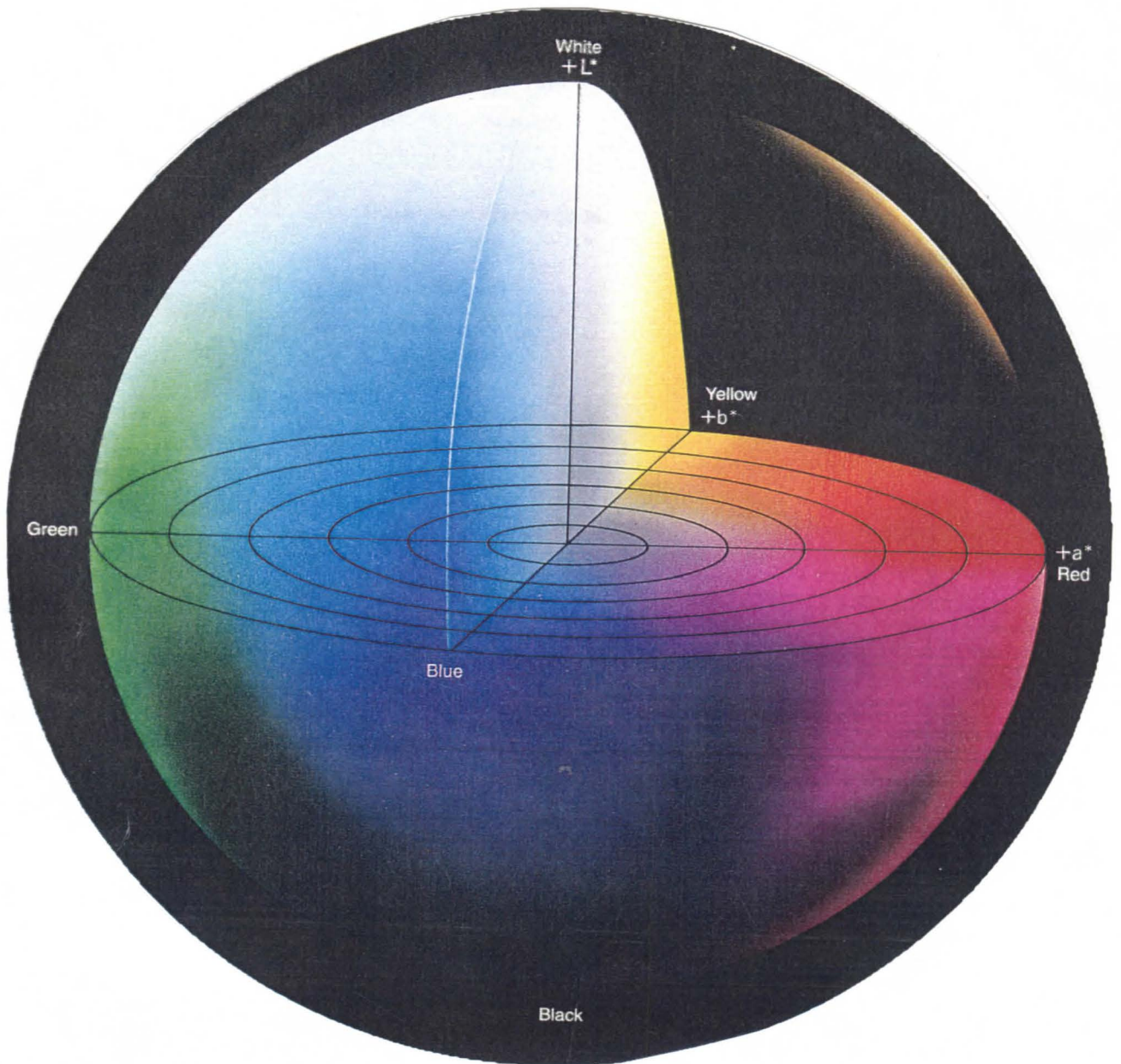
SERNA, S. y ROONEY, L. 1995. Sorghum and millets. Chemistry and tecnology. Editor David Dendy. Publicado por American Association of Cereal Chemists, Inc. Minnesota, USA. 406 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Proceso de Elaboración de Tortillas



Anexo 2. Representación gráfica del color de un sólido en tres dimensiones ($L^*a^*b^*$)



Anexo 3. Correlación de Pearson entre características organolépticas, humedad y niveles de adición de maíz en tortillas de sorgo.

INTERACCION	Combinación	Olor	Sabor	Sensación Bucal	Apariencia	Textura
Combinación	.					
Olor	-0.63	.				
Sabor	-0.73	0.56	.			
Sensación Bucal	-0.71	0.50	0.70	.		
Apariencia	-0.71	0.52	0.61	0.63	.	
Textura	-0.57	0.52	0.56	0.44	0.60	.
Humedad	-0.69	0.50	0.56	0.43	0.43	0.42

Pr< 0.0001

Anexo 4. Andevas para cada una de las Comparaciones.

A. Tortillas 100%.

F	OLOR	SABOR	SENSACION BUCAL	APARIENCIA	TEXTURA
Global	0.0399	0.0004	0.0056	0.0068	0.0001
Variedad	0.0550	0.0003	0.0040	0.0062	0.0001
Repetición	0.0312	0.6641	0.0766	0.7468	0.3159
R ²	0.82	0.95	0.91	0.90	0.99
CV	13.15	15.09	10.82	14.83	8.60

B. Combinación al 75 % Sorgo y 25% Maíz.

F	OLOR	SABOR	SENSACION BUCAL	APARIENCIA	TEXTURA
Global	0.0873	0.0003	0.0503	0.0001	0.0015
Variedad	0.0611	0.0002	0.0381	0.0001	0.0015
Repetición	0.4445	0.3159	0.8094	0.0185	1.0000
R ²	0.77	0.96	0.81	0.97	0.93
CV	16.89	9.94	16.42	6.31	25.73

C. Combinación al 50 % Sorgo y 50% Maíz.

F	OLOR	SABOR	SENSACION BUCAL	APARIENCIA	TEXTURA
Global	0.0038	0.0002	0.1649	0.0043	0.0001
Variedad	0.0057	0.0001	0.1360	0.0032	0.0001
Repetición	0.0306	0.0041	0.5356	0.3159	0.5727
R ²	0.91	0.96	0.71	0.91	0.98
CV	7.21	5.76	13.65	11.67	15.71

D. Combinación al 25 % Sorgo y 75% Maíz.

F	OLOR	SABOR	SENSACION BUCAL	APARIENCIA	TEXTURA
Global	0.0454	0.0481	0.0083	0.0001	0.0009
Variedad	0.0342	0.0558	0.0060	0.0001	0.0007
Repetición	0.5356	0.0609	1.0000	0.5727	0.5727
R ²	0.81	0.81	0.89	0.97	0.94
CV	11.85	15.71	11.12	7.88	26.28

Anexo 5.

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA

Objetivo: Comparar las características de las tortillas de maíz con las de sorgo.
 Observar si hay diferencias entre las siguientes características:

- OLOR
- SABOR
- SENSACIÓN BUCAL
- APARIENCIA
- TEXTURA

ENCUESTA: Encerrar en un círculo la mejor opción.

ESCALA: 1= Pésimo, 2= Malo, 3= Inaceptable, 4= Regular, 5= Aceptable, 6= Bueno, 7 y 8= Muy Bueno, 9= Excelente.

CARACTERÍSTICAS

Olor:

- | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Tienen las tortillas el olor característico de productos nixtamalizados | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 2. Si tiene un olor desagradable, podría describirlo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Sabor:

- | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. El sabor de la tortilla es: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 2. La tortilla tiene exceso de cal: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 3. Es amarga: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 4. Es simple (No sabe a nada): | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Sensación Bucal:

- | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Hay presencia de grumos: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 2. Siente que raspa cuando se come: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 3. Es muy dura: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 4. Es muy blanda: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Apariencia:

- | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Es agradable el color: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 2. El color es homogéneo, hay uniformidad: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Textura:

- | | | | | | | | | | |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Se enrolla: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 2. Se raja o no: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

OBSERVACIONES: _____
