

**UNELLEZ**  
**Vicerrectorado de Infraestructura**  
**y Procesos Industriales**  
**Programa Ciencias del Agro y del Mar**  
**San Carlos – Venezuela**



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE NIXTAMALIZACIÓN DEL GRANO DE  
MAÍZ (*Zea mays*) SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE UNA  
HARINA.**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Agroindustrial.

**Br. Kairelis Juárez C.I. 21.394.669**

**Br. Nohely Sánchez C.I. 20.951.700**

**Tutor: Ing. José Ramos**

**SAN CARLOS, OCTUBRE DE 2016.**

**UNELLEZ**  
**Vicerrectorado de Infraestructura**  
**y Procesos Industriales**  
**Programa Ciencias del Agro y del Mar**  
**San Carlos – Venezuela**



**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE NIXTAMALIZACIÓN DEL GRANO DE MAÍZ (*Zea mays*) SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE UNA HARINA**

**Br. Kairelis Juárez**

**Br. Nohely Sánchez**

El trabajo de grado titulado “**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE NIXTAMALIZACIÓN DEL GRANO DE MAÍZ (*Zea mays*) SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE UNA HARINA**”, Presentada por las Brs. Kairelis D. Juárez L. C.I: V-21.394.669 y Nohely J. Sánchez Ch. C.I: V- 20.951.700, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agroindustrial, fue aprobado en fecha: 27/10/2016 por el siguiente jurado:

---

**Prof. Rohalvys Flores**

---

**Prof. Alfredo Agüero**

---

**Prof. José Ramos**

**SAN CARLOS, OCTUBRE DE 2016**

## DEDICATORIA

Al ser más especial, es decir, **Dios** por darme salud, inteligencia y valor para afrontar las situaciones difíciles que se me presentaron a lo largo de mi carrera, por sanar mi alma cada vez que me sentí frustrada, por darme la fuerza para levantarme cada vez que sentía desmayar.

No conforme con eso mi Dios me ha convencido de su amor inmenso hacia mi persona con las bendiciones que a diario me ofrece aun sin merecerlas quizás.

Gracias por la hermosa familia que me diste que son mis padres: **MARIANA CHIRINOS Y FRANCISCO SANCHEZ**, por todo el amor y el apoyo recibido; a mis hermanos: **FRANKELLIS SANCHEZ Y FRANCISCO SANCHEZ** por todos los gratos momentos y por recibir de ustedes lo más importante **EL APOYO Y AMOR FAMILIAR...**

Por eso y más este triunfo es primeramente de dios y de ustedes como mi familia, los amo!

**Nohely Sánchez**

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar de manera muy sincera, mi especial agradecimiento al **Dios Todopoderoso** por permitirme gozar del milagro más grande que es la vida, por permitirme estar sana hasta el día de hoy, por mantener a mis seres queridos con vida, disfrutando de su compañía y apoyo.

Agradezco a mis Padres: **Mariana Chirinos** y **Francisco Sánchez**, que con sacrificio y mucho amor me dieron mis estudios sabiendo que la mayor herencia que los padres nos pueden otorgar es esta y así siempre me lo hicieron saber. **Por eso y más los amo!**

A mis hermanos **Frankellis Sánchez** y **Francisco Sánchez** por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida, **los quiero inmensamente!**

A mis cuatro Abuelos: **Susana Gutiérrez**, **Antonio Chirinos** Y **Carmen Escalona**, **Rafael Sánchez** por todo el apoyo brindado.

A mis tías: **Rosa Chirinos**, **Nohemy Chirinos** y **Deydy Sánchez**, porque han estado a lo largo de mi carrera apoyándome de una u otra forma, y **Jixon Henríquez (mi tío)** por estar ahí para mí y no decirme que NO cada vez que necesité.

A mis amigos: **Eliana Lovera**, **Yasanny Torrealba**, **Eglys Heredia**, **Kairelis Juárez** y **Luis Gámez** por siempre estar para mí y ayudarnos mutuamente sabiendo y aplicando el significado de la amistad.

A mi Tutor: **Ing. José Ramos**, por el apoyo tan incondicional brindado en la realización de mi Tesis como profesor y amigo, excelente persona con grandes virtudes.

Y a todas esas personas que de una u otra forma estuvieron presentes en mi formación Académica **GRACIAS!**

## DEDICATORIA

A mi dios, por haberme permitido llegar a este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos además de su infinita bondad y amor.

A mis padres *Carmen López y Antonio Juárez* por estar conmigo durante todo este tiempo, por guiarme y apoyarme. Y darme la confianza para continuar y cumplir mis metas.

A mis hermanos *Daniela, Katusca, Karianny y Keivert* por apoyarme y motivarme cada día de que si se puede. Por su apoyo incondicional.

Este triunfo se los dedico **a ellos, a mi familia, a mi Dios y amigos que forman parte de esto. Gracias.**

**Kairelis Juárez**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco inmensamente a **mi Dios**, por partirme cumplir esta meta por guiarme y darme sabiduría y paciencia para continuar cada día de este tiempo y vivir grandes experiencias con personas a mi lado.

Gracias a mis padres **Carmen López** y **Antonio Juárez** por guiarme y permitirme cumplir esta meta, y por brindarme todo su apoyo incondicional.

A mis hermanos **Daniela, Katusca, Karianny y Keivert** por su apoyo incondicional durante este tiempo. Los amo

A mis amigas **Eliana Lovera y Yasanny Torrealba** por estar a mi lado todos los días, por estar durante todo este tiempo que no fue fácil por reír, llorar, junto a mí por esos momentos únicos e inolvidables que vivimos. Por la fe de que si se puede y nunca rendirse gracias amigas.

A mis queridas **Nohely Sánchez y Eglys Heredia**, personas que llegan a tu vida para brindarte apoyo, cariño y amor, y dejarte saber que aunque en el camino hallan obstáculos, se puede continuar mientras tenga fe y creas en ti, las quiero.

A mi querido profesor **José Ramos**. Un ser humano maravilloso, lleno de grandes virtudes, y respetuoso gracias por apoyarme, estar hay para mí por tus enseñanzas, por tu cariño y por ser incondicional. Te quiero mucho.

A la **UNELLEZ** por brindarme una buena formación académica.

**A todos gracias...**

**Kairelis Juárez**

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
INDICE GENERAL .....	vii
INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE CUADROS .....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN .....	xiii
SUMMARY.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I. ....	3
I.1. EL PROBLEMA.....	3
I.1.1. Formulación y planteamiento del problema. ....	3
I.1.2. Formulación de los objetivos. ....	5
I.1.2.1. Objetivo general.....	5
I.1.2.2. Objetivos específicos. ....	5
I.1.3. Evaluación del problema.....	6
I.1.3.1. Importancia.....	6
I.1.3.2. Interés. ....	6
I.1.3.3. Justificación.....	6
I.1.4 alcances y limitaciones.....	7
I.1.4.1. Alcances. ....	7
I.1.4.2. Limitaciones. ....	8
I.1.5. Ubicación geográfica.....	8
I.1.6. Institución, Investigador, Asesor metodológico y tutor académico. ....	8
CAPITULO II. ....	9
II.1. MARCO TEORICO. ....	9

II.1.1. Antecedentes de la investigación. ....	9
II.1.2. BASES TEORICAS.....	11
II.1.2.1. El maíz. ....	11
II.1.2.1.1. Origen del maíz. ....	12
II.1.2.1.2. El maíz en Venezuela. ....	13
II.1.2.1.3. Características generales del maíz.....	14
II.1.2.1.4. Estructura del grano. ....	16
II.1.2.1.5. Composición química de las partes del grano de maíz.....	18
II.1.2.2. Nixtamalización del grano de maíz. ....	19
II.1.2.2.1. Proceso de nixtamalización del grano de maíz.....	20
II.1.2.2.3. Efecto de la nixtamalización tradicional en el grano de maíz y sus.....	21
II.1.2.2.4. Masa de maíz nixtamalizado.....	23
II.1.2.2.5. Harina de maíz nixtamalizado.....	24
II.1.2.3. Hidróxido de calcio o cal. ....	25
II.1.2.4. El diseño y análisis de experimentos utilizando la metodología de superficie de respuesta mejorada (DASRM).....	26
II.1.2.5. Diseño completamente aleatorizado de efectos fijos. ....	27
II.1.2.6. Definición de términos básicos.....	28
II.1.2.7. Formulación de sistema de hipótesis. ....	30
II.1.2.8. Formulación del sistema de variables.....	30
II.1.2.8.1. Variable independiente. ....	30
II.1.2.8.2. Variables dependientes. ....	31
II.1.2.9. Operacionalización de variables. ....	31
CAPITULO III .....	33
III.1. MARCO METODOLOGICO. ....	33
III.1.1. Tipo de investigación. ....	33
III.1.2. Población y muestra.....	33
III.1.2.1. Muestra.....	33
III.1.2.2. Población.....	33
III.1.3. Diseño de la investigación.....	34
III.1.3.1. Diseño de muestreo de los tratamientos. ....	34

III.1.3.2. Materiales y métodos. ....	34
III.1.3.2.1. Materiales: .....	34
III.1.3.2.2. Métodos.....	36
CAPTULO IV .....	41
IV.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....	41
IV.1.1. Resultados de la caracterización fisicoquímica de la materia prima: maíz .....	41
IV.1.2. Resultados de la optimización del proceso de nixtamalización del grano de .....	41
IV.1.3. Resultados estadísticos.....	42
IV.1.4. Resultados del proceso de estandarización de obtención de harina de maíz.....	46
IV.1.5. Resultados de la granulometría de las harinas obtenidas.....	49
IV.1.6. Resultados de la valoración de los atributos sensoriales (color, sabor, olor, .....	51
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	59

## INDICE DE TABLAS

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Generación de la matriz de diseño	34
Cuadro 2.	Matriz de diseño con valores naturales	39
Cuadro 3.	Caracterización fisicoquímica de la materia prima: maíz ( <i>Zea mays</i> )	41
Cuadro 4.	Resultados obtenidos para las variables respuestas	42
Cuadro 5.	Prueba de kruskall-Wallis	43
Cuadro 6.	Análisis de la varianza para las variables respuestas	44
Cuadro 7.	Pesos obtenidos de las harinas por tratamiento	47
Cuadro 8.	Porcentaje de cenizas de la harina de maíz nixtamalizada	49
Cuadro 9.	Resultados de granulometría de las harinas de maíz nixtamalizadas	50
Cuadro 10.	Prueba de medias para la respuesta sensorial sabor	52
Cuadro 11.	Prueba de medias para la respuesta sensorial olor	53
Cuadro 12.	Prueba de medias para la respuesta sensorial color	54
Cuadro 13.	Prueba de medias para la respuesta sensorial textura	55
Cuadro 14.	Anavar para la respuesta global del producto	56

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Estructura del grano de maíz	17
Figura 2.	Composición química del grano de maíz	18
Figura 3.	Proceso de nixtamalización del grano de maíz	37
Figura 4.	Proceso de obtención de harina de maíz nixtamalizado	38
Figura 5.	Gráfico de Cajas y Bigotes para las respuestas	44
Figura 6.	Gráfico de medias para las respuestas	45
Figura 7.	Gráfico de comportamiento de las variables respuestas	46
Figura 8.	Gráfico de medias para la respuesta sensorial sabor	52
Figura 9.	Gráfico de medias para la respuesta sensorial olor	53
Figura 10.	Gráfico de medias para la respuesta sensorial color	54
Figura 11.	Gráfico de medias para la respuesta sensorial textura	55

**UNELLEZ**  
**Vicerrectorado de Infraestructura**  
**y Procesos Industriales**  
**Programa Ciencias del Agro y del Mar**  
**San Carlos – Venezuela**



**RESUMEN**

**Br. Kairelis Juárez**  
**Br. Nohely Sánchez**  
**Tutor: Ing. José Ramos**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE NIXTAMALIZACIÓN DEL GRANO DE MAÍZ (*Zea mays*) SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE UNA HARINA.**

Para evaluar el efecto de nixtamalización del grano de maíz (*Zea mays*) sobre las propiedades fisicoquímicas de una harina; se optimizó el proceso de nixtamalización del grano de maíz (*Zea mays*) en función de las variables concentración de hidróxido de calcio, temperatura y tiempo de cocción, utilizando el software estadístico STATGRAFIC PLUS, significando esto que se construyó un diseño completamente aleatorizado de efectos fijos de respuesta para tres (3) factores experimentales, en un bloque para un total de 4 muestras o tratamientos distintos, sin repetición. Luego se estandarizó el proceso de obtención de harina de maíz (*Zea mays*) nixtamalizada, evaluando sus propiedades físicas (peso específico, actividad de agua, humedad, granulometría, rendimiento) y químicas (pH, acidez titulable total, cenizas); En la investigación experimental y controlada se realizaron pruebas piloto para establecer las condiciones de trabajo. Se desarrolló una mezcla para los factores en estudio evaluando la matriz generada por el software Statgrafic plus 5.1, corriendo los valores de las unidades experimentales con sus respuestas para determinar el proceso óptimo de hidróxido de calcio sobre el grano de maíz, el cual arrojó como óptimo el tratamiento n° 3 por presentar valores ideales para  $X_1= 8g$  y  $X_2= 60min$ . En cuanto a la evaluación sensorial de los atributos (sabor, color, olor, textura) de los 4 tratamientos el que arrojó mayor aceptación de parte de los consumidores fue el n° 1.

**Palabras clave:** Harina de maíz nixtamalizado, hidróxido de calcio, diseño de mezcla, Software Stargrafic Plus 5.1.

**UNELLEZ**  
**Vicerrectorado de Infraestructura**  
**y Procesos Industriales**  
**Programa Ciencias del Agro y del Mar**  
**San Carlos – Venezuela**



**SUMMARY**

**Br. Kairelis Juárez**  
**Br. Nohely Sánchez**  
**Tutor: Ing. José Ramos**

**EVALUATION OF THE EFFECT OF GRAIN CORN *Nixtamalization* (*Zea mays*) ON THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF A FLOUR.**

To evaluate the effect of nixtamalización of maize (*Zea mays*) on the physicochemical properties of a flour; the Nixtamalization of maize (*Zea mays*) depending on the variables concentration of calcium hydroxide, temperature and cooking time is optimized, using the statistical software STATGRAFIC PLUS, meaning that a completely randomized design fixed effects built response to three (3) experimental factors, in a block for a total of 4 samples or treatments without repetition. the process of obtaining corn flour (*Zea mays*) masa then had standardized, assessing their physical and chemical properties (specific gravity, water activity, moisture, particle size, yield) (pH, total acidity, ash); In controlled experimental research and pilot tests were conducted to establish working conditions. a mixture for the factors under study evaluating the matrix generated by the Statgrafic plus 5.1 software, running values of the experimental units with your answers to determine the optimum process calcium hydroxide on corn grain, which showed as best developed treatment No. 3 to present ideal values for X1 and X2 = 8g = 60min. As for the sensory evaluation of the attributes (flavor, color, odor, texture) of the 4 treatments which yielded greater acceptance by consumers was no.1.

**Keywords:** Nixtamalized corn flour, calcium hydroxide, mix design, Stargrafic Plus 5.1 software.

## INTRODUCCIÓN

El maíz es el cultivo más importante del sector agrícola vegetal en Venezuela y ha sido considerado como un rubro estratégico, dada su importancia en la dieta diaria del venezolano, con un aporte proteico de 6,5 gramos/persona/día y aporte calórico de 316 calorías /persona/día (FEDEAGRO, 2009; BOLPRIAVEN, 2008; citados por Segovia y Alfaro, 2009), además de constituir una fuente generadora de empleos, debido al gran número de personas que lo cultivan a través de casi toda la geografía nacional.

En la actualidad, más del 85% de la producción nacional corresponde a maíz de grano blanco semiduro, utilizado en un 80% por la industria de molienda seca en la elaboración de harinas precocidas, el restante se emplea en las empresas procesadoras de maíz pilado y para el consumo fresco. El maíz amarillo sólo representa entre el 10 y 15% de la producción (Alfaro *et al.*, 2004) y se destina a la industria de alimentos balanceados para animales y al consumo fresco, como jojotos y para la elaboración de cachapas.

La masa de maíz nixtamalizado es un tema de interés, debido a que es materia prima de productos de amplio consumo como las tortillas y arepas. Puede obtenerse a partir de la molienda del nixtamal o por rehidratación de harina. Ambas formas basadas en el proceso tradicional de nixtamalización. Es bien conocido que la nixtamalización mejora la calidad nutricional y digestibilidad del maíz (Castillo *et al.*, 2009).

El proceso de nixtamalización para la obtención de masa y posterior harina para la elaboración de arepas, tortillas, entre otras, es uno de los grandes logros de las culturas mesoamericanas, ya que este proceso favorece la biodisposición de todos los nutrientes del maíz, especialmente del calcio, aminoácidos y la niacina.

Este proceso consiste en cocer el grano de maíz en una solución alcalina usando hidróxido de calcio y actualmente utilizado para preparar tortillas de buena calidad y otros productos alimenticios elaborados a partir del maíz como son: harinas instantáneas de maíz nixtamalizado, tacos, botanas como chips de maíz, entre otros (Castillo *et al.*, 2009).

En consecuencia, en esta investigación se plantea como objetivo general: Evaluar el efecto de nixtamalización del grano de maíz (*Zea mays*) sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de una harina.

Para ello, la investigación se realizó primero con una serie de ensayos o pruebas pilotos con el objeto de determinar el mejor comportamiento del grano de maíz sometido a la nixtamalización dichas y luego se desarrollará estadísticamente con un diseño compuesto central cubico  $2^3 +$  estrellas. El análisis de los datos se realizará con métodos de superficie de respuestas mejorados, los cuales permitirán modelar el proceso, utilizando los software STATISTICA v.7 y JMP v.4.

## **CAPITULO I.**

### **I.1. EL PROBLEMA**

#### **I.1.1. Formulación y planteamiento del problema.**

Muchos venezolanos, y no venezolanos, tienen tiempo comiendo arepas de maíz, elaboradas con harina precocida de diferentes marcas. La harina de maíz precocida, realmente, fue un invento que hizo extensivo el consumo de la arepa. Con la aparición de la harina precocida, quedó muy atrás el tiempo aquel donde se debía hacer un engorroso procedimiento para preparar arepas de maíz pelado.

Según las empresas del sector, los venezolanos consumen 3,4 toneladas de maíz al día, lo que se manifiesta en el aumento de las ventas en las diferentes marcas de harina precocida (García, 2009).

Forma parte de los hábitos del venezolano, el mayor consumo de este cereal es en forma de harina precocida, utilizada para la elaboración de arepas, hallaquitas y otros. También se emplea en la preparación de natillas en forma de maicena.

Actualmente, en estos tiempos de escasez y racionamiento, los comunicados de la industria advirtiendo sobre los bajos inventarios de maíz son motivo de preocupación en un país donde la arepa es un componente clave y un símbolo importante en la dieta de los venezolanos (Alayón, 2016).

La falta de materia prima, aunado al control de precios, la escasez de empaques y la improductividad en algunas empresas públicas y privadas mermó la oferta de ese rubro en el mercado.

Debido a ello, la producción y distribución de harina precocida en Venezuela se ha visto afectada en los últimos años. A pesar, que el gobierno ha realizado todos los esfuerzos por incrementar y controlar el principal rubro de la dieta venezolana, y así satisfacer las necesidades del pueblo; el problema no termina de resolverse y todavía

a la población le cuesta conseguir el producto en los principales mercados (Marcano, 2014).

Ante esta realidad, el Gobierno Nacional reacciona racionando la cantidad de productos que las personas pueden comprar en los establecimientos comerciales tanto públicos como privados. Mientras esto sucede, el ciudadano común busca desesperadamente de adquirir los alimentos e insumos mínimos necesarios para vivir.

La escasez de alimentos básicos en el país afectó los hábitos de consumo de la población, que ha reducido la ingesta de carbohidratos, proteínas y algunas grasas. La Encuesta de Seguimiento del Consumo de Alimentos realizada por el Instituto Nacional de Estadística revela un descenso en la ingesta de productos de la canasta alimentaria que tienen precios regulados como harina de maíz, arroz, pastas, pan, pollo, carne, leche y aceite (Hernández, 2014).

El informe detalla que el consumo de harina de maíz precocida se redujo 25,54% al pasar de 80,39 gramos diarios por persona en el primer semestre de 2012 a 59,86 gramos entre enero y junio del año 2013.

Los cereales predominan en el consumo, liderados por la harina de maíz precocida en diferentes preparaciones, seguido por el arroz y la pasta. La harina de maíz blanco precocida constituye el primer alimento consumido en diferentes preparaciones: arepa, hallaquitas, empanadas, bollitos, entre otros (INE, 2013).

Por lo antes mencionado, los venezolanos se han visto en la necesidad de volver al pasado realizando de forma artesanal la cocción del maíz con agua y cal y en algunos casos con cenizas, el cual es utilizado principalmente para la elaboración del nixtamal que, después de molerse da origen a la masa, que a su vez servirá para la elaboración de arepas, tortillas, bollos, entre otros.

Considerando lo antes expuesto, optimizar un proceso para la obtención de una harina nixtamalizada de maíz, permitirá su utilización en mezclas con otros ingredientes para elaborar alimentos con un alto valor nutricional, situación esta que se verá reflejada en el aprovechamiento agroalimentario del maíz.

## **I.1.2. Formulación de los objetivos.**

### **I.1.2.1. Objetivo general.**

- Evaluar el efecto de nixtamalización del grano de maíz (*Zea mays*) sobre las propiedades fisicoquímicas de una harina.

### **I.1.2.2. Objetivos específicos.**

- Determinar mediante análisis proximal las características físicas y químicas de la materia prima: maíz (*Zea mays*).
- Optimizar el proceso de nixtamalización del grano de maíz (*Zea mays*) en función de las variables concentración de hidróxido de calcio, temperatura y tiempo de cocción, utilizando superficie de respuesta.
- Estandarizar el proceso de obtención de harina de maíz (*Zea mays*) nixtamalizada.
- Analizar las propiedades físicas (densidad, peso específico, humedad, textura, color), químicas (Análisis Proximal de acidez titulable, pH, Aw) del producto óptimo obtenido.
- Valorar los atributos sensoriales (color, sabor, olor, y textura) de un producto tipo arepa a partir de la harina nixtamalizada de maíz (*Zea mays*) para determinar su aceptabilidad total.

### **I.1.3. Evaluación del problema.**

El problema de la siguiente investigación se evaluó bajo los siguientes tres criterios: importancia, interés y justificación.

#### **I.1.3.1. Importancia.**

El proceso de nixtamalización disminuye ligeramente el contenido de vitaminas presentes, el almidón y la solubilidad de la proteína del maíz pero aumenta la biodisponibilidad de aminoácidos, el contenido de fósforo y calcio, de fibra soluble y almidón resistente, el contenido de ácido fólico disminuye también, mejorando con ello la absorción de minerales. La nixtamalización es especialmente importante debido a que eleva la disponibilidad de niacina, eliminando con ello el riesgo de desarrollar pelagra atribuido en otras partes del mundo, fuera de Mesoamérica, al consumo de maíz como único cereal, sin el complemento de otras fuentes que sean ricas en vitamina B<sub>3</sub> (Maccise, 2008).

Por lo tanto, el aplicar la técnica de obtención de harina de maíz nixtamalizado, se logra que este sea aprovechado por la sociedad, y que este tenga un nuevo uso, ayudando a una mejor nutrición de los consumidores.

#### **I.1.3.2. Interés.**

El interés de la investigación radica en el uso de una técnica tradicional de obtención de harina de maíz bajo un Diseño Experimental que permita optimizar el proceso de nixtamalización del grano de maíz mediante los análisis estadísticos-matemáticos-gráficos de datos y resultados obtenidos.

#### **I.1.3.3. Justificación.**

La importancia de los cereales en la nutrición de millones de personas de todo el mundo es ampliamente reconocida. La ingesta es relativamente elevada en los países en desarrollo, no se les puede considerar sólo una fuente de energía, sino que además suministran cantidades notables de proteínas.

En este sentido, el maíz es hoy por hoy el cereal más significativo después del trigo en los intercambios mundiales; siendo una de las principales fuentes para la alimentación humana directa como alimento e indirecta porque a través de su industrialización se obtienen importantes subproductos como: aceite comestible, bebidas alcohólicas, papel, edulcorantes alimenticios, pegamentos e incluso las nuevas tecnologías lo están empleando como combustible alternativo para la gasolina (Castellanos, 2010).

Por otro lado, la nixtamalización es una de las formas básicas de procesar el maíz, ya que, si bien es un proceso de origen netamente americano, se utiliza actualmente en todo el mundo para procesar este cultivo. Al elevar la disponibilidad de niacina en el maíz, es de suma importancia en poblaciones que consumen maíz como cereal principal o exclusivo, y que consecuentemente están en riesgo de padecer pelagra por la deficiencia de niacina, sin el complemento de otras fuentes que sean ricas en vitamina B<sub>3</sub>.

Este proceso o tratamiento térmico alcalino al cual se somete el maíz da como producto central la masa, la cual, luego se transforma en diversos productos entre los cuales la arepa es el producto principal (Ramos, 2014).

En el ámbito de nuestra universidad, la presente investigación está enmarcada dentro de las necesidades de investigación de la UNELLEZ, se ubica en el área de Ciencias del Agro y del Ambiente y la Línea de Seguridad Alimentaria.

#### **I.1.4 alcances y limitaciones.**

##### **I.1.4.1. Alcances.**

El siguiente trabajo de investigación permitió determinar la funcionalidad de un nixtamal de maíz, evaluando los efectos de la concentración de hidróxido de calcio, temperatura y tiempo de cocción sobre sobre las propiedades fisicoquímicas y

microbiológicas de una harina, además, permitirá obtener información que servirá de aporte al conocimiento en las áreas que se trabajó y futuras investigaciones.

#### **I.1.4.2. Limitaciones.**

Entre las limitaciones de la presente investigación se encuentran:

- Con respecto a la obtención y elaboración de nixtamal de maíz en Venezuela en comparación con otros rubros, por lo cual no se encuentran datos estadísticos de su producción, ya que su uso es muy limitado y su procesamiento es de manera artesanal.
- Poca información al uso y aplicación del grano de maíz nixtamalizado para la obtención de harinas y elaboración de productos a partir de la misma.
- Los escasos reactivos y equipos en el Laboratorio de la UNELLEZ dificultarán la realización de los análisis físico-químicos y microbiológicos de la materia prima a utilizar en la investigación y en el producto terminado.

#### **I.1.5. Ubicación geográfica.**

Esta investigación se ejecutó en el laboratorio de ingeniería y tecnología de alimentos, del vicerrectorado de infraestructura y procesos industriales (LITA – VIPI), San Carlos, Estado Cojedes-Venezuela.

#### **I.1.6. Institución, Investigador, Asesor metodológico y tutor académico.**

**Institución:** UNELLEZ – VIPI-San Carlos-estado Cojedes

**Investigador:** Br. Kairelis Juárez C.I. 21.394.669

Br. Nohely Sánchez C.I. 20.951.700

**Tutor Académico:** Ing. José Alejandro Ramos

## **CAPITULO II.**

### **II.1. MARCO TEORICO.**

#### **II.1.1. Antecedentes de la investigación.**

Ramos (2014), determinó el efecto de la concentración de cal  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y sales de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ) en las propiedades térmicas y reológicas del almidón para entender los fenómenos que se llevan a cabo en el proceso ecológico de nixtamalización y cómo influyen en la calidad de las harinas y las tortillas elaboradas mediante esos procesos. Las propiedades térmicas y reológicas del almidón de maíz cambiaron durante el proceso de nixtamalización por tres causas: el proceso de templado, el tipo de sal y la concentración. En general, las tortillas del proceso de nixtamalización ecológica dieron valores más altos de proteína, lípidos, fibra dietética total, fibra insoluble, fibra soluble y almidón resistente en comparación con las tortillas del proceso de nixtamalización tradicional y de harina comercial.

Contreras-Jiménez *et al.* (2013), estudiaron el efecto de la temperatura sobre propiedades funcionales de harinas de maíz extrudidas comparadas con una harina obtenida de un proceso de nixtamalización tradicional. Los tratamientos de extrusión consistieron en: temperatura de 70,75 y 80°C; humedad de 45, 55 y 65% p/p; y tamaño de partícula de 500, 800 y 1300  $\mu\text{m}$ . De acuerdo con la Tabla de ANOVA, la temperatura afecta significativamente las propiedades funcionales: índice de solubilidad (ISA) e índice de absorción de agua (IAA), adhesión y viscosidad relativa. Temperatura menor a 80°C favorece alta viscosidad y textura adecuada. El análisis de componentes principales reveló que harinas con partícula de 1300  $\mu\text{m}$  presentan propiedades de pasta similares que la harina nixtamalizada, pero con alta retrogradación. La harina extrudida con 75°C, 800  $\mu\text{m}$  en partícula y 45% de humedad presentó ISA, IAA y textura semejante a harina de maíz nixtamalizada, pero con viscosidad menor.

Castellanos (2010), analizó las propiedades fisicoquímicas y las características microbiológicas en muestras representativas de: almidón regular de maíz, germen (nutricon), gluten (concentrin 60) y fibra (concentrin 21) que se elaboran en la Industria del Maíz, c.a. (INDELMA). El tipo de diseño que uso para este trabajo de investigación está ubicada dentro de una metodología Descriptiva-Experimental debido a que se apoyó en la determinación de ciertas variables para conocer sus valores y sus métodos de análisis, donde procedió a recolectar muestras de producto terminado para luego realizarles análisis fisicoquímicos y microbiológicos a un total de 48 muestras divididas en: 30 muestras de almidón regular de maíz, 6 muestras de la fibra de maíz, 6 muestras del gluten de maíz y 6 muestras de germen de maíz. Todos los lotes de almidón regular de maíz y los productos de nutrición animal analizados presentaron en sus propiedades fisicoquímicas y características microbiológicas, estar dentro de los valores recomendados por las normas de calidad de la empresa para este tipo de materia prima.

Castillo et al. (2009), evaluaron el efecto de la concentración de hidróxido de calcio ( $\text{Ca (OH)}_2$ ) y tiempo de cocción del grano de maíz sobre las propiedades fisicoquímicas y reológicas durante la nixtamalización tradicional. Se observó que a mayor concentración de  $\text{Ca (OH)}_2$  y mayor tiempo de cocción del grano, la temperatura de gelatinización aumentó significativamente. El maíz nixtamalizado con 2 g/100g de  $\text{Ca (OH)}_2$  y 60 min de tiempo de cocción, presentó mayor absorción de calcio, 0.152 g/100g, mostrando un aumento significativo respecto a la concentración inicial ( $\approx$  500 g/100g). Todas las muestras presentaron un patrón de difracción de rayos X de almidón tipo A, con diferencias en la intensidad de la difracción.

## **II.1.2. BASES TEORICAS.**

### **II.1.2.1. El maíz.**

Es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen y debido a sus grandes bondades y multitud de usos se ha convertido en el cultivo más importante entre los cereales a nivel mundial por su producción superando al trigo y al arroz. El maíz es una planta completamente domesticada y ha vivido y evolucionado conjuntamente con el hombre desde tiempos remotos. Por esta razón, el maíz no crece en forma silvestre y no puede sobrevivir en la naturaleza, sin los cuidados del hombre.

Fue el primer cereal sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo, que incluyó la producción de híbridos de un alto potencial productivo. El maíz es una de las especies cultivadas con mayor potencial de producción y el de mayor rendimiento de grano por hectárea, con registros a nivel experimental de 24 t/ha (FENALCE, 2010).

El maíz, que es junto con el trigo y el arroz uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales y es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se producen almidón, aceite y proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y, desde hace poco, combustible.

Botánicamente, el maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las gramíneas y es una planta anual alta dotada de un amplio sistema radicular fibroso. Se trata de una especie que se reproduce por polinización cruzada y la flor femenina (elote, mazorca, choclo o espiga) y la masculina (espiguilla) se hallan en distintos lugares de la planta.

Las panojas -a menudo, una por tallo- son las estructuras donde se desarrolla el grano, en un número variable de hileras (12 a 16), produciendo de 300 a 1 000 granos, que pesan entre 190 y 300 g por cada 1 000 granos. El peso depende de las distintas prácticas genéticas, ambientales y de cultivo. El grano constituye aproximadamente el 42 por ciento del peso en seco de la planta. El maíz es a menudo de color blanco o amarillo, aunque también hay variedades de color negro, rojo y jaspeado. Hay varios tipos de grano, que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en él. (FAO, 1993).

#### **II.1.2.1.1. Origen del maíz.**

Puede decirse con cierta exactitud que el maíz tienen su origen en la región situada entre América Central y Meridional, especialmente en México, de donde se difundió hacia el norte hasta el Canadá y hacia el sur hasta la Argentina. La evidencia más antigua de la existencia del maíz, de unos 7 000 años de antigüedad, ha sido encontrada por arqueólogos en el valle de Tehuacán (México) pero es posible que hubiese otros centros secundarios de origen en América.

Este cereal era un artículo esencial en las civilizaciones maya y azteca y tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición; A finales del siglo XV, tras el descubrimiento del continente americano por Cristóbal Colón, el grano fue introducido en Europa a través de España. Se difundió entonces por los lugares de clima más cálido del Mediterráneo y posteriormente a Europa septentrional.

En cuanto a Venezuela, la transición de una cultura predadora de caza y pesca a un tipo de organización más compleja y estable estuvo determinada por la introducción de la agricultura a través de la etnia Arawak (Strauss, 1992 citados por Segovia y Alfaro, 2009).

Ese cambio en el patrón cultural y demográfico estuvo determinado por la aparición del maíz, esto se infiere por la presencia de manos y piedras de moler. Las evidencias más antiguas en Venezuela ubican el maíz en Parmana, en el margen norte del Orinoco (Mangelsdorf y Sanoja, 1965; Galinat, 1971; Van der Merwe *et al.*, 1981 citados por Segovia y Alfaro, 2009), también señalaron la presencia de restos arqueológicos de maíz en un sitio conocido como el Tiestal en el estado Lara, donde se encontraron fragmentos de mazorcas y granos identificados como una forma temprana de la raza pollo.

Estos restos de maíz carbonizados aparecen inicialmente en la fase Corozal (800 años a. c. a 400 d. c.), continuando a través de la fase Camoruco (400 a 1.500 d. c.). La presencia de esta especie en la dieta de los pueblos prehispánicos del territorio venezolano es la explicación de la modificación de sociedades primitivas muy simples a organizaciones sociales más complejas.

#### **II.1.2.1.2. El maíz en Venezuela.**

El maíz es el cultivo más importante del sector agrícola vegetal en Venezuela y ha sido considerado como un rubro estratégico, dada su importancia en la dieta diaria del venezolano con un aporte proteico de 6,5 gramos/persona/día y aporte calórico de 316 calorías /persona/día (FEDEAGRO, 2009; BOLPRIAVEN, 2008; citados por Segovia y Alfaro, 2009), además de constituir una fuente generadora de empleos, debido al gran número de personas que lo cultivan a través de casi toda la geografía nacional.

En la actualidad, más del 85% de la producción nacional corresponde a maíz de grano blanco semiduro, utilizado en un 80% por la industria de molienda seca en la elaboración de harinas precocidas, el restante se emplea en las empresas procesadoras de maíz pilado y para el consumo fresco. El maíz amarillo sólo representa entre el 10

y 15% de la producción (Alfaro *et al.*, 2004) y se destina a la industria de alimentos balanceados para animales y al consumo fresco, como jojotos y para la elaboración de cachapas.

### **II.1.2.1.3. Características generales del maíz.**

Según Castellanos (2010), la clasificación del maíz puede ser botánica o taxonómica, comercial, estructural y especial:

#### **a) Clasificación taxonómica:**

Reino: Vegetal

División: Tracheophyta: Plantas con tejidos vasculares

Subdivisión: Pteropsidae: Con hojas grandes

Clase: Angiospermae: Plantas con flor; semillas dentro de frutos.

Subclase: Monocotiledoneae: Con un solo cotiledón

Orden: Poales: Generalmente pastos, cereales, bambú.

Familia: Poaceae

Tribu: Andropogoneae

Género: *Zea*

Especie: *Z. mays*

#### **b) Clasificación comercial:**

#### **Maíz blanco**

La norma venezolana COVENIN 1935-87 lo tipifica como todo aquel maíz de granos blancos o blanco-amarillentos, que presenta un valor menor o igual a 3% de otros colores. Las industrias harineras y almidoneras prefieren este maíz debido al color blanco que imparte al producto terminado.

### **Maíz amarillo**

La norma venezolana COVENIN 1935-87, indica que es el maíz de granos amarillos o amarillos con un trozo rojizo, y que tenga un valor menor o igual a 6% de maíces de otro color. Este maíz es procesado en la industria almidonera, ya que el gluten forrajero es muy codiciado por los ganaderos, debido a su contenido de carótenos (precursores de la vitamina A). También se utiliza en la fabricación de frituras de maíz, dada la coloración final del producto.

### **Maíz mezclado**

La norma venezolana COVENIN 1935-87, observa que todo maíz blanco y amarillo que presente un valor mayor del 3% y el 6% respectivamente, de otros colores será tipificado como maíz mezclado.

### **c) Clasificación por su estructura:**

#### **Maíz dentado (*Zea mays indentata*)**

Tiene una cantidad variable de endospermo corneo (duro) y harinoso (suave). La parte cornea está a los lados y detrás del grano, mientras que la porción harinosa se localiza en la zona central y en la corona del grano. Se caracteriza por una depresión o “diente” en la corona del grano, que se origina por la contracción del endospermo harinoso a medida que el grano va secándose.

#### **Maíz cristalino (*Zea mays indurata*)**

Según Jugenheimer (1981), contiene una gruesa capa de endospermo cristalino, que cubre un pequeño centro harinoso. Generalmente el grano es liso, duro y contienen poco almidón suave. En las zonas templadas, el maíz cristalino a menudo es más precoz, germina mejor, la planta tiene más vigor temprano y más hijuelos que las variedades dentadas.

### **Maíz harinoso (*Zea mays amilaceo*)**

Jugenheimer (1981) manifiesta que este tipo de maíz, está compuesto en gran parte por almidón suave y tienen pocos dientes o ninguno. Se caracteriza por un endospermo harinoso, sin endospermo cristalino.

### **Maíz dulce (*Zea mays saccharata*)**

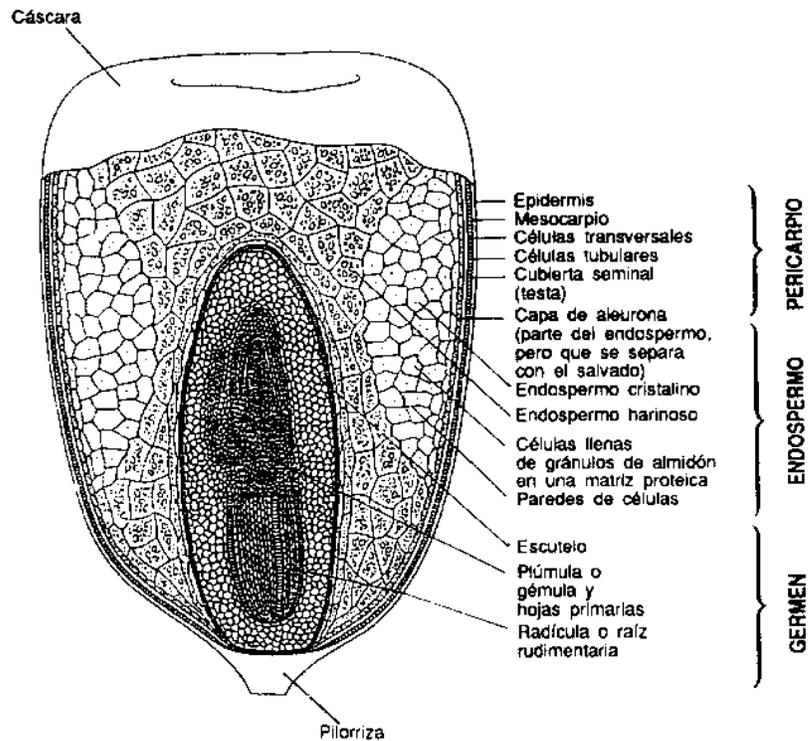
El maíz dulce está caracterizado por una apariencia translúcida y cornea cuando el maíz esta inmaduro. Las mazorcas se recogen cuando están verdes y se usan para enlatados y para consumo en fresco. En Venezuela este tipo de maíz se utiliza para hacer cachapas.

### **Maíz de clasificación especial**

El maíz puede ser alterado por medios genéticos para producir modificaciones en el almidón, proteína, aceite y otras propiedades, entre los cuales se encuentran el Maíz céreo (waxi) (*Zea mays cerea*), Maíz de alta amilosa (amylomaíz), Maíz de alta lisina y Maíz de alto contenido de aceite.

#### **II.1.2.1.4. Estructura del grano.**

El fruto de la planta del maíz se llama comercialmente grano, botánicamente es una cariósida y agrícolamente se le conoce como semilla. Está formado por las siguientes partes:



**Figura 1. Estructura del grano de maíz.**

Fuente: Norve (2001) citado por Castellanos (2010).

*Pericarpio:* Cubierta del fruto de origen materno, se conoce como testa, hollejo o cáscara.

*Aleurona:* Capa de células del endospermo, de naturaleza proteica.

*Endospermo:* Tejido de reserva del grano, que alimenta al embrión durante la germinación. Es la parte de mayor volumen. Hay dos regiones bien diferenciadas en el endospermo, el suave o harinoso y el duro o vítreo. La proporción depende de la variedad.

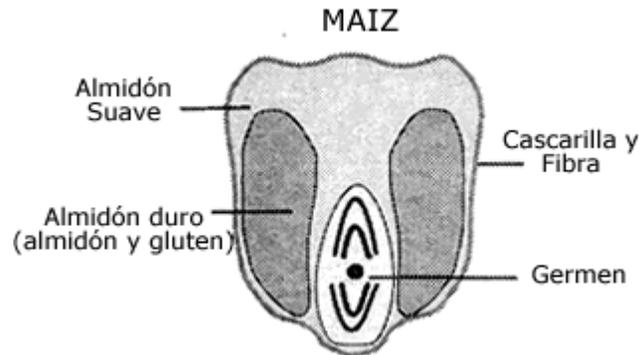
*Escutelo o cotiledón:* Es la parte más significativa del grano, se localiza el germen o embrión.

*Embrión o germen*: se localiza en el centro o núcleo de la semilla, con la estructura para originar una nueva planta, al germinar la semilla.

*Coleorriza o piloriza*: Parte que se une al olote, con una estructura esponjosa, adaptada para la rápida absorción de humedad. Entre esta capa y la base del germen se encuentra un tejido negro conocido como capa hilar, la cual funciona como un mecanismo de sello durante la maduración del grano. La formación de la capa negra indica grano maduro.

#### II.1.2.1.5. Composición química de las partes del grano de maíz.

Según la FAO (1998), las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. Está conformado por las siguientes partes:



**Figura 2. Composición química de las partes del grano de maíz.**

Fuente: FAO (1998).

La *cubierta seminal o pericarpio*, se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87%, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67%), celulosa (23%) y lignina (0.1%). Presenta el 5 al 6% del grano de maíz.

El *germen*, se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas (33% por término medio), contiene también un nivel elevado de proteínas (próximo al 20%) y minerales. También contiene Nitrógeno, pero en menor medida que el endospermo. Presenta el 10 al 12% del grano de maíz.

*La capa de aleurona*, de la cual se conocen pocos datos, tiene un contenido relativamente elevado de proteínas (19%) y de fibra cruda. Contiene cantidades reducidas de Nitrógeno. Presenta el 2 al 3% del grano de maíz.

El *gluten*, se caracteriza por tener un nivel elevado de proteínas (20 a 25%), su presentación húmeda posee color amarillento claro, con sabor dulzón a cereales tostados y ligero olor a maíz fermentado. Se obtiene luego de haber sido extraído la mayor parte de almidón. Presenta el 2 al 3% del grano de maíz.

El *endospermo*, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87%), proteínas (8%) y un contenido de grasas relativamente bajo. Aporta, además, la mayor parte del Nitrógeno que contiene el maíz. Presenta el 80 al 85% del grano de maíz.

*Almidón*, es una sustancia de reserva de las plantas que se forma por síntesis clorofílica, o sea por la intervención de la luz solar; en la oscuridad el almidón se desdobra en azúcares que la savia transporta a otras partes de planta. El almidón es un polisacárido natural altamente polimérico, compuesto de unidades de glucopiranosas ligadas por enlaces  $\alpha$ -glucosídicos. Se presentan en forma de gránulos blancos, formados por un polímero lineal (amilosa) y un polímero ramificado (amilopectina).

#### **II.1.2.2. Nixtamalización del grano de maíz.**

La palabra nixtamalización proviene del náhuatl *nixtli*: cenizas, y *tamalli*: masa, significa maíz cocido con sales de ceniza o cal, es un proceso creado por los olmecas, fue transmitido a los aztecas y mayas, y heredado de generación en generación en

Mesoamérica hasta el día de hoy en que todavía se realiza como en tiempos prehispánicos (Figueroa, 2012).

La nixtamalización del maíz es un proceso pre-colombino que consiste en cocer el grano de maíz en una solución alcalina usando hidróxido de calcio y actualmente utilizado para preparar tortillas de buena calidad y otros productos alimenticios elaborados a partir del maíz como son: harinas instantáneas de maíz nixtamalizado, tacos, botanas como chips de maíz y tortilla chips (Castillo *et al.*, 2009).

El proceso de nixtamalización es un tratamiento térmico alcalino al cual se somete el maíz y que da como producto central la masa, la cual, luego se transforma en diversos productos entre los cuales la tortilla es el producto principal.

#### **II.1.2.2.1. Proceso de nixtamalización del grano de maíz.**

El proceso tradicional es el que heredamos de los aztecas y que actualmente se practica en todo el país, y con pocas modificaciones en el medio rural. La nixtamalización del maíz es un proceso químico por el que se procesa el grano de maíz seco a efectos de obtener una pasta para hacer las tortillas. Este proceso fue creado por la cultura maya precolombina, posiblemente por necesidad de consumir el maíz almacenado en estado seco, pero hoy está bastante difundido en otros países del continente (Bello-Pérez *et al.*, 2001).

Este proceso químico consiste en un tratamiento térmico en medio alcalino dado a los granos, esto implica sencillamente una cocción de los granos en agua de cal y un posterior reposo en ese caldo alcalino. Durante la nixtamalización se producen ciertas modificaciones que permiten dar plasticidad a la masa. Pero los beneficios de la nixtamalización van más allá de la cuestión técnica que implica hacer la masa sin ningún agregado de aglutinantes, durante este proceso se aumenta las propiedades nutricionales del maíz, con el consiguiente beneficio para la salud.

Un cambio importante que podemos citar es la incorporación de calcio, posiblemente esa haya sido la razón por la que según datos históricos, los mayas no hayan sufrido problemas de dentadura ni de huesos. Por otra parte el proceso eleva la disponibilidad de niacina (Vitamina B3) esencial para prevenir algunas enfermedades de piel. También equilibra los aminoácidos esenciales y destruye ciertas toxinas.

La masa obtenida después de la molienda es una mezcla de polímeros de almidón (amilosa y amilopectina) mezclados con granos de almidón parcialmente gelatinizados y granos de almidones intactos, parte de endospermo y lípidos, todos estos componentes forman una malla compleja heterogénea dentro de una fase acuosa continua.

#### **II.1.2.2.3. Efecto de la nixtamalización tradicional en el grano de maíz y sus**

##### **Productos.**

La cocción alcalina y el remojo provocan el hinchamiento y rompimiento de las capas del pericarpio, esto hace que esta parte del grano se vuelva frágil, facilitando su remoción durante el lavado. La nixtamalización también provoca que la estructura que une las células del endospermo, llamada lámina media, y las paredes celulares se degraden y solubilicen parcialmente.

La mayor parte del germen permanece en el grano durante la nixtamalización, lo que permite que la calidad de la proteína del grano de maíz se vea poco afectada. Otro aspecto sobresaliente es que la membrana semipermeable que está alrededor del grano, denominada aleurona, permanece sobre el mismo durante este tratamiento, lo que minimiza la pérdida de nutrimentos hacia el nejayote por el fenómeno de lixiviación (Paredes-López y Saharópulos, 1982; citados por Ramos, 2014).

Durante el cocimiento del grano se llevan a cabo reacciones bioquímicas, entrecruzamientos e interacciones moleculares que modifican tanto las características fisicoquímicas, estructurales y reológicas del nixtamal y la masa, como las propiedades estructurales y de textura de la tortilla producida. Estos cambios, se deben principalmente a modificaciones que ocurren en la estructura del almidón (Castillo *et al.*, 2009; Quintanar-Guzmán *et al.*, 2009; citados por Ramos, 2014).

El contenido de proteína no se ve afectado sensiblemente después que el maíz ha sido nixtamalizado y se produce la tortilla. La digestibilidad de la proteína disminuye ligeramente tanto en el nixtamal como en la tortilla, lo cual está relacionado con el tiempo de cocción y la concentración de cal, ya que la cocción altera las prolaminas provocando que sean menos susceptibles a la digestión (Bressani, 2008).

Los lípidos del grano de maíz disminuyen en forma importante, hasta 3.4 % en tortilla de maíz amarillo y 2.5 % en la de maíz blanco. Estas pérdidas no se han explicado totalmente, sin embargo, pueden deberse a la pérdida del germen o probablemente a la dificultad de solubilizar el aceite con los solventes utilizados.

Martínez-Flores *et al.*, (2006) encontraron que a medida que aumenta la concentración de hidróxido de calcio durante la nixtamalización aumenta también la saponificación de los lípidos y disminuye la cantidad de lípidos que puede ser extraída lo que significa que los lípidos podrían reaccionar con los iones calcio para formar materiales insaponificables que no pueden ser extraídos eficientemente con los solventes comúnmente utilizados.

Las pérdidas que la cocción alcalina y la producción de la tortilla provocan en las vitaminas son variables. Se sabe que cuando el maíz amarillo se somete a la nixtamalización pierde de 15 a 28 % de su contenido de caroteno. La tiamina (vitamina B1), que en promedio está presente en el maíz en 0.7 miligramos por 100 gramos de materia seca, se reduce hasta en 60 %, mientras que la riboflavina (vitamina B2) y la

niacina (vitamina B3) se pierden hasta en 70 y 40 % respectivamente. Cabe mencionar que la niacina presente en el grano de maíz no está disponible, pero el proceso de cocción provoca que esta vitamina se libere como ácido nicotínico para su aprovechamiento, con lo cual se evita la enfermedad llamada pelagra (Paredes *et al.*, 2009).

En relación con el calcio, se ha observado que el contenido de este elemento se ve afectado por la cantidad de cal añadida, las temperaturas de cocción, el tiempo de remojo y el nivel de cal eliminado durante el lavado del nixtamal (Bressani *et al.*, 2004; citados por Ramos, 2014).

La cantidad de calcio incorporado al grano durante el proceso de nixtamalización es muy importante porque la interacción entre el hidróxido de calcio y los diferentes componentes del grano determinan las características fisicoquímicas y sensoriales de los productos elaborados a partir de masa de maíz.

#### **II.1.2.2.4. Masa de maíz nixtamalizado.**

Puede obtenerse a partir de la molienda del nixtamal o por rehidratación de harina. Ambas formas basadas en el proceso tradicional de nixtamalización después de cocer el maíz con la cal, el producto obtenido, llamado nixtamal, se lava con agua para eliminar el exceso de cal, éste se moltura en molinos para obtener una pasta suave y cohesiva conocida como masa. La masa es utilizada para producir tortillas, las cuales son la principal fuente de calorías, proteínas y calcio para la población de bajos recursos económicos (Campus-Baypoli *et al.*, 1999; citados por Bello-Pérez *et al.*, 2001).

La masa obtenida es una mezcla constituida por los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina) mezclados con gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, gránulos intactos, partes de endospermo y lípidos. Todos estos

componentes forman una malla compleja heterogénea dentro de una fase acuosa continua.

Además, la reasociación de la amilosa y amilopectina, que depende del tiempo y la temperatura, modifica constantemente el contenido total de agua (Pflugfelder *et al.*, 1988; citados por Bello-Pérez *et al.*, 2001) y su distribución dentro de esta matriz. Este proceso tiene la mayor repercusión en las propiedades reológicas y de textura de los productos elaborados a partir de masa.

Durante la nixtamalización, pequeñas cantidades de gránulos de almidón son gelatinizados y la mayor gelatinización se debe a la fricción durante la molienda, durante la cual también se dispersan parcialmente los gránulos hinchados dentro de la matriz, los que actúan como un pegamento que mantiene unidas las partículas de masa.

Mucho almidón gelatinizado (debido a un cocimiento excesivo) produce una masa pegajosa que es difícil de manejar. Por otro lado, poco cocimiento produce una masa sin cohesividad que da origen a tortillas de textura inadecuada. Sin embargo, la molienda por sí misma no puede ser utilizada para gelatinizar el almidón en un nixtamal que no fue bien cocido (Rooney y Suhendro, 1999).

#### **II.1.2.2.5. Harina de maíz nixtamalizado.**

En el caso de las Harinas de Maíz Nixtamalizado, éstas son obtenidas por molienda utilizando nixtamal con bajo contenido de humedad, lo que no permite la liberación de los gránulos de almidón a partir de los otros componentes presentes en el grano de maíz.

En consecuencia, las partículas de las Harinas de Maíz Nixtamalizado (HMN) son diferentes a las de las masas. Las partículas de las masas tienen cantidades significativas de gránulos libres de almidón con bajo contenido de proteína, mientras en las HMN las partículas tienen una cantidad de almidón y proteínas similar a la presente en el endospermo del grano de maíz (Gómez *et al.*, 1991; citados por Bello-Pérez *et al.*, 2001).

Las harinas de maíz nixtamalizado (HMN) no presentan un tamaño de partícula uniforme. Al separar las HMN en fracciones, éstas pueden contener partículas de diversos tamaños y generalmente se reporta un diámetro de tamaño de las partículas (% DTP) contenidas en la HMN. Normalmente, en una HMN debe predominar un cierto tamaño de partículas que posea determinadas características físico-químicas. El estado fisicoquímico de las fracciones se considera un criterio importante para las aplicaciones de las HMN en la fabricación de tortillas o productos derivados.

Aunque las diferencias en las propiedades fisicoquímicas y funcionales atribuidas a los %DTP en la HMN han sido observadas, existe poca información sobre como tales diferencias provocan modificaciones en la textura y características del producto. Las investigaciones más recientes reportan que las HMN comerciales son una mezcla de diferentes tamaños de partículas que aportan diferente funcionalidad y que se preparan con condiciones en las que las variables del proceso se mantienen fijas con un solo tiempo de reposo (TR) (Fernández-Muñoz *et al.*, 2010).

### **II.1.2.3. Hidróxido de calcio o cal.**

El CaOH es un polvo blanco que se obtiene por calcinación del carbonato de calcio y su transformación en óxido de calcio. Con la hidratación de óxido de calcio se obtiene el CaOH:  $\text{CO}_3 \text{Ca} = \text{CaO} + \text{CO}_2$ ,  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ ; además este polvo granular, amorfo y fino posee marcadas propiedades básicas, su pH es muy alcalino, aproximadamente 12.4. Su disociación iónica en iones calcio e iones hidroxilo explica

su acción sobre los tejidos, posee valiosas cualidades desde el punto de vista biológico, antimicrobiano y mineralizador.

El calcio desempeña un papel importante durante la nixtamalización del grano de maíz. El tratamiento con cal facilita la remoción del pericarpio durante la cocción y el reposo, controla la actividad microbiana, mejora el sabor, aroma, color, vida de anaquel y el valor nutricional de las tortillas. La cantidad de calcio incorporado al grano durante el proceso de nixtamalización, tanto en el pericarpio, endospermo y germen es muy importante porque la interacción entre el hidróxido de calcio y los diferentes componentes del grano determinan las características fisicoquímicas y sensoriales de los productos elaborados a partir de masa de maíz.

Se realizaron estudios enfocados a la absorción del calcio después de someter el maíz al proceso de nixtamalización, los autores indicaron que el calcio se incorpora al grano de maíz durante la nixtamalización, enlazándose con el almidón y aumentando aproximadamente tres veces la cantidad de calcio unido al almidón, en relación al calcio determinado en muestras sin nixtamalizar (Castillo *et al.*, 2009).

#### **II.1.2.4. El diseño y análisis de experimentos utilizando la metodología de superficie de respuesta mejorada (DASRM).**

La metodología de superficie de respuesta (MSR), es un conjunto de métodos y técnicas de procesamientos estadísticos, matemáticos y gráficos, que permite modelar y simular casi cualquier proceso, a través de la construcción de modelos de regresión “lineales múltiples cuadráticos con interacciones de primer orden”, que permiten predecir y optimizar procesos dentro de límites de prueba establecidos a priori como máximos y mínimos (no extrapolar); ya que la MSR no es adecuada para predecir extrapolaciones fuera de estos límites. La MSR ha sido potenciada al incorporarle métodos gráficos mejorados como las gráficas dinámicas de deseabilidad de perfiles

de respuestas y de superficie de contornos que permite simular, originándose la llamada DASRM o Diseño y Análisis de Superficie de Respuesta Mejorada (Ávila, 2008).

Esta superficie de respuesta se usa como guía para variar gradualmente los factores controlables que afectan la respuesta de manera tal que se mejore el valor de la respuesta. Una vez que el cambio de los factores controlables no origine una mejora predecible en la variable de la respuesta, se puede aplicar un método de experimentación más sofisticado para encontrar la superficie de respuesta operativa final del proceso de interés (Chacín, 1999).

#### **II.1.2.5. Diseño completamente aleatorizado de efectos fijos.**

Este diseño tiene amplia aplicación cuando las unidades experimentales son muy homogéneas, es decir, la mayoría de los factores actúan por igual entre las unidades experimentales. Su nombre deriva del hecho que existe completamente una aleatorización, la cual valida como ya se dijo la prueba F de Fisher-Snedecor.

También se le conoce como Diseño de una Vía o un sólo criterio de clasificación en virtud de que las respuestas se hallan clasificadas únicamente por los tratamientos. Este diseño no impone ninguna restricción en cuanto a las unidades experimentales, éstas deberán ser, en todo caso, homogéneas.

Cuando los factores son fijos el investigador ha escogido los factores en forma no aleatoria y sólo está interesado en ellos. En este caso el investigador asume que  $\sum_{i=1}^t \tau_i = 0$ , lo cual refleja la decisión del investigador de que únicamente está interesado en los  $t$  tratamientos presentes en el experimento. La mayor parte de los experimentos de investigación comparativa pertenecen a este modelo.

En el modelo de efectos fijos el experimentador decide qué niveles concretos se van a considerar y las conclusiones obtenidas son aplicables sólo a dichos niveles, no pudiéndose hacer extensivas a otros niveles no incluidos en el estudio.

Este modelo, junto con este procedimiento de asignación, recibe el nombre de Diseño Completamente Aleatorizado y está basado en el modelo estadístico de Análisis de Varianza de un Factor o una Vía.

#### **II.1.2.6. Definición de términos básicos.**

##### **Proteínas.**

Son sustancias orgánicas complejas constituidas por átomos de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, en algunos casos puede contener azufre, fósforo o hierro. Las unidades estructurales o funcionales de las proteínas son los aminoácidos, de los cuales solo diez de estos no pueden ser sintetizados, a la velocidad requerida por el cuerpo, para producir un crecimiento o producción normal, a estos se les denominan aminoácidos esenciales (lisina, valina, leucina, isoleucina, metionina, triptófano, histidina, treonina, arginina, fenil-alanina). Los otros se les llaman aminoácidos no esenciales, ya que el organismo es capaz de sintetizarlos en las cantidades requeridas (Lehninger, 2001).

##### **MSR.**

Es un conjunto de métodos y técnicas de procesamientos estadísticos, matemáticos y gráficos, que permite modelar casi cualquier proceso, a través de la construcción de estos modelos de regresión, que permiten predecir (no extrapolar) y optimizar procesos dentro de límites de prueba establecidos a priori como máximos y mínimos.

##### **Nixtamal.**

El nixtamal es el nombre que se le da al maíz cocido con cal, con la finalidad de eliminar el hollejo. Es usado principalmente para la elaboración de tortillas. La palabra proviene del náhuatl nextli, o cenizas de cal, y tamalli, masa de maíz cocida.

**Almidón.**

El almidón, o fécula, es una macromolécula compuesta de dos polisacáridos, la amilosa (en proporción del 20 %) y la amilopectina (80 %). Es el glúcido de reserva de la mayoría de los vegetales, y la fuente de calorías más importante consumida por el ser humano.

**Gelatinización.**

Se conoce como gelatinización al proceso donde los gránulos de almidón que son insolubles en agua fría debido a que su estructura es altamente organizada, se calientan (60-70°C) y empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y las más accesibles.

### **II.1.2.7. Formulación de sistema de hipótesis.**

#### **Hipótesis de Investigación.**

Las combinaciones de los factores en estudio (hidróxido de calcio, temperatura y tiempo de cocción), responderán a la tecnología de nixtamalización del grano de maíz que se aplicará, y se obtendrá una harina de maíz nixtamalizada con características fisicoquímicas medibles.

#### **Hipótesis operacional.**

Las características de la harina de maíz nixtamalizada obtenida del grano de maíz, serán comparables a las obtenidas en otras harinas de cereales.

#### **Hipótesis Estadística.**

La variabilidad de las respuestas del nixtamal de maíz (*Zea maíz*) permitirá modelar y visualizar gráficamente la variabilidad del proceso, en función de las variables independientes, permitiendo optimizar el proceso.

### **II.1.2.8. Formulación del sistema de variables.**

#### **II.1.2.8.1. Variable independiente.**

Las variables independientes son todos aquellos factores que modifican, modulan o controlan el proceso y modifican las variables respuesta de la matriz de diseño.

### **Variables independientes de la matriz de diseño.**

Para efecto de esta investigación, se seleccionaron solo tres variables independientes, las cuales son:

$X_1$  = Hidróxido de calcio (%)

$X_2$  = Temperatura (°C)

$X_3$  = Tiempo (hr)

### **II.1.2.8.2. Variables dependientes.**

Las variables dependientes son las respuestas que se van a medir en cada tratamiento aplicado de acuerdo a lo que se estipulo en la matriz “D” de diseño, cuando se varían las dosis de las variables independientes. Para efecto de esta investigación, se medirán como variables dependientes:

$Y_1$  = Acidez iónica

$Y_2$  = Acidez titulable total

$Y_3$  = Actividad de agua

$Y_4$  = Humedad

$Y_5$  = Peso específico

### **II.1.2.9. Operacionalización de variables.**

#### **pH**

Este indicador, cuantifica la variable  $[H^+]$  del componente elemento químico, del factor valor nutritivo, que cuantifica la calidad potencial Redox, el cual se midió con el instrumento peachimetro siguiendo la metodología de la Norma Venezolana COVENIN N° 1315 - 1990.

### **Determinación de porcentaje de humedad**

Por método volumétrico registrado por COVENIN 1120:97. Este método consiste en secar en una estufa la porción a ensayar hasta la masa. Se realiza mediante la siguiente fórmula:

Dónde:

A: peso de la cápsula + la muestra

B: peso de la cápsula

G: peso de la muestra

## **CAPITULO III**

### **III.1. MARCO METODOLOGICO.**

#### **III.1.1. Tipo de investigación.**

La investigación desarrollada es de tipo exploratoria y experimental; se realizara bajo condiciones controladas en el Laboratorio de Ingeniería y Tecnología de Alimentos de la UNELLEZ San Carlos, Venezuela. Los resultados que se generaran son válidos para el proceso específico de obtención de una harina nixtamalizada de maíz (*Zea mays*). Para la realización de la misma se construirán modelos que se ajustan a cada una de las respuestas para las condiciones controlada y estadísticamente diseñadas.

#### **III.1.2. Población y muestra.**

##### **III.1.2.1. Muestra.**

La muestra utilizada en la experimentación estará representada por las unidades experimentales que indicó la matriz de tratamientos del diseño estadístico establecido, le correspondieron 4 tratamientos sin restricción.

##### **III.1.2.2. Población.**

La población de la investigación estará formada por los granos de maíz recolectados en el sector Puente Azul, vía Balneario Boca Toma, San Carlos, estado Cojedes.

### III.1.3. Diseño de la investigación.

#### III.1.3.1. Diseño de muestreo de los tratamientos.

Para las muestras de cada tratamiento se diseñó estadísticamente una Matriz “D”, utilizando el software estadístico STATGRAFIC PLUS, significando esto que se construyó un diseño completamente aleatorizado de efectos fijos de respuesta para tres (3) factores experimentales, en un bloque para un total de 4 muestras o tratamientos distintos, sin repetición.

**Cuadro 1: Generación de la matriz de diseño.**

Trat.	X <sub>1</sub> Hidróxido de calcio (%)	X <sub>2</sub> Tiempo (min)	X <sub>3</sub> Temperatura (°C)
1	1,000000	0,000000	1,000000
2	0,000000	1,000000	0,500000
3	0,000000	0,000000	0,000000
4	0,500000	0,500000	0,000000

#### III.1.3.2. Materiales y métodos.

##### III.1.3.2.1. Materiales:

##### **Granos de maíz (*Zea mays*)**

Los granos de maíz (*Zea mays*) fueron recolectados en estado seco, y llevados al laboratorio LITA de la UNELLEZ; donde se mezclaron todas las porciones colectadas (para obtener una mezcla representativa) y se almacenaron en bolsas plásticas herméticas, para posteriormente realizar los análisis químicos e iniciar el proceso de nixtamalización.

## **Hidróxido de calcio**

El hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), también denominada cal apagada o hidratada, fue adquirida de locales comerciales ubicados en la avenida Bolívar, de la Ciudad de San Carlos, Edo. Cojedes y llevada al laboratorio LITA de la UNELLEZ para la realización de la investigación.

## **Equipos e instrumentos**

- Balanzas Explorer Pro de Ohaus de capacidad 6100 g.
- Licuadora marca Osterizer, de tres velocidades.
- Cutter
- Colador plástico de malla fina
- Paño de liencillo
- Molino
- Secador
- Medidor de pH
- Planchas de agitación
- Refractómetro
- Termómetro 10 - 110 °C
- Cavas de refrigeración y congelación

### **III.1.3.2.2. Métodos.**

#### **a) Metodología para realizar las pruebas pilotos.**

Las pruebas pilotos se efectuarán con el objeto de familiarizarse con la metodología de nixtamalización del grano de maíz, así como, el uso de los instrumentos y equipos. Además, con estas pruebas preliminares se puede estimar los valores a utilizar de la concentración de hidróxido de calcio, temperatura y tiempo de cocción, para determinar los valores de los factores necesarios para la elaboración de la matriz de diseño.

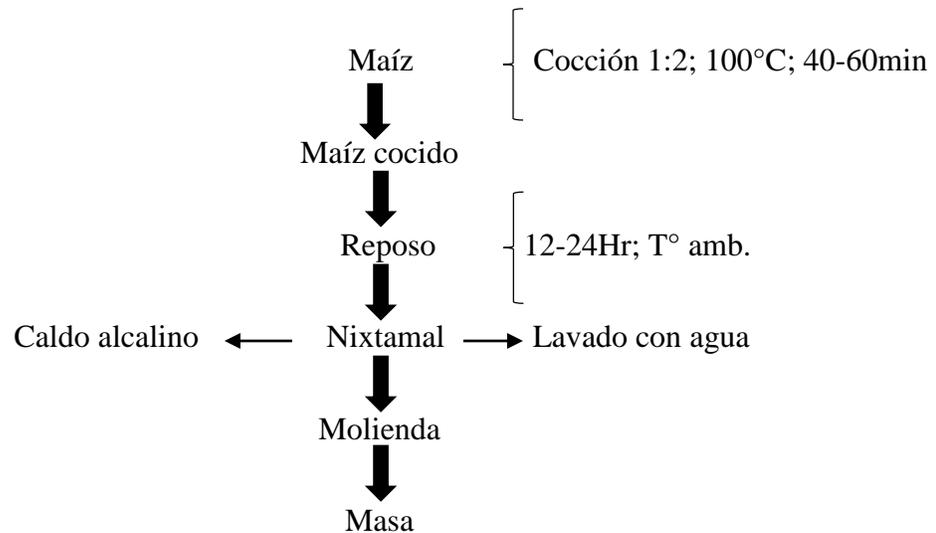
#### **b) Metodología para el proceso de nixtamalización del grano de maíz.**

El primer paso en la nixtamalización consiste en poner a cocer los granos de maíz en una solución alcalina a una temperatura cerca al punto de ebullición. Tras la cocción, el maíz se deja inmerso en el caldo por cierto tiempo. La duración del tiempo de cocción y remojo del maíz varía según el tipo de maíz, las tradiciones locales y el tipo de alimentos a preparar. Se lo puede dejar cociéndose desde unos minutos hasta una hora, y remojando desde unos minutos hasta alrededor de un día.

Durante la cocción y el remojo, una serie de cambios químicos tienen lugar en los granos de maíz, debido a que los componentes de la membrana celular de los granos del maíz, entre los cuales se incluyen hemicelulosa y pectina, son altamente solubles en soluciones alcalinas, los granos se suavizan y sus pericarpios (cáscaras) se aflojan.

El grano se hidrata y absorbe calcio y potasio (según los compuestos utilizados) a lo largo de todo el proceso. Los almidones se disuelven y gelatinizan, algunos almidones se dispersan en el líquido. Se liberan ciertos productos químicos del germen que permiten que el grano cocido sea más fácil de triturar. La cocción produce cambios en la proteína principal del maíz, lo que hace las proteínas y nutrientes del endospermo del núcleo más asimilables para el cuerpo humano.

Tras la cocción, el caldo alcalino que contiene disueltas las cáscaras, el almidón del maíz y otras sustancias, se decanta y se descarta. Para saber si el proceso fue exitoso, se debe poder pelar el grano de maíz fácilmente entre los dedos al frotarlo. Los granos se lavan completamente para limpiarlos de los restos del caldo, el cual tiene un desagradable sabor. El pericarpio se desecha, y se deja sólo el germen del grano, como podemos ver en la figura 3.



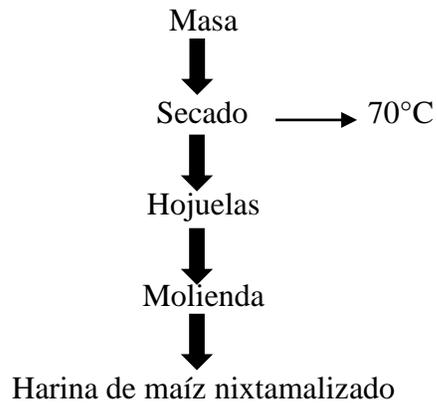
**Figura 3. Proceso de nixtamalización del grano de maíz.**

**Fuente: Rodríguez-Mendez (2013).**

Después el grano se muele para tener harina de maíz. Este proceso se ha modernizado y actualmente la molienda se lleva a cabo mayoritariamente con máquinas o molinos industriales.

### **c) Metodología para el proceso de obtención de la harina de maíz nixtamalizado.**

Para el proceso de obtención de la harina precocida de maíz nixtamalizado se aplicó la metodología propuesta por Rodríguez-Mendez (2013), la cual se adaptó a las condiciones del proceso como se observa en la figura 4.



**Figura 4. Proceso de obtención de harina de maíz nixtamalizado.**

Cuando el nixtamal se muele la masa obtenida es una mezcla constituida por los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina) mezclados con gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, gránulos intactos, partes de endospermo y lípidos. Todos estos componentes forman una malla compleja heterogénea dentro de una fase acuosa continua.

**d) Metodología para la preparación de las unidades experimentales.**

Se prepararon 4 unidades experimentales para el rubro maíz, de acuerdo con lo establecido en la matriz de diseño de tratamientos que se construyó (Cuadro 2). Colocando las cantidades de los factores bajo estudios ( $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$ ), junto al grano de maíz se preparó la solución de alcalina, la cual se le aplicó a los granos en cada tratamiento por inmersión. Después se colocaron cada uno de los tratamientos en recipientes plásticos y llevados a temperatura de ambiente por 12 a 24 Hr.

**Cuadro 2. Matriz de diseño con valores naturales en el experimento final de nixtamalización del grano de maíz.**

<b>Tratamiento</b>	<b>X<sub>1</sub> Concentración de cal</b>	<b>X<sub>2</sub> Tiempo de cocción</b>
1	8 g	60 min
2	10 g	50 min
3	15 g	45 min
4	20 g	40 min

**e) Técnica para la recolección de los datos.**

➤ **Determinación de Rendimiento**

En el caso de las harinas a diferentes concentraciones de hidróxido de calcio (cal) el rendimiento se calculó mediante de la siguiente formula:

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{\text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

**e) Metodología para la recolección de los análisis fisicoquímicos.**

Para llevar a cabo esta etapa de la investigación, se presenta una metodología que se basa en los análisis fisicoquímicos para conocer las composiciones de las unidades experimentales que presentó mejor comportamiento durante el ensayo, a la materia prima a utilizar para los tratamientos de la matriz de diseño y a la unidad experimental que presentó mejores características durante el proceso.

A todas las unidades experimentales se les medirá las variables que serán objeto de estudio para el nixtamalizado (pH, ATT, aW, H, Peso específico, cenizas), utilizando los métodos de análisis fisicoquímicos que se describen a continuación:

- **pH:** Se determinó mediante empleo de la Norma Venezolana COVENIN N° 1315 – 1990.
- **Acidez titulable total (ATT):** Se determinó usando la Norma Venezolana COVENIN N° 1769 – 1981. Los resultados se calcularon mediante la expresión siguiente:

$$ATT = \text{Vol. Gast.} * N * P_{\text{meq Ac.}} * 100 / G$$

Dónde:

Ac: Contenido de ácido láctico (g / 100 g)

V: Volumen del NaOH consumido en la titulación

Pmeq: Peso equivalente del ácido predominante (g/100 g)

G: Peso de la muestra considerada en la dilución

**Determinación de Humedad:** en la determinación de humedad, se procedió como lo indica la Norma COVENIN N° 80-1553.

**Determinación de Cenizas:** para determinar el porcentaje de cenizas, se procedió según como lo indica la Norma COVENIN N° 81-1783.

**Determinación de actividad de agua:** se procedió a realizar medición directa en un Aqualab-CX2, previamente calibrado.

## CAPTULO IV

### IV.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### IV.1.1. Resultados de la caracterización fisicoquímica de la materia prima: maíz (*Zea mays*).

En el cuadro 3 se muestran los resultados de la caracterización fisicoquímica parcial, realizada al grano de maíz en estado fresco o natural, antes de preparar los tratamientos o unidades experimentales generados por la matriz de diseño, dicha materia prima presentó los siguientes valores: Maíz humedad = 12,6%, Cen = 1,1%, pH = 6,2, acidez titulable total = 2,7% y actividad de agua = 0,721.

**Cuadro 3. Caracterización fisicoquímica de la materia prima: maíz (*Zea mays*) en su estado natural.**

<b>Materia Prima</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Cen (%)</b>	<b>pH</b>	<b>ATT (%)</b>	<b>aW</b>
Maíz	12,6	1,1	6,2	2,7	0,721

#### IV.1.2. Resultados de la optimización del proceso de nixtamalización del grano de maíz (*Zea mays*).

Para el proceso de optimización del proceso de nixtamalización del grano de maíz en función de las variables concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción, se obtuvieron valores naturales para las variables respuestas generados en la matriz de diseño, como se observan en el cuadro 4.

**Cuadro 4. Resultados obtenidos para las variables repuestas.**

Tratamientos	FACTORES EXPERIMENTALES		FACTORES RESPUESTAS				
	Conc. Cal	Tiempo	pH	ATT	aW	H	P.E.
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>
1	8	60	6,77	0,1663	0,453	10,86	3,92
2	10	50	7,10	0,1892	0,517	9,18	3,72
3	15	45	8,84	0,0287	0,681	12,09	3,82
4	20	40	8,79	0,1433	0,368	9,23	3,92

#### **IV.1.3. Resultados estadísticos.**

La investigación experimental y exploratoria realizada se efectuó bajo un diseño completamente aleatorizado de efectos fijos, sin repetición para dos factores experimentales para un total de 4 tratamientos o corridas, bajo condiciones de superficie de respuesta.

Los factores y niveles experimentales mostrados en la metodología (Capítulo III, Cuadro 2) se determinaron estableciendo criterios tecnológicos según la literatura (Fernández y col., 1994) y pruebas pilotos desarrolladas en el Laboratorio de Ingeniería y Tecnología de Alimentos (LITA), UNELLEZ, San Carlos, estado Cojedes, Venezuela. Estas pruebas permitieron establecer los valores según la matriz de diseño generada empleando el software Stargrafic plus versión 5.1, teniendo como factores fijos la mezcla de los componentes del proceso de nixtamalización.

Los resultados estadísticos se iniciaron con el Test Kruskal-Wallis para comprobar que la hipótesis nula de igualdad de las medianas dentro de cada una de las 5 respuestas para las cuatros tratamientos con diferentes proporciones de cal o hidróxido de calcio sobre los granos de maíz, como se observa en el cuadro 5.

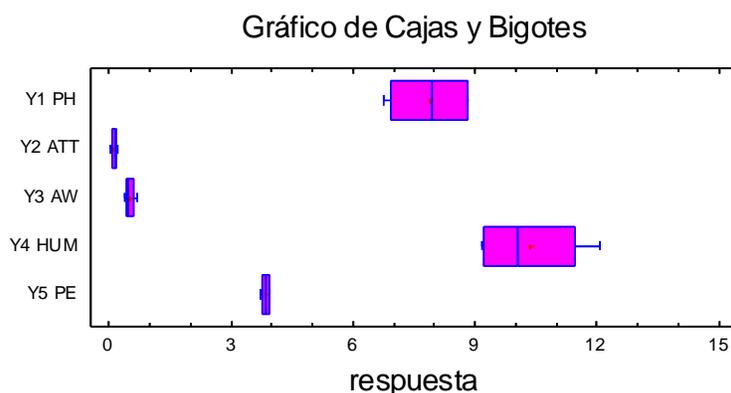
**Cuadro 5. Prueba de Kruskal-Wallis.**

<b>Variable Respuesta</b>	<b>Tamaño Muestral</b>	<b>Rango Medio</b>
pH	4	14,5
ATT	4	2,5
aW	4	6,5
Hum	4	18,5
PE	4	10,5

Estadístico = 18,2995 P-valor = 0,00107839

El test de Kruskal-Wallis prueba la hipótesis nula de igualdad de las medianas dentro de cada una de las 5 columnas. Los datos de todas las columnas primero se combinan y se ordenan de menor a mayor. Entonces se calcula el rango medio para los datos en cada columna.

Puesto que el p-valor es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medianas a un nivel de confianza del 95,0%. Para determinar cuáles son las medianas significativamente diferentes entre sí, se construyó el Gráfico de Caja y Bigotes, el cual se observa en la figura 5.



**Figura 5. Gráfico de Cajas y Bigotes para las respuestas.**

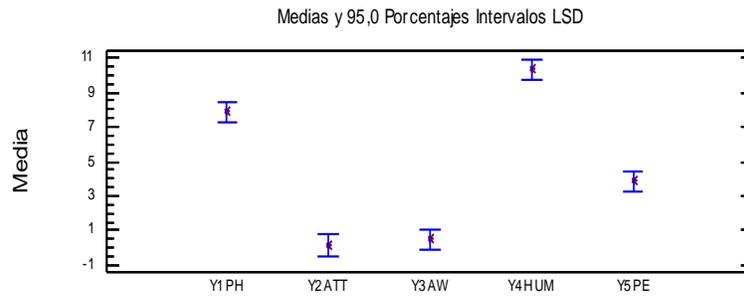
**Análisis de la varianza para las variables respuestas.**

En el cuadro 6, se observa el análisis de la varianza de las respuestas que descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de cada grupo. El F-ratio, que en este caso es igual a 126,552, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables a un nivel de confianza del 95,0%.

**Cuadro 6. Analisis de la varianza para las variables respuestas.**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Cociente-F</b>	<b>P-Valor</b>
Entre grupos	323,84	4	80,9601	126,552	0,0000
Intra grupos	9,59604	15	0,639736		
Total (Corr.)	333,436	19			

Para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras, se realizó el gráfico de Medias con 95,0 intervalos LSD, como se observa en la Figura 6.



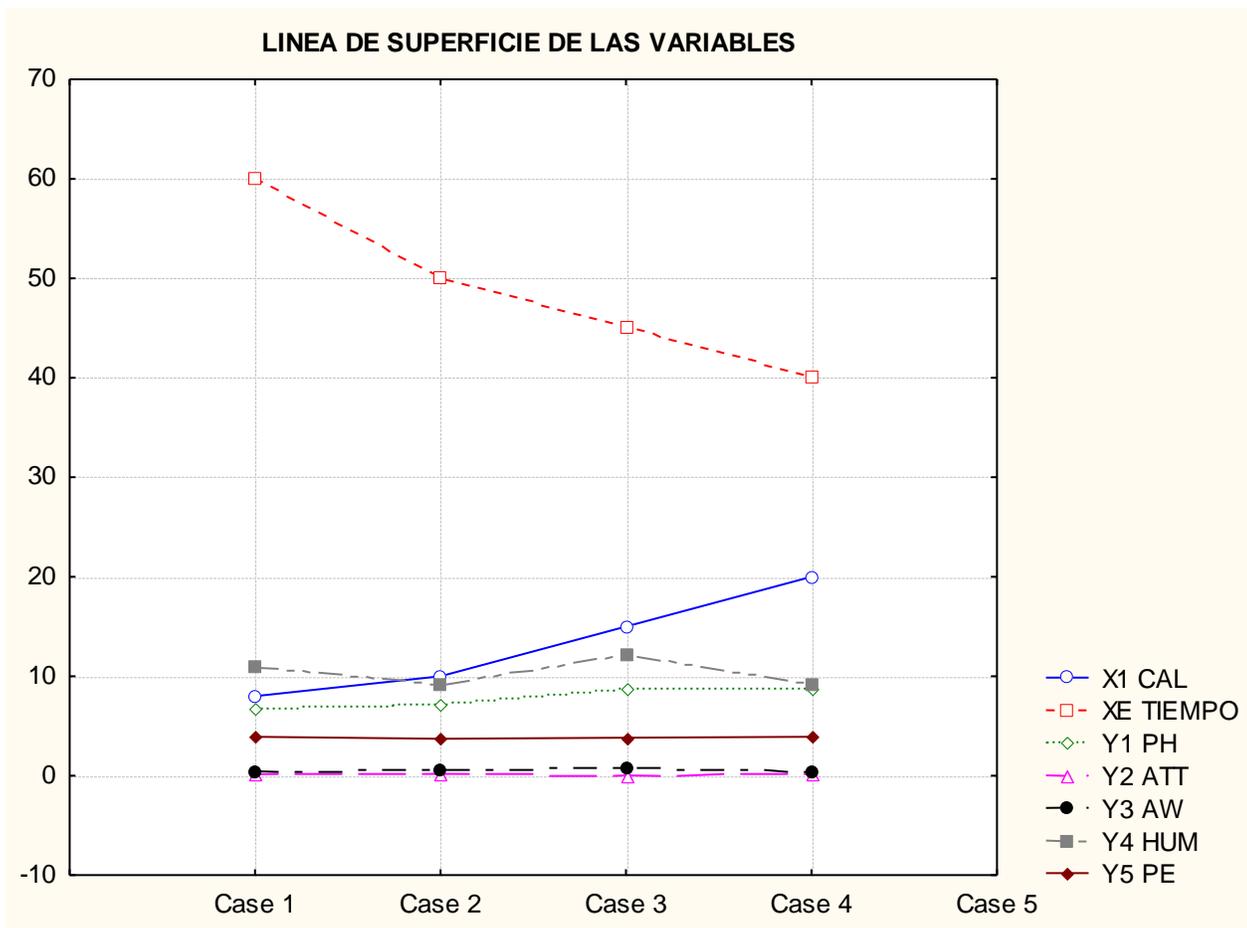
**Figura 6. Gráfico de medias para las respuestas.**

Como se puede ver en el gráfico de medias, la variable respuesta que tuvo mayor diferencia estadísticamente significativa en el proceso de nixtamalización de los tratamientos, fue la respuesta humedad, por presentar mayor media entre las variables.

### **Variabilidad de las respuestas frente a los factores experimentales.**

En la Figura 7, se observa la variabilidad o comportamiento de las variables respuestas con respecto a los factores experimentales X1 y X2, concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción, respectivamente.

A medida que se incrementa la concentración de hidróxido de calcio en los tratamientos y decrece el tiempo de cocción del grano de maíz, la acidez, actividad de agua y peso específico, se mantienen casi constantes en el proceso de nixtamalización del grano de maíz, en cambio el pH tiende a incrementarse levemente a medida que se incrementa la humedad.



**Figura 7. Gráfico de comportamiento de las variables respuestas.**

#### **IV.1.4. Resultados del proceso de estandarización de obtención de harina de maíz (*Zea mays*) nixtamalizada.**

En el proceso de estandarización de obtención de harina de maíz nixtamalizado, previamente a la preparación de las unidades experimentales, se realizaron pruebas pilotos basadas en la metodología utilizada por Rodríguez-Méndez (2013) para determinar las mejores condiciones del proceso de nixtamalización del grano de maíz y los niveles de los factores en estudio.

La concentración de hidróxido de calcio o cal, facilitó la remoción del pericarpio, durante la cocción y el remojo, controló la actividad microbiana y tuvo un efecto significativo en el sabor, color, olor y valor nutritivo de la harina de maíz.

El tratamiento térmico alcalino al cual se sometió el maíz, dio como producto central la masa, la cual se le aplicó un secado convencional y posterior molienda, obteniendo la harina de maíz nixtamalizada.

La mezcla de los tratamientos se calentó de 80-100°C por periodos de tiempo de cocción que variaron de 40-60 min con alguna agitación dejándola en reposo de 12-24 Hr. Luego el agua de remojo de color amarillo lechoso, se descartó y el maíz remojado se lava 3 veces con agua limpia, removiendo la cáscara, la cápsula y eliminando el exceso de cal y las impurezas que el grano pudiera tener.

En el cuadro 7, se observan los pesos obtenidos de las harinas por las diferentes concentraciones de hidróxido de calcio y tiempo de cocción.

**Cuadro 7. Pesos obtenidos de las harinas por tratamiento.**

<b>Peso inicial del maíz (g)</b>	<b>Cantidad de agua (ml)</b>	<b>Cantidad de cal (g)</b>	<b>Tiempo de cocción (min)</b>	<b>Peso total harina (g)</b>
1000	2000	8	60	427,2
1000	2000	10	50	427,7
1000	2000	15	45	432,3
1000	2000	20	40	431,9
<b>Total</b>				<b>1719,2</b>

A continuación, se observa el % de rendimiento de las harinas obtenidas de maíz nixtamalizado, apreciándose valores semejantes entre los tratamientos aplicados.

**% de rendimiento en 8 gr de cal:**

$$1000\text{g} \rightarrow 100\%$$

$$427,2\text{g} \rightarrow X$$

$$X = 42,72\%$$

**% de rendimiento en 10 gr de cal**

$$1000\text{g} \rightarrow 100\%$$

$$427,7\text{g} \rightarrow X$$

$$X = 42,77\%$$

**% de rendimiento en 15 gr de cal:**

$$1000\text{g} \rightarrow 100\%$$

$$432,3\text{g} \rightarrow X$$

$$X = 43,23\%$$

**% de rendimiento en 20 gr de cal:**

$$1000\text{g} \rightarrow 100\%$$

$$431,9\text{g} \rightarrow X$$

$$X = 43,19\%$$

**% DE RENDIMIENTO TOTAL DE LAS HARINAS:**

$$4000\text{g} \rightarrow 100\%$$

$$1719,2\text{g} \rightarrow X$$

$$X = 42,98\%$$

En el Cuadro 8, se presenta el cálculo del % de cenizas de la harina de maíz nixtamalizada (tratamiento n° 4), con valores de X1 = 20g de hidróxido de calcio y X2 = 40 min de cocción, arrojando un valor de 1,65% de cenizas, valor este que se encuentra un poco por encima del que establece la Norma Covenin 2135:1996 para harina de maíz precocida, por lo que se asume que para las harinas de menor concentración de hidróxido de calcio deben estar dentro de los parámetros establecidos por dicha norma.

**Cuadro 8. Porcentaje de cenizas de la harina de maíz nixtamalizada.**

Peso de la cápsula (g)	Peso de la muestra (g)	Peso final (g)	% Cenizas
27,7059	2,2484	27,7431	1,65

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{27,7431\text{g} - 27,7059\text{g}}{2,2484\text{g}} * 100$$

$$\% \text{ Cenizas.} = 1,65$$

#### **IV.1.5. Resultados de la granulometría de las harinas obtenidas.**

Los resultados obtenidos de granulometría de las harinas de maíz nixtamalizadas se pueden observar en el cuadro 9, tomando como base de cálculo muestras a partir de 100 g, obteniendo el valor del porcentaje por diferencia para cada tamiz.

**Cuadro 9. Resultados de granulometría de las harinas de maíz nixtamalizadas.**

<b>Tratamiento</b>	<b>N° Tamiz</b>	<b>Peso tamiz vacio (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>% Por diferencia</b>
8g cal/60min	10	681	681	0
	30	593	610	17
	40	552	578	26
	60	510	545	35
	80	503	511	8
	100	501	507	6
10g cal/50min	10	681	681	0
	30	593	621	28
	40	552	578	26
	60	510	537	27
	80	503	510	7
	100	501	511	10
15g cal/45min	10	681	681	0
	30	593	618	25
	40	552	576	24
	60	510	532	22
	80	503	512	9
	100	501	511	10
20g cal/40min	10	681	681	0
	30	593	610	17
	40	552	579	27
	60	510	543	33
	80	503	510	7
	100	501	510	9

#### **IV.1.6. Resultados de la valoración de los atributos sensoriales (color, sabor, olor, y textura) de un producto tipo arepa a partir de la harina nixtamalizada de maíz.**

La valoración de los atributos sensoriales se realizó mediante la prueba de media de mínima diferencia significativa (L.S.D.), con el propósito de determinar la diferencia entre las medias de las harinas en función a los atributos evaluados a través del software estadístico STATGRAPHICS PLUS 5.1, la misma se le realizó a los tratamientos 1 y 2, por presentar mejores características los productos obtenidos a base de la harina de maíz nixtamalizada.

##### **a) Analisis para la respuesta sensorial sabor.**

En el Cuadro 10, se observa la prueba de medias con un nivel de confianza de 95,0% donde los intervalos mostrados actualmente se basan en el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Se construyen de tal manera que si dos medias son iguales, sus intervalos se solaparán 95,0% de las veces.

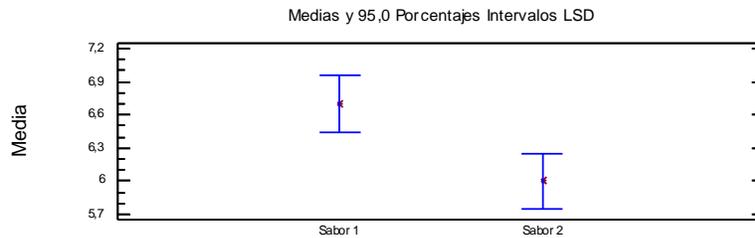
Este cuadro muestra la media para cada columna de datos. También muestra el error estándar de cada media, que es la medida de su variabilidad en la muestra. El error estándar es el resultado de dividir la desviación típica agrupada por la raíz cuadrada del número de observaciones en cada nivel. Además, también muestra un intervalo que incluye cada media.

Con este método, hay un 5,0% de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a 0.

**Cuadro 10. Prueba de medias para respuesta sensorial sabor.**

Atributo	Frecuencia	Media	Error estándar	Lim. inf.	Lim. sup.
Sabor 1	30	6,7	0,179879	6,44539	6,95461
Sabor 2	30	6,0	0,179879	5,74539	6,25461
Total	60	6,35			

En la figura 8, se puede apreciar el gráfico de medias para la respuesta sensorial sabor, arrojando que hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables a un nivel de confianza del 95,0%.



**Figura 8. Gráfico de medias para la respuesta sensorial sabor.**

**b) Analisis para la respuesta sensorial olor.**

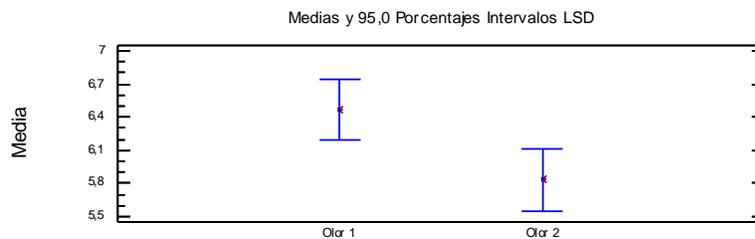
El análisis de la respuesta sensorial olor se muestra en el Cuadro 11, aquí también se muestra el error estándar de cada media, que es la medida de su variabilidad en la muestra. El error estándar es el resultado de dividir la desviación típica agrupada por la raíz cuadrada del número de observaciones en cada nivel. Además, también muestra un intervalo que incluye cada media.

Los intervalos mostrados actualmente se basan en el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Se construyen de tal manera que si dos medias son iguales, sus intervalos se solaparán 95,0% de las veces, estos intervalos se utilizan para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras.

**Cuadro 11. Prueba de medias para respuesta sensorial olor.**

Atributo	Frecuencia	Media	Error estándar	Lim. inf.	Lim. sup.
Olor 1	30	6,46667	0,197154	6,18761	6,74572
Olor 2	30	5,83333	0,197154	5,55428	6,11239
Total	60	6,15			

En la figura 9, se puede apreciar el gráfico de medias para la respuesta sensorial sabor, arrojando que hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 2 variables a un nivel de confianza del 95,0%.



**Figura 9. Gráfico de medias para la respuesta sensorial olor.**

Como se puede ver, para el producto a base de la harina de maíz nixtamalizado con 8g de hidróxido de calcio y 60 min de cocción, presento una media estadísticamente significativa mayor con respecto a la harina de maíz nixtamalizado con 10g de hidróxido de calcio y 50 min de cocción.

### c) Analisis para la respuesta sensorial color.

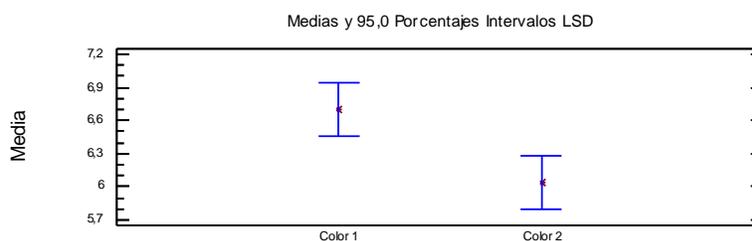
Con respecto al análisis de la respuesta sensorial color para las dos muestras, se presenta la prueba de medias en el Cuadro 12, con un nivel de confianza de 95,0% donde los intervalos mostrados actualmente se basan en el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). Se construyen de tal manera que si dos medias son iguales, sus intervalos se solaparán 95,0% de las veces.

El error estándar de cada media, es la medida de su variabilidad en la muestra. El error estándar es el resultado de dividir la desviación típica agrupada por la raíz cuadrada del número de observaciones en cada nivel.

La muestra a base de la harina de maíz nixtamalizado con 8g de hidróxido de calcio y 60 min de cocción, arroja mayor porcentaje de la mínima diferencia significativa con respecto a las otras variables, como se observa en la figura 10.

**Cuadro 12. Prueba de medias para respuesta sensorial color.**

Atributo	Frecuencia	Media	Error estándar	Lim. inf.	Lim. sup.
Color 1	30	6,7	0,17165	6,45704	6,94296
Color 2	30	6,03333	0,17165	5,79038	6,27629
Total	60	6,36667			



**Figura 10. Gráfico de medias para la respuesta sensorial color.**

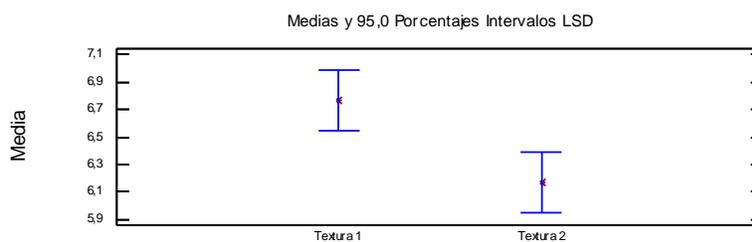
#### d) Analisis para la respuesta sensorial textura.

En el caso de la respuesta sensorial textura de las dos muestras evaluadas, se puede observar en el cuadro 13 que hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables a un nivel de confianza del 95,0%, arrojando un valor de media de 6,77% para la variable 1 con 8g de hidróxido de calcio y 60 min de cocción con una variabilidad de 0,15 como error estándar.

**Cuadro 13. Prueba de medias para respuesta sensorial textura.**

Atributo	Frecuencia	Media	Error estándar	Lim. inf.	Lim. sup.
Textura 1	30	6,76667	0,154498	6,54798	6,98535
Textura 2	30	6,16667	0,154498	5,94798	6,38535
Total	60	6,46667			

Los intervalos mostrados actualmente se basan en el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). En la Figura 11, se puede apreciar el gráfico de medias para la respuesta sensorial sabor, arrojando que hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 2 variables a un nivel de confianza del 95,0%.



**Figura 11. Gráfico de medias para la respuesta sensorial textura.**

**e) Análisis para la respuesta sensorial para la calidad global del producto.**

Con respecto al análisis global de los 2 productos a base de harina de maíz nixtamalizado se realizó el análisis de la varianza (cuadro 14) para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las variables atributos evaluados.

**Cuadro 14. Anavar para la respuesta global del producto.**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Cociente-F</b>	<b>P-Valor</b>
Entre grupos	28,6	7	4,08571	4,37	0,0001
Intra grupos	216,733	232	0,934195		
Total (Corr.)	245,333	239			

El cuadro de anavar descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de cada grupo. El F-ratio, que en este caso es igual a 4,37, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 8 variables a un nivel de confianza del 95,0%, lo que indica que los consumidores observaron algún cambio característico entre los productos tipo arepa a base de harina de maíz nixtamalizado que se les dio a degustar, arrojando mayor aceptación global el producto de la muestra 1 (8g de hidróxido de calcio y 60 min de cocción), la cual presentó una mayor media para las variables sensoriales de los atributos sabor, olor, color y textura.

## CONCLUSIONES

- En la caracterización fisicoquímica de la materia prima en su estado natural, se obtuvieron valores de 12,6% humedad, un valor de 1,1% de cenizas presentes en la muestra, 6,2 de pH, 2,7% de acidez titulable y para actividad de agua un valor de 0,721; valores estos que se encuentran dentro de los establecidos por normas Covenin y bibliografía consultada.
- Generada la matriz de diseño con los valores de los factores experimentales y las respuestas objetos de estudio, se corrió el programa Stargrafic plus 5.1 estimando la prueba de Kruskal Wallis, las gráficas de medias, el anavar y las gráficas de comportamiento de las variables, encontrando condiciones óptimas del proceso de nixtamalización del grano de maíz para el tratamiento n° 1 (8g de hidróxido de calcio y 60 min de cocción).
- Se obtuvo un valor total de 427,2g de harina para el tratamiento 1, para el tratamiento 2 un valor de 427,7g, para el tratamiento 3 arrojó 432,3g y 431,9g para el tratamiento 4.
- Se obtuvieron valores del % de Rendimiento para las harinas de 42,72%, 42,77%, 43,23% y 43,19%, tratamientos 1, 2, 3 y 4, respectivamente.
- Para el tratamiento 4 (20g de hidróxido de calcio y 40 min de cocción) se obtuvo un valor de cenizas de 1,65%, valor este que se encuentra un poco por encima del establecido por covenin.
- La aceptación global el producto de la muestra 1 (8g de hidróxido de calcio y 60 min de cocción), fue la que presento una mayor media para las variables sensoriales de los atributos sabor, olor, color y textura.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda para estudios posteriores, hacer un análisis microbiológico, así, como la determinación del índice de adsorción de agua y el índice de solubilidad en agua.
- Estudiar la aplicación del proceso de nixtamalización del grano de maíz para la obtención de harinas que requieran un alto valor nutricional proteico, bajo condiciones de control y estandarización en la elaboración de alimentos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alfaro, Y., V. Segovia, M. Mireles, P. Monasterios, G. Alejos y M. Pérez. (2004). **El maíz amarillo para la molienda húmeda**. CENIAP HOY. N° 6. Septiembre-Diciembre. Disponible en: [www.sian.inia.gob.ve/](http://www.sian.inia.gob.ve/)
- Alayón, A. (2016). **El extraño caso de la desaparición del maíz blanco en Venezuela**. Prodavinci. Disponible en: [www.prodavinci.com/](http://www.prodavinci.com/)
- Ávila, E. (2008). **Optimización de procesos biotecnológicos, utilizando metodología de superficie de respuesta**. Universidad de Zaragoza. España. 2º trabajo de investigación.
- Bello-Pérez, L.A., Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Núñez-Santiago, C y Paredes-López, O. (2001). **Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado**. Agrociencia 36: 319-328. 2002. México. Disponible en: [www.colpos.mx/](http://www.colpos.mx/)
- Bressani, R. (2008). **Cambios nutrimentales en el maíz inducidos por el proceso de nixtamalización**. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro. Pp. 19-80. Disponible en: [www.revistafitotecniamexicana.org/](http://www.revistafitotecniamexicana.org/)
- Castellanos-Ríos, J.A. (2010). **Determinación de propiedades fisicoquímicas y características microbiológicas en muestras de materias primas y productos elaborados por Industrias del Maíz, C.A. (INDELMA)**. Universidad de los Andes, Trujillo-Venezuela. Disponible en: [www.cntq.gob.ve/cdb/documentos/boletin17/3.pdf](http://www.cntq.gob.ve/cdb/documentos/boletin17/3.pdf)
- Castillo, V. K. C., Ochoa, M. L. A., Figueroa, C. J. D., Delgado, L. E., Gallegos, I. J. A., y Morales, C. J. (2009). **Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grano de maíz (Zea mays L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal**. Archivos Latinoamericanos De Nutrición, 59 (4), 425–432. Disponible en: [www.scielo.org.ve/](http://www.scielo.org.ve/)

Contreras-Jiménez, B., Morales-Sánchez, E., Reyes-Vega, M.L. y Gaytán-Martínez, M. (2013). **Propiedades funcionales de harinas de maíz nixtamalizado obtenidas por extrusión a baja temperatura.** CyTA - Journal of Food, 12:3, 263-270. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/>

Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN. Normas venezolanas COVENIN N° 1769-1990. **Determinación de pH.** Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.

Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN. Normas venezolanas COVENIN N° 1935-87. **Maíz para uso industrial.** Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.

Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN. Normas venezolanas COVENIN N° 1769-1981. **Determinación de acidez titulable total.** Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.

Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN. Normas venezolanas COVENIN N° 1553-1980. **Determinación de del contenido de humedad.** Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.

Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN. Normas venezolanas COVENIN N° 1195-1980. **Determinación de proteína.** Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.

Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN. Normas venezolanas COVENIN N° 1337-1990. **Determinación de Mohos Y Levaduras.** Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.

Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN. Normas venezolanas COVENIN N° 902-87. **Determinación de Aerobios Mesófilos.** Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.

Chacín, L. C. (1999). **Análisis de regresión y Superficie de Respuesta**. Facultad de Agronomía UCV. Maracay, Venezuela.

FAO. (1993). **El maíz en la nutrición humana**. Colección FAO N° 25. Disponible en: [www.fao.org/](http://www.fao.org/)

FAO (1998). **Composición química de las partes del grano de maíz**. Disponible en: [www.fao.org/](http://www.fao.org/)

FENALCE. (2010). **El cultivo del maíz, historia e importancia**. Colombia. Disponible en: <https://www.observatorioedsicta.info/>

Fernández-Muñoz, J. L., Rodríguez-García, M. E., Figueroa-Cárdenas, J. D., Leal-Pérez, M. y Martínez-Flores, H.E. (2010). **Evaluación de los cambios fisicoquímicos a diferentes tamaños de partícula de harinas de maíz nixtamalizado como función del tiempo de reposo**. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales. Disponible en: [www.scielo.org.mx/](http://www.scielo.org.mx/)

Figueroa C., J. D. (2012). **Procesos ecológicos en la nixtamalización para la producción de tortilla integral de maíz**. In Espinoza A., D. E. (Editor). Memorias-2012. Cuarto Congreso Internacional de Nixtamalización. Querétaro, México, 16 al 19 de octubre de 2012. pp. 39-40. Disponible en: [www.revistafitotecniamexicana.org/](http://www.revistafitotecniamexicana.org/)

Gómez, G. y Batista, C. (2006). Diseños factoriales. Disponible en: <http://www.edu.cu/otros-web/revistas>

González, W. *et al* (2006). Bloques incompletos en los diseños de superficie de repuestos compuestos de box. Rev. Fac. Agron; LUZ. (2006); 23:92-1009. Disponible en: <http://www.revfacorggranluz.org.ve/PDE/>

- García, O.D. (2009). **Análisis de mercado para la creación de una empresa destinada a la fabricación y comercialización de masas rellenas para arepas empacadas al vacío en el área metropolitana de Caracas.** Tesis Universidad Católica Andrés Bello. Disponible en: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/>
- Hernández, K. (2014). **Consumo de harina de maíz cayó 25,54%.** El Nacional. Caracas, Venezuela. Disponible en: [http://www.el-nacional.com/economia/Consumo-harina-maiz-cayo\\_0\\_348565254.html](http://www.el-nacional.com/economia/Consumo-harina-maiz-cayo_0_348565254.html)
- INE. Instituto Nacional de Estadísticas. (2013). **Encuesta del INE revela el descenso en la ingesta de proteínas y carbohidratos durante el primer semestre de 2013.** Disponible en: [www.ine.gov.ve/](http://www.ine.gov.ve/)
- Maccise-Yitani, S.E. (2008). **La nixtamalización.** Patente IMPI PA/a/1999/004883. México. Disponible en: <https://tortilleriaacapulqueo.wordpress.com/>
- Marcano, J. (2014). Producción y distribución de harina de maíz precocida encendió las alarmas en el 2014. Periódico completo El Norte. Anzoátegui, Venezuela. Disponible en: <http://www.elnorte.com.ve/>
- Martínez-Flores, H.E., Garnica-Romo, M.G., Romero, V.J.U. y Yahuaca, J.B. (2006). **Evaluating the quality of lipids during alkaline cooking of corn.** J. Food Lipids 13:177-185. Disponible en: [www.onlinelibrary.wiley.com](http://www.onlinelibrary.wiley.com)
- Lehninger, A. (2001). **Principios de Bioquímica.** Editorial Omega, 5<sup>ta</sup>. Edición. Barcelona, España.
- Paredes L., O., Guevara L., F. y Bello P., L.A. (2009). **La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz.** Ciencias 92-93: 60-70. Universidad Autónoma de México. Disponible en: <http://www.revistacienciasunam.com/>

- Ramos, D.S. (2014). **Efecto de la concentración de sales de calcio en la gelatinización del almidón durante el proceso de nixtamalización ecológico y tradicional.** Tesis. Universidad Autónoma de Querétaro, México. Disponible en: [www.ri.uaq.mx/](http://www.ri.uaq.mx/)
- Rooney, L.W. y Suhendro, E.L. (1999). **Perspectives on nixtamalization (alkaline cooking) of maize for tortillas and snacks.** Cereal Foods World. 44:466-470. Disponible en: [www.agris.fao.org/agris-search/](http://www.agris.fao.org/agris-search/)
- Segovia, S.V.F. y Alfaro J.Y.J. (2009). **El maíz: un rubro estratégico para la soberanía agroalimentaria de los venezolanos.** INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (INIA-CENIAP). Rev. Agronomía Trop. 59(3): 237-247. Disponible en: [www.scielo.org.ve/](http://www.scielo.org.ve/)

