



Reporte Final de Estadía

Ivett Abigaic Santiago Cruz

Efecto de tres disoluciones de
 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en las propiedades de la
masa de nejayote



Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo de Ingeniería en Procesos Bioalimentarios

Proyecto de estadía realizado en:

Colegio de postgraduados

Nombre del proyecto:

Efecto de tres disoluciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en las propiedades de la masa de nejayote

Nombre del Asesor Industrial:

Dr. José Andrés Herrera Corredor

Nombre del Co-asesor Industrial:

Ing. Juan Manuel Balderas López

Nombre(s) del Asesor Académico(s):

M.C Licet Bello Luna, M.C Ismael Alatraste Pérez

Nombre del Alumno:

Ivett Abigaic Santiago Cruz

Cuitláhuac, Ver 04 de abril del 2017

DEDICATORIA

A Dios

Por bendecirme en todo momento por colmarme de salud y de amor, por permitirme lograr mis objetivos en la vida, por su infinita bondad y amor hacia mí y mis seres queridos.

A mi familia

Por haberme apoyado en todo momento y por no dejarme sola en cada paso que doy, a mi madre por su amor incondicional por sus consejos, sus valores, su dedicación y su paciencia. A mí prometido por su comprensión, su amor y por sus consejos

A mi bello angelito que en paz descansa por todas las enseñanzas que me dejó, por los ejemplos de perseverancia y constancia, por demostrarme que la vida vale la pena solo si la vives felizmente, por darme todo su amor y por alegrarme en su corto paso por la vida.

A mis maestros

Gracias Dr. Andrés Herrera Corredor, MC. Licet Bello Luna, MC. Ismael Alatríste Pérez e Ing. Juan Manuel Balderas López por el apoyo, orientación y dedicación que pusieron en mí a lo largo de mi estancia para poder obtener mi título profesional.

Gracias por todas las vivencias y experiencias adquiridas.

Al Colegio de Postgraduados

Por haberme permitido realizar mis prácticas profesionales en sus instalaciones, lo cual me ayudó a reafirmar mis conocimientos adquiridos en la universidad pero más que nada gracias por enseñarme a convivir de igual manera con todos los integrantes del campus ya que me demostraron que son un gran equipo y no hacen distinciones.

A mis amigos

Que siempre han estado conmigo, que me han mostrado un apoyo incondicional a lo largo de toda nuestra formación profesional, y me han demostrado que en ellos tengo a una familia, gracias por no dejarme sola aun cuando ni yo soportaba mi carácter, gracias por enseñarme que todo en la vida tiene solución por más difícil que parezca. Gracias por cada momento de diversión y también por los de tristeza o enojo ya que estos nos han hecho crecer como personas y han reforzado nuestra amistad.

Contenido

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	3
1.2 Campus Córdoba.....	4
1.2.2 Ubicación	7
1.2.3 Misión	7
1.2.4 Visión.....	7
1.2.5 Función.....	7
1.2.6 Objetivos.....	8
2. INTRODUCCIÓN.....	9
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	11
2.2 OBJETIVOS.....	11
2.2.1 Objetivo General	11
2.2.2 Objetivos Específicos.....	11
3. MARCO TEÓRICO	12
3.1 Maíz.....	12
3.2 Nixtamalización.....	14
3.3 Masa.....	16
3.4 Nejayote	19
4. METODOLOGÍA.....	20
4.1 Muestreo del Maíz	20
4.1.2 Peso de Mil Granos	20
4.1.3 Dimensiones de Grano	20
4.1.4 % de Humedad	20
4.1.5 Peso Hectolítrico.....	21
4.1.6 Índice de Flotación.....	22
4.1.7 Densidad Absoluta.....	22
4.2 Diagrama de Flujo.....	24
4.3 Preparación de las Disoluciones	25
4.3.1 Cantidad Recuperada	25
4.3.2 Densidad.....	25
4.3.3 pH.....	26
4.3.4 Dureza	26
4.3.5 Alcalinidad Total.....	27
4.3.6 Calcio.....	27
4.4 Caracterización de las Masas	28
4.4.1 Humedad	28
4.4.2 Cenizas.....	28
4.4.3 pH.....	29
4.4.4 Color	29
4.4.5 TPA.....	29
4.4.6 Calcio.....	30
4.5 Caracterización del Nejayote	30
4.5.1 Cantidad Recuperada	30

4.5.2 Densidad.....	30
4.5.3 pH.....	31
4.5.4 Dureza	31
4.5.5 Alcalinidad Total.....	32
4.5.6 Calcio.....	33
4.5.7 Sólidos Suspendidos Totales (SST):.....	33
4.5.8 Sólidos Totales (ST):.....	34
4.5.9 Solidos Solubles	34
4.5.10 Humedad	34
5. RESULTADOS	35
5.1 Maíz.....	35
5.2 Disoluciones	36
5.3 Masa.....	37
5.4 Nejayote	38
6. CONCLUSIONES	39
Bibliografía.....	40

Índice de Tablas y Figuras

Figura 1. Estructura del maíz.....	13
Figura 2. Metodología de la nixtamalización.....	24
Tabla 1. Índice de dureza para grano de maíz y tiempos de nixtamalización	22
Tabla 2. Caracterización del maíz	35
Tabla 3. Caracterización de diluciones de hidróxido de calcio	36
Tabla 4. Caracterización de la masa.....	37
Tabla 5. Caracterización del nejayote	38

RESUMEN

En este trabajo se prepararon disoluciones de hidróxido de cal y agua a tres distintas concentraciones las cuales fueron:

Disolución al 10%: Se pesaron 1Kg de hidróxido de calcio y se midió en probetas 9L de agua. Disolución al 1%: Se pesaron 100gr de hidróxido de calcio y se midió en probetas 9.900L de agua. Disolución al 0.1%: Se pesaron 10gr de hidróxido de calcio y se midió en probetas 9.990L de agua. Se agregó el hidróxido de cal al agua en casa disolución y se homogenizo constantemente en una batidora por 30 minutos y se dejaron reposando por 24hrs.

Dichas disoluciones se evaluaron mediante análisis fisicoquímicos para ver su comportamiento e identificar cual es la que le otorga el calcio necesario al maíz después de la nixtamalización y no genere un afluente altamente contaminante; para lo cual se analizaron los resultados obtenidos y se compararon para determinar si tienen diferencias significativas en los resultados de los análisis fisicoquímicos

Al evaluar el comportamiento de las tres disoluciones de hidróxido de calcio, mediante análisis fisicoquímicos se observó que la disolución al 1% es la más aceptable para el proceso de nixtamalización debido a que le otorga al maíz la cantidad necesaria de calcio, sin que el nejayote tenga una cantidad tan elevada de solidos solubles totales haciendo que dicho afluente sea más fácilmente tratado para su desecho.

ABSTRACT

In this work, solutions of calcium hydroxide and water were prepared at three different concentrations, which were:

10% solution: 1Kg of calcium hydroxide was weighed and 9L of water was measured in 9L probes. 1% solution: 100 g of calcium hydroxide was weighed and 9,900 liters of water were measured. 0.1% Dissolution: 10 g of calcium hydroxide was weighed and 9,990L of water was measured on probes. Calcium hydroxide was added to the house water solution and homogenized constantly in a blender for 30 minutes and left standing for 24hrs.

These solutions were evaluated by physicochemical analysis to see their behavior and to identify which is the one that gives the necessary calcium to the corn after the nixtamalización and does not generate a highly contaminating affluent; For which the results obtained were analyzed and compared to determine if they have significant differences in the results of the physicochemical analyzes

When evaluating the behavior of the three solutions of calcium hydroxide, by means of physicochemical analysis it was observed that the 1% solution is the most acceptable for the nixtamalization process because it gives the corn the necessary amount of calcium, without the nejayote Has such a high amount of total soluble solids making said tributary more easily treated for disposal.

1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

En 1959, cuando se fundó el colegio de postgraduados como la división de postgraduados de la escuela nacional de agricultura (hoy universidad autónoma de Chapingo), los programas de estudio posteriores a la licenciatura en el país solo existían en la universidad autónoma de México.

Cincuenta años después ahora como organismo público descentralizado, las contribuciones científicas del personal académico del colegio de postgraduados han tenido impacto relevante en las ciencias agrícolas del mundo, en el desarrollo agrícola de México y América latina.

El colegio de postgraduados fue concebido como una institución pública estratégica para el desarrollo social del sector agropecuario y forestal de México, y tuvo como mandato formar recursos humanos al más alto nivel académico, generar conocimiento para contribuir al fortalecimiento de instituciones y organizaciones involucradas en la generación, multiplicación y difusión de la tecnología, y al incremento de la capacidad productiva de dicho sector (González-Cossio, 2010).

Fundación y desarrollo inicial: este periodo inicio en 1959 y comprendió los primeros cinco años de vida institucional con cuatro centros disciplinarios: genética, suelos entomología y fitopatología.

Crecimiento disciplinado: en esta etapa, de 1964 1978 se fundaron cinco nuevos centros: botánica, economía, estadística y calculo, riego y drenaje, y divulgación. Es en este periodo en el que se funda en primer centro regional en puebla y se establecen dos programas: fruticultura y ganadería.

Identidad y descentralización: esta etapa abarco de 1979 a 1989, inicio con la transformación del colegio de postgraduados en organismo público descentralizado, cambio que implicó la separación de la universidad autónoma Chapingo y por tanto la creación de una identidad propia a partir de su nueva sede en montecillo, estado de México. El cambio de forma jurídica estuvo asociado con un crecimiento institucional a nivel nacional a través de la creación de los centros regionales que siguieron a puebla en 1976; Veracruz en 1979, san Luis potosí en 1980; y tabasco en 1986. Los programas de fruticultura y ganadería se constituyeron en

centros disciplinarios, y los de suelos, riego y drenaje, divulgación y entomología se transformaron respectivamente en los programas de edafología, hidrociencias, desarrollo rural, y entomología y acarología. En esta etapa se estableció el primer programa inter disciplinario, el programa forestal y posteriormente en orden cronológico se crean los programas interdisciplinarios de agrometeorología, fisiología vegetal y semillas.

Conversión a centro público de investigación y reestructuración: en agosto de 2001 el colegio de postgraduados fue reconocido como centro público de investigación y signó un convenio de desempeño con la administración pública federal con base en la ley de fomento a la investigación científica y tecnológica, antecedente de la actual ley de ciencia y tecnología, que implico una evolución hacia un convenio de administración por resultados. En 2005 la honorable junta directiva del colegio de postgraduados aprobó la reestructuración académica y administrativa de la institución para dar mayor pertinencia social a sus actividades sustantivas: la educación, la investigación y la vinculación. En este periodo se fundan los dos campus más recientes Córdoba y Campeche y se da impulso a los procesos de descentralización (González-Cossio, 2010).

El colegio de postgraduados reafirma su pertinencia social al ofrecer 20 programas de postgrado (maestría y doctorados en ciencias) en los siguientes temas : agricultura tropical, agroecosistemas tropicales, botánica, edafología, estrategias para el desarrollo agrícola regional, forestal, hidrociencias, y producción agroalimentaria en el trópico; existe además un programa de doctorado en ciencias por investigación y 18 maestrías tecnológicas.

1.2 Campus Córdoba

El Campus Córdoba tiene su origen en la donación que hizo el gobierno federal al Colegio de Postgraduados del inmueble y los bienes muebles del ex Centro Nacional de Investigaciones Azucareras (CNIA), perteneciente en ese entonces al Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar (IMPA).

El traspaso se formalizó el 4 de Noviembre de 1992 con la firma del acta de recepción para incorporar al patrimonio del Colegio de Postgraduados (CP) las instalaciones antes mencionadas.

El 15 de Diciembre de 1992 inició la administración del Campus Córdoba (CC) dependiendo de la Secretaría General del Colegio. El 19 de Mayo de 1994 se firmó el acta para la incorporación del CC al Instituto de Fitosanidad en el marco de la reestructuración del Colegio (Postgraduados, 2017).

El primero de Enero de 1997 por acuerdo del Consejo Técnico, el CC pasa a depender directamente de la Dirección General del CP. El 3 de Marzo de ese mismo año fue publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el Acuerdo Secretarial por medio del cual se destina al servicio del Colegio este inmueble, pero fue hasta abril del 2008 que se publica en el DOF el paso del dominio pleno de dichas instalaciones al CP.

De 1993 a 1999 el CC se mantuvo en estado de mantenimiento mínimo, incluso recibía el nombre de Campo Córdoba en alusión a que aquí no se realizaban todas las actividades sustantivas del Colegio. Sin embargo, existía un encargado del Campo, un administrador y dos o tres investigadores de tiempo completo (Postgraduados, 2017).

Fue en 1999 que se empezó a llamarle Campus y se nombró su primer director, Dr. Lauro Bucio Alanís, quien tuvo la encomienda de desarrollar talento humano y actividades académicas que respondieran a las necesidades agropecuarias de su zona de influencia. Inicialmente en CC se orientó al desarrollo de proyectos productivos de impacto a corto plazo.

En ese tiempo se diagnosticó que la agroindustria debía ser el eje sobre el que se desarrollaran las actividades sustantivas del Campus. Fue así que se facilitó la incorporación de maestros en ciencias con formación de Ingenieros Agroindustriales y áreas afines. Entre el año 2000 y el 2006 salieron a estudiar el doctorado a universidades del extranjero 15 académicos del Campus, de los cuales 11 se han reintegrado. Hoy día el Campus se compone de un grupo multidisciplinario de 25 académicos de tiempo completo, con presencia permanente. Al principio se trató de desarrollar las principales cadenas productivas de la zona de influencia, es así que se dio impulso a lo que se llamó la cadena productiva del café, la cadena productiva de la caña de azúcar y la cadena productiva ornamentales.

Líneas de investigación

El objetivo principal del Plan Rector de Investigación del Colegio de Postgraduados es, entre otros:

Organizar la investigación institucional en Líneas Prioritarias de Investigación y Áreas del Conocimiento. En este sentido, los académicos del Campus Córdoba se encuentran integrados en las siguientes Líneas Prioritarias de Investigación aprobadas por el H. Consejo Técnico del Colegio de Postgraduados, donde participan activamente en el Proyecto de Investigación Integrador elaborado en conjunto con el Líder, los Decanos del Área de Conocimiento y por los integrantes de la Línea. Actualmente, los académicos del Campus Córdoba participan en las siguientes Líneas Prioritarias de Investigación (LPI):

LPI-1. Manejo sustentable de recursos naturales.

LPI-4. Agronegocios, agroecoturismo y arquitectura del paisaje.

LPI-7. Inocuidad, calidad de alimentos y bioseguridad.

LPI-12. Agregación de valor.

Colegio de postgraduados campus córdoba cuenta con los siguientes laboratorios y Plantas piloto:

Laboratorio de ciencias de los alimentos

Laboratorio de cultivos de tejido

Laboratorio de biotecnología

Laboratorio de hongos comestibles y entomopatógenos

Laboratorio de barismo

Laboratorio de evaluación sensorial

Planta piloto de café

Planta piloto de frutas y hortalizas

Planta piloto de cárnicos

Planta piloto de cereales

1.2.2 Ubicación

Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, congregación Manuel León, municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946. MÉXICO.

1.2.3 Misión

Contribuir en la formación de líderes para el sector rural en el ámbito internacional, mediante la coordinación y manejo de acciones de cooperación internacional con que cuenta el Colegio de Postgraduados.

1.2.4 Visión.

Área de apoyo a la Comunidad del Colegio de Postgraduados acerca de la oferta y demanda en materia de cooperación e intercambio académico y técnico-científico internacional. Promotora del desarrollo profesional en la formación en el extranjero de profesores-investigadores y estudiantes.

1.2.5 Función.

El propósito de la Dirección de Relaciones Internacionales es contar con una oficina que coordine, regule y lleve a cabo las acciones de cooperación internacional a fin de lograr una mayor captación y utilización de los recursos externos nacionales e internacionales, mediante la racionalización de la información sobre la oferta y demanda de la cooperación existente en materia internacional vinculada a la enseñanza e investigación.

1.2.6 Objetivos

El Colegio de Postgraduados es una institución pública cuyas actividades sustantivas son educación, investigación y vinculación. En función de esas tres actividades y de la necesidad de contar con una administración que permita realizarlas de manera eficaz, se definieron los objetivos estratégicos siguientes:

1. Establecer alianzas estratégicas que coadyuven al Reconocimiento Nacional e Internacional de esta institución
2. Consolidar las relaciones del CP con Universidades e Instituciones Extranjeras
3. Negociación de proyectos de colaboración que permita poner en ejecución los convenios formalizados por el CP
4. Obtención de recursos: Económicos, Técnicos y de Infraestructura
5. Análisis, orientación y difusión de las oportunidades que brinda el contorno internacional

2. INTRODUCCIÓN

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

Este proceso consiste en el cocimiento del grano de maíz con suficiente agua (1 kilogramo de maíz por 2-3 litros de agua), con álcali, preferentemente $\text{Ca}(\text{OH})_2$, a temperatura menor a la de ebullición, por 30-60 minutos. El grano se deja reposar entre 12-14 horas en la solución (nejayote), el nixtamal resultante es lavado de 2-4 veces para eliminar el exceso de cal, el nixtamal obtenido es molido en un molino de piedras para obtener la masa (Castillo, 2009).

Esta técnica de cocimiento alcalino, sirve para suavizar el grano de maíz y permite que las tortillas tengan mayor calidad nutricional comparada con el maíz crudo, por los cambios químicos de los nutrientes que en él ocurren (Castillo, 2009).

El calcio desempeña un papel importante durante la nixtamalización del grano de maíz. El tratamiento con cal facilita la remoción del pericarpio durante la cocción y el reposo, controla la actividad microbiana, mejora el sabor, aroma, color, vida de anaquel y el valor nutricional de las tortillas.

La cantidad de calcio incorporado al grano durante el proceso de nixtamalización, tanto en el pericarpio, endospermo y germen es muy importante porque la interacción entre el hidróxido de calcio y los diferentes componentes del grano determinan las características fisicoquímicas y sensoriales de los productos elaborados a partir de masa de maíz (Castillo, 2009).

El agua del cocimiento alcalino se conoce como nejayote y es un efluente rico en materia orgánica que contiene altas concentraciones de sólidos suspendidos y en solución (aproximadamente 2% de sólidos totales).

En la actualidad se eliminan entre 16 y 22 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ de nejayote, 40% de los cuales corresponden a las grandes empresas productoras (Reyes-Vidal, 2012).

El nejayote es considerado un desecho altamente contaminante debido a su carga inorgánica y orgánica elevada que genera demandas bioquímicas de oxígeno del orden de 7,000 a 10,000 mg O₂/L, mientras que las normativas ambientales (NOM-001-SEMARNAT-1996; NOM-002-ECOL1996) señalan un límite máximo de descarga de 200 mg O₂/L (Reyes-Vidal, 2012).

Entre los factores que dificultan el tratamiento del nejayote se encuentra la gran cantidad de material en suspensión que no logra ser eliminado por procesos unitarios como la sedimentación, centrifugación o filtración. Además, la presencia de compuestos fenólicos inhibidores del crecimiento microbiano, el pH y contenido de calcio elevados dificulta su tratamiento (Reyes-Vidal, 2012).

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

En el proceso de nixtamalización libre de partículas, que se ha desarrollado en el Colegio de postgraduados campus Córdoba confiere ventajas ambientales ya que reduce las características contaminantes del nejayote. En dicho proceso se utiliza una solución alcalina del 10% (9000mL de agua y 1000g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$) con la finalidad de sobre saturar la solución con iones Ca^{++} y de disminuir la cantidad de sólidos suspendidos ya que si bien pueden ser removidos por procesos unitarios como la sedimentación, centrifugación o filtración estos procesos resultan ser un gasto innecesario de tiempo y dinero al ser factible modificar el % de hidróxido de calcio para disminuir los sólidos sedimentables haciendo el agua del cocimiento alcalino de la nixtamalización “nejayote” menos contaminante, sin que se van afectadas las características del maíz después de la nixtamalización.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento de tres disoluciones de hidróxido de calcio en concentraciones al 10%, 1% y 0.1% mediante análisis físicos, químicos para determinar la concentración idónea para la masa de maíz nixtamalizado.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar disoluciones con hidróxido de calcio al 10%, 1% y 0.1%
- Realizar caracterizaciones de las disoluciones mediante análisis físicos y químicos.
- Definir la concentración idónea de hidróxido de calcio interpretando los análisis físicos y químicos del nejayote y masa resultantes de las nixtamalizaciones.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Maíz

Las variedades criollas de maíz presentan granos pigmentados de múltiples colores, y se encuentran dentro de las 59 razas descritas. Los colores de granos encontrados principalmente en las variedades pigmentadas son: amarillo, negro, morado, azul, rojo y naranja, aunque existen otras tonalidades (Escalante-Aburto, 2013).

A estos maíces se les ha otorgado un valor agregado debido a su alto contenido de compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides, entre los que destacan las antocianinas y los ácidos fenólicos. También se han adjudicado propiedades nutraceuticas a los maíces pigmentados por su alto contenido de antocianinas, las cuales poseen actividad biológica benéfica (antioxidante) derivada de sus metabolitos secundarios (Escalante-Aburto, 2013).

El maíz es una de las plantas gramíneas de mayor tamaño en América central alcanza los 6 metros de altura y las mazorcas pueden llegar a medir más de 30 cm de largo (Hipp, 2004).

En muchas regiones de México los agricultores que cultivan variedades locales o criollas de maíz en forma tradicional, contribuyen a la conservación y a la generación de la diversidad genética del cultivo (Herrera-Cabrera, 2004).

La composición química del grano de maíz, y por ende su valor nutritivo, dependen del genotipo de la variedad, el ambiente y las condiciones de siembra. En promedio, el contenido de proteína del maíz es de 10% y una buena parte se encuentra en el germen del grano. No obstante, tanto el endospermo como el pedicelo llegan a tener hasta 9% de proteínas clasificadas en cuatro tipos de acuerdo con su solubilidad: albúminas (solubles en agua), globulinas (solubles en soluciones de sales), prolaminas (solubles en soluciones alcohólicas) y glutelinas (solubles en soluciones alcalinas o ácidas diluidas) (Paredes-López, 2009).

En el maíz, las prolaminas se encuentran principalmente en el endospermo y han recibido el nombre de zeínas, mientras que las glutelinas se encuentran en la matriz proteínica de esta misma estructura; ambas proteínas constituyen cerca de 90% de las proteínas del grano

completo. Por el contrario, las del germen son casi en su totalidad albúminas y globulinas (Paredes-López, 2009).

En cuanto al contenido de lípidos, el grano de maíz con tiene alrededor de 5%, principalmente en el germen. Se ha encontrado que el aceite de maíz, como la mayoría de los aceites de origen vegetal, contiene bajos niveles de grasas saturadas, las cuales se han relacionado desde un punto de vista epidemiológico con problemas cardiovasculares (Paredes-López, 2009).

En cuanto a vitaminas, se sabe que el maíz amarillo con tiene principalmente dos vitaminas solubles en grasa, β -caroteno o provitamina A y α -tocoferol o vitamina E, y la mayoría de las vitaminas solubles en agua. El maíz amarillo es una fuente razonablemente buena de provitamina A. El germen del grano contiene 78% de los minerales, probablemente porque son esenciales durante el crecimiento del embrión, de los cuales el componente inorgánico más abundante es el fósforo, principalmente en las sales de potasio y magnesio del ácido fítico (Paredes-López, 2009).

En relación con el almidón, el grano maduro del maíz presenta en promedio 72%, y prácticamente todo está presente en las células del endospermo. En un maíz normal, el gránulo de almidón contiene aproximadamente 27% de amilosa una molécula esencialmente lineal formada aproximadamente por 1 000 unidades de glucosa y 73% de amilopectina una molécula ramificada que posee aproximadamente 40 000 o más unidades de glucosa (Paredes-López, 2009).

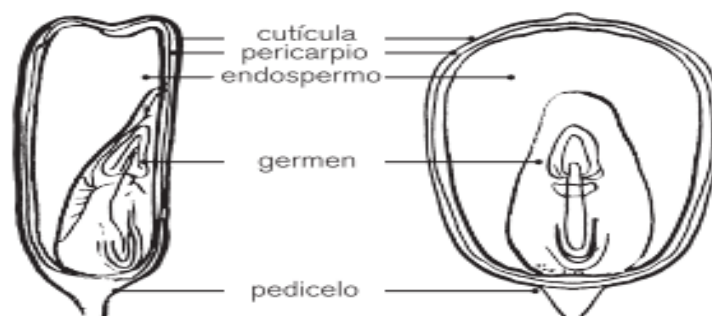


Figura 1. Estructura del maíz

3.2 Nixtamalización

Del náhuatl nixtli, cenizas, y tamalli, masa, el proceso de la nixtamalización se ha transmitido de generación en generación en Mesoamérica, y todavía se utiliza como en tiempos prehispánicos (Paredes-López, 2009).

El papel central que el maíz ha desempeñado en la historia de Mesoamérica es indiscutible, sin embargo poco se habla del proceso de nixtamalización que le confiere un alto valor nutritivo y cambios funcionales extraordinarios, y que es clave en la elaboración de la tortilla, el principal alimento en la dieta del pueblo mexicano y base de su supervivencia desde hace más de 3 500 años (Paredes-López, 2009).

La palabra nixtamalización se ha venido usando por 20 o 30 años, para hacer referencia al proceso alcalino de cocción del maíz. Este proceso es una contribución de los mayas y los aztecas al mundo de la tecnología de alimentos, para comprender mejor la diferencia entre la nixtamalización y otros procesos de transformación del maíz es importante saber que el grano está constituido de la siguiente manera: la cascara representa alrededor del 8 % del peso del grano mientras que el germen y el endospermo representan alrededor del 10 y el 82 % del peso total del grano en base seca (Boucher, 1995).

El proceso de nixtamalización produce cambios estructurales, químicos, funcionales y nutricionales en el maíz, uno de los efectos más importantes es que el proceso logra el descascarado del grano de maíz. La penetración del agua caliente que acarrea iones de calcio, afecta la pared celular, la lamela media e induce gelatinización parcial del almidón y un aumento significativo en la solubilidad de proteínas (Boucher, 1995).

Gran parte del calcio se queda en el pericarpio; pero cantidades altas penetran en la estructura del endospermo y esto está asociado a la cantidad de cal utilizada la cual influye sobre el pH. Además de enriquecer al grano con calcio y aumentan otros minerales como Mg, Fe y Zn (Boucher, 1995).

La cocción alcalina y el remojo provocan la disolución y el hinchamiento de las capas del pericarpio, esto hace que las paredes celulares y los componentes de la fibra dietaria de esta parte del grano se vuelvan frágiles, facilitando su remoción, lo cual obviamente disminuye el contenido de fibra dietaria insoluble. Sin embargo, y por fortuna, en este proceso la fibra dietaria soluble pasa de 0.9% en el maíz a 1.3% en la masa, y a 1.7% en la tortilla. La fibra dietaria en general ha sido reconocida como un componente importante y altamente deseable en los alimentos, ya que ejerce diversas funciones fisiológicas asociadas a la salud (Paredes-López, 2009).

La nixtamalización también provoca que la estructura que une las células del endospermo, llamada lámina media, y las paredes celulares se degraden y solubilizan parcialmente. La mayoría del germen permanece en el grano durante la nixtamalización, lo que permite que la calidad de la proteína de los productos de la masa no se vea afectada (Paredes-López, 2009).

Otro aspecto sobresaliente es que la membrana semipermeable que está alrededor del grano, denominada aleurona, permanece sobre el mismo durante este tratamiento, lo que minimiza la pérdida de nutrimentos hacia el nejayote por el fenómeno llamado lixiviación (Paredes-López, 2009).

Actualmente se dispone de procesos alternativos a la nixtamalización tradicional (NT), como la nixtamalización por extrusión (NE) y la nixtamalización fraccionada (NF), que al igual que en la NT, los granos de maíz son sometidos a un tratamiento térmico-alcalino en presencia de exceso o limitada cantidad de agua (Escalante-Aburto, 2013).

El desarrollo de estos procesos alternativos se debe a que la NT requiere de largos periodos de tiempo y el uso de gran cantidad de agua, que da como subproducto al líquido denominado “nejayote” (Escalante-Aburto, 2013).

La nixtamalización no sólo ha servido para producir tortillas, la masa, el maíz nixtamalizado y las tortillas, obviamente, se han usado también para preparar un gran número de platillos (Paredes-López, 2009).

3.3 Masa

La masa obtenida de la nixtamalización de maíz es una mezcla constituida por los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina) mezclados con gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, gránulos intactos, partes de endospermo y lípidos. Todos estos componentes forman una malla compleja heterogénea dentro de una fase acuosa continua (Bello-Pérez, 2002).

Además, la asociación de la amilosa y amilopectina, que depende del tiempo y la temperatura, modifica constantemente el contenido total de agua y su distribución dentro de esta matriz. Este proceso tiene la mayor repercusión en las propiedades reológicas y de textura de los productos elaborados a partir de masa (Bello-Pérez, 2002).

A pesar de esta complejidad, se ha avanzado en el entendimiento del proceso de nixtamalización y sus efectos en el grano de maíz. La cal actúa en los componentes de la pared celular del grano de maíz y convierte la hemicelulosa en gomas solubles (Bello-Pérez, 2002).

De esta forma, el tratamiento térmico-alkalino gelatiniza el almidón, saponifica parte de los lípidos, libera la niacina y solubiliza parte de las proteínas que rodean los gránulos de almidón. Adicionalmente, debido al pH las cadenas de glucosa a partir de la amilosa y la amilopectina se cargan, lo cual ayuda a disminuir la retrogradación. De cualquier manera, para unir todos estos eventos y producir una masa de alta calidad, tanto la nixtamalización como la molienda del nixtamal deben ser óptimos (Bello-Pérez, 2002).

La masa es utilizada para producir tortillas, las cuales son la principal fuente de calorías, proteínas y calcio para la población de bajos recursos económicos. Actualmente, el consumo de tortillas y sus productos derivados son muy populares en países desarrollados (Bello-Pérez, 2002).

Sin embargo, la producción industrial de masa no sigue las condiciones tradicionales de nixtamalización, por lo que se obtienen tortillas cuya textura y estabilidad durante el almacenamiento son de menor calidad comparadas con las obtenidas en forma casera o con procesos a menor escala, como es el caso de las tortillerías de México (Bello-Pérez, 2002).

Durante la nixtamalización, pequeñas cantidades de gránulos de almidón son gelatinizados y la mayor gelatinización se debe a la fricción durante la molienda, durante la cual también se dispersan parcialmente los gránulos hinchados dentro de la matriz, los que actúan como un pegamento que mantiene unidas las partículas de masa. Mucho almidón gelatinizado (debido a un cocimiento excesivo) produce una masa pegajosa que es difícil de manejar (Bello-Pérez, 2002).

Por otro lado, poco cocimiento produce una masa sin cohesividad que da origen a tortillas de textura inadecuada. Sin embargo, la molienda por sí misma no puede ser utilizada para gelatinizar el almidón en un nixtamal que no fue bien cocido (Bello-Pérez, 2002).

Ésta es la principal diferencia entre la masa obtenida con el proceso tradicional y la usada para elaborar harinas de maíz nixtamalizado. La naturaleza altamente hidratada del nixtamal en la producción de masa facilita la liberación de los gránulos de almidón durante la molienda a partir de la matriz proteínica (Bello-Pérez, 2002).

Cuando el maíz nixtamalizado se muele pierde su estructura debido a que los componentes del grano fueron acondicionados por la cocción y el remojo. La masa resultante de la molienda consiste en fragmentos de germen, residuos del pericarpio y endospermo unidos por el almidón parcialmente gelatinizado, y por las proteínas y los lípidos emulsificados (Paredes-López, 2009).

La masa es también la materia básica para la preparación de totopos de maíz o fritos, tostadas o totopos de tortilla (Paredes-López, 2009).

Las propiedades sensoriales y funcionales de todos los productos derivados de la masa son de suma importancia. Por ejemplo, uno de los aspectos de mayor relevancia en relación con las características de estos productos, es el tipo de grano. En general, la tortilla preparada a partir de maíz blanco tiene mayor aceptación. Los totopos y tostadas pueden prepararse utilizando maíz amarillo o blanco (Paredes-López, 2009).

El contenido de humedad de la masa también es un factor importante, el óptimo para producir tortillas de alta calidad y buena vida de anaquel, que varía según la línea de maíz; aparentemente los mejores resultados en este sentido se obtienen cuando la masa tiene de 50 a 55% de humedad. Una característica importante en la calidad de ciertos productos derivados del maíz es que el pericarpio sea fácilmente removible (Paredes-López, 2009).

La textura de la masa es crítica para el proceso de elaboración de tortilla. Cuando la masa tiene la textura adecuada, es lo suficientemente adhesiva para adherirse ligeramente a los rodillos laminadores de la máquina tortilladora y separarse adecuadamente. Si el maíz está sobre-cocido, la masa es pegajosa y se adhiere fuertemente a los rodillos; el maíz sub-cocido produce una masa poco cohesiva, inadecuada para la formación de la tortilla (Gasca-Mancera, 2007).

3.4 Nejayote

Subproducto del proceso de nixtamalización del maíz, constituido por agua, cal y sólidos que se desprendieron del maíz durante el cocimiento. El agua del cocimiento alcalino de la nixtamalización “nejayote” es un efluente rico en materia orgánica que contiene altas concentraciones de sólidos suspendidos y en solución (aproximadamente 2% de sólidos totales) (Reyes-Vidal, 2012).

En la actualidad se eliminan entre 16 y 22 millones de m³/año de nejayote, 40% de los cuales corresponden a las grandes empresas productoras. El nejayote es considerado un desecho altamente contaminante debido a su carga inorgánica y orgánica elevada que genera demandas bioquímicas de oxígeno del orden de 7,000 a 10,000 mg O₂/L, mientras que las normativas ambientales (NOM-001-SEMARNAT-1996; NOM-002-ECOL 1996) señalan un límite máximo de descarga de 200 mg O₂/L (Reyes-Vidal, 2012).

La problemática ambiental que genera el nejayote ha sido muy difícil de solucionar debido a su naturaleza altamente compleja y a la inexistencia o a la insuficiencia de los métodos actuales de tratamiento de aguas residuales convencionales. El tratamiento inadecuado de este tipo de aguas conlleva, inevitablemente, al deterioro de los cuerpos de agua (Reyes-Vidal, 2012).

Entre los factores que dificultan el tratamiento del nejayote se encuentra la gran cantidad de material en suspensión que no logra ser eliminado por procesos unitarios como la sedimentación, centrifugación o filtración (Reyes-Vidal, 2012).

Además, la presencia de compuestos fenólicos inhibidores del crecimiento microbiano, el pH y contenido de calcio elevados dificulta su tratamiento (Reyes-Vidal, 2012).

Se ha propuesto y evaluado reutilizar el agua de nejayote para remover el maíz de las tinajas, lo que se traduce en un ahorro de agua potable. Por otro lado, los sólidos suspendidos que se obtienen en la sedimentación pueden ser reutilizados en la molienda, sustituyendo el agua que se agrega en el molino, lo que resulta en un mayor rendimiento de la masa (Reyes-Vidal, 2012).

También se ha propuesto la reutilización del nejayote para la nixtamalización, luego de la eliminación parcial de los sólidos en suspensión aunque, a decir de algunas empresas del sector, el producto resultante no es aceptado por el consumidor final debido a que presenta sabores y aromas indeseables que se generan por los compuestos fenólicos presentes en el nejayote (Reyes-Vidal, 2012).

4. METODOLOGÍA

4.1 Muestreo del Maíz

Con base a la NMX-FF-034/1-SCFI-2002 La muestra representativa para realizar los análisis se homogeneizó y se dividió, por cuarteo manual. Para obtener las muestras para realizar los siguientes análisis:

4.1.2 Peso de Mil Granos

Se seleccionaron 100 granos de maíz al azar y se pesaron en una balanza granataria digital Ohaus® (ScoutTMP Pro Corporation, SP2001) con capacidad de 2000 gramos y precisión de 0.1 gramos.

Calculo:

Peso de mil granos = [(Peso de 100 granos en gramos) * (10)]

4.1.3 Dimensiones de Grano

Se midieron las dimensiones físicas (largo, ancho y grosor) a 20 de los 100 granos utilizados en la determinación anterior con un calibrador milimétrico estándar (Vernier digital, Truper®).

4.1.4 % de Humedad

Es el agua que contiene el maíz, expresada en porcentaje de masa sobre base húmeda. Se pesaron 5 gr de maíz molido en una charola de aluminio previamente tarada y posteriormente se colocaron en una estufa (Felisa®, Mod.FE-242A) a 105° C durante 12

horas. Después de ese lapso se transfirió la charola con maíz seco a un desecador dejándola enfriar a temperatura ambiente hasta peso constante.

Cálculos

$$\% \text{ en Humedad} = \frac{(P - P1) \times 100}{p2}$$

En donde:

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda, en gramos.

P1 = Peso del recipiente con la muestra seca.

P2 = Peso de la muestra en gramos.

4.1.5 Peso Hectolítrico

De acuerdo con la NMX-FF-034/1-SCFI-2002 Es el contenido de masa en un volumen y se expresa en kilogramos por hectólitro (kg/hl). También se le conoce como masa hectolítrica.

Para esta determinación, se pesó una probeta vacía de 1000 ml Pyrex® (P1) en una balanza granataria digital Ohaus® (ScoutTMPro Corporation, SP2001), posteriormente se adiciono grano de maíz hasta alcanzar un volumen de 1000 mL y se pesó (P2).

Cálculos:

$$\text{Peso hectolítrico (Kg/hL)} = \frac{(P2 - P1) * (0.001)}{0.01}$$

Dónde:

P1= Peso de la probeta vacía mL en g

P2= Peso de la probeta con maíz en g

0.001= Factor de conversión de g a Kg

0.01= Factor de conversión de L a hL

4.1.6 Índice de Flotación

Con base a la NMX-FF-034/1-SCFI-2002 Se preparó una solución de nitrato de sodio (NaNO_3) al 41.6%, pesando 178 gramos de nitrato de sodio Fermont® disolviendo en 250mL de agua destilada. La densidad de la solución se ajustó a 1.250g/mL (con agua destilada o nitrato de sodio), se verificó con un densímetro (1.000 a 2.000 g/cm³) y con un picnómetro.

La temperatura se controló en una plancha de agitación (Thermo SCIENTIFIC®, SP 131015) a 22°C- 23°C. La solución se transfirió a un vaso de precipitado de 500 ml. Se tomaron 100 granos libres de impurezas (Previamente tamizados) y se vertieron en el nitrato de sodio para ser agitados durante un minuto. El número de granos que ascendieron a la superficie se usó como el índice de flotación.

El tiempo de cocción en el proceso de nixtamalización está directamente correlacionado con los datos de la siguiente tabla:

Tabla 1. Índice de dureza para grano de maíz y tiempos de nixtamalización

Granos flotantes	Dureza	Tiempo de cocción
0-12	Muy Duros	45
12-37	Duros	40
38-62	Intermedios	35
63-87	Suaves	30
88-100	Muy Suaves	25

4.1.7 Densidad Absoluta

Se pesó una probeta vacía de 250 mL (Pv) y posteriormente se le agrego maíz hasta medir un volumen de 230 mL (Pm), se registró el peso y se agregó etanol absoluto Fermont® (99.7% de pureza) hasta la marca de 250 mL (Pma), nuevamente se registró el peso.

$$\text{Dens} = \frac{(Pm - Pv)}{\frac{250 - [(Pma - Pm)]}{0.7862}}$$

Dónde:

Dens= Densidad del maíz

Pm= Peso de la probeta con maíz

Pv= Peso de la probeta vacía

Pma= Peso de la probeta más maíz y etanol

0.7862= Densidad del etanol

Parámetros de nixtamalización

Consistió en conocer la calidad de nixtamalización que tiene el maíz de acuerdo al tiempo de cocción en el medio alcalino, indirectamente relacionada con la dureza del grano por medio del índice de flotación y la cantidad de agua absorbida por el maíz, el pericarpio remanente y la pérdida de materia seca.

4.2 Diagrama de Flujo

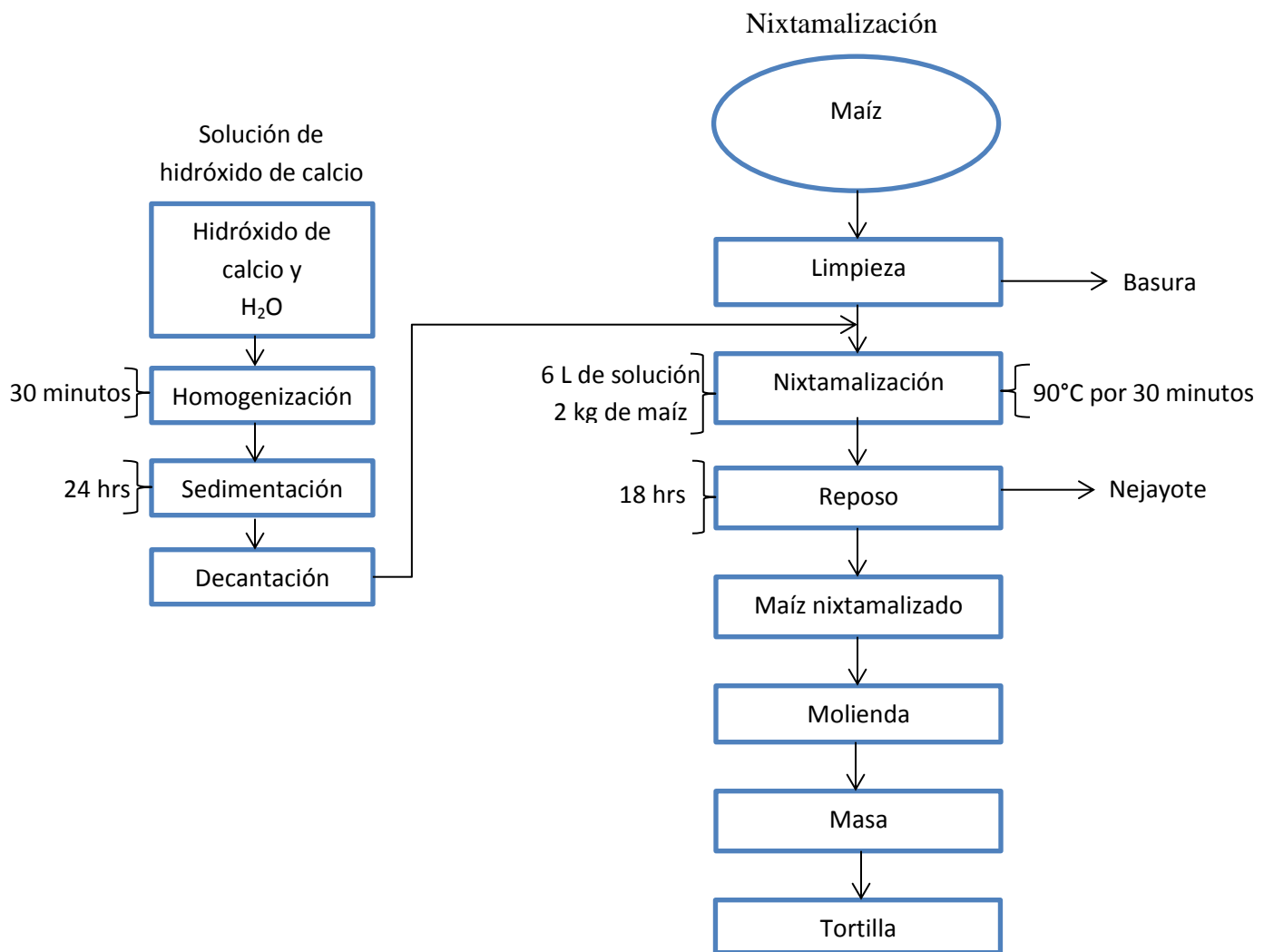


Figura 2. Metodología de la nixtamalización

4.3 Preparación de las Disoluciones

Se prepararon disoluciones de hidróxido de cal y agua a tres distintas concentraciones las cuales fueron:

Disolución al 10%: Se pesaron 1Kg de hidróxido de calcio y se midió en probetas 9L de agua. Disolución al 1%: Se pesaron 100gr de hidróxido de calcio y se midió en probetas 9.900L de agua. Disolución al 0.1%: Se pesaron 10gr de hidróxido de calcio y se midió en probetas 9.990L de agua. Se agregó el hidróxido de cal al agua en casa disolución y se homogenizo constantemente en una batidora por 30 minutos y se dejaron reposando por 24hrs.

4.3.1 Cantidad Recuperada

Después del tiempo de reposo de las disoluciones (24hrs) se drenó la solución empleando una manguera y una perilla para separarla de la cal y posteriormente se midió en probetas para conocer la solución total drenada.

4.3.2 Densidad

Se anotó el valor del volumen del picnómetro el cual estaba registrado en la pared de este, se corroboró que la balanza estuviera calibrada correctamente. Se midió la masa del picnómetro pesándolo en la balanza asegurando que estuviera totalmente seco y limpio después se llenó completamente con la disolución, se colocó en tapón del picnómetro, al colocarlo, parte de la disolución se derramó y se secó perfectamente el recipiente y el tapón por fuera. Ya que si queda líquido en las paredes externas provocará error en la medición. Después de esto se midió la masa del picnómetro lleno de la disolución en la balanza. Este procedimiento se llevó a cabo con cada una de las diluciones.

Calcular la densidad de la siguiente manera:
$$\frac{\text{peso del picnómetro} - \text{peso del picnómetro vacío}}{\text{densidad del picnómetro}}$$

4.3.3 pH

Con base a la NMX-F-317-S-1978 Se calibro el potenciómetro con las soluciones reguladoras de pH 4, pH 7 y pH 10. En un vaso de precipitado se depositaron 50 ml de muestra, posteriormente se introdujo el electrodo del potenciómetro Thermo SCIENTIFIC® (Orion 3-star™) y se midió el pH.

4.3.4 Dureza

De acuerdo con la NMX-AA-072-SCFI-2001 Se colocaron 50 mL de las disoluciones en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se agregaron de 1 a 2 mL de disolución amortiguadora y aproximadamente 0,2 g del indicador eriocromo negro T. Se tituló con la disolución de EDTA 0,01 M agitando continuamente con la ayuda de una parrilla de agitación y agitadores magnéticos hasta que desaparecieron los últimos matices rojizos.

Se agregaron las últimas gotas con intervalos de 3 a 5 s.

En el punto final la muestra cambia de color rojizo a azul.

Calcular la dureza total como se indica en la siguiente ecuación:

$$\text{Dureza total expresada como CaCO}_3 \text{ (mg/L)} = \frac{(A - B) * (C) * (1,000)}{D}$$

Dónde:

A son los mL de EDTA gastados en la titulación en la muestra

B son los mL de EDTA gastados en la titulación en el blanco (si fue utilizado)

C son los mg de CaCO₃ equivalentes a 1 mL de EDTA

D son los mL de muestra.

Expresar la dureza total como mg/L CaCO₃

4.3.5 Alcalinidad Total

De acuerdo con la NMX-AA-036-SCFI-2001 Se transfirieron 100 mL de las disoluciones en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Y se adicionaron 2 gotas de disolución indicadora de fenolftaleína. Se tituló con ácido clorhídrico (HCL) al 0.1N hasta el vire de la fenolftaleína (de rosa a incoloro) y se registraron los mililitros gastados (alcalinidad a la fenolftaleína).

Posteriormente se adicionaron 2 gotas de la disolución indicadora de naranja de metilo y se continuo con la titulación hasta alcanzar el vire del naranja de metilo. (De canela a amarillo), (alcalinidad total) y se registraron los mililitros gastados.

Calcular la alcalinidad, tomando en cuenta el vire de los indicadores.

$$\text{Alcalinidad total expresada como CaCO}_3 \text{ (mg/L)} = \frac{[(A*1,000*N)] * 50}{100}$$

Dónde:

A= Volumen total gastado de ácido en la titulación al vire del anaranjado de metilo en mL

N= Normalidad de la disolución de ácido

100= Volumen de la muestra en mL

50= Factor para convertir eq/L a mg CaCO₃/L

1 000= Factor para convertir mL a L

4.3.6 Calcio

La muestra se depositó en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se le añadieron 2 mL de disolución de NaOH 1N más una “punta de espátula” (0.05g) de indicador Murexida 0.2%. Posteriormente se valoró con una solución de EDTA 0.02 N (0.01M). El calcio se determinó con la siguiente fórmula:

$$(\text{mg Ca /L}) = \frac{[(A * B * 400. 8)]}{\text{mL muestra}}$$

Dónde:

A= mL gastados de EDTA en la titulación

B= mg de CaCO₃ equivalentes a 1 mL de EDTA

4.4 Caracterización de las Masas

4.4.1 Humedad

Se pesaron 5 g de maíz molido en una charola de aluminio previamente tarada y posteriormente se colocaron en una estufa (Felisa®, Mod.FE-242A) a 105° C durante 12 horas. Después de ese lapso se transfirió la charola con maíz seco a un desecador dejándola enfriar a temperatura ambiente hasta peso constante.

Cálculos:

$$\% \text{ en Humedad} = \frac{(P - P1) \times 100}{p2}$$

En donde:

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda, en gramos.

P1 = Peso del recipiente con la muestra seca.

P2 = Peso de la muestra en gramos.

4.4.2 Cenizas

Con base a la NMX-F-066-S-1978 en crisoles a peso constante, se pusieron 5g de muestra, se colocaron los crisoles con muestra en una parrilla y se incineraron lentamente hasta que ya no desprendió humos.

Después se llevaron los crisoles a una mufla y se efectuó la calcinación completa.

Se dejó enfriar en la mufla, para después transferir los crisoles al desecador para su completo enfriamiento y determinar la masa del crisol con cenizas.

Porcentaje de cenizas:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(P - p) \times 100}{M}$$

En donde:

P = Masa del crisol con las cenizas en gramos.

p = Masa de crisol vacío en gramos.

M = Masa de la muestra en gramos.

4.4.3 pH

De acuerdo a la NMX-F-317-S-1978 Se calibro el potenciómetro con las soluciones reguladoras de pH 4, pH 7 y pH 10. En un vaso de precipitado se depositaron 50 ml de muestra, posteriormente se introdujo el electrodo del potenciómetro Thermo SCIENTIFIC ® (Orion 3-star™) y se midió el pH.

4.4.4 Color

Esta determinación se llevó a cabo con un colorímetro portátil (Konika Minolta, CR-400). Se colocó la muestra en una caja Petri de vidrio cubierta con una película transparente plástica auto adherente (TORREY, TS.500E). El colorímetro se calibró con una placa blanca de porcelana (L^* , a^* y b^*) y se colocó sobre las diferentes muestras.

En la escala Cielab L^* representa la luminosidad de 0 a 100 (0 corresponde a negro y 100 a blanco), a^* representa la variación de verde (-) a rojo (+) y b^* la variación de azul (-) a amarillo (+). Se verifico que la superficie sobre la que estaba la muestra fuera blanca para evitar errores en la medición.

4.4.5 TPA

Se formó una masa cilíndrica (50 g) con un molde acrílico (35 mm de diámetro X 30 mm de alto) lubricado con aceite vegetal.

Las muestras se mantuvieron en una bolsa de polietileno durante 15 minutos antes de ser medidas. El análisis del perfil de textura (TPA) de la masa Realizado utilizando texturómetro Shimadzu® modelo Ez-5 (Kyoto, Japón) con el software Trapezium2® para Windows®. Las muestras se sometieron a un ciclo de compresión del 20% usando una célula de carga de 50 kg a una velocidad de 1 mm /s. Por lo tanto, fue posible medir la dureza, la cohesividad, la elasticidad total y la resiliencia.

4.4.6 Calcio

La muestra se depositó en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se le añadieron 2 mL de disolución de NaOH 1N más una “punta de espátula” (0.05g) de indicador Murexida 0.2%. Posteriormente se valoró con una solución de EDTA 0.02 N (0.01M).

El calcio se determinó con la siguiente fórmula:

$$(\text{mg Ca /L}) = \frac{[(A * B * 400.8)]}{\text{mL muestra}}$$

Dónde:

A= mL gastados de EDTA en la titulación

B= mg de CaCO₃ equivalentes a 1 mL de EDTA

4.5 Caracterización del Nejayote

4.5.1 Cantidad Recuperada

Se depositó el maíz nixtamalizado resultante en una cubeta de plástico previamente tarada y se pesó en la una báscula (TORREY®, Mod. EQB 100/200). Se midió el volumen del nejayote en probetas plásticas con capacidad de 1 L.

4.5.2 Densidad

Se anotó el valor del volumen del picnómetro el cual estaba registrado en la pared de este, se corroboró que la balanza estuviera calibrada correctamente. Se midió la masa del picnómetro pesándolo en la balanza asegurando que estuviera totalmente seco y limpio después se llenó

completamente con la muestra de nejayote, se colocó en tapón del picnómetro, al colocarlo, parte de la disolución se derramo y se secó perfectamente el recipiente y el tapón por fuera. Ya que si queda líquido en las paredes externas provocará error en la medición. Después de esto se midió la masa del picnómetro lleno de la disolución en la balanza.

Calcular la densidad de la siguiente manera:
$$\frac{\text{peso del picnómetro} - \text{peso del picnómetro vacío}}{\text{densidad del picnómetro}}$$

4.5.3 pH

Con base a la NMX-F-317-S-1978 Se calibro el potenciómetro con las soluciones reguladoras de pH 4, pH 7 y pH 10. En un vaso de precipitado se depositaron 50 ml de muestra, posteriormente se introdujo el electrodo del potenciómetro Thermo SCIENTIFIC® (Orion 3-star™) y se midió el pH.

4.5.4 Dureza

Se colocaron 50 mL de la muestra de nejayote en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se agregaron de 1 a 2 mL de disolución amortiguadora y aproximadamente 0,2 g del indicador eriocromo negro T. Se tituló con la disolución de EDTA 0,01 M agitando continuamente con la ayuda de una parrilla de agitación y agitadores magnéticos hasta que desaparecieron los últimos matices rojizos.

Se agregaron las últimas gotas con intervalos de 3 a 5 s.

En el punto final la muestra cambia de color rojizo a azul.

Calcular la dureza total como se indica en la siguiente ecuación:

$$\text{Dureza total expresada como CaCO}_3 \text{ (mg/L)} = \frac{(A - B) * (C) * (1,000)}{D}$$

Dónde:

A son los mL de EDTA gastados en la titulación en la muestra

B son los mL de EDTA gastados en la titulación en el blanco (si fue utilizado)

C son los mg de CaCO₃ equivalentes a 1 mL de EDTA

D son los mL de muestra.

Expresar la dureza total como mg/L CaCO₃

4.5.5 Alcalinidad Total

De acuerdo con la NMX-AA-036-SCFI-2001 Se transfirieron 100 mL de la muestra de nejayote en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Y se adicionaron 2 gotas de disolución indicadora de fenolftaleína. Se tituló con ácido clorhídrico (HCL) al 0.1N hasta el vire de la fenolftaleína (de rosa a incoloro) y se registraron los mililitros gastados (alcalinidad a la fenolftaleína). Posteriormente se adicionaron 2 gotas de la disolución indicadora de naranja de metilo y se continuo con la titulación hasta alcanzar el vire del naranja de metilo. (De canela a amarillo), (alcalinidad total) y se registraron los mililitros gastados.

Calcular la alcalinidad, tomando en cuenta el vire de los indicadores.

$$\text{Alcalinidad total expresada como CaCO}_3 \text{ (mg/L)} = \frac{[(A*1,000*N)] *50}{100}$$

Dónde:

A= Volumen total gastado de ácido en la titulación al vire del anaranjado de metilo en mL

N= Normalidad de la disolución de ácido

100= Volumen de la muestra en mL

50= Factor para convertir eq/L a mg CaCO₃/L

1 000= Factor para convertir mL a L

4.5.6 Calcio

La muestra se depositó en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se le añadieron 2 mL de disolución de NaOH 1N más una “punta de espátula” (0.05g) de indicador Murexida 0.2%. Posteriormente se valoró con una solución de EDTA 0.02 N (0.01M).

El calcio se determinó con la siguiente fórmula:

$$(\text{mg Ca /L}) = \frac{[(A * B * 400.8)]}{\text{mL muestra}}$$

Dónde:

A= mL gastados de EDTA en la titulación

B= mg de CaCO₃ equivalentes a 1 mL de EDTA

4.5.7 Sólidos Suspendidos Totales (SST):

Con base a la NMX-AA-004-SCFI-2013 Se colecto un volumen de muestra homogéneo y representativo superior a 1 L en un vaso de precipitado teniendo en cuenta que el material en suspensión no debía adherirse a las paredes del vaso. Se mezcló la muestra a fin de asegurar una distribución homogénea de sólidos suspendidos a través de todo el cuerpo del líquido. Las muestras estaban a temperatura ambiente al momento de su medición para evitar cualquier error en la sedimentación.

Se colocaron las muestras de las disoluciones bien mezcladas en un cono Imhoff hasta la marca de 1 L. Y se dejó sedimentar 60 min, una vez transcurrido este tiempo se registró el volumen de sólidos sedimentables en mL/L.

Si la materia sedimentable contiene bolsas de líquido y/o burbujas de aire entre partículas gruesas, estimar aproximadamente el volumen de aquellas y restar del volumen de sólidos sedimentados.

En caso de producirse una separación de materiales sedimentables y flotables, no deben valorarse estos últimos como material sedimentable.

Cálculos:

Tomar directamente la lectura de sólidos sedimentables del cono Imhoff.

Reportar la lectura obtenida en mL/L.

4.5.8 Sólidos Totales (ST):

Se agregó la muestra a una charola a peso constante y se metió a una estufa (Felisa®, Mod.FE-242A) a 105° para que se evaporara. Se trasladó la charola a un desecador y se dejó enfriar por 20 a 30 min aproximadamente para posteriormente pesarla.

Cálculos:

ST= 100% - % de humedad

4.5.9 Solidos Solubles

Se colocó una gota de la muestra de nejayote con ayuda de un gotero en el refractómetro previamente calibrado con agua destilada ya que esta no presenta azúcares (cerciorando que el resultado fuera cero) posteriormente se anotó el resultado.

4.5.10 Humedad

Se pesaron 5gr de nejayote en una charola de aluminio previamente tarada y posteriormente se colocaron en una estufa (Felisa®, Mod.FE-242A) a 105° C durante 12 horas. Después de ese lapso se transfirió la charola con nejayote seco a un desecador dejándola enfriar a temperatura ambiente hasta peso constante.

Cálculos:

$$\% \text{ en Humedad} = \frac{(P - P1) \times 100}{p2}$$

En donde:

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda, en gramos.

P1 = Peso del recipiente con la muestra seca.

P2 = Peso de la muestra en gramos.

5. RESULTADOS

5.1 Maíz

Con base a la Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 los límites máximos permisibles de maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. En el caso de la humedad, un porcentaje menor a 14% permite el manejo, conservación y almacenamiento del maíz. Para la elaboración de tortillas de maíz de calidad comercial, se considera que el grano debe tener una peso hectolítrico mínimo de 74 kg/hl.

El índice de flotación se basa en el principio de que los granos duros son de mayor densidad y por lo tanto los granos flotan en menor cantidad que los granos de menor densidad en la solución de nitrato de sodio.

De acuerdo con la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 el maíz utilizado requiere 35 minutos de nixtamalización ya que al tener una densidad absoluta de 1.24 g/L y un peso hectolítrico de 78.26 Kg/hL nos referimos a un grano con endospermo intermedio.

El resultado de peso de mil granos fue 356.33g lo cual indica que es un grano intermedio ya que esta prueba está relacionada con el tamaño del grano.

Las dimensiones del grano fueron largo: 12.32±1.09 ancho: 8.06±0.72 grosor: 4.33±0.68 lo cual indica que el maíz proporcionó una amplia área expuesta en el proceso de nixtamalización.

Tabla 2. Caracterización del maíz

Peso Hectolítrico (kg/hl)	Peso de mil granos (g)	Densidad Absoluta (g/L)	Índice de flotación (%)	Humedad (%)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)
78.26±0.38	356.33±5.13	1.24±0.02	53.00±5.00	12.33±0.35	12.32±1.09	8.06±0.72	4.33±0.68

5.2 Disoluciones

En la tabla de resultados se logra apreciar que las disoluciones al 1% y 10 % se comportaron de manera similar en el pH y alcalinidad ya que poseen más partículas solubles de hidróxido de calcio en comparación de la concentración al 0.1%.

El % de calcio resulta ser menor en la concentración al 0.1% ya que es la disolución con menor cantidad de hidróxido de calcio lo que posteriormente dificultara el desprendimiento del pericarpio en la nixtamalización y generara una masa con menor cantidad de calcio.

Tabla 3. Caracterización de diluciones de hidróxido de calcio

Concentración	Cantidad Recuperada (mL)	pH	Densidad	Alcalinidad (mg/L CaCO₃)	Dureza (mg/L CaCO₃)	% Ca (mg Ca/L)
0.1%	8992.67±252.59a	11.93± 0.02b	1.0020± 0.00a	691.67± 32.15b	493.33± 11.55c	200.40± 0.00b
1%	8707.67±125.68a	12.17± 0.13a	1.0006± 0.00a	1918.33± 98.66a	1720.00± 91.65b	686.70± 53.37a
10%	6463.67±304.83b	12.26± 0.01a	1.0020± 0.00a	1958.33± 42.52a	1900.00± 0.00a	721.44± 34.94a

5.3 Masa

En la tabla de resultados se logra apreciar que el % de calcio y rendimiento fueron mayores en la masa de la disolución al 10% ya que a mayor concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ el maíz adquirirá más calcio en la nixtamalización y se obtendrá una masa con alto contenido en calcio además de que este facilita la absorción de agua en el grano haciendo ameno el desprendimiento del pericarpio lo cual genera un mayor rendimiento.

En los resultados es fácil identificar que la masa en la que se empleó la disolución al 0.1% tuvo un menor % de cenizas lo cual indica que esta disolución transfiere una cantidad deficiente de calcio masa.

Tabla 4. Caracterización de la masa

Concentración	Cantidad de Masa (Kg)	Rendimiento (Kg)	pH	% Ca (mg Ca/L)	Humedad (%)
0.1%	3.67±0.12b	1.67	6.87±0.12a	6.68±2.31c	57.97±4.25a
1%	4.15±0.21ab	2.15	7.07±0.26a	12.02±0.00b	63.96±1.73a
10%	4.25±0.25a	2.25	7.23±0.04a	17.37±2.31a	64.66±2.15a

Concentración	Cenizas (%)	ColorL*	Colora*	Colorb*	Dureza (mg/L CaCO_3)
0.1%	1.58±0.04b	76.95±1.65a	-1.08±0.09b	13.69±0.45a	12.71±2.55a
1%	1.87±0.06ab	75.50±1.03a	-0.57±0.12a	13.10±0.37a	8.84±2.66a
10%	2.07±0.22a	74.28±2.04a	-0.48±0.14a	13.17±0.34a	8.34±1.99a

Concentración	Gomosidad	Elasticidad	Masticabilidad	Cohesividad
0.1%	0.72±1.25a	0.76±0.23a	0.73±1.25a	0.05±0.09a
1%	1.12±0.98a	0.89±0.17a	1.11±0.97a	0.11±0.10a
10%	1.04±0.91a	0.66±0.57a	1.03±0.91a	0.12±0.10a

5.4 Nejayote

La densidad y cantidad de nejayote no se ven afectados por la variación del porcentaje de hidróxido de calcio a diferencia del pH, % Ca y alcalinidad ya que en los resultados de estos se puede observar que la disolución al 0.1% presenta diferencias significativas mientras que las disoluciones al 1% y 10% se comportan de manera similar.

El agua del cocimiento alcalino de la nixtamalización “nejayote” es un efluente rico en materia orgánica que contiene altas concentraciones de sólidos suspendidos, constituido por agua, cal y sólidos que se desprendieron del maíz durante el cocimiento (Reyes-Vidal, 2012). Siendo la concentración 0.1% la única que presenta diferencias significativas en los resultados de sólidos solubles totales y sólidos solubles se podría pensar que esta sería la concentración idónea para la nixtamalización ya que el nejayote resultante tiene un pH menos alcalino y al ser este uno de los principales factores que dificultan el tratamiento del nejayote para ser desechado, la baja concentración de hidróxido de calcio facilitaría dicho proceso; pero esto es descartable ya que después de la nixtamalización con la disolución al 0.1% el maíz y masa resultantes carecen de calcio además de tener un bajo rendimiento en comparación con las otras concentraciones.

Tabla 5. Caracterización del nejayote

Concentración	Cantidad de Nejayote (mL)	pH	Densidad	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	Dureza (mg/L CaCO ₃)	% Ca (mg Ca/L)
0.1%	4116.67±	6.44±	1.0011±	71.67±7.64b	440.00±	171.01±
	344.43a	0.08b	0.00a		40.00c	9.26b
1%	3386.67±	8.96±	1.0033±	121.67±15.28a	1173.33±	491.65±
	620.11a	0.24a	0.00a		122.20b	51.54a
10%	3266.67±	9.01±	1.0051±	126.67±14.43a	1506.67±	598.53±
	710.59a	0.46a	0.00a		151.44a	104.31a

Concentración	Solidos solubles sedimentables (mL/L)	Solidos solubles (°Bx)	Contenido total de solidos	Humedad (%)
0.1%	25.33±12.10b	0.97±0.06b	0.85±0.10b	99.15±0.10a
1%	83.67±20.98a	1.93±0.15a	1.91±0.28a	98.09±0.28b
10%	126.67±32.15a	2.07±0.21a	2.08±0.40a	97.92±0.40b

6. CONCLUSIONES

Al evaluar el comportamiento de las tres disoluciones de hidróxido de calcio, mediante análisis fisicoquímicos como se muestra en los resultados observamos que la disolución al 1% es la más aceptable para el proceso de nixtamalización debido a que le otorga al maíz la cantidad necesaria de calcio, sin que el nejayote tenga una cantidad tan elevada de solidos solubles totales haciendo que dicho afluente sea más fácilmente tratado para su desecho.

Mientras que de la disolución al 0.1% el nejayote resultante si bien no presentaba un alto contenido de solidos solubles totales, dicha solución no aportaba el calcio suficiente al maíz en la nixtamalización y al ser baja la concentración de hidróxido de calcio no se lograba un ameno desprendimiento del pericarpio.

Bibliografía

- Bello-Pérez, L. (2002.). *PROPIEDADES QUÍMICAS, FISICOQUÍMICAS Y REOLÓGICAS DE MASAS Y HARINAS DE MAÍZ NIXTAMALIZADO*. Guanajuato: Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del IPN.
- Boucher, F. (1995). Agroindustria rural recursos tecnicos y alimentación. En F. Boucher, *Agroindustria rural recursos tecnicos y alimentación* (págs. 75-77). canada: Instituto interamericano de cooperación para la agricultura.
- Castillo, V. (2009). *Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grano de maíz (Zea maysL.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal*. Querétaro,México: Instituto Tecnológico de Durango.
- Escalante-Aburto, A. (2013). *LA NIXTAMALIZACIÓN Y SU EFECTO EN EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS DE MAÍCES PIGMENTADOS, UNA REVISIÓN*. Sonora: Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora.
- Gasca-Mancera, J. (2007). ADICIÓN DE HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO A MASA FRESCA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO. EFECTO EN LAS PROPIEDADES TEXTURALES DE MASA Y TORTILLA. *Revista Mexicana de Ingeniería Química, vol. 6*, 318.
- González-Cossio, F. (2010). *Nuevas tendencias científicas y tecnologicas en el colegio de postgraduados*. México: CANIEM.
- Herrera-Cabrera, B. (2004). *DIVERSIDAD DEL MAÍZ CHALQUEÑO*. Puebla: Campus Puebla. Colegio de Postgraduados.
- Hipp, A. (2004). *El maíz por dentro y por fuera*. New York: Buenas letras.
- NMX-AA-004-SCFI-2013 ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE SÓLIDOSSEDIMENTABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. (2013). México: SECRETARÍA DE ECONOMIA.
- NMX-AA-034-SCFI-2015 ANÁLISIS DE AGUA - MEDICIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA . (2015). México: SECRETARÍA DE ECONOMIA.
- NMX-AA-036-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE ACIDEZ Y ALCALINIDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. (2001). México: SECRETARÍA DE ECONOMIA .
- NMX-AA-072-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. (2001). MÉXICO: SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

NMX-F-066-S-1978. *DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN ALIMENTOS*. (1978). México: SECRETARIA DE ECONOMIA.

NMX-F-317-S-1978. *DETERMINACIÓN DE pH EN ALIMENTOS*. (1978). México: SECRETARÍA DE ECONOMIA.

NMX-FF-034/1-SCFI-2002 *Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - cereales – parte i: maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado – especificaciones y métodos de prueba*. (2002). México: Secretaria de Economía.

Paredes-López, O. (2009). *La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz*. Aguascalientes.: Instituto Politécnico Nacional.

Postgraduados, C. d. (14 de Marzo de 2017). *colposcordoba.com*. Recuperado el 14 de Marzo de 2017, de colposcordoba.com: <http://www.colposcordoba.com/index.php/es/>

Reyes-Vidal, M. Y. (2012). *Investigación, desarrollo tecnológico e innovación para el cuidado y reuso del agua*. Coordinación de Ciencia de los Alimentos, CIAD.