



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN**

**"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, INSTRUMENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE  
UN SISTEMA PROTOTIPO PARA REALIZAR EL TRATAMIENTO TÉRMICO-  
ALCALINO DURANTE EL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN"**

## **T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

**MARIBEL RESÉNDIZ MENDOZA**

ASESORA: M en C. ELSA GUTIÉRREZ CORTEZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



---

---

**A LA UNAM**

**FES CUAUTITLÁN**

Por darme la oportunidad de ser una integrante de la máxima casa de estudios, abrirme las puertas al conocimiento y porque aquí conocí a personas excepcionales, de las cuales siempre llevaré un grato recuerdo.

**A mi asesora de tesis: Elsa Gutiérrez Cortez**

Por todo el tiempo y dedicación brindados a la culminación de este trabajo, por su apoyo, conocimientos y ayuda incondicional, gracias por ser una excelente ser humano.

**A mi mamá Gloria:**



---

Por ser el mi mejor ejemplo de esfuerzo y lucha constante, por darme siempre todo lo que ha estado a tu alcance pensando únicamente en mi bienestar, gracias por el apoyo y confianza que día a día he recibido de tí, por la libertad que tengo para tomar mis decisiones, y por nunca juzgar mi forma de ser, perdóname por todos los malos momentos que te hecho pasar, jamás ha sido mi intención lastimarte. Gracias porque esta etapa de mi vida jamás hubiera sido posible si tú no estuvieras a mi lado.

### **A mi papá Luis:**

Gracias por aquellos momentos en los cuales he recibido tu apoyo, ojalá pudieras entender que de cada decisión que tomas las consecuencia no solo son para tí, sino también para todos los que estamos a tu alrededor, recuerda que nunca es tarde para cambiar y poder estar bien con uno mismo.

### **A mi hermano Mar:**

Por cuidarme desde que éramos unos niños, porque siempre he recibido de ti apoyo en cada paso que doy, confianza para hacer todo lo que he querido, gracias por tu cariño, preocupación y por estar a mi lado, eres alguien fundamental en mi vida porque me has dado un gran ejemplo de esfuerzo, honradez, dedicación y carácter para afrontar todas las adversidades que se presentan en la vida. Gracias por ser el hermano que eres conmigo.

### **A mi hermana Lore:**

Por aceptarme tal y como soy, por estar siempre que he necesitado de ti, por tu cariño y ayuda incondicional, porque aún cuando eres la más pequeña siempre me has cuidado y nunca has permitido que nada ni nadie me lastime, por compartir conmigo momentos, tanto buenos como malos, algo hermoso que tiene mi vida eres tú, nunca lo dudes.

### **A mis tíos y primos**



---

---

A mis tíos Carmela, Elena y Alfredo, por su cariño y confianza, mis primos Bety, Juan, Alex, Fer, Toño y Roci, por compartir conmigo tantos momentos, gracias por estar siempre a mi lado apoyándome en cualquier circunstancia.

### **A mamá Chona (†)**

Por ser una de las personas más importantes en mi vida, porque jamás ha dejado de estar en mis recuerdos y mi corazón, le dedico este trabajo de manera especial, por todo su cariño y todos los momentos de alegría que me regalo, gracias porque hasta en el último momento me demostró la fortaleza que existía en usted.

### **A Elizabeth:**

Gracias por todos los momentos que pasamos juntas en el la carrera y porque hoy compartes conmigo la culminación de ésta, por tu ayuda incondicional, confianza y por la amistad sincera que siempre me has brindado.

### **A Natalia:**

Porque siempre que he necesitado de tu apoyo has estado conmigo, alentándome a seguir adelante, por tus consejos cuando he necesitado de ellos, por tu sinceridad, por compartir conmigo tantos momentos y sobre todo por ser una excelente amiga y un mejor ser humano, y por todo el cariño incondicional que he recibido de ti.

### **A Fernando Zamora:**

Por tu amistad, compañía y tiempo, porque nunca has dudado en apoyarme, escucharme y aconsejarme, gracias porque independientemente de las dificultades por las cuales hemos pasado y aunque muchas veces en carácter y forma de pensar somos diferentes, entre nosotros existe un gran apoyo, sinceridad y sobre todo un enorme cariño, y porque sé que siempre que lo necesite voy a poder contar contigo.

# ÍNDICE



<b>CONTENIDO</b>	<b>Págs.</b>
<b>INDÍCE DE TABLAS</b>	iv
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	v
<b>RESUMEN</b>	1
<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>ANTECEDENTES</b>	10
1.1 El maíz y sus características	11
1.1.1 Estructura del maíz	14
1.1.2 Composición química del grano de maíz	16
1.1.3 El proceso de nixtamalización	20
1.1.4 Cambios físicos, químicos y estructurales en el grano de maíz durante la nixtamalización.	25
1.2 Problemática de la industrialización del proceso de nixtamalización	25
1.3 Medición de temperatura durante el proceso de nixtamalización	27
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</b>	30
2. Desarrollo experimental	33
2.1 Descripción de actividades preliminares	35
2.1.1 Validación de termopares	35
2.2 Diseño del tanque de cocción	36
2.3 Selección de accesorios y dispositivos de apoyo	36
2.4 Construcción del tanque de cocción	37
2.5 Construcción del sistema prototipo del tratamiento térmico- alcalino	38
2.6 Procedimiento de operación del sistema prototipo	39
2.7 Caracterización térmica del tanque de cocción-reposo	39
2.8 Tratamiento térmico-alcalino de granos de maíz	41
2.9 Análisis estadístico	43



---

2.9.1 Tratamiento estadístico	43
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	45
3. Análisis y discusión de resultados	46
3.1 Descripción de actividades preliminares	46
3.1.1 Validación de termopares	46
3.2 Diseño del tanque de cocción	48
3.3 Selección de accesorios y dispositivos de apoyo	49
3.4 Construcción del tanque de cocción	50
3.5 Construcción del sistema prototipo del tratamiento térmico- alcalino	50
3.6 Procedimiento de operación del sistema prototipo de nixtamalización y condiciones de operación	52
3.7 Caracterización térmica del tanque de cocción	53
3.8 Resultados del tratamiento térmico-alcalino de granos de maíz a diferentes condiciones de proceso.	54
3.8.1 Historias térmicas de cocimiento y reposo para 92 °C	54
3.8.2 Historias térmicas de cocimiento y reposo para 82 °C	55
3.8.3 Historias térmicas de cocimiento y reposo para 72 °C	57
3.9 Análisis estadístico	58
3.9.1 Tratamiento estadístico	60
3.10 Reproducibilidad de la etapa de cocción para las diferentes condiciones de operación	61
3.10.1 Gráfica de reproducibilidad para 92, 82 y 72 °C	61
<b>CONCLUSIONES</b>	63
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	66
<b>ANEXO</b>	72





---

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>Págs.</b>
Tabla 1.1 Composición química proximal del grano de maíz	16
Tabla 1.2 Fracciones de proteína en el maíz	17
Tabla 1.3 Aminoácidos presentes en el maíz	18
Tabla 1.4 Vitaminas presentes en el maíz	19
Tabla 3.1 Resultados de temperatura de calentamiento en agua destilada	47
Tabla 3.2 Caracterización térmica del reservorio de cocción	53
Tabla 3.3 Valores para corrección de termopares	54
Tabla 3.4 Datos estadísticos para reproducibilidad a 92 °C	58
Tabla 3.5 Datos estadísticos para reproducibilidad a 82 °C	59
Tabla 3.6 Datos estadístico para reproducibilidad a 72°C	59
Tabla 3.7 Intervalos de confianza 92, 82 y 72 °C	61



<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>Págs.</b>
Figura 1.1 Diversidad de granos de maíz	11
Figura 1.2 Partes de la planta de maíz	12
Figura 1.3 Características de los granos en la mazorca	13
Figura 1.4 Estructura anatómica del grano de maíz	14
Figura 1.5 Proceso industrial de nixtamalización	26
Figura 1.6 Componentes principales de un termopar	28
Figura 2.1 Cuadro metodológico del desarrollo experimental	34
Figura 2.2 Vista frontal de la mesa de soporte	37
Figura 2.3 Placa de acero inoxidable, construcción del tanque y fondos	38
Figura 2.4 Reservorio y su división (1,2,3,4, y C el centro)	40
Figura 2.5 Diagrama tecnológico de elaboración de harinas de maíz nixtamalizado	42
Figura 2.6 Historia térmica (zona b, isoterma de análisis de datos)	44
Figura 3.1 Gráfica de lectura de termopares para agua destilada	48
Figura 3.2 Vista superior y frontal del tanque de cocción-reposo	49
Figura 3.3a Diagrama del tanque de cocción-reposo	50
Figura 3.3b Dimensiones del tanque de cocción	50
Figura 3.4 Diagrama del sistema prototipo cocción-reposo para la nixtamalización	51
Figura 3.5 Historia de cocimiento y reposo 92 °C (serie I, calcio 1%)	55
Figura 3.6 Historia de cocimiento y reposo 82 °C (serie II, calcio 1%)	56
Figura 3.7 Historia de cocimiento y reposo 72 °C (serie III, calcio 1%)	57
Figura 3.8 Gráfica de reproducibilidad para 92, 82 y 72 °C	56



---

---

# RESÚMEN



## RESÚMEN

Para el presente trabajo se planteó como problema principal el diseño, construcción, instrumentación y caracterización de un sistema prototipo para realizar el tratamiento térmico-alkalino durante el proceso de nixtamalización, teniendo como bases principales el diseño de un tanque aislado térmicamente de capacidad de 6 kg de maíz para realizar el tratamiento térmico-alkalino de granos que permitió obtener el perfil térmico de datos experimentales reproducibles en las etapas críticas de cocción y reposo, así como la construcción de un tanque como parte de un sistema prototipo de nixtamalización, utilizando los criterios de diseño de recipientes cilíndricos aislados térmicamente. Este tanque sirvió como contenedor para las etapas de cocción a diferentes temperatura 72, 82 y 92 °C y diferentes tiempo de reposo 0,1,3,5,7,9,11,13 y 15 horas, de los granos de maíz durante el tratamiento térmico-alkalino.

Se llevó a cabo la instrumentación del sistema prototipo de nixtamalización con herramientas de medición tales como las resistencias media luna que sirvieron como medio de calentamiento, termopares introducidos en el dedo térmico en el centro del reservorio, conectándolos al puerto RS232. El puerto RS232 se encuentra conectado a una computadora que tiene instalado un programa que efectúa la corrección de los termopares, por medio de un termopar patrón y haciendo un promedio de las temperaturas para tener control del tratamiento térmico y así lograr el perfil de tiempo-temperatura empleado durante el cocimiento y reposo. Realizada la caracterización térmica del sistema prototipo, se accedió a los resultados del tratamiento térmico-alkalino por medio de las tendencias de las historias térmicas de cada una de las corridas experimentales. A través de un análisis estadístico de los coeficientes de variación de cada evento experimental se obtuvo la reproducibilidad de los mismos, demostrando que todos los datos recolectados estuvieron dentro del límite máximo establecido del 2%, por lo cual se puede trabajar de manera impersonal, y aceptar cada uno de los datos logrados durante la realización de este trabajo. Se estableció así las diferentes condiciones de operación para el desarrollo del proceso de nixtamalización.



# INTRODUCCIÓN



---

---

## INTRODUCCIÓN

El cocimiento de maíz con cal es un método ancestral que se lleva a cabo para su transformación culinaria, ha sido practicado por las culturas asentadas principalmente en América central desde la época precolombina hasta el momento, sin haber experimentado modificaciones importantes. El tratamiento térmico-alcalino es conocido como nixtamalización, nombre que procede de dos vocablos de origen Náhuatl, derivado de *nextli* que significan “ceniza ó ceniza-cal” y *tamalli* que significa “masa de maíz”, o masa que se obtiene con el uso de cal hidratada (Trejo-González *et al.*, 1982).

La nixtamalización es el proceso más antiguo de la industria alimentaria en México, representativo de la cultura nacional, de suma importancia porque proporciona una gran variedad de alimentos básicos para la dieta de los mexicanos, que están presentes todos los días en su mesa, en cualquier horario del día, en formas tan diversas como variadas dependiendo de la localidad, de la zona geográfica y de las costumbres familiares (Reyes, 1990).

El proceso consiste en una cocción de granos de maíz a temperaturas menores de 100 °C, las características químicas de la solución alcalina durante la cocción deben ser tales que la concentración de cal siempre exceda el punto de saturación del hidróxido de calcio, el cuál es 0.15% bajo condiciones ambientales. Las concentraciones empleadas durante el proceso están dentro del rango 0.8% a 2.1% con un pH inicial de 12.4 (Trejo-González *et al.*, 1982), después se suspende el calentamiento y los granos se reposan por horas en su licor de cocción o nejayote que tiene un pH aproximado de 11, a los granos cocidos e hidratados se les conoce como nixtamal, de ahí el nombre de nixtamalización. Una vez reposado el cereal se lava para disminuir su pH a 8.5 y remover la cáscara o pericarpio, posteriormente se drena y se muele en un molino de discos de piedras volcánicas concéntricas y acanaladas para obtener un granulado húmedo que al hidratarse



---

produce masa para hacer tortillas, si se desea elaborar harina, el granulado se seca y se muele en un molino de martillos estriados para pulverizar.

Abordar el tema del maíz en México, es referirse al alimento más importante , “la tortilla”, que desde la época prehispánica ha estado integrada en la alimentación. A medida que la población creció, el consumo de tortillas aumento y su preparación artesanal que se realizaba en 1930 no fué suficiente para las necesidades crecientes de la sociedad (Sánchez *et al.*, 1998). Para el año de 1940 la nixtamalización se inicia como una actividad semi industrial, siendo el pionero molinos azteca, S.A. (MASECA), al instalar el primer molino de nixtamal en Monterrey.

La industrialización de la harina y la tortilla inició a mediados del siglo, el propósito era obtener un polvo (harina) que fuera estable y que evitara que el ama de casa tuviera que hacer el nixtamal diariamente y además molerlo, lo cual representaba una actividad tediosa que consumía tiempo y energía.

Aboites (1989) menciona que todas las invenciones registradas de 1905 a 1955 intentaron sustituir el movimiento manual por procesos automáticos. La primera máquina que se difundió bajo la marca comercial fue la de “Celorio” actualmente fabricada en la ciudad de México por industrial de ensambles, S. A. pero esta máquina ya utilizaba harina de maíz nixtamalizado, integrando únicamente cinco pasos: precocido de maíz, amasado, formación de tortilla cruda, cocción de tortilla y empackado. En 1905 se diseño el primer troquelador que extendía la masa, en 1919 se sustituyen a los comales por una banda transportadora con volteo.

Torres (1994) explica que por el año 1960 la industria de la harina de maíz nixtamalizada estaba desarrollándose en México, mientras que en el resto del mundo no existía. El Banco de México tenía una planta en Tlalnepantla, Estado de México, en donde ensayaba distintos procesos para cocer, deshidratar y clasificar el grano de maíz y producir harina, pero tenía muchos problemas en las



evaluaciones y establecimiento de parámetros de medición, sobre todo en la primera etapa del proceso de nixtamalización, para establecer el tratamiento o perfil térmico al cual deberían someterse los granos de maíz que hoy se conoce como tratamiento térmico-alkalino. Para el país era muy importante la industrialización de harinas, porque esto resolvería el consumo de tortilla de la población urbana debido a la expansión demográfica de un producto alimentario que consumen sus habitantes tres veces al día (Aboites, 1989).

Torres (1996) menciona que por el año 1970 la mitad de la producción de todos los granos en el país correspondía al maíz y el 90% se destinaba para consumo humano directo. La producción de tortilla en un 80 % era artesanal y no había suficiente tecnología, ni equipo para crecer ya que ningún otro país tenía un alto consumo de este cereal. No había empresa que se atreviera a desarrollar tecnología a partir de cero porque representaba: alto costo de investigación para establecer parámetros de medición, tiempos indefinidos e incertidumbre sobre los resultados, sin embargo era necesaria la industrialización para un país en franco desarrollo económico e industrial, con 45 millones de habitantes que consumían de 4 a 5 millones de toneladas de tortilla al año. Existían muchos problemas para lograr el control y la homogenización del proceso Appendini (1991). No se contaba con ningún equipo especializado, era prioritaria la invención de equipos e instrumentos que sirvieran para procesar cantidades de granos y medir las variables críticas, y que se establecieran parámetros necesarios para estandarizar el producto. Para 1975 el número de establecimientos aumento de 2, 215 a 17, 663 y el personal ocupado aumento de 8, 681 a 40, 772.

Resulta tan absurdo que hoy en día, que se vive en un mundo de alta tecnología; como los sistemas de transporte, la farmacéutica, el procesamiento de alimentos enlatados o deshidratados. El hombre ha ido de la señal de humo al satélite, del fuego al microondas, de la leche fresca a la leche en polvo, pero en cuanto a la nixtamalización, el proceso de elaboración es el mismo. Además en la actualidad el proceso industrial, no alcanza los estándares de calidad del proceso artesanal,





debido a que no han podido escalar y / o extrapolar las condiciones de proceso de las variables críticas. A diferencia de la antigüedad hoy si hay empresas en el mundo que hacen estudios de un proceso exclusivo de nuestro país y por tanto es un desacierto que no seamos los líderes mundiales de la producción de harina de maíz nixtamalizado, que corresponde al grupo GRUMA (Serna-Saldívar, 1996). Desde que se incorporó el tratamiento artesanal a las filas de un macro proceso, su ingeniería sigue siendo igual, sin que se hayan producido cambios significativos que hagan uso de los conocimientos científicos. Se puede decir que el proceso está en desarrollo, encontrándose en una etapa de acumulación cuantitativa de resultados científicos que en un futuro darán lugar a cambios en la tecnología, porque aún existen un conjunto de aspectos que requieren investigación y entendimiento.

Mientras este antiguo tratamiento era casi exclusivo de nuestro país, los estudios existentes hasta hace una década estuvieron basados fundamentalmente en aspectos nutrimentales, almacenamiento y conservación de granos, mejorar las condiciones de cultivo y la calidad del cereal para consumo humano, también hubo algunas propuestas alternativas sin éxito para modificar el proceso de nixtamalización.

Hoy en día los productos elaborados a partir de maíz han desbordado las fronteras de México con una amplia perspectiva y rápido crecimiento en la comunidad europea y en Estados Unidos. Pero aun no hay una estandarización normalizada del tratamiento y existe un amplio rango de condiciones de proceso. Además desde el punto de vista ingenieril, el método tradicional de nixtamalización ha sido subestimado e ignorado, ya que el equipo es obsoleto, ineficiente y de elevados gastos de insumos, es urgente proponer modificaciones para un apropiado control y eficiencia del proceso. Por otro lado los cambios promovidos en las estructuras del maíz han sido poco estudiados, sin establecer la funcionalidad e importancia que en conjunto representan cada una de las partes del maíz durante su transformación artesanal e industrial.



---

Como el maíz, es un cereal que siempre fué subsidiado, la mediana industria no se preocupó por el desarrollo tecnológico y hoy en día México no es el líder mundial de la industria harinera de maíz nixtamalizado, pero sí el mayor consumidor de productos nixtamalizados.

Según Serna-Saldívar (1996) se ha trabajado en el desarrollo tecnológico de la tortilla, pero muy poco en el proceso, ya que se han identificado algunos factores fundamentales como críticos en la nixtamalización, pero esto no significa que todos se hayan estudiado y correlacionado entre ellos se tiene : el perfil de tiempo de temperatura empleado durante la etapa de cocción y reposo del maíz, el establecimiento del tiempo de cocimiento de granos de maíz, el volumen de agua utilizada para cocer los granos de maíz, la cantidad de hidróxido de calcio adicionada durante el cocimiento, el número de veces y la duración del mezclado en la etapa de cocción, la duración del tiempo de reposo de los granos de maíz en su licor de cocimiento, el tiempo de drenado del nejayote, la forma, la duración y el número de lavados del nixtamal, el tiempo de drenado de las aguas de lavado, las condiciones de la molienda húmeda, velocidad de alimentación, abertura de los discos, tamaño del granulado obtenido, el volumen de agua adicionado durante la hidratación del granulado y en el caso de obtención de harinas de maíz nixtamalizado; la temperatura en que debe secarse el granulado, las condiciones de la molienda seca, velocidad de alimentación, abertura del tamiz de restricción en la molienda, el análisis granulométrico o distribución de tamaño que debe tener una harina.

Numerosos son los factores que requieren estudio en el proceso de nixtamalización, pero definitivamente uno de los más importantes es que el tratamiento térmico-alkalino al que se someten los granos de maíz debe estar controlado para no afectar algunos de los componentes como el almidón. Independientemente de la temperatura a la que se procese en las diferentes zonas geográficas del país. Se requiere tener equipos prototipo y piloto de fácil manejo,



---

económicos y que puedan ser instalados para los molineros, pero que además aseguren el control de las temperaturas de manejo.

Este trabajo propone el diseño, construcción y caracterización de un equipo prototipo para nixtamalizar a pequeña escala granos de maíz, porque por medio del equipo se puede obtener *in situ* la historia térmica de cocción-reposo del tratamiento, además tiene las ventajas de ser de bajo costo, de fácil instalación y manejo, con alto grado de repetibilidad y reproducibilidad en los eventos experimentales y con estricto control de las mediciones, es recomendable para la pequeña y gran industria, así como para los molineros mexicanos y tortillerías, que elaboran producto principalmente con grano o grano-harina.



---

---

# **CAPÍTULO I**

# **ANTECEDENTES**

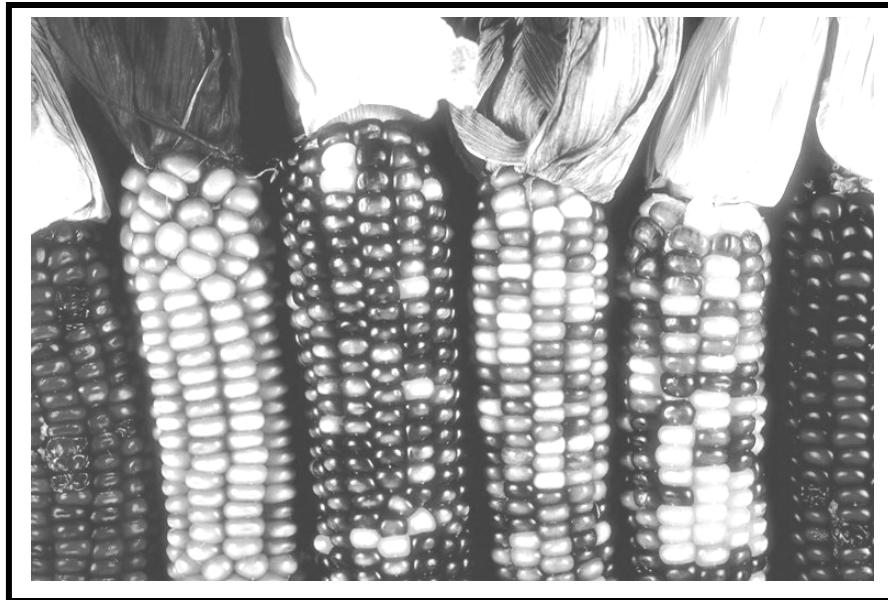


## CAPÍTULO I

### ANTECEDENTES

#### 1.1 El maíz y sus características

Desde su domesticación el maíz ha influido en el desarrollo de las grandes civilizaciones de Mesoamérica (Figueroa y Flores, 1994), excavaciones arqueológicas y geológicas indican que la planta de maíz debe haberse originado cuando menos hace cinco mil años. Los granos de polen de *Zea*, *Tripsacum* y *Euchlaena* encontrados bajo la ciudad de México son mucho más antiguos (Junqueira *et al.*, 1972).



*Fuente: Hopkins, (1999).*

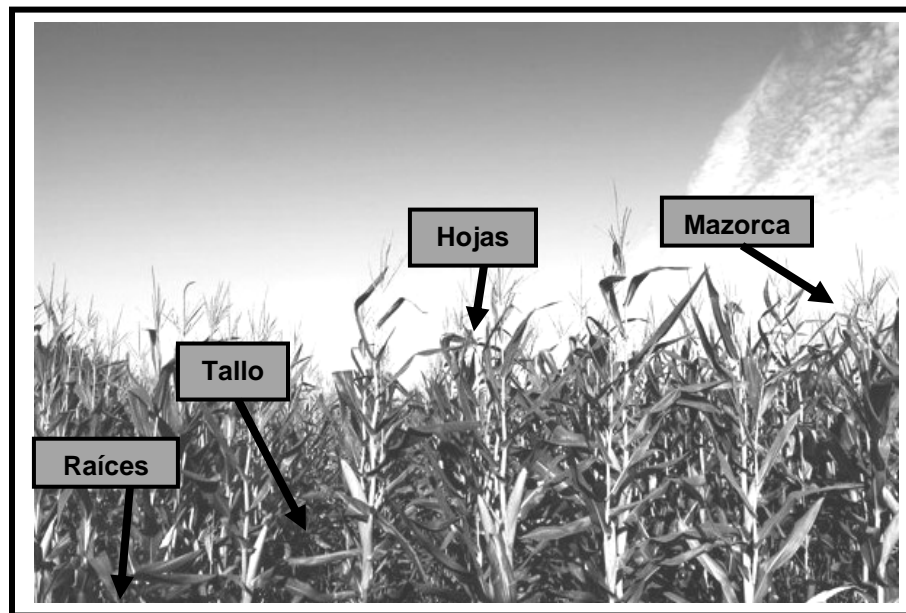
**Figura 1.1 Diversidad de los granos de maíz**

Debido a la gran diversidad de formas nativas encontradas como se muestra en la figura 1.1, se cree que el maíz, pudo originarse en los altiplanos de Perú, Bolivia y Ecuador, pero la mayoría de los investigadores coinciden que probablemente la planta se originó en México (Junqueira *et al.*, 1972).

En la nomenclatura científica *Zea mays* significa “grano que proporciona la vida”, es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal. El maíz esta



clasificado como una planta monocotiledónea que pertenece a la familia de las gramíneas, el grano de maíz botánicamente es una cariósida, baya de semilla seca, formando solo un grano el cual se une al olote a través del pedicelo, mediante conductos internos llegan los nutrientes durante el desarrollo, al término del cual el pedicelo produce un sello negro para suspender el transporte de materiales y agua al grano (Allen *et al.*, 1993). Las principales partes de la planta son: tallo, hojas, raíces y mazorca, tal y como se muestra en la figura 1.2.



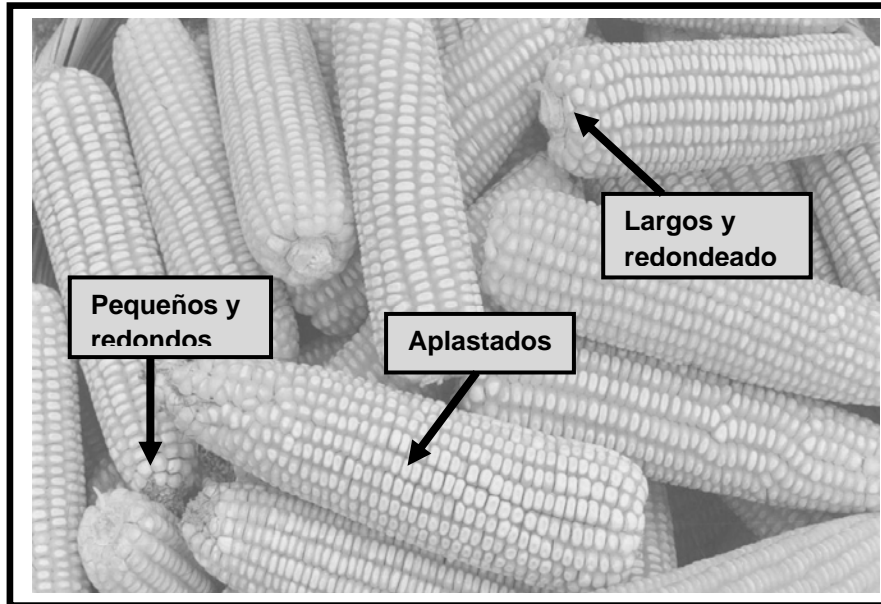
*Fuente : Hopkins, (1999).*

**Figura 1.2 Partes de la planta de maíz**

- **Tallo:** Es simple erecto de elevada longitud, pudiendo alcanzar los cuatro metros de altura es robusto y sin ramificaciones.
- **Hojas:** Son largas de gran tamaño, lanceoladas y alternas se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presentan vellosidades.
- **Raíces:** Son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta.
- **Mazorca** Estructura formada por 300 hasta 1000 granos, dependiendo del número de hileras, del diámetro y la longitud del olote. El peso de la mazorca puede variar dependiendo del número de granos presentes. Los granos en la parte superior de la mazorca son largos y redondeados como



se muestra en la figura 1.3, los del final de la punta son de menores dimensiones y redondos, en la parte central son aplastados debido a la presión en granos adyacentes (Klaus y Karel, 1991).



Fuente: Rojas, (1997).

Figura 1.3 Características de los granos en la mazorca

Existen tres principales géneros americanos que se clasifican como:

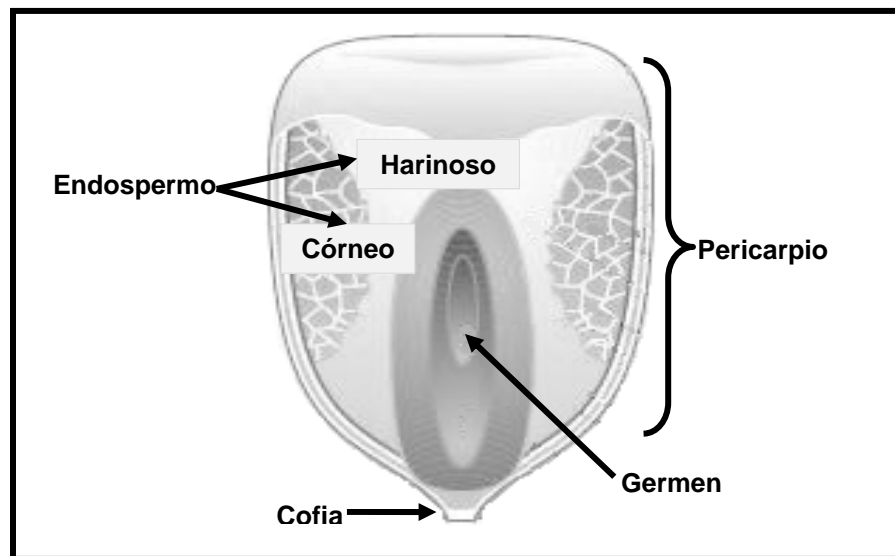
- ***Euchlaena*** (teosintle), Ha adquirido gran importancia en el conocimiento actual del origen y evolución del maíz bajo domesticación.
- ***Tripsacum***, genero que posee cierto valor como cultivo forrajero. Pero no para consumo humano.
- ***Zea***, es un genero de suma importancia representado principalmente por la especie *Zea Mays*, es el maíz indio o maíz, los grupos agrícolas son el dentado, reventón, harinoso, el dulce y el ceroso, cada grupo puede mejorarse por fitomejoramiento (Junqueira *et al.*, 1972).



### 1.1.1 Estructura del maíz

El grano de maíz está constituido por cuatro partes principales como muestra la figura 1.4 cada una de ellas presenta diferentes características de composición de importancia en la utilización del grano de maíz.

- **Germen:** En el extremo más bajo del grano ocupando el 9.5 al 12% del peso seco del grano se encuentra el germen. Posee dos partes destacables, el eje embrionario (planta nueva) y el escutelo que constituye una gran reserva de alimento, los cuales son movilizados por enzimas elaboradas durante las etapas iniciales de la germinación, el escutelo es la sencilla capa de células secretoras las cuáles forman el contacto primario entre el germen y el endospermo, en la figura 1.4 se muestra la estructura del maíz.



Fuente: Hoseney, (1992), con modificaciones

**Figura 1.4 Estructura anatómica del grano de maíz**

La mayoría de las proteínas del germen son albuminas y globulinas, componentes del sistema enzimático de la célula (Watson *et al.*, 1987).





- **Endospermo:** Es la estructura que representa la reserva energética, constituye el 80-84% de peso total del grano. Compuesta por 90% de almidón y 7% proteínas, acompañadas de aceites, [minerales](#) y otros compuestos. Funciona como dador de energía a la planta en su [desarrollo](#). Esta comprendido por células empacadas con gránulos de almidón de 5 a 30  $\mu\text{m}$  empotrados en una matriz proteica continua. Existen dos tipos de endospermo; el endospermo periférico que esta adherido a la capa de aleurona y que representa una capa delgada y el endospermo almidonoso de dos tipos: harinoso y córneo ambos están comprimidos por la matriz proteica que encapsula los gránulos de almidón. El endospermo harinoso rodea la fisura central del grano es opaco para transmitir la luz. La opacidad es debida a la refracción de la luz sobre bolsas de aire alrededor de los gránulos de almidón las cuáles resultan del desgarramiento de la delgada matriz proteica cuando se encoge ésta durante el secado. La matriz no se alarga completamente alrededor de los gránulos de almidón estos asumen una forma redondeada. El endospermo córneo se encuentra principalmente a los lados del grano, la matriz proteica que lo cubre es más gruesa y permanece intacta durante el secado, los gránulos de almidón se encuentran comprimidos en forma polihédrica, son de aspecto translúcido y no presentan cavidades aéreas (Watson y Ramsted, 1987).
- **Pericarpio:** Es una capa exterior de cubierta protectora dura y fibrosa que encierra al grano, es una membrana delgada, transparente casi invisible, llamada cubierta de la semilla; se adhiere fundamentalmente a la superficie externa de la capa aleurona y además imparte propiedades semipermeables al grano de maíz representa entre el 5-7% del grano de maíz (Klaus y Karel, 1991).
- **Punta o cofia:** Es la parte minoritaria también conocida como pedícelo, representa menos del 1% del grano de maíz, es una estructura fibrosa que mantiene el grano unido por el olote y por la cual se transportan los



nutrimentos que el grano necesita durante la etapa de crecimiento, esta compuesta principalmente por celulosas, entre la base del germen y la punta se encuentra un tejido negro conocido como capa hilar que funciona como sello del grano en la etapa madura (Klaus y Karel, 1991).

### 1.1.2 Composición química del grano de maíz

En la tabla 1.1, se muestra la composición química proximal del grano de maíz y de sus estructuras anatómicas.

Es importante conocer su composición química para tener una idea del tipo de interacciones que tienen lugar en el grano durante el proceso de nixtamalización, por la presencia de calcio (Klaus y Karel, 1991). Dentro de los componentes más importantes de los granos de maíz se destacan.

**Tabla 1.1 Composición química proximal del grano de maíz (%)**

Componente Químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3.7	8.0	18.4
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.6	8.3
Carbohidratos	0.34	0.62	10.8

*Fuente: Watson, ( 1987).*

- **Compuestos minerales:** El maíz se considera fuente de fibra dietética, la constituyen aquellos hidratos de carbono estructurales que son insolubles como la hemicelulosa y la celulosa del pericarpio y paredes celulares del endospermo, el compuesto más abundante es el fósforo, esta presente como sales de magnesio y potasio del ácido fítico, el fósforo es liberado por las enzimas fitasas para iniciar el desarrollo embrionario. El azufre es el



cuarto elemento inorgánico más abundante del maíz se encuentra presente en la forma orgánica como constituyente de los aminoácidos metionina y cisteína. Los metales pesados tóxicos están presentes en el maíz por debajo de los niveles que causan toxicidad en animales. El maíz es una fuente importante de selenio en las raciones para animales (Watson *et al.*, 1987). La mayoría de los minerales están asociados con el pericarpio, la capa de aleurona, mientras que el endospermo presenta bajas cantidades de minerales, sin embargo, la mayor parte de los minerales se encuentran concentrados en el germen (Allen, 1981).

- **Proteínas o compuestos nitrogenados:** El maíz es fuente proteica de baja calidad por sus reducidos niveles de lisina y triptófano el contenido proteico esta influenciado por la disponibilidad de nitrógeno del suelo y por genética, éste puede variar desde 4.4% hasta 26.5%. La aplicación de abono o fertilizante normal al maíz dentado puede incrementar el contenido total de proteína hasta 11.5%, como se muestra en la tabla 1.2 y el crecimiento de maíz en suelo carente de nitrógeno puede producir granos con proteína tan baja como 6%.

**Tabla 1.2 Fracciones de proteína en el maíz**

Fracción	( % )
Albúmina	4.00
Globulina	2.00
Prolamina	55.0
Glutelina	39.0
Proteína cruda	7-13

*Allen (1993).*

Sí el contenido de proteína se incrementa, la cantidad de endospermo córneo se incrementa. La proteína total del maíz es un compuesto de numerosas moléculas proteicas cada una de las cuales son polímeros de



aminoácidos (Watson y Ramsted, 1987). En la tabla 1.3 se muestra el porcentaje de los aminoácidos presentes en el maíz.

**Tabla 1.3 Aminoácidos presentes en el maíz**

Aminoácido	( % )
Metionina	0.170
Cistina	0.130
Lisina	0.220
Triptófano	0.090
Treonina	0.340
Isoleucina	0.370
Histidina	0.190
Valina	0.420
Leucina	1.000
Arginina	0.0520
Glicina	0.330
Fenilalanina	0.440

*Allen (1993).*

- **Vitaminas:** El maíz contiene dos vitaminas solubles en grasa, vitamina A (b-caroteno) y vitamina E, y la mayoría de las vitaminas solubles en agua. El contenido del b-caroteno del maíz es genéticamente variable en maíces híbridos y naturales. Este es gradualmente destruido por oxidación junto con otros pigmentos carotenoides durante el almacenaje prolongado. En la tabla 1.4 se presentan las vitaminas más importantes del maíz. Las vitaminas solubles en Tiamina (B1) y piridoxina están presentes en concentraciones suficientes para ser importantes en raciones para animales. La niacina se encuentra presente en altas concentraciones en forma ligada, la cual es en su mayor parte no disponible para animales monogástricos, sin embargo el tratamiento con álcali tal como ocurre en la nixtamalización la hace disponible. El tratamiento alcalino del maíz para la producción de tortilla incrementa notablemente la cantidad de niacina



notablemente disponible, ya que la cocción con cal rompe el enlace glucosídico que une a la niacina con el compuesto ligante (Watson y Ramsted, 1987).

**Tabla 1.4 Vitaminas presentes en el maíz**

Vitamina	Valor (mg/Kg)
Vitamina A	2.2
Vitamina E	22
Tiamina	3.7
Riboflavina	1.1
Ácido pantoténico	6.7
Biotina	80
Ácido fólico	375
Colina	440
Niacina	21.5
Caroteno	2.00

*Allen (1993).*

- **Grasas:** El contenido de lípidos varía de acuerdo a la proporción de germen presente en el grano y su contenido de aceite. Los lípidos se encuentran principalmente como triglicéridos de ácidos grasos, además de fosfolípidos, esteroides, tocoferoles y carotenoides. La riqueza en aceite de maíz varía mucho, son variables tanto la proporción de germen en el grano, como la proporción de aceite en el germen y las dos variables parecen estar controladas genéticamente. Los pigmentos del maíz están asociados con la proteína del endospermo, y su concentración es mayor en el endospermo córneo (Watson y Ramsted, 1987).
- **Carbohidratos:** El almidón es el principal carbohidrato presente en el maíz, y representa el 72-73% del grano y está compuesto por dos tipos de moléculas, la amilosa y la amilopectina. La solubilidad del almidón depende de la cantidad disponible de los grupos hidroxilo en el medio. La amilosa y la amilopectina se unen mediante puentes de hidrógeno y conjuntamente a



otras moléculas individuales, por lo que existen pocos grupos hidroxilo libres para asociarse con el agua, siendo por tanto una baja solubilidad del almidón. Los azúcares presentes son principalmente sacarosa, glucosa y fructuosa en cantidades de solo 1-3% del grano. La sacarosa es el azúcar mayoritario encontrándose tres cuartas partes del total en el germen y una cuarta parte remanente en el endospermo. Se han encontrado mutantes de maíz cuyo almidón está compuesto prácticamente por 100% de amilopectina, estos almidones se llaman céreos y el maíz es llamado céroso debido a la apariencia cerosa de su endospermo. También se conocen mutantes cuyos almidones tienen niveles de amilosa altos, algunas líneas de maíz tienen el almidón con 70% de amilosa, estos se llaman amilotipos (Hoseney *et al.*, 1991).

### 1.1.3 El proceso de nixtamalización

La nixtamalización implica un tratamiento selectivo de las proteínas del maíz y claramente incrementa la disponibilidad de aminoácidos esenciales y libera niacina, que de otra manera permanecerá sin ser aprovechada. Los cambios químicos en el contenido de nutrientes del maíz, al ser transformados en tortilla por el proceso alcalino de cocción, sugieren que la proteína de la tortilla es mejor calidad que aquella del maíz sin procesar a pesar de sus deficiencias de lisina y triptófano (Bressani, 1972).

La palabra nixtamalización castellanizada del náhuatl (*nextli*: cal de cenizas y *tamalli*: masa cocida de maíz) significa maíz cocido en una solución de cal (Cabrera, 1972). Durante el proceso el maíz se hierve con agua al cual se le añade cal con lo que alcanza un pH de 11 a 13, el tiempo de cocimiento que fluctúa entre 20 y 40 minutos, dependiendo de la variedad que se trate, las de endospermo suave requieren menos tiempo, comparadas con las de endospermo duro. Después del periodo de cocción, se corta el suministro de calor y se deja reposar, lapso en el cual se alcanza la temperatura ambiente. El agua de cocción



llamada nejayote, se elimina y se realiza posteriormente generalmente dos lavados al nixtamal, eliminando el exceso de cal y disminuyendo el pH a 8.5, de otra manera el resultado es un sabor alcalino, posteriormente se muele en un molino de piedras (Trejo-González *et al.*, 1982).

Durante el proceso de nixtamalización se logra la biodisponibilidad de vitaminas, proteínas y aminoácidos tales como: la lisina, gluteína, niacinas y triptófano, pero otros nutrientes se destruyen. En el nejayote se solubilizan: minerales, grasas, globulinas y albúminas. La destrucción de la lisina hace que la relación de este aminoácido con la isoleucina mejore considerablemente (Bressani *et al.*, 1958). Así mismo el proceso de nixtamalización provee beneficios entre los cuales se encuentra la alta biodisponibilidad de calcio en la tortilla, aspecto importante para evitar el desarrollo de pelagra y osteoporosis en humanos (González, 1995).

La absorción de calcio es favorecida por la vitamina D, la saturación del ácido fítico de cal durante la nixtamalización favorece la absorción de fósforo y otros minerales traza (Urizar y Bressani *et al.*, 1997).

La cal, en la nixtamalización facilita la remoción del pericarpio durante la cocción y el reposo, controla la actividad microbiana, tiene un efecto en el sabor, color, vida de anaquel y valor nutritivo del maíz. La cal actúa en forma similar a los álcalis más fuertes al descomponer componentes de fibra como la hemicelulosa. En algunos casos se emplean altas concentraciones de cal para aumentar el pH de las tortillas a tal nivel que retarde o retrase la descomposición ocasionada por microorganismos. La cal penetra en el grano principalmente a través del germen, la parte anatómica que tiene la mayor concentración de calcio después de la cocción y el remojo. La cal también afecta al color de la tortilla, incluso, cuando las tortillas se producen de granos blandos, una alta concentración de cal forma un producto final amarillento. La intensidad del color está estrechamente relacionado con los pigmentos carotenoides, flavonoides y el pH (Rooney *et al.*, 1995). A continuación se describe cada una de las etapas del proceso de nixtamalización:



- **Limpieza:** Durante esta etapa se hace pasar por una criba de 4 mm, para eliminar basura y productos extraños.
- **Selección:** Se realiza en una criba de 0.8 mm para seleccionar granos de tamaño homogéneo, se eliminan granos picados de manera manual.
- **Cocimiento y reposo:** El cocimiento de los granos de maíz ocurre durante el calentamiento y el enfriamiento de la mezcla del maíz, cal y agua. Existen varias alternativas de adición del grano al agua para su cocimiento que se emplean actualmente el grano se adiciona al agua caliente o el agua se calienta con el grano adentro para después sostener la temperatura de la mezcla, eliminar la fuente de calor y entonces dejar reposar. En ocasiones principalmente para la elaboración de productos se adiciona agua fresca a la mezcla caliente para disminuir la temperatura y no gelatinizar en exceso los gránulos del almidón (62-72 °C). El cocimiento aplicado al maíz tiene la función de hidratar al grano, suavizar el pericarpio, desnaturalizar proteínas y gelatinizar parcialmente el almidón.

Estos cambios físicos y químicos aumentan en la medida que los granos son más pequeños, están más quebrados y/o fracturados, la cal es más activa y soluble a temperatura ambiente, pero en la nixtamalización se aplica mayor temperatura aproximadamente de 70 a 92 °C por más tiempo. El periodo del reposo debe permitir la difusión de la humedad dentro del grano para producir granos de nixtamal hidratados homogéneamente. En estas condiciones, el nixtamal es blando con trazas de pericarpio. Parte de la cal es absorbida principalmente en el germen del grano. Los granos se hinchan debido al efecto combinado de humedad y gelatinización, de la degradación parcial de la estructura del endospermo, de la ruptura de la matriz proteica.





- **Drenado:** En esta etapa se elimina el nejayote, que presenta un pH aproximado a 11, aquí se presenta una pérdida importante de materia, generalmente pericarpio, calcio, fracciones de endospermo y germen.
- **Lavado:** Tiene las funciones de eliminar el pericarpio ya suavizado, el exceso de cal y el agua de cocimiento, y de enfriar el nixtamal dependiendo del tipo de cocimiento empleado. Se puede aplicar un mezclado o agitación mecánica para mejorar la transferencia de los materiales y aumentar la eficiencia del lavado. El lavado debe ser lo mas uniforme posible y llevar el nixtamal a una temperatura aproximada de 35 °C con el mínimo uso de agua. Durante el lavado el pH disminuye a 8.5 (Trejo-González *et al.*, 1982), se pierde materia seca y puede mejorarse el color del producto. En ocasiones se disminuye o elimina el lavado con el propósito de conservar las gomas naturales del maíz (péctinas y almidones y fibras solubles) y no reducir los rendimientos. Las gomas del maíz ayudan a retener el agua e imparten flexibilidad y suavidad a la masa y tortillas. Por otro lado, cuando se retiene el exceso de cal existe un mayor riesgo de oscurecimiento del producto, pero mayor vida de anaquel (Rooney *et al.*, 1996).
- **Molienda:** Produce un granulado que al hidratarse proporciona una masa de maíz compuesta por varios tipos de partículas que incluyen fragmentos del grano, pericarpio, germen, así como almidón, proteínas, fibras hidratadas y grasa en mezcla, con alrededor de 50-60% de humedad. La condición del nixtamal, el tipo de piedra, la separación entre las piedras y el agua adicionada son factores a controlar durante la molienda. Un nixtamal blando con un contenido de humedad de 45-52% está indicado para moler y producir masa para tortillas, debido a que la masa resultante presenta adecuada plasticidad, cohesividad, maquinabilidad. Con la adición de agua durante la molienda la masa resultante puede tener hasta 60% de humedad. El tamaño, el tipo y estado del labrado y separación entre las piedras, afectan el tamaño de las partículas de la masa (finas o gruesas), la



eficiencia, la fricción y el calentamiento desarrollados durante la molienda. Canales profundos en el labrado de la piedra producen masas más gruesas. La adición de agua durante la molienda, disminuye la fricción, evita el sobrecalentamiento y produce una masa más suave (Rooney *et al.*, 1996).

#### **1.1.4 Cambios físicos, químicos y estructurales en el grano de maíz durante la nixtamalización.**

El proceso de nixtamalización induce a la eliminación de la cáscara del maíz, lográndose una mejor textura, asimismo la cocción causa la gelatinización parcial de los almidones y también induce cambios en la solubilidad de la proteína, lo cual también contribuye a aumentar la calidad y textura de la masa, pero disminuye las fibras dietéticas necesarias para el organismo humano.

La susceptibilidad enzimática del almidón se incrementa ligeramente conforme se va cocinando el maíz con la cal, sin embargo el mayor incremento se presenta durante la molienda. La estructura del gránulo de almidón natural se hincha parcialmente durante la cocción. Sin embargo las alteraciones en la cristalinidad del almidón ocasionadas por la cocción se restauran parcialmente por una recristalización o recocido durante el remojo. La reasociación de las moléculas de almidón pueden afectar en forma considerable las propiedades reológicas subsecuentes de los productos hechos a base de masa (Gómez *et al.*, 1991).

La fracción lípida está compuesta principalmente de lípidos parcialmente emulsificados localizados en la fase acuosa de la masa y los lípidos libres que interactúan tanto con los péptidos como con los carbohidratos, alterando las propiedades de la masa (Rooney y Almeida-Dominguez, 1995).

El proceso de cocción alcalina induce pérdidas importantes de varios nutrientes en particular en vitamina del complejo B, también ocurren cambios en el contenido



de minerales, un compuesto químico que se ha asociado a reducir la biodisponibilidad del hierro y otros minerales es el ácido fítico. Este compuesto se encuentra en concentraciones relativamente altas en el germen del maíz, fracción física del grano que poco se elimina durante la cocción alcalina del grano. El ácido fítico tiene la capacidad para capturar y reducir la absorción del hierro, zinc, calcio y aún fósforo, lo que contribuye a crear deficiencias de estos nutrientes.

## **1.2 Problemática de la industrialización del proceso de nixtamalización**

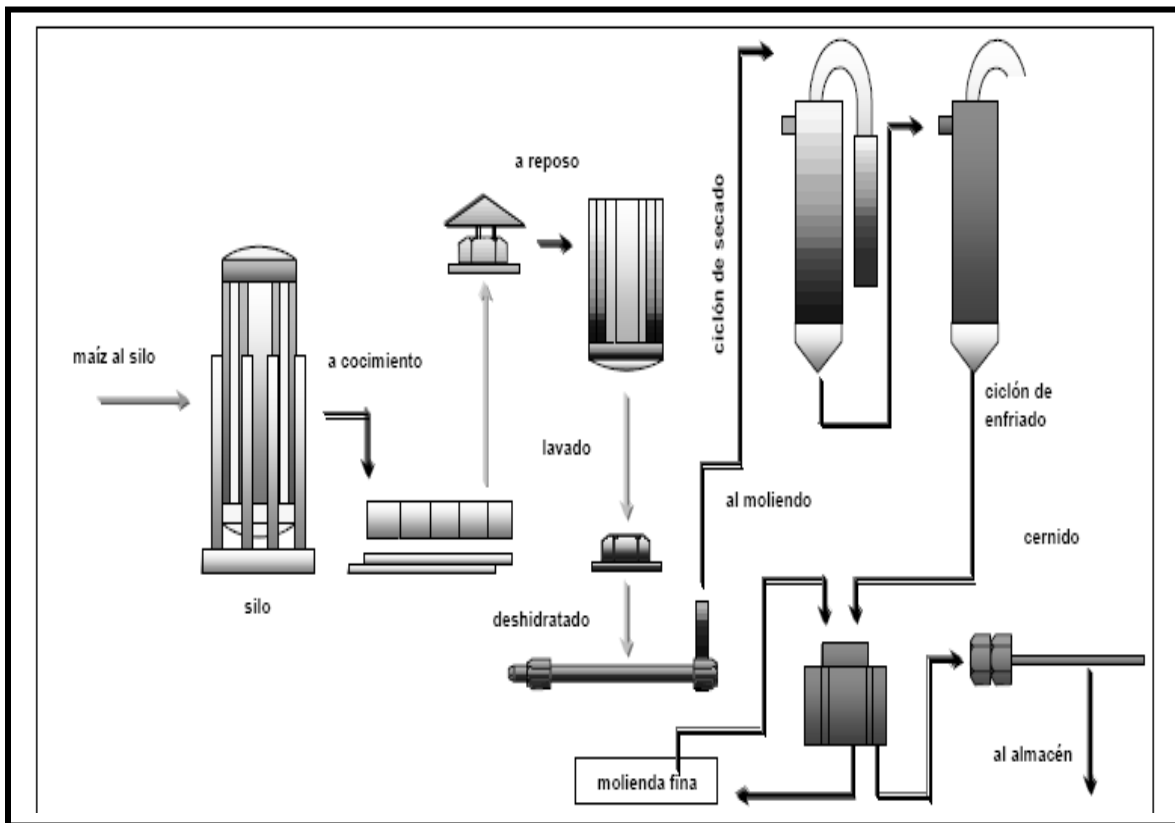
El nejayote es el agua de desecho del nixtamal y contiene alta concentración de sólidos solubles y cal. El cocimiento de los granos en la nixtamalización con gas LP es muy ineficiente ya que se desperdicia el 50% del consumo energético que se disipa como contaminante al ambiente.

En este contexto, el problema que se presenta en la industria de la masa y el nixtamal, son las aguas residuales del proceso contienen residuos de maíz, así como los restos de cal usadas durante la cocción del mismo, esta materia orgánica e inorgánica representa una elevada carga contaminante desde el punto de vista ambiental, ya que presenta una temperatura de 40 a 70 °C tres veces superior a lo que establece la NOM-002-ECOL y un pH que oscila entre 12 y 14, (siendo 7 el pH lo que establece esta norma), esto debido a la gran cantidad de cal y agua durante el proceso y que tienen 1.14g/L de hidróxido de calcio. Todo esto hace que cuando se arroja al drenaje o indirectamente a los acuíferos o al suelo se provoca un deterioro ambiental importante.

Como resultado de este proceso industrial de elaboración de harinas, como se observa en la figura 1.5, ocurren pérdidas importantes de vitaminas, minerales, proteínas, grasa y fibra. Todos estos factores son de importancia nutricional y comercial para la industria.



Por otro lado, el proceso de nixtamalización hace que la tortilla tenga una pérdida en materia seca Bressani, (1958) determinó que la pérdida de sólidos es de un promedio de (17.1%) durante la transformación del maíz en masa. También se ha determinado una pérdida en otros tipos de componentes, tales como hemicelulosa. Con respecto al material proteico obtenido a partir del proceso de nixtamalización se ha observado un tratamiento selectivo de las proteínas del maíz. Durante el proceso de cocimiento alcalino, la zeína, una proteína nutricionalmente pobre reduce su solubilidad, mientras que la gluteína, de mayor valor nutricional, incrementa su solubilidad y con ello la disponibilidad de aminoácidos esenciales.



Fuente: Minsa, (2005).

**Figura 1.5 Proceso industrial de nixtamalización**

Se han hecho esfuerzos múltiples hacia el mejoramiento del método tradicional de nixtamalización dirigidos a mejorar la estabilidad del producto final, la reducción



del tiempo de cocimiento con hidróxido de calcio, la reducción de pérdida de sustancias solubles al álcali, y mejoramiento del producto final.

Algunas limitantes en el proceso de nixtamalización son:

- Gran volumen de efluentes contaminantes, ineficiente energéticamente
- Tiempos largos de procesamiento
- Altas pérdidas de materia seca y nutrimentos en el líquido de cocimiento o nejayote
- Alta demanda bioquímica de oxígeno
- Requiere tipos de maíz específicos

### **1.3 Medición de temperatura durante el proceso de nixtamalización**

La medición de temperatura durante el proceso de nixtamalización es un factor crítico que debe controlarse mediante instrumentos con alta confiabilidad como el termopar.

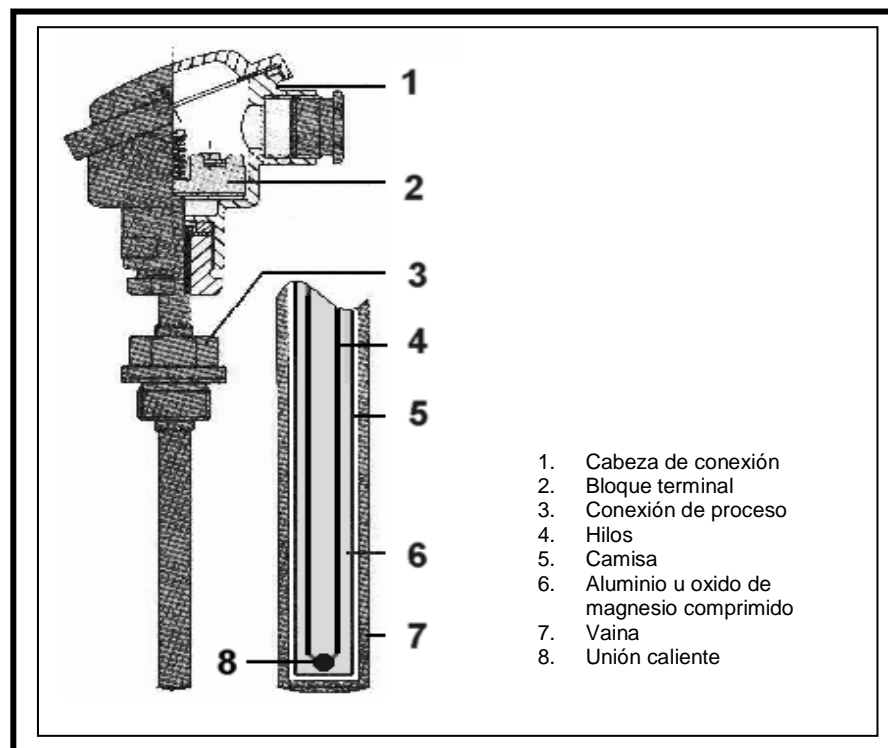
El termopar fue descubierto por Thomas Seebeck en 1831. El descubrió que una corriente eléctrica fluía en un circuito cerrado de dos metales distintos cuando una de las uniones era calentada. La magnitud y dirección son función de la diferencia de temperatura de las uniones y de las propiedades térmicas de los metales usados en el circuito.

El termopar es un dispositivo en estado sólido que se utiliza para convertir la energía en voltaje, es un aparato para la medición de la temperatura, basado en efectos termoeléctricos, es un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales, unidos en sus extremos y entre cuyas uniones existe una diferencia de temperatura, que origina una fuerza electromotriz efecto Seebeck. Cuando las uniones de dos conductores se unen por sus extremos para formar un circuito, y se colocan en un gradiente de temperatura, se manifiesta un



flujo de calor y un flujo de electrones conocidos como corriente de Seebeck. La fuerza electromotriz (FEM) que genera la corriente se conoce como fuerza electromotriz de termopar o tensión Seebeck.

La magnitud de la FEM depende de los materiales de los conductores utilizados por el termopar y de sus condiciones metalúrgicas, subsecuentes cambios en la composición del material causados por contaminación, mecanismos extraños, o choques termales influyen y modifican la FEM. En la figura 1.6 se mencionan los componentes principales de un termopar.



*Fuente: WIKA, (2006).*

**Figura 1.6 Componentes principales de un termopar**

Generalmente los termopares se utilizan cuando:

- La temperatura excede 400 °C, o se requieren mayor precisión en la lectura de temperaturas.
- Se requiere un tiempo de respuesta rápido.



- 
- El lugar de medida requiere un termómetro muy pequeño o delgado (< 1 mm).
  - Una longitud suficiente de inmersión no puede ser realizado.
  - Se espera choques o vibraciones.

El proceso de nixtamalización de maíz requiere el control de la temperatura y de conocer la historia térmica a la que se someten los granos, debido a que tiene componentes que se modifican. Ocurren cambios fisicoquímicos con temperaturas superiores a 50 °C, como es la gelatinización del almidón, el cual es el componente mayoritario del cereal, de ahí que la temperatura a la que se someten los granos durante el tratamiento debe monitorearse y controlarse con instrumentos muy confiables.



---

---

# **CAPÍTULO II**

# **METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**





---

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

El desarrollo de esta tesis se realizó en dos centros que permitieron el uso de sus laboratorios con equipos necesarios para el trabajo experimental, se mencionan en orden de importancia:

- Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Izcalli Estado de México (UNAM).
- Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (UNAM), Campus Juriquilla, Querétaro, Qro.

Es grande la problemática y numerosos los factores que requieren un estudio sobre el proceso de nixtamalización, que difícilmente se podrían estudiar al mismo tiempo.

Son grandes los problemas que enfrenta la nixtamalización en donde, sin duda alguna el diseño y construcción de un equipo prototipo tiene especial importancia, sobre todo porque se requiere realizar estudios en las etapas críticas del proceso, en virtud de que la nixtamalización es un proceso multivariable y multiparamétrico. El diseño del equipo a pequeña escala fue precisamente las que lo hizo atractivo para el estudio y desarrollo de esta tesis. Para llegar a la solución del problema: diseñar, construir, instrumentar y caracterizar un equipo prototipo de nixtamalización, se planteó la hipótesis basada en función del compromiso que se tiene en esta investigación.

#### **HIPÓTESIS:**

Durante el proceso de nixtamalización se presentan una combinación de fenómenos de transporte, estos definirán la difusión del licor de cocimiento o nejayote a las estructuras internas del maíz. Este mecanismo depende de las condiciones de proceso a las que se sometan los granos de maíz, pero no existen



equipos prototipos para realizar pruebas a pequeña escala donde puedan estudiarse estos fenómenos. En consecuencia, si se tiene un equipo prototipo para el proceso de nixtamalización bien instrumentado, que proporcione datos repetibles y reproducibles a pequeña escala podrán efectuarse pruebas para estudios del fenómeno de transferencia de calor y masa a diferentes condiciones de proceso. Para la contratación de la hipótesis de trabajo se formuló un objetivo general, que se desglosó en cuatro objetivos particulares.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Diseñar, construir, instrumentar y caracterizar un sistema prototipo para realizar tratamiento térmico-alkalino durante el proceso de nixtamalización tradicional, instrumentándolo con herramientas que permitan asegurar la precisión y exactitud en las mediciones y caracterizarlo a diferentes condiciones de proceso.

### **Objetivos particulares**

**I.-** Diseñar un tanque aislado térmicamente, de capacidad de 6 Kg para realizar el tratamiento térmico-alkalino (cocción-reposo), que permita obtener la historia térmica de eventos experimentales a diferentes condiciones de proceso.

**II.-** Construir un tanque como parte de un sistema prototipo de nixtamalización tradicional, de acuerdo a los criterios de diseño de recipientes cilíndricos aislados térmicamente, para ser utilizado como contenedor de cocción y reposo de granos de maíz durante el proceso.

**III.-** Instrumentar el sistema prototipo de nixtamalización con herramientas de medición sensibles, para tener control del tratamiento térmico y conocer el perfil de tiempo-temperatura al que se someten los granos durante el cocimiento y reposo.



**IV.-** Caracterizar el sistema prototipo de tratamiento térmico-alkalino, utilizando tres temperaturas de cocción de los granos de maíz 72, 82 y 92 °C y diferentes tiempos de reposo 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, y 15 de los granos, para obtener las tendencias de las historias térmicas a diferentes condiciones de proceso.

## **2. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

Las actividades experimentales desarrolladas en el trabajo aparecen en el cuadro metodológico que sirvió para la ejecución de la parte experimental y para proyectar el trabajo en conjunto. Los procedimientos experimentales se resumen en el cuadro metodológico mostrado en la figura 2.1 el cual fué el mapa a seguir durante el trabajo experimental. Considérese a este cuadro como la organización racional y congruente de la descripción de actividades que corresponden al alcance de los objetivos.

En cuanto a su estructura y secuencia metodológica, el cuadro se jerarquizó en cuanto a las actividades de mayor importancia y las que pueden realizarse de manera simultánea.

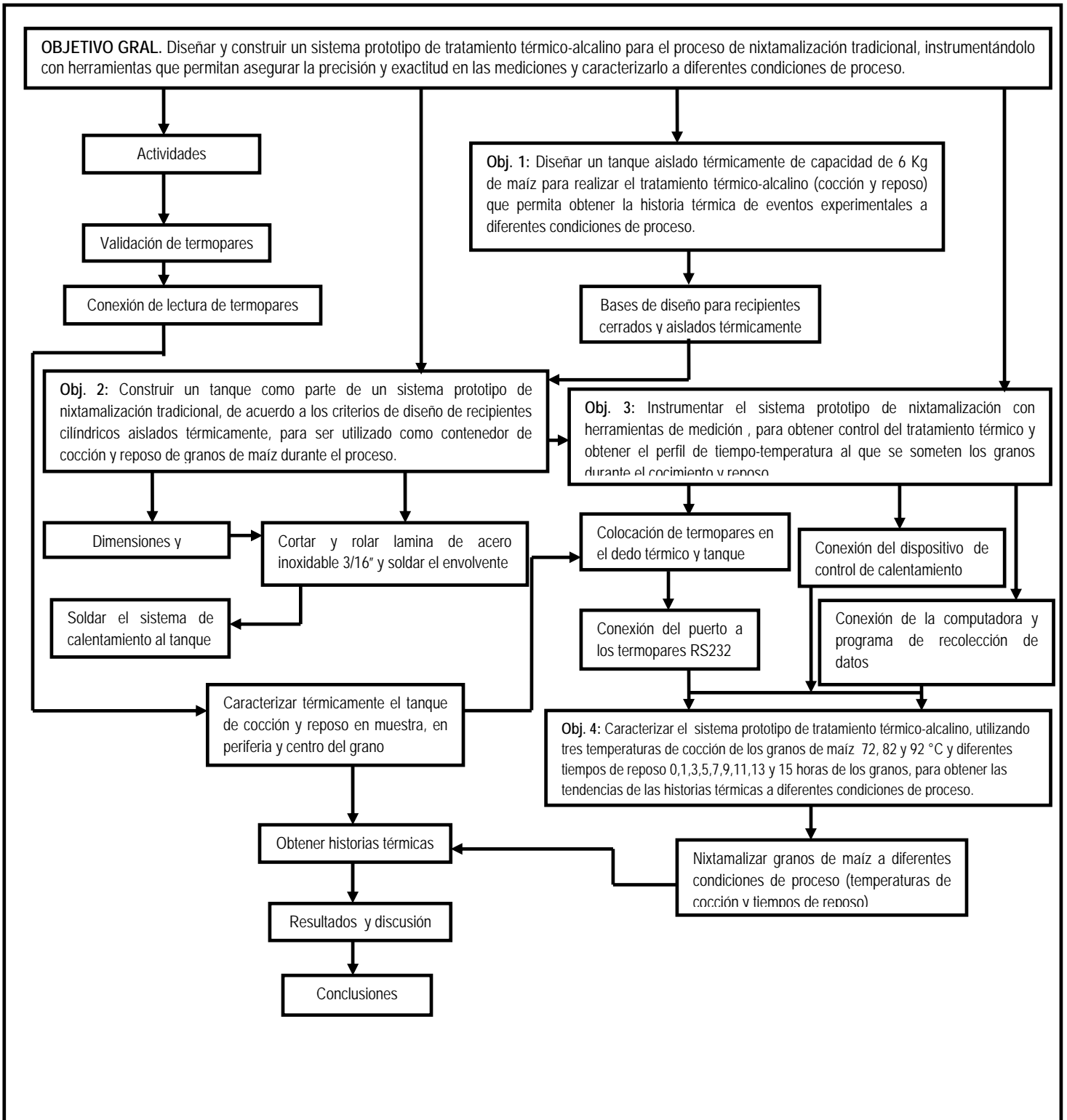


Figura 2.1 Cuadro metodológico del desarrollo experimental



---

---

## 2.1 Descripción de actividades preliminares:

Las actividades preliminares que se mostraron en el cuadro metodológico de la figura 2.1 contemplaron la validación de la técnica de medición de los termopares y su ajuste en lecturas con un termopar patrón.

### 2.1.1 Validación de termopares

Los termopares son instrumentos de medición para temperatura, por lo que debe asegurarse que sus mediciones sean lo más confiables posibles. Se estableció un protocolo de validación para las lecturas a cinco termopares tipo J-6302986 utilizando un fluido conocido (agua destilada), considerando como referencia para el cálculo de la exactitud la temperatura de ebullición en el estado de Querétaro, se utilizó un termopar patrón previamente calibrado por el Centro Nacional de Metrología (CENAM) ubicado en la carretera México-Querétaro s/n. Construido con aleación constatan (Cu-Ni), con un rango de medición de  $-50$  a  $150$  °C y una precisión de 0.001. Los termopares se fijaron en un recipiente de 8 cm de diámetro, aislado térmicamente. Estos fueron distribuidos y sumergidos, uno en el centro y los cuatro restantes, en cada uno de los cuadrantes. Se calentó el agua en una parrilla eléctrica, registrando los datos de temperatura de cada termopar cada minuto, hasta que alcanzó la temperatura de ebullición. Con la finalidad de conocer las desviaciones de cada uno de ellos, se graficaron los datos de temperatura en función del tiempo. Posteriormente se corrigieron los termopares con los valores del termopar patrón, para obtener los valores reales. Estos termopares fueron utilizados para las mediciones de temperatura durante el trabajo experimental para establecer el perfil térmico con que se trató la muestra. Las lecturas se realizaron cada 60 segundos hasta que alcanzó la temperatura de ebullición del agua destilada en el estado de Querétaro  $94.4$  °C.



---

## Descripción de actividades por objetivos

Las siguientes actividades mostradas en el cuadro metodológico consistieron en diseñar un tanque de cocción reposo y construir un equipo prototipo para procesar las muestras, el cual se instrumentó y se caracterizó térmicamente.

### 2.2 Diseño del tanque de cocción

Uno de los principales problemas en el proceso de nixtamalización es obtener el perfil de temperatura-tiempo durante el tratamiento de las muestras, esto realmente es importante para conocer como se afectará el material (Gutiérrez *et al.*, 2007). Por esa razón se diseñó un equipo prototipo para llevar a cabo pruebas a pequeña escala en el proceso de nixtamalización.

Se tomaron como base de diseño los principios de recipientes que no son sometidos a presión (Rase y Barrow, 1989). Estos recipientes generalmente son cilíndricos, por su fácil construcción y requieren menores espesores debido a que no necesitan resistir altas presiones, todo tanque está conformado por: el envolvente, conexiones de entrada y salida, dispositivos de sujeción de apoyo y accesorios, los cuales dependen de las necesidades del equipo.

El envolvente, es la estructura metálica que forma al recipiente y está constituida de dos elementos básicos; la carcasa y los fondos.

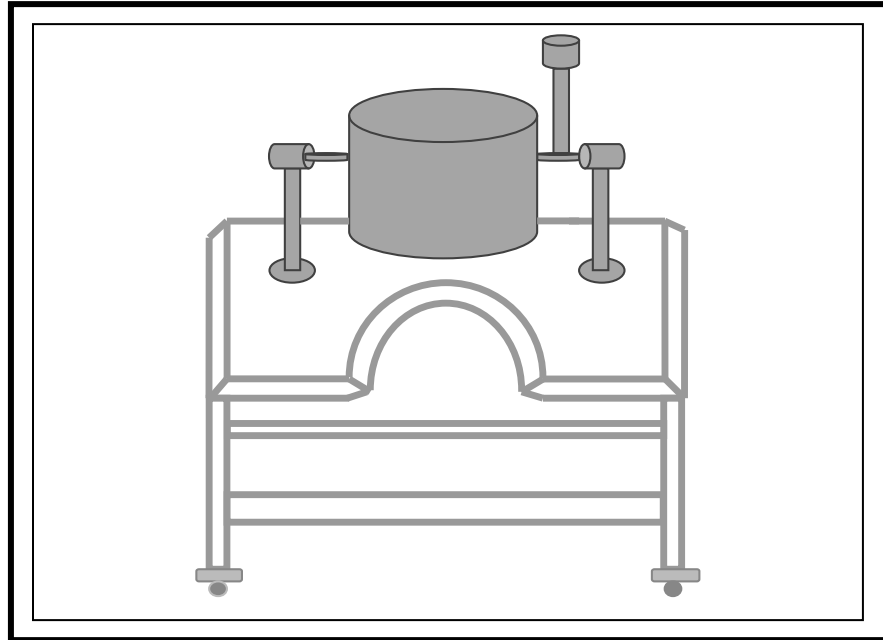
### 2.3 Selección de accesorios y dispositivos de apoyo

El dispositivo de sujeción de apoyo, es el lugar donde el tanque debe estar soportado, es decir su carga debe ser transmitida al suelo a través del apoyo considerando, el peso propio, el peso de los accesorios internos y externos y el peso de líquido y materiales que trabajará.



Los dispositivos de apoyo para este equipo prototipo se presentan en la figura 2.2, el cual muestra la vista frontal de la mesa donde se soporta el tanque.

Es importante destacar que estos deberán estar de acuerdo al promedio de estatura de una persona (1.60 m) para facilitar la manipulación del equipo. La capacidad total en volumen del tanque es de 48.10 L.



**Figura 2.2 Vista frontal de la mesa de soporte**

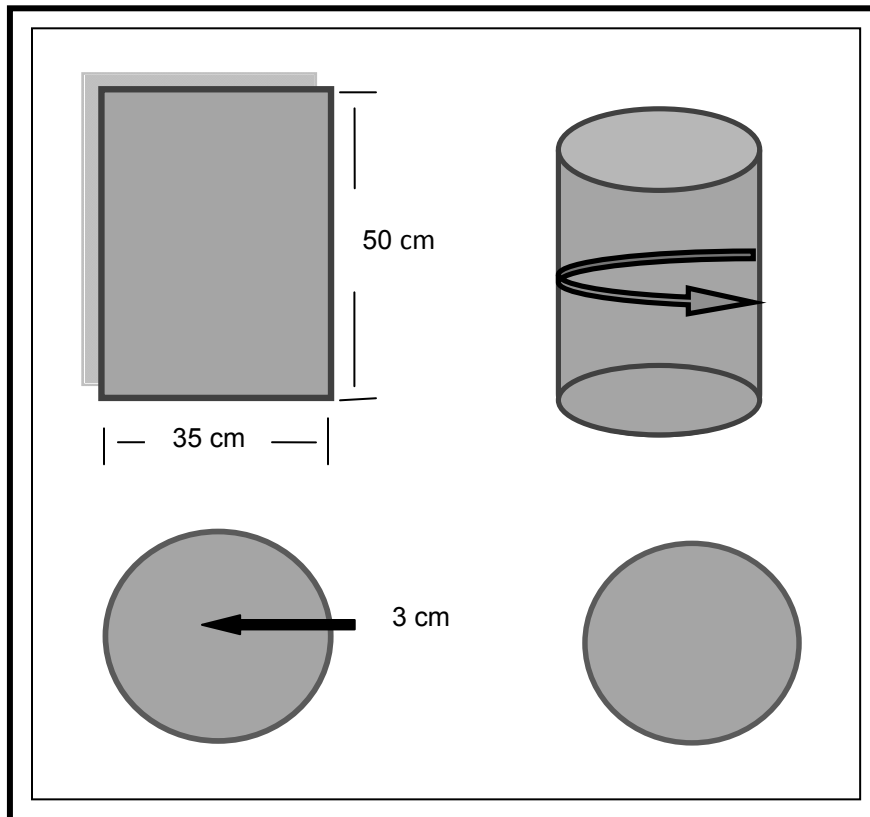
#### **2.4 Construcción del tanque de cocción**

Se construyó un tanque de cocción como se muestra en la figura 2.3, se roló una placa de acero inoxidable de 3/16 de pulgada, considerando que no habría esfuerzos a través del espesor de la pared del recipiente para hacer un cilindro, se utilizó soldadura de acero inoxidable, empleando un arco eléctrico para formar un cilindro de 35 cm de diámetro interno y 50 cm de altura.

El fondo y la tapa del recipiente se cortaron de la placa de acero inoxidable y se soldó al cuerpo cilíndrico con el mismo tipo y sistema de soldadura, en la parte



superior se le colocó un accesorio para tomarla manualmente. Se perforó un orificio de 3 cm de diámetro interno en la parte superior de la tapa para introducir un dedo térmico. Por el exterior, en la parte inferior del cilindro se soldaron cuatro resistencias de media luna, como medio de calentamiento, finalmente el recipiente se aisló térmicamente con fibra de vidrio para evitar la transferencia de calor.



**Figura 2.3 Placa de acero inoxidable, construcción del tanque y fondos**

## **2.5 Construcción del sistema prototipo del tratamiento térmico-alkalino**

Los termopares se introdujeron en el dedo térmico para fijar su posición, estos se conectaron a su aparato de registros un puerto RS232, para la captura de datos en una computadora con un programa instalado, el cual efectúa la corrección de temperaturas con el termopar patrón, realizando también el promedio de temperaturas.





El tanque fue diseñado para procesar muestras a escala y registrar la historia térmica de cada evento. **A este conjunto elementos se le ha denominado sistema prototipo de cocción-reposo para la nixtamalización** (se define de esta manera, en virtud de que en este contenedor también se llevará a cabo la etapa de reposo).

## **2.6 Procedimiento de operación del sistema prototipo**

Una vez que se armó el sistema prototipo se procedió a realizar un procedimiento tentativo de los pasos a seguir en el desarrollo de cada corrida:

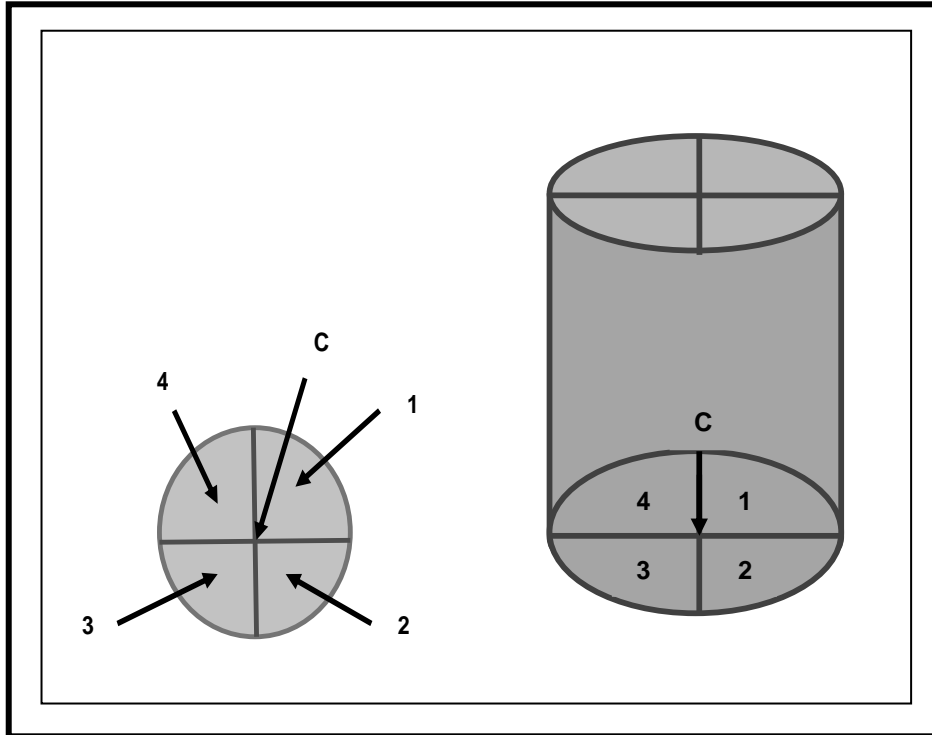
- 1- En el tanque se coloca el maíz (1Kg), hidróxido de calcio al 1% y 2 litros de agua
- 2- Encender la computadora
- 3- Cerrar el tanque
- 4- Colocar los termopares en el dedo térmico e introducirlos en el tanque
- 5- Programar la computadora para la temperatura seleccionada
- 6- Seleccionar el programa
- 7- Programar el intervalo de tiempo para la recolección de lecturas
- 8- Iniciar el calentamiento
- 9- Iniciar la corrida experimental

## **2.7 Caracterización térmica del tanque de cocción-reposo**

Se dividió el área superficial del tanque de cocción en cuatro zonas, colocando y fijando un termopar en la parte central de cada uno de los cuadrantes y en el centro del recipiente como lo muestra la figura 2.4. En el tanque se colocaron cuatro litros de agua, el equipo se programó para hacer una corrida a 92 °C e inició el calentamiento registrando las temperaturas durante una rampa de calentamiento de 1 hora, con el objeto de conocer el perfil de temperaturas, posteriormente se realizó el mismo procedimiento con una muestra de maíz y



solución de hidróxido de calcio, donde se colocaron los termopares en las mismas posiciones en la parte central de la zona, tomando el registro de temperaturas durante la etapa de cocción en la nixtamalización.



**Figura 2.4 Reservorio y su división (1, 2, 3, 4 cuadrantes, C el centro)**

Este procedimiento se realizó en otra muestra, pero ahora se fijaron los termopares en la periferia de los granos en las mismas zonas y se registró la historia térmica del proceso de nixtamalización por una hora. Por último se volvió a repetir el procedimiento pero los termopares fueron colocados en el interior con un orificio previo, en la parte central de los granos en cada cuadrante y en el centro del tanque.

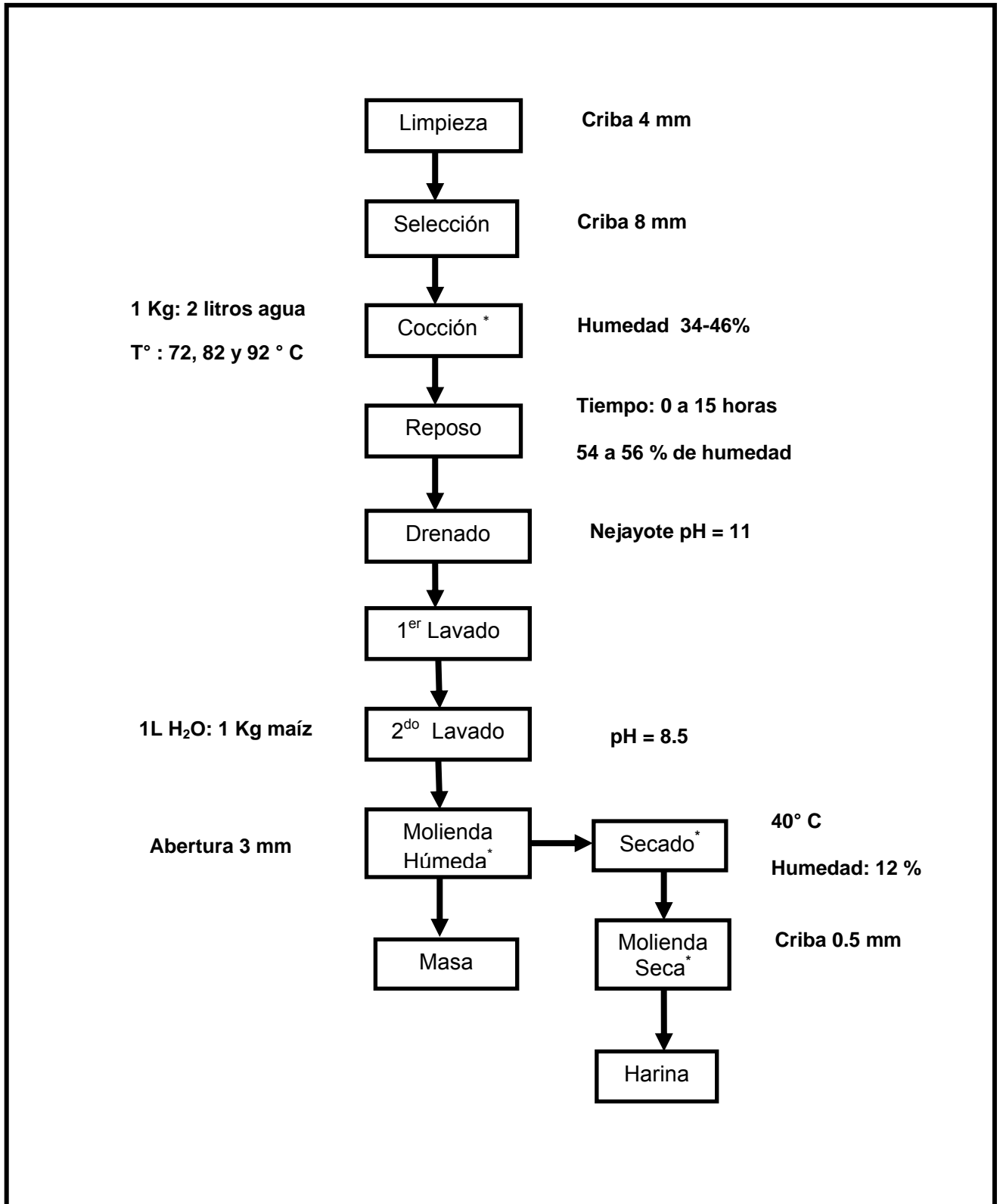
Todos estos experimentos sirvieron para caracterizar el tanque de cocción-reposo y conocer a las temperaturas de cada zona; los cuadrantes y el centro del tanque, así como también a que temperatura se encuentra la muestra, el grano de maíz en la periferia y el interior de los granos de maíz mientras son procesados a temperatura de 92 °C.



## 2.8 Tratamiento térmico-alkalino de granos de maíz

El tratamiento térmico alcalino, corresponde a la etapa de cocción-reposo del proceso de nixtamalización, el cual se llevó a cabo siguiendo el diagrama de bloques de proceso de elaboración de harina de maíz nixtamalizado que se muestra en la figura 2.5. Inició con la limpieza de los granos, haciéndolos pasar a través de una criba metálica con abertura de 4.0 mm de diámetro interno, para eliminar basura, productos extraños y fragmentos de granos. Se continuó con una selección por tamaño, utilizando una criba de 8.0 mm, los granos retenidos se recolectaron, 1 kg de maíz que se vertieron en el reservorio de cocción con 2 litros de agua y 10 gramos de hidróxido de calcio (1% w/w). Inicialmente se trabajó a una temperatura de 92 °C, con un tiempo de cocción obtenido previamente. Comenzó el calentamiento con dos rampas, la primera desde la temperatura de 22.0 °C hasta la temperatura de cocción 92 °C; la segunda se mantuvo a la temperatura por el tiempo establecido de 25 minutos (Gutiérrez *et al.*, 2007). Al terminar la etapa de cocimiento, se suspendió el calentamiento y en este mismo reservorio se dejó el grano reposar en su licor de cocimiento durante periodos de: 0,1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15 horas, dependiendo del tiempo destinado para cada muestra, incluyendo las que no fueron reposadas (0 horas y control), ésta última sin adición de hidróxido de calcio. Al concluir el reposo de cada una de las muestras, se drenó el líquido o nejayote por diez minutos, posteriormente se efectuaron dos lavados. Estos lavados tienen la función de eliminar partes de pericarpio disuelto, fracciones de endospermo, germen, exceso de cal y disminuir el pH a 8.5 (Trejo *et al.*, 1982).

Este procedimiento se llevó a cabo también para las temperaturas de 82 °C y la de 72 °C, con tiempos de cocción de 45 y 67 minutos respectivamente.



Fuente: Serna et al. (1988), con modificaciones.

Figura 2.5 Diagrama de bloques de elaboración de harina de maíz nixtamalizado



## 2.9 Análisis estadístico

### 2.9.1 Tratamiento estadístico

Se realizó un análisis de variación relativa de los datos obtenidos de las historias térmicas, obteniendo el cociente de los valores del coeficiente de variación de cada corrida en la etapa de cocción como muestra la figura 2.6 región **b**, región donde coinciden todas las muestras procesadas.

El coeficiente de variación se define como el cociente entre la desviación estándar y la media aritmética, mostrando para bajos valores una alta concentración de los datos. En el caso en que la media es igual a cero esta medida no esta definida.

$$C.V = \frac{S_x}{\bar{x}}$$

Donde:

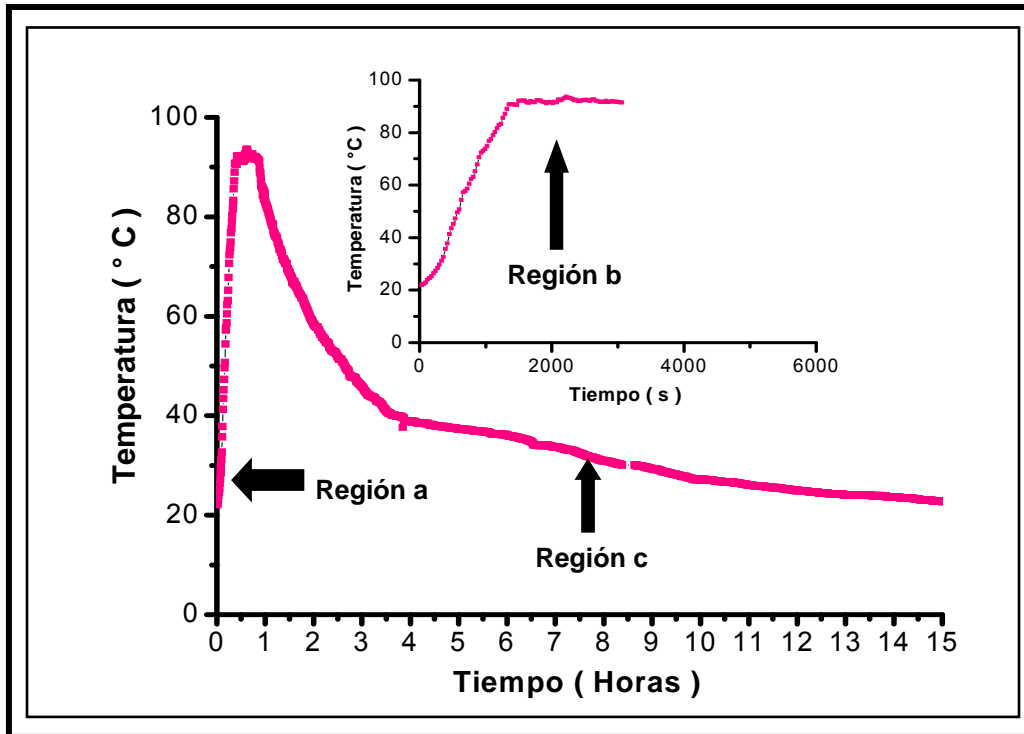
$\bar{x}$  y  $S_x$  Son la media y la desviación estándar, respectivamente, para una misma población.

Posteriormente se obtuvieron los intervalos de confianza al 95% para las temperaturas, buscando en la tabla el valor para  $t_{0.95}$  de confiabilidad para obtener  $\alpha$ , o el valor con el cual son aceptados o rechazados los valores(Lech, 1982).

En la figura 2.6 se muestra un ejemplo de la historia térmica de una muestra procesada a 92 °C. La región **a** es la zona de calentamiento de la muestra desde temperatura ambiente, la región **b** es la isoterma, ambas regiones corresponden a la etapa de cocción. La región **c**, pertenece al reposo de la muestra en su líquido de cocimiento.



El análisis de la variación relativa únicamente se realizó en la zona **b**, como muestra la figura, para cada una de las temperaturas utilizadas en el proceso 72, 82, 92 °C



**Figura 2.6 Historia térmica (Zona b, isoterma de análisis de datos )**

La región **b** corresponde a una rampa isotérmica en todas las temperaturas y en cada una de las muestras, en esta etapa suceden la mayor parte de los cambios a la estructura más externa del grano, modificando sus propiedades físicas y permitiendo la entrada del licor de cocimiento. La región **c** es diferente para cada muestra, ahí se suspende el calentamiento y la muestra comienza a disminuir su temperatura.



---

# **CAPÍTULO III**

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



---

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3. Análisis y discusión de resultados

La contrastación de la hipótesis se realizó mediante la ejecución de las actividades planteadas para cada uno de los objetivos, las cuales se explicaron detalladamente en el capítulo de metodología. Siguiendo el orden del cuadro metodológico mostrado en el capítulo 2, se presentan en primer término: los resultados de la validación de termopares, después el diseño y construcción del tanque de cocción, posteriormente su caracterización térmica y colocación en el sistema prototipo de cocción-reposo, finalmente los resultados de las corridas experimentales a diferentes temperaturas y tiempos de reposo de los granos de maíz para obtener las historias térmicas y evidenciar la repetibilidad y reproducibilidad de los eventos experimentales.

##### 3.1 Descripción de actividades preliminares:

Los resultados de las actividades preliminares que se mencionaron en el cuadro metodológico figura 2.1 del capítulo anterior se presentan a continuación.

##### 3.1.1 Validación de termopares

Las mediciones de temperatura requieren confiabilidad, ya que le da rigor experimental al trabajo. Por esa razón se validó la técnica de mediciones de temperatura de los cinco termopares, para asegurar que se conocen las desviaciones de cada uno de ellos con respecto al termopar patrón. Los termopares fueron fijados en un recipiente que contenía 800 ml de agua destilada, después inició el calentamiento hasta llegar a la temperatura de ebullición del agua en el estado de Querétaro 94.4 °C como se detalló en el capítulo de metodología.





Los datos recolectados de temperatura para el calentamiento de agua destilada se presentan en la tabla 3.1, los cuales se utilizaron para el análisis.

**Tabla 3.1 Resultados de datos de temperatura de calentamiento en agua destilada.**

t(s)	Term 1 (°C)	*Term 2 (°C)	Term 3 (°C)	Term 4 (°C)	Term 5 (°C)
60	28.2	28.4	28.6	28.4	28.2
120	30.1	30.6	30.9	30.7	30.1
180	33	33	33.6	33.1	33
240	35.1	35.2	35.7	35.4	35.2
300	37.3	37.5	37.9	37.7	37.3
360	39.6	39.9	40.2	40.1	39.8
420	42.8	43	43.5	43.4	43
480	44.9	45.6	47.9	45.9	47.2
540	47.9	48	48.4	48.3	48
600	49.8	50.3	50.9	50.7	50.3
660	52.7	53	54.1	53.4	53.5
720	55	55.4	55.8	55.8	55.2
840	57.8	58	58.4	58.4	58
900	59.9	60.4	60.9	60.6	60.2
960	61.9	62.3	62.4	62.3	62.3
1020	63.7	64	64.2	64.6	64.3
1080	65.8	65.2	66	66.3	65.2
1140	68.2	66.3	67.3	69	66.2
1200	70.8	68.7	69.2	71.5	68.5
1260	75.5	71.1	72.2	73	71.1
1320	77.9	75.9	76.3	75.5	75.8
1380	79.9	78	78.2	78.8	78.1
1440	82.3	80.4	80.6	80.6	80.5
1500	84.8	82.7	83.1	82.6	82.6
1560	87	85.1	85.9	84.9	85.2
1620	89.3	97.3	87.9	87	87.4
1680	91.3	89.7	90.7	89.4	89.6
1740	93.7	92.3	93	92.4	92.3
1800	94.6	94.4	94.3	94.2	94.5
2000	94.8	94.4	94.7	94.4	94.5
2060	94.8	94.4	94.9	94.6	94.5
2120	94.8	94.4	94.9	94.6	94.5

\*Termopar patrón



Una vez que se alcanzó la temperatura de ebullición del agua destilada 94.4 °C se registraron lecturas por otros tres minutos.

El programa realizó automáticamente la corrección de las lecturas de los demás termopares en todas las mediciones, para ajustarse a las del termopar patrón, el programa también registra el promedio como se muestra en la figura 3.1.

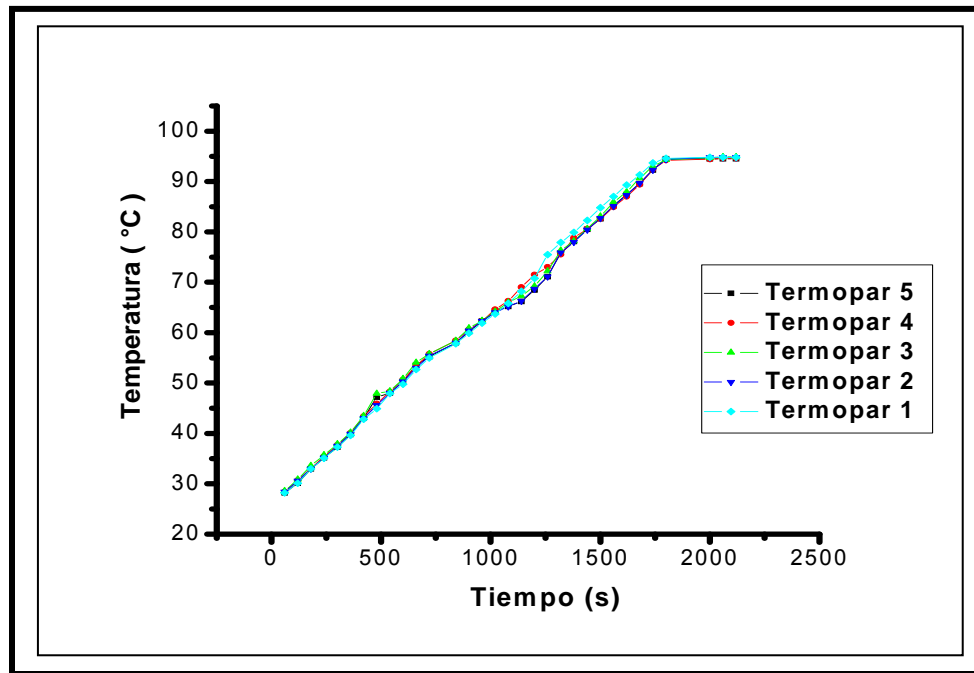


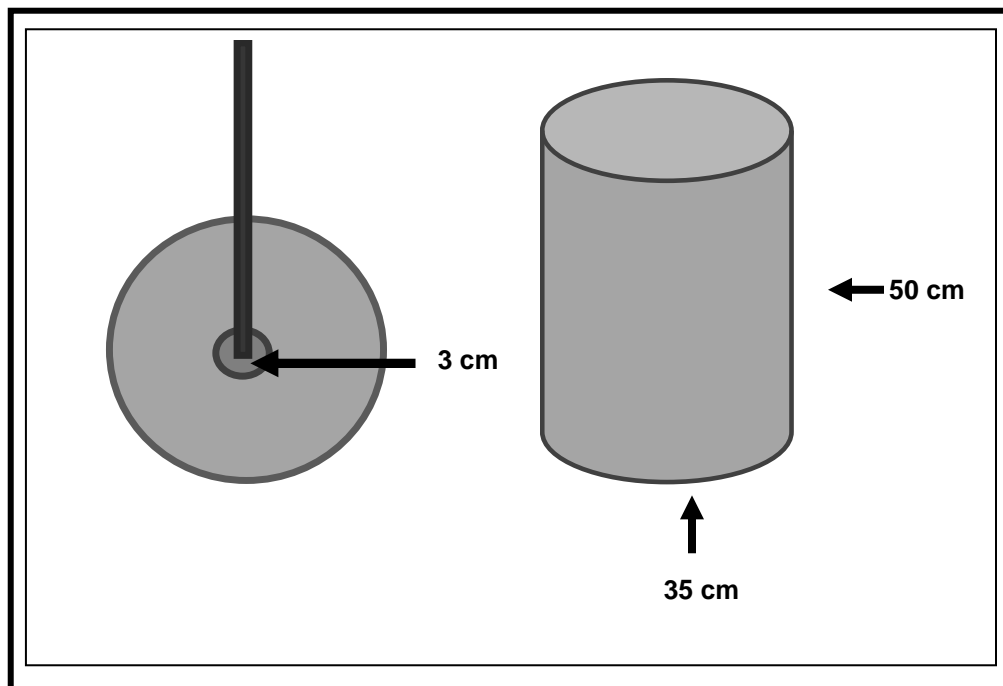
Figura 3.1 Gráfica de lectura de termopares para agua destilada

## Resultados de actividades por objetivos

### 3.2 Diseño del tanque de cocción

Las actividades para el diseño del tanque de cocción-reposo se especificaron en el punto 2.2 del capítulo de metodología, en la figura 3.2 se muestra la vista superior, la frontal y sus dimensiones

Este tanque es colocado en una estructura basculante para poder moverse y verter el contenido de la muestra una vez procesado.



### 3.3 Selección de accesorios y dispositivos de apoyo

Las dimensiones de los dispositivos de sujeción de apoyo aparecen en la figura 3.3 b), fueron considerados para un tanque de acero inoxidable con peso de 8.5 kg. La altura de la mesa y de los dispositivos de manejo del equipo se establecieron para la manipulación de una persona para una estatura promedio de 1.60 m.

La mesa se construyó de lámina de fierro, las patas con tubo cuadrado de fierro y se le colocaron llantas para el desplazamiento a la zona de descarga de los materiales. En la parte frontal de la mesa se le hizo un corte de media luna para colocar un recipiente para la recolección de la muestra.

El tanque esta soportado por estructuras para que pueda moverse hacia delante, recuperar su contenido y facilitar el lavado.

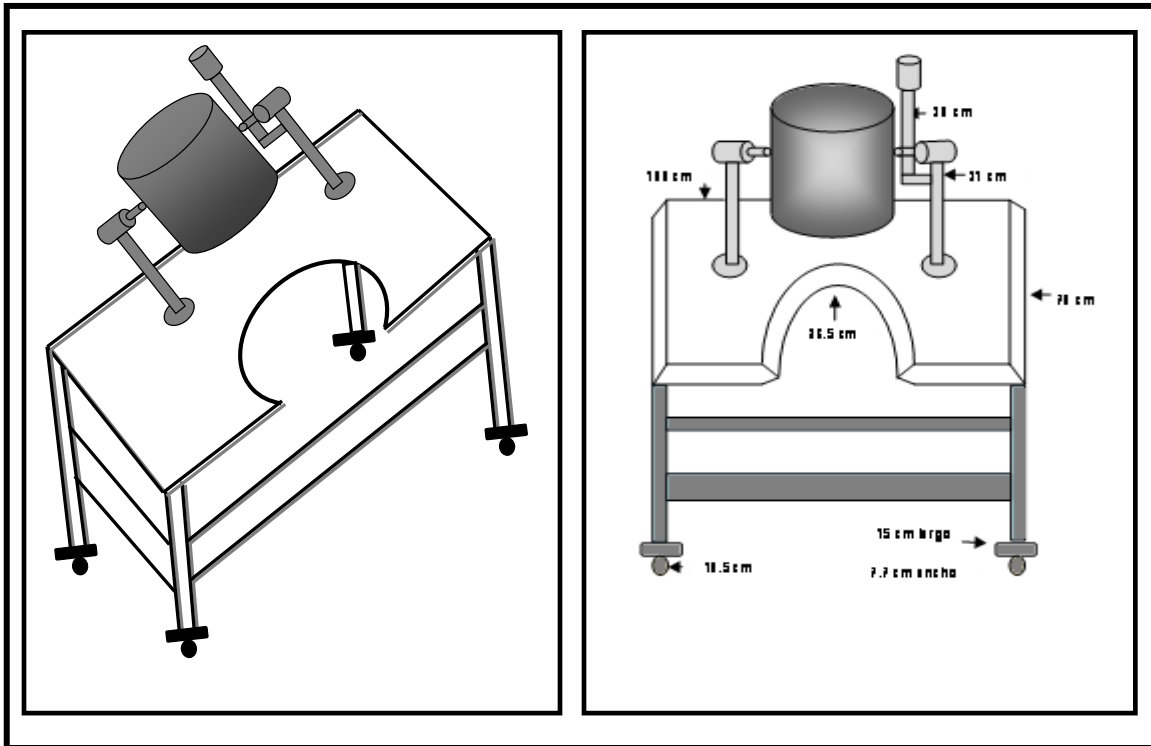


Figura 3.3 a) Diagrama del tanque de cocción-reposo

Figura 3.3 b) Dimensiones del tanque de cocción

### 3.4 Construcción del tanque de cocción

El tanque se construyó siguiendo los pasos del capítulo de metodología punto 2.4 y posteriormente se conecto al resto del sistema.

### 3.5 Construcción del sistema prototipo de tratamiento térmico-alkalino

Al tanque de cocción reposo se le instaló el dedo térmico, que contiene los cinco termopares en el centro de la tapa, luego se conectaron al puerto RS232, el cual esta instalado a una computadora personal como muestra el diagrama de la figura 3.3. El aparato que controla el calentamiento para el tanque, fue conectado a las resistencias media luna.



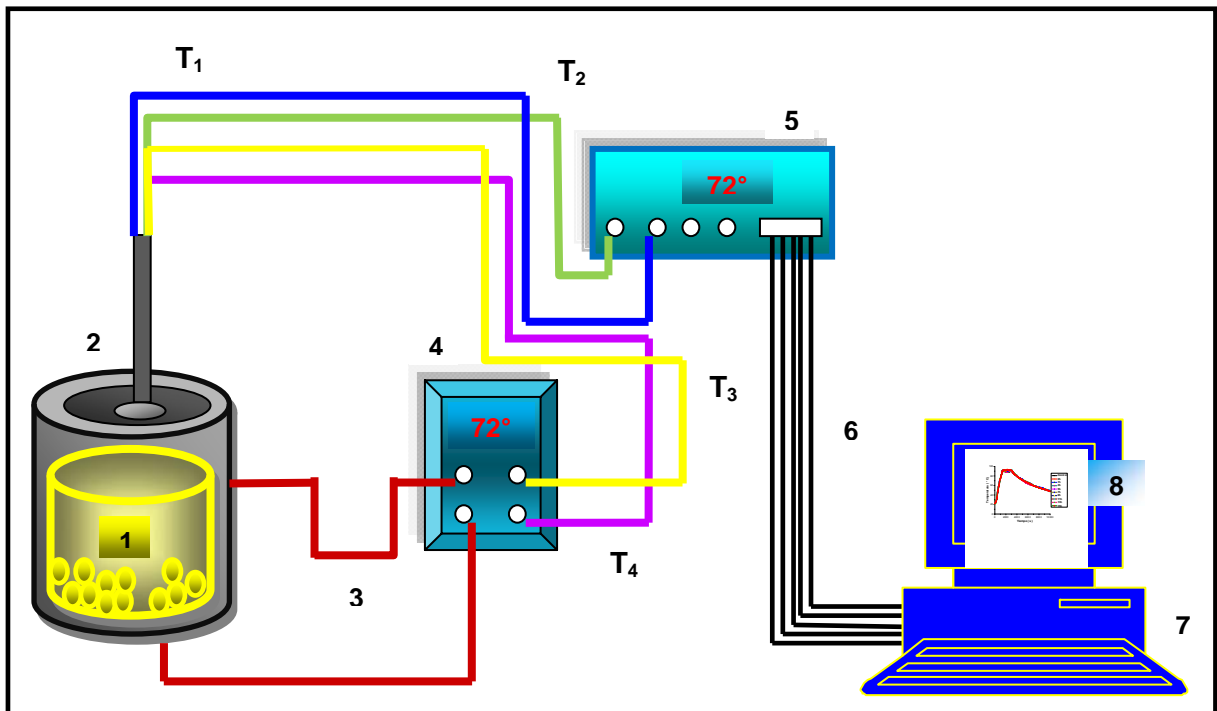


Figura 3.4 Diagrama del sistema prototipo cocción-reposo para la nixtamalización

Las partes que integran al sistema completo son:

- 1.- Muestra
- 2.- Tanque
- 3.- Resistencia media luna para calentamiento
- 4.-Control de temperatura
- 5.- Termopar interface RS232
- 6.- Puerto RS232
- 7.- Computadora
- 8.- Historia térmica

$T_1$ = Termopar 1

$T_2$ = Termopar 2


$T_3$ = Termopar 3

$T_4$ = Termopar 4






### 3.6 Procedimiento de operación del sistema prototipo de nixtamalización y condiciones de operación

#### Pasos para encender el equipo

1. Encender CPU
2. Encender pantalla
3. Encender puerto RS232
4. Encender tabulador (Quick-basic)
5. Oprimir tecla (Alt F)
6. Abrir Programa
7. Oprimir tabulador 
8. Seleccionar el archivo laboratorio
9. El programa pide que se especifique a que temperatura se va a trabajar
10. Escribir la temperatura con la que se hará el desarrollo de la prueba (72, 82 y 92 °C)
11. Oprimir tecla F5 donde se seleccionara la opción gráfico
12. Seleccionar comenzar
13. Número de puntos (escribir la cantidad de puntos a graficar)
14. Número de segundos (especificar el intervalo de segundos a los que registrara la lectura de tiempo)

#### Pasos para reprogramar el equipo

1. Oprimir la tecla S
2. Oprimir la tecla enter 
3. Oprimir tecla 
4. Oprimiendo las teclas  y C al mismo tiempo se accede a la carpeta C:/QPM15dat
5. El programa hará la pregunta ¿Quieres continuar?
6. Escribir Si
7. El programa hará la pregunta ¿Cuántos puntos?
8. Escribir la cantidad de datos que se quiere registrar



9. Escribir el intervalo de tiempo en el cual se requiere que se grafique
10. Cuando se necesite reprogramar se debe darle nombre diferente al archivo para identificarlo con mayor facilidad

### 3.7 Caracterización térmica del tanque de cocción

Los termopares fueron retirados del dedo térmico y se fijaron en los cuadrantes como se explicó en el capítulo de metodología para la caracterización térmica del reservorio. La determinación se realizó con muestra de maíz y solución de hidróxido de calcio, es decir la etapa de cocimiento de los granos. El termopar patrón se fijó en la parte central del tanque, el resto de los termopares fueron colocados en el centro de los cuadrantes dentro del recipiente. Los datos de los valores de temperatura se tomaron para 92 °C, los cuales se muestran en la tabla 3.2 en la primera fila, corresponden a los promedios de 30 valores durante la etapa de cocción de los granos de maíz a temperatura programada de 92 °C. Los valores de la segunda fila corresponden a la temperatura tomada en la periferia del grano. En la última fila de la tabla se muestran los valores de temperatura que se registraron en la parte central del grano de maíz.

**Tabla 3.2 Caracterización térmica del reservorio de cocción**

<sup>1</sup>Valor del termopar patrón localizado en el centro de la muestra.

<sup>2</sup>Localizado en la periferia del grano.

<sup>3</sup>Localizado en el centro del grano.

Centro	Cuadrante 1	Cuadrante 2	Cuadrante 3	Cuadrante 4
Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
921	92.32	92.3	92.26	92.34
902	90.31	90.32	90.25	90.34
863	86.32	86.31	86.25	86.33

Con estos resultados se tomó la decisión de colocar los termopares en la parte central del tanque, debido a que no había una diferencia significativa con las temperaturas que se registraban en los cuatro cuadrantes como se puede apreciar en la tabla 3.2 primera fila, además de que sí su posición permanecía en los



cuadrantes dificultaba la mezcla de la muestra durante la etapa de cocción, ya que el mezclador de paleta realiza el mezclado cada diez minutos. Estos termopares se introdujeron dentro de un dedo térmico para mantenerlos fijos durante todo el experimento.

Se presentan en la tabla 3.3 los valores con los cuales se corrigen las lecturas de los demás termopares en todas las mediciones, para ajustarse a las del termopar patrón. Es el error sistemático de cada termopar. El programa realiza automáticamente la corrección y el promedio en el momento de registrar la temperatura.

**Tabla 3.3 Valores para corrección de termopares**

Termopar (2) <sup>a</sup> (°C)	Termopar (1) (°C)	Termopar (2) (°C)	Termopar (3) (°C)	Termopar (4) (°C)
92	92.2	91.7	91.9	91.8
92	- 0.2 <sup>b</sup>	+ 0.3 <sup>b</sup>	+ 0.10 <sup>b</sup>	+ .0.2 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Termopar patrón

<sup>b</sup> Desviación del valor de los termopares con respecto al valor del termopar patrón

### **3.8 Resultados del tratamiento térmico-alkalino de granos de maíz a diferentes condiciones**

Los resultados del tratamiento térmico-alkalino de granos de maíz se registraron en las historias térmicas de cocimiento-reposo. El programa graficó los valores obtenidos durante la corrida experimental. En las figura 3.5, 3.6, y 3.7, se muestran las gráficas de temperatura versus tiempo para 92, 82 y 72 °C.

#### **3.8.1 Historias térmicas de cocimiento y reposo para 92 °C**

En la figura 3.5 se muestra la historia térmica del tratamiento térmico-alkalino a granos de maíz, lo que corresponde a la primera etapa para la serie I, que se refiere a 92 °C, los valores fueron registrados en tres rampas.





La primera inició a partir de la temperatura de 22.0 °C con una velocidad de calentamiento de 2.5 °C/min, al alcanzar la temperatura de 92 °C, comenzó la segunda rampa, que corresponde a una isoterma durante 25 minutos, previamente determinado el tiempo por Gutiérrez (2006), posteriormente se suspendió el calentamiento y la muestra se mantuvo en reposo por el tiempo establecido según el recuadro de la figura que ejemplifica la correspondencia con las horas de reposo. Con esta gráfica podemos mostrar el rigor experimental en el tratamiento térmico, así como un estricto control en la preparación de muestras, junto con el manejo de los niveles de variación que se establecieron para cada una de las variables.

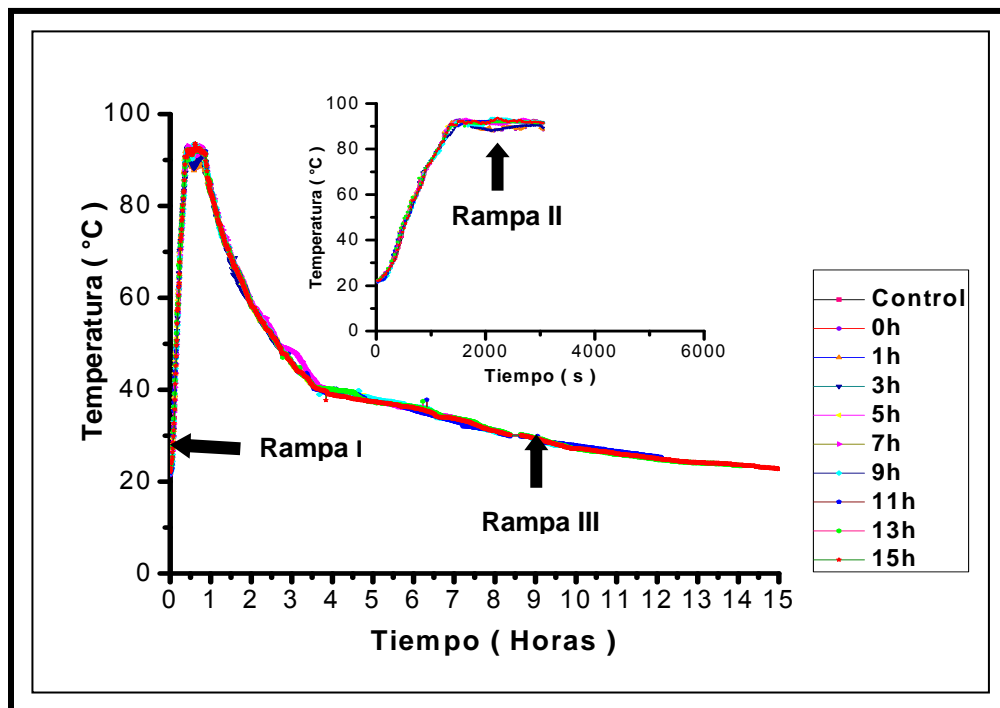


Figura 3.5 Historia de cocimiento y reposo para 92 °C (serie I, calcio al 1%)

### 3.8.1 Historias térmicas de cocimiento y reposo para 82 °C

La figura 3.6 representa la gráfica del tratamiento térmico-alkalino de nixtamalización, la cual se llevo a cabo a 82 °C, fue dividida en tres zonas. La primera rampa inició a temperatura de 22 °C y finalizó con una temperatura de 82 °C, con un tiempo de 24 minutos, la segunda rampa o isoterma se mantuvo a 82



°C, durante 40 minutos, por último en la tercera rampa se suspendió el calentamiento, registrándose la etapa de reposo de la muestra hasta que concluyera la hora establecida previamente (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 h) en la gráfica aparece un recuadro para especificar la correspondencia con las horas que reposaron los granos de maíz.

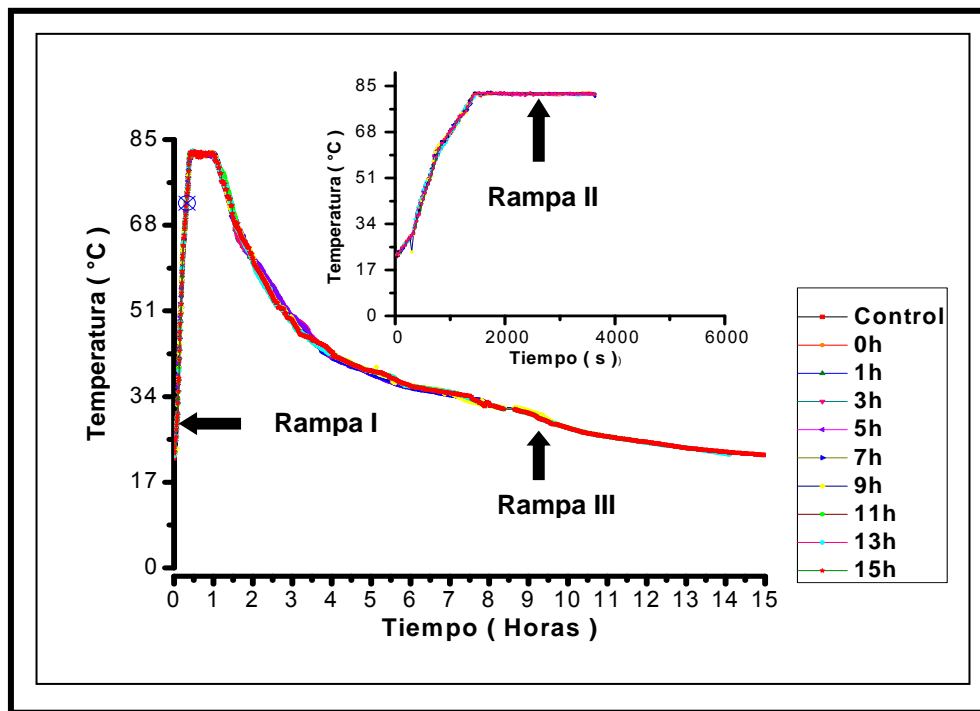


Figura 3.6 Historia de cocimiento y reposo para 82 °C (serie II, calcio al 1%)

De esta manera, la gráfica permite mostrar el rigor experimental en el tratamiento térmico, así como el estricto control en la preparación de las muestras, esta gráfica se denominó serie II, que corresponde a diez muestras procesadas de maíz, con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  al 1 %.

El perfil térmico obtenido "*in situ*" permite eliminar unidades experimentales que se desviaron del comportamiento, se puede observar que los eventos se superponen. Las historias térmicas obtenidas para esta temperatura se realizaron por triplicado, presentando aquí un ejemplo de las mismas. Cabe destacar que para esta temperatura no se eliminó ninguna muestra.



### 3.8.2 Historias térmicas de cocimiento y reposo para 72 °C

La figura 3.7 muestra la gráfica del tratamiento térmico-alkalino la cual se realizó a 72 °C, se dividió en tres rampas. La primera rampa comenzó a temperatura de 22 °C y terminó a temperatura de 72 °C, con un tiempo de 20 minutos, la segunda rampa se mantuvo a 72 °C, durante 65 minutos, en la última rampa se suspendió el calentamiento y se registro la etapa de reposo de la muestra hasta que concluyó la hora establecida previamente (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 h) en la gráfica aparece un recuadro para especificar la correspondencia con las horas que reposaron los granos de maíz.

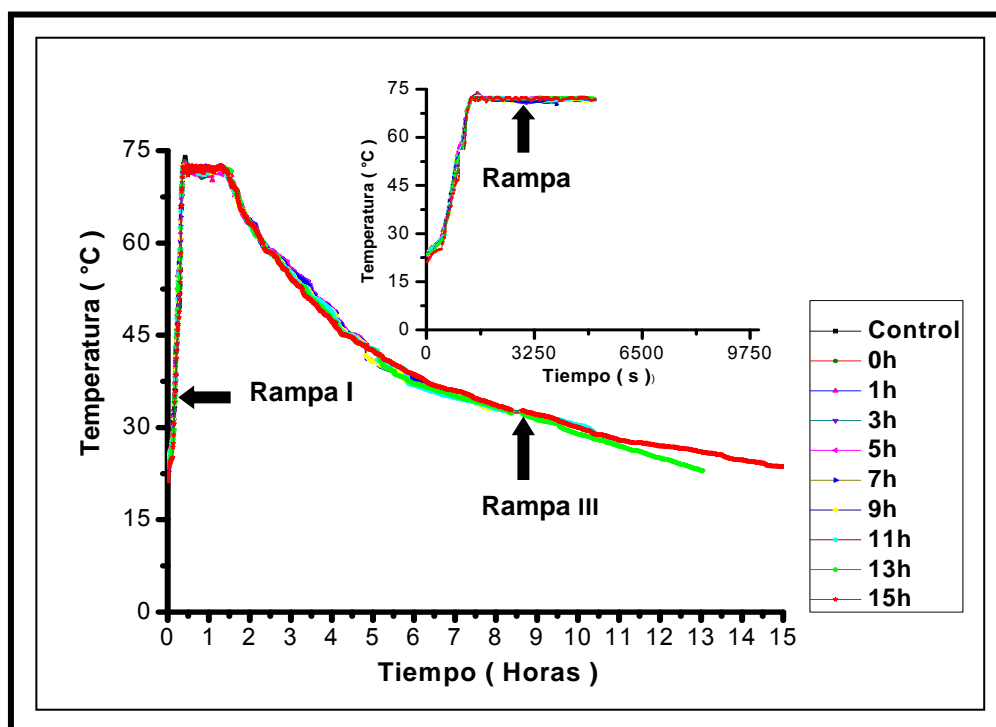


Figura 3.7 Historia de cocimiento y reposo para 72 °C (serie III, calcio al 1%)

La gráfica anterior permite acceder al estricto control en la preparación de las muestras, esta gráfica se denominó serie III, que corresponde a diez muestras procesadas al 1 % de calcio. Se puede resaltar que el perfil térmico obtenido *in situ* permite eliminar unidades experimentales que se desviaron del comportamiento requerido. Las historias térmicas obtenidas de cada una de las



muestras a temperatura de 72 °C se realizaron por triplicado, presentando aquí solo un ejemplo. Para esta temperatura no se eliminó ninguna de las muestras.

### 3.9 Análisis estadístico

Para la obtención del análisis estadístico se tomaron los valores obtenidos en la etapa de cocimiento, de cada uno de ellos se obtiene el coeficiente de variación, utilizando para ello la media y desviación estándar. Una vez que se obtuvo el valor del coeficiente de variación de la muestra control, que corresponde a la cocción del maíz sin  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , es decir, solo tratamiento térmico, se divide el coeficiente de variación de cada una de las muestras entre el valor obtenido de la muestra control que fué el valor más bajo, como se muestran en las tablas 3.4, 3.5 y 3.6 que corresponden a las temperaturas de 92, 82 y 72 °C. De acuerdo a la tendencia de los valores a agruparse en las cercanías de un valor promedio es necesario conocer cuanto se dispersan o varían los valores, es decir, cuanto están cerca o lejos uno del otro.

**Tabla 3.4 Datos estadísticos para reproducibilidad a 92 °C**

Muestra (h)	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	CVm/CVc
0	93.0260	0.9699	1.0426	1.5168
1	92.9492	0.8922	0.9599	1.4288
3	93.0721	0.7602	0.8167	1.4744
5	93.0770	0.7343	0.7889	1.7678
7	93.2098	0.8122	0.8713	1.6608
9	93.1492	0.8640	0.9275	1.5037
11	92.9754	0.7192	0.7736	1.5567
13	93.0148	0.6973	0.7496	1.8295
15	93.3721	0.7430	0.7958	1.9871

CVm : Coeficiente de variación muestra  
 CVc : Coeficiente de variación control  
 CVc = 0.5247


**Tabla 3.5 Datos estadísticos para reproducibilidad a 82 °C**

Muestra (h)	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	CVm/CVc
0	82.9890	0.4637	0.5588	1.0258
1	82.8770	0.4561	0.5504	1.0103
3	82.9510	0.5220	0.6293	1.1551
5	82.9069	0.4885	0.5892	1.0816
7	82.9057	0.4681	0.5646	1.0364
9	83.0437	0.4773	0.5748	1.055
11	83.0080	0.4742	0.5712	1.0486
13	83.0609	0.4720	0.5683	1.0432
15	82.9977	0.5155	0.6211	1.1401

CVm : Coeficiente de variación muestra  
 CVc : Coeficiente de variación control  
 CVc = 0.5448

**Tabla 3.6 Datos estadísticos para reproducibilidad a 72 °C**

Muestra (h)	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	CVm/CVc
0	72.5241	0.4265	0.5881	1.1885
1	72.0836	0.458	0.6255	1.2641
3	72.2279	0.3766	0.5215	1.054
5	72.2079	0.3971	0.55	1.1114
7	72.6200	0.3616	0.4979	1.0063
9	72.3707	0.3828	0.5291	1.0692
11	72.2807	0.4177	0.5779	1.1678
13	72.5486	0.3869	0.5333	1.0777
15	72.5536	0.3907	0.5386	1.0884

CVm : Coeficiente de variación muestra  
 CVc : Coeficiente de variación control  
 CVc = 0.4948



### 3.9.1 Tratamiento estadístico

#### Intervalos de confianza al 95% a 92 °C

Confiabilidad  $1-\alpha = 0.95$ , por lo tanto  $\alpha = 0.05$  y  $\alpha/2 = 0.025$

Buscando en la tabla el valor de  $t_{0.975}$  ó  $t_{0.025}$

Sustituyendo:

$$1.6362 - 2.2281(0.0630) \leq \mu \leq 1.6362 + 2.2281(0.0630)$$

$$1.4958 \leq \mu \leq 1.7765$$

El valor medio entra en el intervalo de confianza

#### Intervalos de confianza al 95% a 82 °C

Confiabilidad  $1-\alpha = 0.95$ , por lo tanto  $\alpha = 0.05$  y  $\alpha/2 = 0.025$

Buscando en la tabla el valor de  $t_{0.975}$  ó  $t_{0.025}$

Sustituyendo:

$$1.0662 - 2.2281(0.0168) \leq \mu \leq 1.0662 + 2.2281(0.0168)$$

$$1.0289 \leq \mu \leq 1.1036$$

El valor medio entra en el intervalo de confianza

#### Intervalos de confianza al 95% a 72 °C

Confiabilidad  $1-\alpha = 0.95$ , por lo tanto  $\alpha = 0.05$  y  $\alpha/2 = 0.025$

Buscando en la tabla el valor de  $t_{0.975}$  ó  $t_{0.025}$

Sustituyendo:

$$1.1275 - 2.2281(0.0323) \leq \mu \leq 1.1275 + 2.2281(0.0323)$$

$$1.0556 \leq \mu \leq 1.1994$$

El valor medio entra en el intervalo de confianza



**Tabla 3.7 Intervalos de confianza 92, 82 y 72 °C**

Temperatura (°C)	Media	S	$t_{0.025}$	Intervalos de confianza
92	1.6362	0.0630	2.2281	$1.4958 \leq \mu \leq 1.7765$
82	1.0662	0.0168	2.2281	$1.0289 \leq \mu \leq 1.1036$
72	1.1275	0.0323	2.2281	$1.0556 \leq \mu \leq 1.1994$

S : desviación estándar

$t_{0.025}$  : t de Student con grados de libertad

Para determinar el intervalo de confianza se requiere la variación de la población, de la cual se extraen las muestra, a medida que aumenta el tamaño del conjunto de datos esta se hace más precisa, al mismo tiempo que si se incrementa la confianza se asegura que la muestra poblacional este dentro del intervalo de confianza. Entre mayor es el tamaño de la muestra, menos dispersa es la distribución t y más confiable es la S estimada y en consecuencia menos variable es t. En la tabla 3.7 se observa que los valores medios calculados están dentro del intervalo de confianza para las tres diferentes temperaturas, esto significa que ninguna de las muestras procesadas fué eliminada de acuerdo al criterio que seleccionado previamente del 2%.

### **3.10 Reproducibilidad de la etapa de cocción para las diferentes condiciones de operación**

#### **3.10.1 Gráfica de reproducibilidad para 92, 82 y 72 °C**

En la figura 3.8, se presenta la gráfica de reproducibilidad para la etapa de cocción para las temperaturas de 92, 82 y 72 °C, se puede observar que ninguno de los puntos salió del 2%. En el cuadro interno se resume la correspondencia con colores.



Para obtener el factor de reproducibilidad para la etapa mencionada anteriormente se calculó el coeficiente de variación de cada una de las corridas experimentales (0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, horas), dividido cada uno de estos entre el coeficiente de variación para la corrida control como ya se mencionó, los cuales obtuvieron los valores de coeficiente de variación más bajos y que para la temperatura de 92 °C fue 0.5247, para 82 °C es 0.5448 y por último para la temperatura de 72 °C fue 0.4948.

Las variaciones de temperatura para las diferentes corridas experimentales fueron menores del 2 %, por lo tanto ningún valor fue rechazado y todas las corridas experimentales estuvieron dentro del límite máximo permitido.

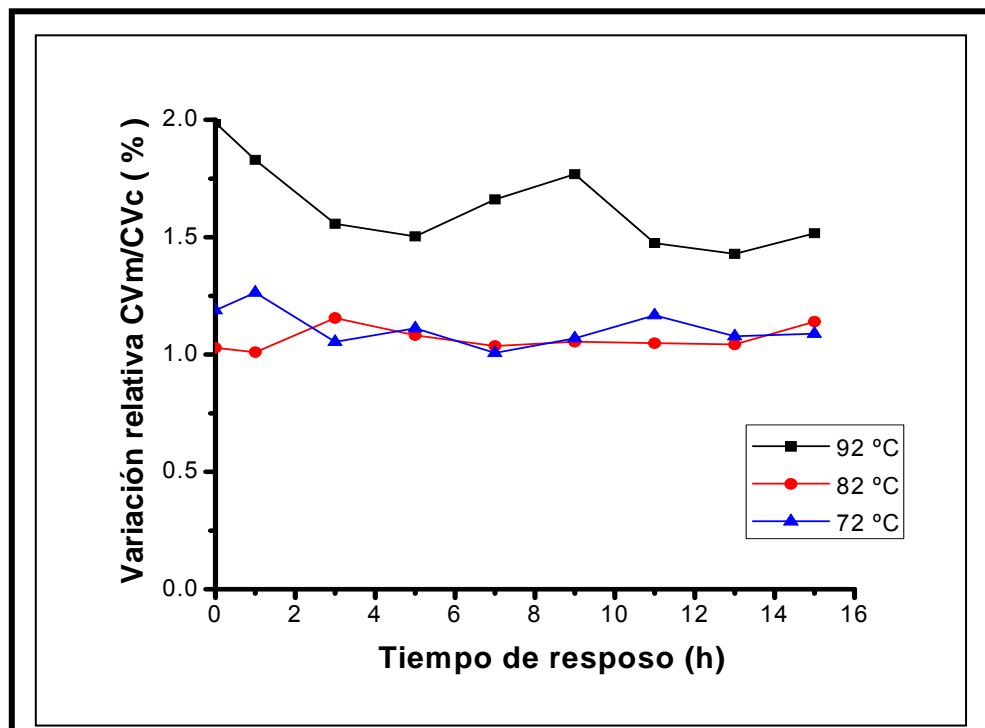


Figura 3.8 Gráfica de reproducibilidad para 92, 82 y 72 °C

Con esto se asegura el estricto control con que el equipo realiza el tratamiento, por lo que se puede aseverar la repetibilidad y reproducibilidad de las corridas experimentales que se realizan en el equipo.





---

---

# CONCLUSIONES



---

## CONCLUSIONES

- En este trabajo se diseñó y construyó un tanque de cocción-reposo para realizar el tratamiento térmico-alkalino a granos de maíz a pequeña escala. La capacidad del tanque de cocción es de 6 Kg de maíz, pero pueden trabajarse cantidades menores, lo cual es una ventaja, ya que el gasto por corrida es mínimo y genera resultados muy satisfactorios, además puede ser manejado por un solo operario.
- Los materiales seleccionados para la construcción del recipiente de cocción resistieron los efectos de corrosión, además de tener la suficiente resistencia para poder soportar las diferentes temperaturas con las cuáles se trabajaron, además de asegurar bajos costos de mantenimiento.
- La instrumentación del sistema se realizó con herramientas de medición de temperatura muy sensibles del cuál se obtienen historias térmicas "*in situ*" que evidencian el tratamiento térmico al que se someten los granos de maíz durante el proceso de nixtamalización.
- Este sistema que se diseñó para visualizar el perfil térmico en el momento en que se está procesando el grano, es también una herramienta que demuestra lo que sucede en dos de las etapas más críticas del proceso, la cocción y el reposo.
- El tener un equipo de nixtamalización en conjunto con un sistema computarizado y un programa instalado, favorece la recolección de datos, además de que éstos pueden registrarse en el orden de segundos o modificarse a solicitud del operario.
- Uno acierto de esta investigación ha sido la estandarización del proceso térmico-alkalino para las diferentes condiciones establecidas de tiempo y temperatura durante el desarrollo experimental.
- El manejo del equipo es muy sencillo y puede ser instalado para pruebas del proceso de nixtamalización en la primera etapa, es decir, en el



---

tratamiento térmico-alkalino, con estas características pueden utilizarlo los molineros y la industria de la harina de maíz nixtamalizado.

- La caracterización del tanque de cocción fué un punto importante, ya que por medio de ésta se determinó, que en el área central no había una diferencia significativa de temperatura respecto a las que se registraban en los cuatro cuadrantes.
- El tanque se caracterizó térmicamente y se instaló a un sistema prototipo de nixtamalización con lo que se dio cumplimiento del objetivo general
- El sistema prototipo de nixtamalización desde que se puso en marcha ha realizado numerosas pruebas con el propósito de realizar extrapolación de datos y establecer condiciones de proceso de algunas compañías como CARGILL y MASECA, puesto que éstas son empresas que generan cantidades enormes diarias de harina de maíz nixtamalizado, por lo que se encuentra en trámite su patente.
- Se seleccionó el intervalo de confianza al 95% ya que se trabajó con una gran cantidad de datos, lo cual es apto para aplicar este criterio, ya que entre más se aumenta el intervalo de confianza, se asegura que la media de los datos trabajados estén dentro del intervalo seleccionado.
- Las historias térmicas de cada una de las corrida experimentales evidencian que entre más sobrepuestas están indican una mayor normalización en el procedimiento de preparación de las muestras. También sirven para eliminar unidades experimentales, que se desviaron del comportamiento.
- Dada la importancia de la repetibilidad y reproducibilidad de las muestras, en la etapa de cocción, las fluctuaciones de temperatura que se permitieron en este proceso fueron del 2 % como máximo, por lo cual se aseguró que todas las muestras estuvieran dentro de este rango.



---

---

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboites, J. 1989. Breve historia de un invento olvidado: las maquinas tortilladoras en México. UAM. p. 27-39.
- Allen, M. D. R. 1993. Nutrition and health, ingredient analysis table feedstuffs reference issue. Eds. Scheid J. and Muirhead **65**(1): 24-35.
- Almeida-Domínguez, H.D.; Ordoñez-Duran y Almeida, N. 1998. Influence of kernel damage on corn nutrient composition, dry matter lossess and processability during alkaline cooking. **Cereal Chem.** **75** (1): 124-128.
- Appendini, K. 1991. Los campesinos maiceros frente a la política de abasto. Comercio exterior. **41** (10). UNAM, México. p. 61.
- Arias Velázquez Ciro. 1981. Análisis de granos. Ed. Acribia. 3ª edición.
- Badui D.S. 1993. Química de los alimentos. Ed. Alhambra S.A. 4ª edición
- Bedolla, S. y Rooney, L.W. 1984. Characteristics of U.S. and Mexican instantan maize flours for tortilla and snak preparation. **Cereal Foods.** World **29** (11): 732-736.
- Billeb, A. C. y Bressani, R. 2001. Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. Ciencia y tecnología de alimentos. Instituto de investigaciones. **51** (1): 2001.
- Bressani, R y Paz, R. Nevin S. S. 1958. Chemical Changes in Corn during Preparation of Tortillas. Agricultural an Food Chemistry. **6** (10): 770-773.



- Bressani, R. 1972. La importancia del maíz en la nutrición humana en América Latina y otros países. Mejoramiento Industrial del Maíz INCAP. Guatemala.
- Cabrera L. 1972. Diccionario de aztequismos. Colofón S.A. 1<sup>a</sup> Ed.
- Fernández-Muñoz, J. L.; Rodríguez, M. E.; Pless, R. C.; Martínez, L. I. y Baños, L. 2002. Changes in nixtamalized corn flour dependent on post cooking steeping time. *Cereal Chem.* **79**: 162-166.
- Figueroa, C. J. D.; y Flores A. L. 1994. Modernización tecnológica del proceso de nixtamalización. Avance y perspectiva. p 323-329.
- González, A. U. 1995. El maíz y su conservación. Editorial Trillas. México. p.37-50.
- Gómez, M. H.; Waniska R. D y Rooney L. W. 1991. Starch Characterization of Nixtamalized Corn Flour. *Cereal Chem.* **68** (6): 578-582.
- Gutiérrez. E. 2006. Cambios físicos en pericarpio de maíz durante la nixtamalización y su influencia en la cinética de difusión de calcio. Tesis de maestría en Ciencias Químicas. UNAM.
- Gutiérrez, E., Rojas-Molina, I., Pons-Hernández, J. L. Guzmán, H., Aguas-Ángel, B., Arenas, J., Fernández, P., Palacios-Fonseca, A., Herrera, G. y Rodríguez, M. E. 2007. Study of calcium ion difusión in nixtamalized quality protein Maite as a function of cooking temeperature. *Cereal Chem.* **84**(2): 186-194.



- Helbert, D.; Almeida J y Lloyd W. Rooney. 1996. Avances en la Manufactura y Calidad de productos de Maíz Nixtamalizado. Seminario Asociación Americana de la Soya. México. D. F.
- Hopkins, W. G. 1999. Introduction to Plant Phisiology. Ed. The. University of Westein Notario. p. 22 -41.
- Hoseney, R. C. 1991. Principios de Ciencia y Tecnología de los cereales. Departament of Grain Science and Industry. Kansas State University, ed. Acribia, S.A. España.
- Howard, F. R. 1984. Ingeniería de proyecto para plantas de proceso. Ed. Cecsa México. 9ª Edición. pp. 223-251.
- Instrumentos WIKA, S.A. Termopares. Josep, C. pp11-17. [www.instrumentos-wika.com](http://www.instrumentos-wika.com)
- Junqueira, L. C. y Carneiro J. 1972. Histología. 3ª Edición Salvat. S.A. Barcelona Madrid.
- Klaus, J. L y Karel, K.W. 1991. Handbook of Cereal Science y Tech. p. 148-162.
- Lech C. 1982. Fundamentos de estadística. Editorial Limusa. p. 31-33.
- La guía Metas. Termopares. Medrano, G. S. 2002. Agosto, 2008 [www.metas.com](http://www.metas.com)
- Reyes, C. P. 1990. El maíz y su cultivo. Ed. México, D.F. p. 15-18.
- Rojas, R. T. 1997. Las diversas maneras de cultivar maíz. Ed. Raíces México. Arqueología Mexicana. **5** (25): 33-49.



- Rooney, L. W. 1996. Tortilla y alimentos tipo botana de maíz nixtamalizado. Soya noticias. p. 1-7.
- Rooney, L. W. 1996 y Almeida-Domínguez H.D.1995. Productos de Maíz Nixtamalizado y Calidad del Maíz. Seminario sobre tecnología de la Tortilla. Asociación Americana de Soya. México. D.F.
- Sánchez, R. G.; Martínez, M. F. A. y López, I.L. 1988 Oportunidades de desarrollo del maíz Mexicano. FIRA, boletín informativo, No. 309, volumen XXX, 8ª edición p. 1-22.
- S.A.R.H. Cultivos Básicos. Principales indicadores. 1960-1991. Subsecretaría de Planeación.
- Serna-Saldivar, S. O.; Knabe, D. A.; Rooney, L. W.; Tanksley, T. D. y Sproule, A. M. 1988. Nutritional value of sorghum and maize tortilla. Journal Cereal Sci. 7: 83-94.
- Serna-Saldívar, S. O. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor, S.A. p. 41-47.
- Torres, T. F. 1994. Los circuitos urbanos de la harina y la tortilla. Ed. Siglo XXI. Instituto de investigaciones Económicas. UNAM. p. 64-69, 89-95,133-141.
- Torres, T. F. 1996. Aspectos de desarrollo y tecnología de la industria de la masa y la tortilla. Ed. Siglo XXI. Instituto de investigaciones Económicas. UNAM. p. 63-69.





- 
- Trejo González, A.; Feria Morales, y Wild-Altamirano C. 1982. The Role of lime in the alkaline Treatment of corn for Tortilla Preparation. p. 245.
  - Urizar H. A. y Bressani R. 1997. Efecto de la nixtamalización del maíz sobre el contenido de ácido fítico, calcio y hierro total disponible. *Archivo Latinoamericano de Nutrición*. **47** (7): 324-328.
  - Watson, S.A. y Ramstad, P. E. 1987. *Corn Chemistry and Technology*, American Association of Cereal Chemists Minnesota. U.S.A.
  - Zazueta, C.; Ramos, G.; Fernández-Muñoz, J. L.; Rodríguez, M. E.; Acevedo-Hernández, G. y Pless, R.N. C. 2002. A radioisotopic study of the entry of calcium ion into the maize kernels during nixtamalization. *Cereal Chem.* **79**: 500-503.



---

# ANEXO

Este trabajo fué presentado en el tercer Congreso Internacional de Nixtamalización. Del Maíz a la Tortilla, modalidad poster cuya constancia aparece en la siguiente página.

**3er** Congreso Internacional de Nixtamalización  
**Del Maíz a la Tortilla**

Querétaro México, 19 al 22 de octubre de 2008

Otorga la presente

Constancia a:

*I. A. Maribel Reséndiz Mendoza*

Por la presentación del trabajo en cartel titulado:

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, INSTRUMENTACIÓN  
Y CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO  
PARA EL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN**



Dr. Mario E. Rodríguez G.



Dr. Juan de Dios Figueroa C.

