



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA APLICADA  
Y TECNOLOGÍA AVANZADA, UNIDAD LEGARIA**

**Efecto de la temperatura y tiempo de ozonización en la  
despigmentación del grano de maíz nixtamalizado.**

**TESIS**

**Para obtener el grado de**

**Maestro en Tecnología Avanzada**

**Presenta**

**Ing. Ignacio Hernández Osorio**

**Director**

**Dr. José Luis Fernández Muñoz**

México D. F., diciembre de 2007



# INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

## ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 11:00 horas del día 23 del mes de Octubre del 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA-LEG para examinar la tesis de titulada: "Efecto de la temperatura y tiempo de ozonización en la despigmentación del grano de maíz nixtamalizado"

Presentada por el alumno:

Hernández  
Apellido paterno

Osorio  
materno

Ignacio  
nombre(s)

Con registro: 

A	0	5	0	1	8	8
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de: Maestría en Tecnología Avanzada

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISION REVISORA

Director de tesis  
  
Dr. José Luis Fernández Muñoz

Dr. Eduardo San Martín Martínez

Dr. José Antonio Calderón Arenas

Dr. Alfredo Cruz Orea

Dr. Sergio A. Tomás Velázquez

### EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. José Antonio Irán Díaz  
CENTRO DE INVESTIGACION EN CIENCIA  
APLICADA Y TECNOLOGIA AVANZADA  
DEL IPN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESION DE DERECHOS**

En la Ciudad de México D.F el día 3 del mes Diciembre del año 2007, el (la) que suscribe **Ing. Ignacio Hernández Osorio** alumno (a) del Programa de **Maestría en Tecnología Avanzada** con número de registro A050188, adscrito a **CICATA LEGARIA**, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de **Dr. José Luis Fernández Muñoz** y cede los derechos del trabajo titulado **Efecto de la temperatura y tiempo de ozonización en la despigmentación del grano de maíz nixtamalizado**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección ignacio\_hernandezosorio@yahoo.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



Ignacio Hernández Osorio

Nombre y firma

## AGRADECIMIENTOS

Antes que a nadie quiero dar gracias a Dios por haberme permitido vivir, para disfrutar de la vida que es muy bella.

Agradezco infinitamente a mis padres, por regalarme la vida, por brindarme su apoyo y su confianza, ya que si no hubiese sido por ellos, quizá no habría escrito estas letras.

A mis hermanos, por haberme dado el ejemplo desde niño de ir a la escuela, apoyarme en momentos difíciles de mi vida y por compartir parte de su tiempo y alegría conmigo.

Al doctor José Luis Fernández por haberme apoyado con todos los recursos para realizar este trabajo y por brindarme su amistad.

Al doctor San Martín por ayudarme en las diferentes pruebas y experimentos.

A mis compañeros del CICATA, Gustavo, Cristina, Pescador, Rubén, Delfino, Daniel, Gruintal, Manuel, Hyde, Juan Carlos, Hernán, Alejandro y los que me faltaron en esta lista, les agradezco por brindarme su amistad.

A los compañeros del laboratorio, Miguel Aguilar, María Eugenia, Georgina, Noé, Ismael, Genaro, Lesli, Orlando, Lupita, Mónica Jaime por haberme enseñado y regalado su amistad.

Al señor Miguel López, la señora Juanita, Ramón por ayudarme en cuestiones técnicas.

A Refugio y Mónica Centeno por haberme ayudado a realizar algunas pruebas de laboratorio.

Al doctor Antonio Calderón, Lety Cardona, Laurita y Pablo por ayudarme en todos los trámites escolares y becas.

# ÍNDICE

## Capítulo 1

1.1	Introducción.....	1
1.2	Antecedentes.....	3
1.2.1	Historia del ozono.....	4
1.2.2	Propiedades del ozono.....	5
1.2.2.1	Propiedades físicas.....	5
1.2.2.2	Propiedades químicas.....	5
1.2.3	Formas de producción de ozono.....	6
1.2.4	Descripción de un generador básico de ozono.....	8
1.2.5	Preparación de aire.....	10
1.2.6	Solubilidad del ozono.....	11
1.2.7	Difusión del ozono en el agua.....	11
1.2.7.1	Difusores de burbuja.....	11
1.2.7.2	Ventajas.....	12
1.2.7.3	Desventajas.....	12
1.2.7.4	Inyectores de alta eficiencia.....	12
1.2.7.5	Ventajas.....	13
1.2.7.6	Desventajas.....	13
1.2.8	Aplicaciones del ozono.....	13
1.2.8.1	Tratamiento de agua.....	13
1.2.8.1.1	Potabilización de agua.....	14
1.2.8.1.2	Agua de albercas.....	15
1.2.8.2	Conservación de alimentos en cámaras frigoríficas.....	16
1.2.8.3	Conservación de productos cárnicos.....	17
1.2.8.3.1	Embutidos.....	17

1.2.8.3.2	Jamones.....	18
1.2.8.3.3	Pescado.....	18
1.2.8.4	Frutas.....	18
1.2.8.4.1	Manzanas.....	18
1.2.8.4.2	Naranjas.....	18
1.2.8.4.3	Melocotones.....	19
1.2.8.4.4	Plátanos.....	19
1.2.8.4.5	Melones.....	19
1.2.8.4.6	Fruta pequeña.....	19
1.2.8.5	Vegetales.....	20
1.2.8.5.1	Tomates.....	20
1.2.8.5.2	Otros vegetales.....	20
1.2.8.6	Huevos.....	20
1.2.8.7	Uso industrial.....	20
1.2.8.8	Uso médico.....	21
1.2.8.8.1	Ozonoterapia.....	21
1.2.8.8.2	Otros usos en medicina.....	21
1.3	Problema de investigación.....	22
1.4	Justificación.....	22
1.5	Problema a resolver.....	22
1.6	Hipótesis.....	22
1.7	Objetivos.....	22
1.7.1	Objetivo general.....	22
1.7.2	Objetivos particulares.....	23

## Capítulo 2

2.1	Materiales y métodos.....	24
2.1.1	Preparación de muestras.....	24
2.1.2	Variables de nixtamalización.....	24
2.1.3	Nixtamalización.....	24
2.1.4	Ozonización.....	26
2.1.5	Molienda.....	27
2.1.6	Medición de humedad.....	27
2.1.7	Medición de granulometría.....	27
2.1.8	Medición de viscosidad RVA.....	28
2.1.9	Prueba de infrarrojo.....	28
2.1.10	Medición de color.....	28
2.2	Técnicas de caracterización.....	28
2.2.1	Granulometría.....	28
2.2.2	Determinación de humedad.....	29
2.2.3	Color.....	29
2.2.4	Viscosidad.....	30
2.2.5	Espectroscopía infrarroja.....	31
2.2.6	Dióxido de Titanio.....	33
2.2.6.1	Fundamento.....	33

## Capítulo 3

3.1	Resultados y discusión.....	34
3.1.1	Gráficas de color para maíz nixtamalizado con ozono.....	34
3.1.1.1	Claridad (L).....	38
3.1.1.2	Cromaticidad (b).....	43

3.1.2	Dióxido de Titanio.....	55
3.1.3	Diferencia de color de harinas nixtamalizadas con tiempo de ozonización respecto a Minsa y Maseca	56
3.1.4	Gráficas de viscosidades para maíz nixtamalizado con ozono.....	64
3.1.5	Muestras analizadas con infrarrojo.....	65
3.2	Molino de nixtamal.....	74
3.2.1	Características de acero.....	78

#### **Capítulo 4**

4.1	Conclusiones.....	79
4.2	Recomendaciones.....	80
4.3	Bibliografía.....	81



## ÍNDICE DE FIGURAS

Número de Figura		Pág.
Figura 2.1	Generador de ozono.....	26
Figura 2.2	Diagrama Hunter.....	30
Figura 3.1	Pericarpio de maíz nixtamalizado en función del tiempo de ozonización.....	34
Figura 3.2	Muestra los parámetros L y b del pericarpio de maíz nixtamalizado en función del tiempo de ozonización	35
Figura 3.3	Harina de maíz nixtamalizado con 60 minutos de ozonización, muestras control	37
Figura 3.4	Se muestra el parámetro L de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 60 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra	38
Figura 3.5	Harina de maíz nixtamalizado con 90 minutos de ozonización, muestras control	40
Figura 3.6	Se muestra el parámetro L de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 90 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra	41
Figura 3.7	Harina de maíz nixtamalizado con 120 minutos de ozonización, muestras control	42
Figura 3.8	Se muestra el parámetro L de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 120 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra	43
Figura 3.9	Se muestra el parámetro b de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 120 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra	44
Figura 3.10	Se muestra el parámetro b de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 120 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra	45
Figura 3.11	Se muestra el parámetro b de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 120 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra	46

Figura 3.12	Se muestra el parámetro L de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 40 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g)	47
Figura 3.13	Se muestra el parámetro L de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 60 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).	48
Figura 3.14	Se muestra el parámetro L de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 80 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).	49
Figura 3.15	Se muestra el parámetro L de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 100 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).	50
Figura 3.16	Se muestra el parámetro b de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 40 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).	51
Figura 3.17	Se muestra el parámetro L de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 60 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).	52
Figura 3.18	Se muestra el parámetro b de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 80 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).	53
Figura 3.19	Se muestra el parámetro b de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 100 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).	54
Figura 3.20	Se muestra el parámetro L de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 60 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra.	55
Figura 3.21	Se muestra el parámetro b de las muestras control (minsa y Maseca) y harina de maíz nixtamalizado con Dióxido de Titanio.	56
Figura 3.22	Se muestra la distribución de tamaño de partícula de las muestras control...	59
Figura 3.23	Se muestra la distribución de tamaño de partícula de las muestras de harina de maíz nixtamalizado en función del número de malla para 60 min de ozonización y diferentes cantidades de muestra.	60
Figura 3.24	Se muestra la distribución de tamaño de partícula de las muestras de harina de maíz nixtamalizado en función del número de malla para 90 min de ozonización y diferentes cantidades de muestra.	61

Figura 3.25	Se muestra la distribución de tamaño de partícula de las muestras de harina de maíz nixtamalizado en función del número de malla para 120 min de ozonización y diferentes cantidades de muestra.	62
Figura 3.26	Viscosidades de maíz nixtamalizado con ozono.....	64
Figura 3.27	Muestra de harina de maíz Maseca analizada con IR.....	65
Figura 3.28	Muestra de harina de 50 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 60 minutos, analizada con IR.	66
Figura 3.29	Muestra de harina de 100 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 60 minutos, analizada con IR.	67
Figura 3.30	Muestra de harina de 150 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 60 minutos, analizada con IR.	68
Figura 3.31	Muestra de harina de 50 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 90 minutos, analizada con IR.	69
Figura 3.32	Muestra de harina de 100 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 90 minutos, analizada con IR.	70
Figura 3.33	Muestra de harina de 150 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 90 minutos, analizada con IR.	71
Figura 3.34	Muestra de harina de 50 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 120 minutos, analizada con IR.	72
Figura 3.35	Muestra de harina de 100 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 120 minutos, analizada con IR.	73
Figura 3.36	Muestra de harina de 150 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 120 minutos, analizada con IR.	74
Figura 3.37	Discos de acero para moler maíz nixtamalizado.....	75
Figura 3.38	Vistas isométricas del un disco para molino de maíz nixtamalizado.....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

Número de Tabla		Pág.
Tabla 1.1	Métodos para el tratamiento de agua.....	15
Tabla 2.1	Dióxido de titanio.....	33
Tabla 3.1	Valores de color para Maseca y Minsa.....	57
Tabla 3.2	Tiempo de ozonización y $\Delta E$ para Maseca y Minsa.....	58

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

FDA - Food and Drug Administration (Administración de Drogas y Alimentos).

g – Gramos.

P.P.M. – Partes por millón.

USP – United States Pharmacopeia (Farmacopea de Estados Unidos). Establece los estándares que se aplican a los medicamentos y suplementos dietéticos de calidad en todo el mundo.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Nixtamalización:** Es el proceso que se realiza al cocer granos de maíz en agua que contiene cal (hidróxido de calcio). Después que el nixtamal es cocido en la forma tradicional, en el líquido de crecimiento queda parte del pericarpio y del germen que se pierde en el lavado. Luego del lavado el nixtamal es molido y convertido en masa fresca con la que se elaboran tortillas o se procesan harinas que pueden ser hidratadas nuevamente para la producción de tortillas y sus derivados.

**Tiempo de cocimiento:** Es el tiempo necesario que debe permanecer el maíz nativo en cocimiento en medio alcalino  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  para facilitar el desprendimiento manual del pericarpio.

**Tiempo de reposo:** Etapa que sigue a la cocción y puede variar de 0 a 24 horas para la hidratación final del grano de maíz en el agua de cocción.

**Cromóforos:** Moléculas que se encargan de color.

**Psicrófilos:** Microorganismos capaces de crecer a temperaturas bajas, cercanas a los 0 °C o incluso menores. Su temperatura óptima está entre los 15 y 18 °C.

**Organoléptico:** Hace referencia a que se puede percibir con los sentidos, las propiedades organolépticas son aquellas que se perciben a través de los cinco sentidos: vista, olfato, gusto, tacto y oído. Si bien el oído no suele ser una propiedad a considerar con las sustancias, el resto sí. En ocasiones se agrupan propiedades: el sabor es una combinación del gusto y el olfato y el aspecto una combinación de la vista y el tacto.

**Higrométrico:** Dicho de un cuerpo cuyas condiciones varían sensiblemente con el cambio de humedad de la atmósfera.

**Contaminación fúngica:** Contaminación realizada por hongos.

**Adsorción:** Es la concentración de un soluto en la superficie de un sólido, cual tiene lugar cuando se coloca dicha superficie en contacto con una solución, de tal forma que la adsorción ocurre cuando una capa de moléculas de soluto se acumula en la superficie del sólido debido al

desequilibrio de las fuerzas de Van der Waals, en donde el sólido se denomina adsorbente y el soluto a adsorber se denomina adsorbato.

**Fuerzas de Van der Waals:** Son fuerzas de estabilización molecular; forman un enlace químico no covalente en el que participan dos tipos de fuerzas o interacciones, las fuerzas de dispersión (que son fuerzas de atracción) y las fuerzas de repulsión entre las capas electrónicas de 2 átomos contiguos.

**Cloroformo:** El cloroformo, triclorometano o tricloruro de metilo, de fórmula química  $\text{CHCl}_3$ . Derivado del metano por sustitución de tres átomos de hidrógeno por tres de cloro y oxígenos en el tercer y cuarto carbono en las uniones con no metales o sustancias covalentes. A temperatura ambiente, es un líquido volátil altamente inflamable, transparente, de olor característico a cítricos y sabor dulce.

**Urea:** Es un compuesto químico cristalino, incoloro, de fórmula  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , con un punto de fusión de  $132,7^\circ\text{C}$ . Se encuentra abundantemente en la orina. Es el principal producto terminal del metabolismo protéico en el hombre y en los mamíferos, y es excretada en grandes cantidades por la orina.

**Aminas:** Son compuestos químicos orgánicos que se consideran como derivados del amoníaco y resultan de la sustitución de los hidrógenos de la molécula por los radicales alquilo. Según se sustituyan uno, dos o tres hidrógenos, las aminas serán primarias, secundarias o terciarias, respectivamente.

**IMECA:** El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) es un valor de referencia para que la población conozca los niveles de contaminación prevalecientes en su zona de residencia, de manera precisa y oportuna, para que tome las medidas pertinentes de protección.

**Metánico:** Referente al metano.

**Ozonización u ozonificación:** Aplicación de ozono.

## RESUMEN

Este trabajo fue realizado para obtener mejores características en el color de harina de maíz nixtamalizado, ya que en la actualidad la mayoría de la gente consumidora de tortilla de maíz opta por adquirir tortillas cada vez más blancas. Lo anterior lleva a las empresas productoras de maíz nixtamalizado a utilizar productos químicos, tales como bióxido de titanio, el cual con el paso del tiempo tiene efectos cancerígenos.

En esta investigación, se utilizó ozono como agente reductor de color amarillo, el cual es ampliamente utilizado en la industria alimenticia para purificar agua, eliminar bacterias y de esta forma ayudar a los alimentos a conservarse por más tiempo en mejor estado. El ozono también es utilizado para eliminar color en la industria textil; así mismo es utilizado en la medicina para ayudar en el blanqueamientos de partes dentales.

Para el desarrollo experimental, se utilizó un generador de ozono. El ozono se aplicó a las muestras después de realizar la nixtamalización. A las muestras se les realizaron pruebas de granulometría, viscosidad RVA, análisis de IR y de color.

En el proceso de molienda del maíz, se observó que existía un problema en el tamaño de partícula, por lo tanto se ayudó a mejorar este proceso diseñando un nuevo modelo de discos para moler granos de maíz.

## ABSTRACT

This work was carried out to obtain better characteristics in the color of flour in nixtamalized corn, at the present time most of people consume white tortillas. The above-mentioned takes to the companies producers of corn nixtamalized to use chemical products, such as titanium dioxide, which has cancerigenic effects with the step of the time.

In this investigation, ozone was used like agent reducer of yellow color, which is broadly used in the nutritious industry to purify water, to eliminate bacteriums and this way to help to the foods to be conserved by more time in better state. The ozone is also used to eliminate color in the textile industry; likewise it is used in the medicine to help in the white teeth.

For the experimental development, a generator of ozone was used. The ozone was applied to the samples after carrying out the nixtamalization. To the samples they were carried out tests of grain, viscosity RVA, analysis of IR and of color.

In the process of mill of the corn, it was observed that a problem existed in the particle size, therefore it was helped to improve this process designing a new model of disks to mill grains of corn.



# CAPÍTULO 1

## 1.1 INTRODUCCIÓN

---

Gracias a sus propiedades oxidativas, el ozono se emplea en muy diversos ámbitos que van desde el uso industrial hasta su utilización en la medicina para tratamiento directo de enfermedades (Vega Santos P. La tecnología del ozono como alternativa de uso en el tratamiento del agua, 1998).

Existen diferentes métodos para la eliminación de color, como es el caso de los textiles y específicamente el de lana. La luz azul destruye los cromóforos del color amarillo que absorbe en esta región, teniendo como resultado un mejoramiento en la blancura. La longitud de onda más adecuada se encuentra entre los 400-500nm de acuerdo con el trabajo publicado por Millington K. Coloration Technology 2006.

Otro método para aclarar el color en textiles es la utilización de ozono, este se aplica en un sistema acuoso con  $12.8 \pm 0.3$  mg/min de ozono como gas a 400 ml/min de agua (Aksel H. Coloration Technology 2006). Los resultados publicados indican que un minuto de ozonificación es adecuado para alcanzar buenos efectos de decoloración, comparado con los procedimientos tradicionales para eliminación de color como es el caso de peróxido de hidrógeno.

Una ventaja de utilización de ozono es el ahorro de energía y el tiempo de realización de un proceso, así como la ayuda al medio ambiente mediante la disminución de productos químicos arrojados a este (Aksel H. Coloration Technology 2006).

La combinación de carbón activado con ozono aumenta la decoloración de soluciones y especialmente la mineralización de materia orgánica. El carbón activado actúa como un adsorbente y como un catalizador en la reacción de ozonificación o ozonización. También la ozonificación causa la descomposición muy estructurada en moléculas de colorantes ó pigmentos, es decir atacando los cromóforos de cuerdo con el trabajo de Faria P. Water Research 2005.

La aplicación del ozono en la industria alimentaría se puede enfocar desde varios puntos de vista, el primero para eliminar los microorganismos de un ambiente donde se guardan los productos perecederos, otro para desinfectar y en algunos casos purificar los productos que la industria produce.

Existen un tipo de industrias en las que es muy importante lograr la plena esterilización de todo el proceso a que está sometido el producto. Puede ser necesaria además de la

eliminación de los malos olores producidos, evitando así las molestias al personal que manipula dichos productos.

Nos encontramos con todo tipo de industrias en las que no es necesaria la esterilización del proceso, pero sin embargo pueden crearse emanaciones peligrosas producidas por sustancias intermedias en la fabricación, por lo que es muy importante eliminarlas. Un método seguro y económico sería el empleo de ozono. Es de recalcar la gran importancia que tiene el uso del ozono en la industria alimentaria, ya que evita la proliferación de bacterias o microorganismos, y mohos y por lo tanto la alteración del producto final según el trabajo publicado por Nagy, R. *Advances in Chemistry* vol. 21.

## **1.2 ANTECEDENTES**

El Ozono ( $O_3$ ), es una molécula compuesta por tres átomos de Oxígeno, formada al disociarse los 2 átomos que componen el gas de Oxígeno. Cada átomo (O) liberado se une a otra molécula de Oxígeno ( $O_2$ ), formando moléculas de Ozono ( $O_3$ ), con una carga eléctrica negativa. La molécula de ozono es muy inestable y tiene una corta vida media.

A temperatura y presión ambientales el ozono es un gas de olor acre e incoloro, que en grandes concentraciones puede volverse azulado. Si se respira en grandes cantidades, es tóxico.

Para poder comprender mejor la relación existente entre nuestro mundo y el Ozono, se ha establecido para la presente tesis, una clasificación del Ozono, la cual se describe a continuación.

- a) **Ozono atmosférico.-** Es el Ozono gaseoso que se encuentra en la capa atmosférica conocida como la Estratósfera, donde el Ozono ejerce una función de filtro de los excesos de radiación ultravioleta proveniente del Sol, con lo que se protege a la tierra de dicha radiación. Este tipo de ozono es generado mediante mecanismos naturales en los cuales el oxígeno, que alcanza elevadas alturas, se convierte en ozono gracias a la acción de la radiación ultravioleta.
- b) **Ozono contaminante.-** Es el ozono que se sitúa en la capa atmosférica más cerca a la superficie terrestre (llamada Tropósfera o Biósfera) y que genera efectos perjudiciales entre la población, la flora y las construcciones. La concentración de este gas es reportada mediante los índices de contaminación, los cuales son conocidos en nuestro país como los IMECAS. Este tipo de ozono es generado mediante reacciones fotoquímicas que se llevan a cabo entre los hidrocarburos no metánicos y óxidos de nitrógeno en presencia de luz. La mayor parte de los precursores del ozono provienen del uso de hidrocarburos.
- c) **Ozono químico:** Se llama ozono químico, aquel que se produce por medio de equipos y sistemas destinados específicamente a su generación, esto con la finalidad de ser empleado en procesos industriales, de investigación, tratamientos médicos y/o del agua. A diferencia de los dos tipos mencionados en los párrafos anteriores, la producción de ozono es controlada de tal manera que no llegue a niveles nocivos, además que el periodo de vida de este tipo de ozono no rebasa los 20 minutos a temperatura ambiente. Otra característica de este género de ozono es que gracias a su pureza, su poder de oxidación es muy alto. Este ozono, producido artificialmente, es que se utiliza para el tratamiento de maíz, por lo que su naturaleza y aplicación se estudiarán a continuación.

### 1.2.1 HISTORIA DEL OZONO

A continuación se presenta una pequeña cronología de la historia del ozono:

AÑO	EVENTO
1785	Van Mauren informa que el aire cercano a su máquina electrostática adquiere un característico olor cuando la máquina provoca chispas eléctricas.
1801	Cruikshank observa el mismo olor en el ánodo de su equipo durante la electrólisis del agua.
1840	Christian Frederick Schonbein, químico alemán, le da el nombre a esta sustancia que desprende tan característico olor, nombrándola como ozono, palabra proveniente de la raíz griega “ozein” (oler, oloroso).
1856	El ozono es utilizado para desinfectar salas de cirugía.
1857	Werner Von Siemens diseña un generador de ozono que desde entonces ha evolucionado hasta los presentes días, ya que partiendo de un dieléctrico con forma de cilindro, se han obtenido los generadores de ozono más viables, comercialmente, en uso, los cuales son llamados en ocasiones generadores de ozono “Tipo Siemens”.
1893	En Oudshoom, Holanda, se construye la primera planta de tratamiento de agua potable que utiliza ozono durante su proceso, dando como resultado, no sólo la eliminación de virus y bacterias, sino también la remoción de microorganismos causantes de olor y sabor en el agua, al tiempo que oxida la materia orgánica convirtiéndola en CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O.
1906	Año en el cual la planta potabilizadora de agua Bon Voyage inicia operaciones en Nice, Francia, por lo que debido a que se ha utilizado ozono desde un principio, se le hace referencia como el “lugar de nacimiento” de la ozonización para la potabilización de agua”
1940	El ozono es instalado en Whiting, Indiana para el control del sabor y del olor en el agua potable.
1960`s	El ozono fue empleado por primera vez como un agente coagulante y microfloculante.
1970`s	Comienza la aceptación de las instalaciones de ozono en Estados Unidos.
1980`s	Se realizan instalaciones de sistemas de ozono en albercas, balnearios, sistemas de calentamiento, bañeras, etc. El ozono comenzó a ser aceptado como un oxidante comercial en aplicaciones para agua de proceso, sistemas enfriadores y sistemas de calentamiento, ventilación y aire acondicionado (HVAC, Heating,

Ventilating and Air-Conditioning).

1990's Inicia el empleo común del ozono en todas las aplicaciones mencionadas.  
(Vega-Santos P. 1998. Tesis Ingeniería Química).

## 1.2.2 PROPIEDADES DEL OZONO

### 1.2.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

El ozono es un compuesto químico formado naturalmente en la atmósfera, el cual es un gas incoloro a temperatura ambiente y con un olor muy picante, como el olor que se puede percibir después de una tormenta eléctrica.

El umbral de percepción del sentido del olfato para el ozono inicia aproximadamente a 0.01 ppm, presentando un olor desagradable a concentraciones por encima del 0.1 ppm, además de tener un color ligeramente azul a niveles mayores a 5 ppm.

Solo en ausencia de materia orgánica el ozono sigue las leyes de los gases ideales, es decir, de aquellos que no reaccionan. "El coeficiente de distribución" del ozono entre el aire y el agua, es decir, la relación de la concentración del equilibrio del ozono en la fase líquida a la de la fase gaseosa a una temperatura y presión similares, se encuentra entonces próxima a 0.6 a 0 °C y 0.2 a 20 °C. El aumento, ya sea de la presión total del sistema o de la presión parcial del ozono en el aire, aumenta la concentración del ozono en el agua en proporción directa a estas presiones. En presencia de sustancias oxidables, son su naturaleza y concentración en el agua, en vez del coeficiente de distribución, los que gobiernan la cantidad de ozono que puede entrar en solución.

### 1.2.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

Químicamente, el ozono es una molécula triatómica, la cual pertenece a una de las cuatro formas alotrópicas del oxígeno, siendo su símbolo químico  $O_3$ , con un peso molecular de 47.9982 g/g-mol.

El ozono es relativamente estable en el aire, con un vida media de varias horas a bajas concentraciones, pero esta vida media cambia significativamente una vez que el ozono es introducido dentro del agua, donde muchas reacciones químicas pueden suceder, especialmente con átomos de carbono para producir principalmente  $CO_2$ .

Esta forma de tres átomos de oxígeno es relativamente inestable y altamente oxidativa (1.5 veces más que el cloro) siendo el cuarto agente oxidante más agresivo conocido (detrás del  $F_2$ ,  $F_2O$  y radicales libres de oxígeno), por lo que este tipo de moléculas se utiliza como un poderoso oxidante para muchas aplicaciones tanto comerciales como industriales.

El tiempo de vida del ozono en el agua es muy corto, por lo que no se llegan a obtener productos indeseables en las reacciones de oxidación. Las células bacteriales vistas

después de una ozonización, presentan la apariencia de haber explotado, ya que las células ozonizadas dan la apariencia de una mancha de material gelatinoso.

### 1.2.3 FORMAS DE PRODUCCIÓN DE OZONO

De la misma forma en que el ozono es formado naturalmente por las descargas eléctricas durante una tormenta eléctrica, grandes cantidades de ozono son producidas comercialmente en los modernos generadores eléctricos de ozono.

El ozono producido comercialmente destinado a reacciones de oxidación, es siempre generado en forma de gas.

El ozono puede ser formado por los siguientes mecanismos:

- a) Radiación solar.
- b) Electrólisis de ácido Perclórico.
- c) Exposición de oxígeno a la radiación ultravioleta.
- d) Corona de descarga eléctrica (CD).

Siendo los tres últimos métodos normalmente utilizados para la producción de ozono, de los cuales el método de corona de descarga eléctrica (CD) es el único método práctico para la producción a gran escala de ozono, aunque únicamente el 10% de la energía suministrada a un equipo generador de ozono, es utilizado para obtener ozono, mientras que el resto se disipa en forma de calor, luz y ruido.

En el caso de que el ozono sea generado, por ejemplo, por radiación ultravioleta empleando una lámpara de 185 nm, la máxima concentración de ozono obtenida en fase gaseosa es aproximadamente de 0.1% peso.

La producción de ozono mediante CD, es capaz de producir altas concentraciones de ozono. Aunque existen muchos diseños de celdas de generación, el principio de operación es el mismo, ya que mediante el paso de alto voltaje, alternando con descargas eléctricas a través de una corriente de gas que contiene oxígeno, nos provoca la descomposición de las moléculas de Oxígeno en Oxígeno atómico. Algunos de estos átomos liberados, pueden reordenarse de tal forma que se produzca ozono, mientras que el resto vuelve a formar moléculas de oxígeno.

Con el fin de controlar la descarga eléctrica, además de mantener una “corona” o descarga silenciosa en el espacio del gas y evitar tanto como sea posible, arqueo, se forma un espacio dieléctrico o un intervalo de descarga, usando un material dieléctrico como vidrio o cerámica. Un electrodo aterrizado, construido usualmente en acero inoxidable 316L (material que ha demostrado alta resistencia al oxidante ozono) sirve como otra barrera para el espacio descarga. Esto puede ser realizado de muchas maneras, pero la geometría más frecuentemente utilizada es aquella del generador de ozono del tipo cilindro dieléctrico (o tipo Siemens). El cilindro dieléctrico es más eficiente en espacio que otras formas y en consecuencia más económico.

Los electrones son acelerados a través de un intervalo de aire, de tal forma que se le proporciona la suficiente energía para romper el doble enlace oxígeno-oxígeno, produciéndose oxígeno atómico. Los átomos de hidrógenos que fueron producidos por la reacción de colisión, reaccionan con otras moléculas de oxígeno diatómicas, para formar ozono de acuerdo a la siguiente ecuación:



La cantidad de ozono producido es dependiente de varios factores, como son el voltaje y la frecuencia de corriente alterna aplicada a las celdas de CD. Cuando suficientes átomos de alta energía bombardean a las moléculas de gas con el fin de ionizarlas, se emite una luz originada por el plasma gaseoso formado, la cual es comúnmente llamada como “corona”.

La generación de ozono por corona de descarga eléctrica, es una reacción fisico-térmica exotérmica, donde mucha de la energía usada para la generación de ozono es perdida en forma de calor, por lo tanto la eficiencia de enfriamiento es un factor importante en el diseño del generador. Algunos fabricantes señalan al agua como el refrigerante a elegir, en cambio, otros prescriben unidades de aire acondicionado manteniendo temperaturas constantes y reduciendo el contenido de humedad en el aire. Independientemente del sistema que sea empleado, un enfriamiento confiable es esencial para preservar el dieléctrico y optimizar la generación de ozono.

En contraste, cuando el ozono es generado por corona de descarga eléctrica, se observa lo siguiente:

- A) Usando aire ambiental (el aire es aspirado), se obtiene una concentración de ozono en el rango de 0.15 y 1.0% en peso.
- B) Empleando aire seco con un punto de rocío de -45 °C. a -65 °C., se pueden obtener concentraciones entre 1.0 y 3.0% en peso.
- C) Usando oxígeno como gas de alimentación (de cilindros o a partir de un concentrador de O<sub>2</sub>), se logran concentraciones entre 4.0 y 8.0% de peso.

Aunque naturalmente resulta más barato el aire ambiental para la generación de ozono, su empleo presenta algunos inconvenientes, ya que el aire ambiental contiene humedad y una concentración arriba del 80% de nitrógeno los cuales, si se permiten residuos en el gas de alimentación durante la generación de ozono, pueden generar los siguientes problemas:

1. Reacciones con el ozono, lo que reduce la producción de ozono por Kw-hr de energía eléctrica aplicada.
2. Formación de ácido nítrico y/u óxidos nítricos (los cuales pueden crear olores desagradables), dando como resultado severa corrosión de algunos componentes del generador como equipos conductores de flujo o partes eléctricas y electrónicas localizadas en las áreas de descarga.

Por estas razones se recomienda emplear preferentemente aire seco u oxígeno como gas de alimentación, sin embargo, aunque el uso de oxígeno como gas de alimentación en

lugar de aire ambiental produce el doble o triple cantidad de ozono por Kw-hr, las altas concentraciones de ozono obtenidas, tienen poco valor fuera del tratamiento de aguas residuales industriales altamente contaminadas.

La destrucción de ozono mediante descomposición, se incrementa conforme la temperatura del ozono gaseoso y la concentración de ozono aumenta. Por esta razón, la mayoría de los diseños de generadores de ozono son limitados por el volumen de agua de enfriamiento que pueda suministrarse conforme a los incrementos de temperatura. Los diseños de generadores en los cuales el agua de enfriamiento está en contacto directo con los tubos dieléctricos, toleran más altas temperaturas en el agua de enfriamiento.

Desde su producción el ozono es altamente reactivo, siendo su vida media corta, por lo que se dificulta su almacenamiento y su transporte. Como consecuencia el ozono es siempre generado en el mismo sitio de la aplicación para su inmediato uso.

#### 1.2.4 DESCRIPCIÓN DE UN GENERADOR BASICO DE OZONO

La generación de ozono, es lograda por el paso de una corriente alterna con alto voltaje (6 a 20 KV) a través de un espacio de descarga de un dieléctrico, en el cual se inyecta aire. Como el aire es expuesto a la electricidad, las moléculas de oxígeno se disocian y forman átomos simples de oxígeno, algunos de los cuales se combinan con otras moléculas de oxígeno y forman ozono. Diferentes fabricantes tienen su propio diseño de componentes para generadores de ozono. Existen dos diferentes configuraciones dieléctricas, en placas planas y tubos concéntricos, ya que tal configuración ofrece la mayor facilidad para el mejoramiento.

Cuando una corriente de gas limpia, seca y rica en oxígeno se alimenta al generador de ozono y se emplea un eficiente sistema para remover el calor, entonces la producción de ozono es gobernada por la siguiente relación según RGF Environmental System:

$$V = K1 * P * G * (Y/A) = K2 * (F * E * V^2) / D$$

Donde:

V.- Voltaje que cruza el espacio de descarga.

P.- Presión del gas en el espacio de descarga.

G.- Ancho del espacio de descarga.

F.- Frecuencia del voltaje aplicado.

E.- Constante dieléctrica.

D.- espesor del cuerpo dieléctrico.

K1.K2.- Constantes.



(Y/a).- Rendimiento de ozono en la superficie del electrodo por unidad de área.

Para optimizar el rendimiento de ozono, deben de prevalecer las siguientes condiciones:

- a) La relación presión/espacio debe ser establecida de tal manera que el voltaje se aplique a bajos niveles, manteniendo una presión de operación razonable (alrededor de 10 a 15 psig. para la mayoría de las aplicaciones).
- b) Se debe usar un material dieléctrico delgado y con una alta constante dieléctrica. El único material práctico con estas propiedades es alguna variedad de vidrio.
- c) Es necesario emplear alguna corriente alterna(A.C.) con una alta frecuencia, ya que esto resulta ser menos dañino para el cuerpo dieléctrico e incrementa el rendimiento de ozono.
- d) La disipación de calor debe ser lo más eficiente que sea posible, ya que la descomposición del ozono es proporcional con la temperatura.

El voltaje requerido para una eficiente generación de ozono es dependiente de la frecuencia suministrada a las celdas de generación y al espacio entre el electrodo activo y el aislador eléctrico.

Los generadores de ozono de baja frecuencia (50 ó 60 Hz) son generalmente bastante silenciosos y viables, sin embargo, los diseños más modernos utilizan una frecuencia media arriba de 1 000 Hz, ofreciendo muchas ventajas técnicas y operacionales.

El diseño apropiado de generadores de ozono de media frecuencia son ahora favorecidos como aquellos que proporcionan muchos beneficios sobre la vieja tecnología de baja frecuencia. Algunos de los beneficios de este tipo de generadores de ozono incluyen:

- Se obtienen grandes volúmenes de ozono con menor área superficial de electrodo. En consecuencia, para obtener un rendimiento dado de ozono, el equipo es significativamente más pequeño.
- Cuando se diseñan correctamente, la energía consumida por kilogramo de ozono es menor.
- Utilizando fuentes modernas de poder, la eficiencia del generador puede ser manipulado a través de la variación de frecuencia, tipo de corriente, voltaje, etc.
- No es necesario el empleo de grandes equipos generadores de ozono y la producción está muy apegada a las variaciones de frecuencia. Usando ambos, control de frecuencia y de voltaje, se puede regular con exactitud la producción de ozono desde una concentración mínima hasta la máxima según la capacidad del equipo.

Un sistema típico de producción de ozono por Corona de Descarga Eléctrica, consiste de cuatro componentes fundamentales:

- 1.- Unidad de preparación de aire o producción de oxígeno.
- 2.- Generador de descarga de corona.

3.- Difusor de ozono.

4.- Sistema destructor de ozono residual.

### 1.2.5 PREPARACIÓN DE AIRE

La preparación del aire es crítica para la eficiencia y confiable operación de los generadores de ozono vía CD. La humedad y las partículas de materia tienen un efecto perjudicial en los electrodos de las celdas de generación y sobre el material dieléctrico, además de que un aire seco es crítico para la exitosa generación de ozono.

La humedad del aire en el generador de ozono, puede causar la formación de ácido nítrico, el cual disminuye la producción de ozono, además de causar corrosión en los componentes de las celdas de generación.

Si está presente aire húmedo en el equipo, pueden ser vistas chispas blancas o arqueado dentro del generador.

Para un eficiente generación de ozono, la alimentación final de aire debe ser filtrado para remover partículas de sustancias y cualquier hidrocarburo que pueden ser transportados del sistema de aire comprimido. Los generadores de ozono son instalados frecuentemente en los cuartos de control de la planta, los cuales resultan ser moderadamente calientes y húmedos, sin embargo, muchos de estos lugares han experimentado condiciones ambientales de alta temperatura y humedad, por lo que resulta necesario evaluar la posibilidad de colocar dispositivos adicionales al sistema de preparación de aire, tales como sistemas deshumidificadores de alta eficiencia o la instalación de sistemas reguladores de temperatura del sitio en donde se encuentre el equipo generador de ozono.

Un sistema de presión para la alimentación al sistema, es mucho más recomendable que los secadores de presión atmosférica, ya que aquellos son más capaces de proveer puntualmente con las necesidades de calidad de aire bajo todas las condiciones climáticas normales.

El oxígeno puede ser utilizado como gas de alimentación del generador de ozono, además de ser conveniente para los casos en los que se requiere producir una alta concentración de ozono. Las ventajas específicas de utilizar oxígeno incluyen reducciones considerables en el consumo de energía para generar ozono, esto comparándose cuando el aire es alimentado al generador (típicamente 6-7 Kw/Kg comparándolos con 18-20 Kw/Kg).

Si se emplea oxígeno por razones económicas, el oxígeno convertido en ozono es reciclado, una vez seco, al proceso. A causa de los requerimientos de costos y de operación necesarios para estos sistemas de recuperación de oxígeno, la mayoría de las aplicaciones utilizan aire como gas de alimentación.

## 1.2.6 SOLUBILIDAD DEL OZONO

El ozono es parcialmente soluble en agua, por eso la concentración de ozono en la corriente del generador se vuelve en un factor muy importante en el tratamiento del agua.

De acuerdo con la ley de Henry, la eficiencia de disolución de un gas específico en una fase acuosa está basada en la presión parcial del gas en particular en el flujo total del gas, así como en la temperatura de ésta. En consecuencia, a mayor concentración de ozono en la corriente del generador, se logra una mayor transferencia de ozono en el agua.

Como es de esperarse, la solubilidad del ozono decrece conforme se incrementa la temperatura del agua. Sin embargo, como una consecuencia de la ley de Henry, la solubilidad del ozono se incrementa con los incrementos de la concentración de ozono en la corriente gaseosa. En aplicaciones prácticas, el ozono no tiene el suficiente tiempo de contacto para alcanzar las condiciones de equilibrio.

## 1.2.7 DIFUSIÓN DEL OZONO EN EL AGUA

Considerando la relativa baja concentración de ozono producido en la corriente del generador, junto con la limitada solubilidad del ozono gaseoso, el método de difusión del ozono en el agua es de gran importancia. Comúnmente se utilizan difusores de burbuja fina e inyectores de alta eficiencia, ambos resultan prácticos, efectivos y económicos. Cada sistema tiene sus ventajas y desventajas, por eso la selección esta basada en los requerimientos y atributos de cada aplicación.

### 1.2.7.1 DIFUSORES DE BURBUJA

Los sistemas difusores de burbuja fina y tanques de contacto son muy usados debido a su habilidad para operar sin energía adicional, aparte de la compresión inicial del gas. Los requerimientos de tecnología y los diseños son ahora bien probados y comprendidos, con muchos años de funcionamiento demostrado, en consecuencia el escalamiento desde las evaluaciones teóricas o en plantas piloto no son complicadas.

Con este sistema, el ozono gaseoso es normalmente descargado desde el generador de ozono a una presión de 0.7 – 1.0 Bar, lo cual es suficiente para vencer la presión hidrostática, más la caída de presión causada por la tubería de distribución y del difusor. El sistema de difusión puede también ser usado con generadores de ozono que operan con presiones negativas, utilizando compresores de acero inoxidable de anillo líquido para inyectar el ozono presionado.

Algunas de las ventajas y desventajas de este tipo de sistema de difusión de burbuja son resumidas a continuación:

### 1.2.7.2 VENTAJAS

- Los requerimientos de mantenimiento son mínimos, además de que no se emplean partes móviles.
- Se alcanzan altas eficiencias (>90%), no obstante esto requiere de múltiples puntos de inyección, profundas cámaras de contacto y frecuentemente reciclado de gas residual. Las eficiencias elevadas de difusión no se alcanzan normalmente con tanques de contacto de paso sencillo o de doble etapa.
- El escalamiento es fácilmente alcanzado, debido al buen establecimiento de los criterios de diseño de este método.
- El sistema puede ser diseñado para permitir bajas celdas de presión hidráulicas a través de los tanques.

#### 1.2.7.3 DESVENTAJAS

- El método de difusión requiere de profundos tanques de contacto para la efectiva transferencia de ozono (5-7 metros).
- La obstrucción de los difusores es posible, particularmente cuando el flujo de agua y las dosis de ozono son intermitentes, o cuando se desea la oxidación de hierro (Fe) y manganeso (Mn).
- Es posible la formación de canalizamiento vertical de las burbujas, lo que representa un efecto negativo en el contacto gas/líquido.

#### 1.2.7.4 INYECTORES DE ALTA EFICIENCIA

Cuando son diseñados correctamente, este método de inyección puede proporcionar altas eficiencias de difusión (>95%), no obstante requiere de energía adicional para producir un vacío parcial. La selección de los inyectores y su diseño son importantes para alcanzar el máximo de eficiencia con un mínimo de energía.

Este tipo de sistemas de inyección son usados a través del mundo en aplicaciones de ozonización pequeñas y grandes, no obstante, su uso es ciertamente más común en aplicaciones de tamaño pequeñas y medianas.

Con esta técnica, una corriente lateral de agua se forma normalmente del flujo principal de la planta, donde la presión se incrementa para alimentar a un inyector de vacío. Esto implica que el agua fluye rápidamente a través de un pequeño orificio, cuando un efecto de venturi (vacío parcial), que extrae el gas desde el generador de ozono dentro de la corriente de agua. Cuando el diseño es el correcto esto proporciona eficiencias realmente efectivas. La corriente lateral ozonizada se inyecta directamente a la corriente principal de flujo de la planta, normalmente por medio de un dispositivo mezclador estático de baja caída de presión. Como alternativa, esta corriente lateral de agua ozonizada puede ser inyectada dentro de un tanque desgasificador/contactador el cual opera en condiciones atmosféricas de presión.

Con este diseño, el ozono disuelto se mezcla eficientemente con el cuerpo principal de agua, después de lo cual se sugiere instalar un tanque de contacto para lograr una mayor eficiencia en el tratamiento del agua.

Las siguientes ventajas y desventajas son aplicables para esta técnica de inyección:

### 1.2.7.5 VENTAJAS

- Los inyectores y mezcladores estáticos (cuando son empleados), son simples de operar, con bajos requerimientos de mantenimiento, gracias a que no tienen partes móviles.
- Se pueden alcanzar excelentes mezclas y transferencias de masa. Dependiendo del tiempo de retención deseado, la profundidad y el volumen del tanque de contacto/reacción pueden ser frecuentemente menores a los requeridos por los de difusión de burbuja.
- Este tipo de sistemas de difusión pueden ser adaptados a cualquier diseño hidráulico de planta.
- Correctamente diseñados, los contraflujos o vórtices de los mezcladores estáticos proporcionan bajas caídas de presión hidráulicas a la planta.

### 1.2.7.6 DESVENTAJAS

- Se requiere de energía eléctrica adicional para una operación eficiente del inyector de vacío, no obstante esto es contrarrestado por el incremento de la eficiencia de difusión.
- Estos sistemas no tienen una buena aceptación debido a su limitada capacidad, la cual está determinada por la capacidad específica del dispositivo de inyección. Este problema es minimizado cuando la corriente paralela que se toma de la corriente principal es alimentada al inyector.

## 1.2.8 APLICACIONES DEL OZONO

### 1.2.8.1 TRATAMIENTO DE AGUA

Más de cien diferentes virus, que existen en las secretas humanas, pueden ser encontrados en el agua “potable” contaminada. Virus, como los asociados a la hepatitis, infectan a cientos de personas al año, ya que sobreviven por largos periodos de tiempo en el agua potable. Como un potencial virucida, el ozono ha sido tomado como una efectiva alternativa al cloro, el cual (en adición a que deja residuos indeseables de sabor, color y olor) puede producir Cloroformo y otros compuestos que son potencialmente cancerígenos.

#### 1.2.8.1.1 POTABILIZACIÓN DE AGUA

Como un potente oxidante, el ozono elimina bacterias gracias a la ruptura de la pared celular. Entre los microorganismos peligrosos que el ozono puede oxidar, se encuentran la *Escherichia coli*, *Streptococcus fecalis*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Bacillus megatherium* (esporas) y *Endamoeba histolytica*. La Encyclopedia of Chemical Technology, reporta que:

*“El Ozono exhibe un efecto de all-or-nothing (todo o nada) en términos de eliminación de bacterias, este efecto puede ser atribuido al alto potencial de oxidación del Ozono.*

*El Ozono se asemeja a un poderoso germicida, a tal grado que tan solo con unos cuantos microgramos por litro son requeridos para su acción germicida.”*

Para los tratamientos de potabilización de agua, el ozono es utilizado como gas siendo usado en primer lugar, antes de cualquier otro tratamiento, gracias a su fuerza oxidativa. Este alto potencial de oxidación del ozono, es efectivo en la reducción o eliminación de color, sabor y olor, los cuales pueden ser los problemas fundamentales asociados con el suministro de un agua específica. Más importante aún, el Ozono destruirá definitivamente las bacterias e inactivará a los virus más rápidamente que cualquier otro desinfectante químico. El ozono es también usado para oxidar metales pesados. El Hierro y Manganeseo pueden ser reducidos a niveles bajos, proporcionando así niveles seguros en base a la oxidación causada del Ozono. Este mismo proceso es usado para liberar metales pesados ligados a compuestos orgánicos, los cuales no son fáciles de remover por otras formas.

En la actualidad, existen un gran número de plantas de acondicionamiento de aguas residuales municipales e industriales tanto a nivel nacional como internacional. En forma paralela al incremento del número de plantas de tratamiento, se han desarrollado una gran variedad de sistemas para el acondicionamiento de las aguas residuales.

La posibilidad de renovación de las aguas residuales para los diferentes usos a que se destinan, depende en gran medida de su nivel de contaminación, es decir, el costo y factibilidad de tratamiento dependerá de las concentraciones de los contaminantes presentes en ellas y del grado de calidad requerido.

Existen diferentes métodos para el tratamiento de agua, entre ellos se encuentran:

<b>PROCESOS</b>	<b>TIPO DE CONTAMINANTE A REMOVER</b>
Filtración	Sólidos suspendidos.
Destilación (simple y fraccionada)	Sólidos disueltos.
Electrodialisis	Sólidos disueltos.
Flotación	Sólidos suspendidos.
Espumamiento	Detergentes, metales.
Ósmosis inversa	Sólidos disueltos.
Intercambio iónico	Eliminación principalmente de Ca y Mg

	(dureza del agua).
Adsorción con carbón activado	Orgánicos disueltos y metales pesados.
Precipitación química	Fósforos, metales pesados, orgánicos no biodegradables.
Cloración	Desinfección.
Oxidación química	Orgánicos no biodegradables.
Luz ultravioleta	Desinfección, oxidación de minerales.
Ozonificación	Oxidación de minerales, metales pesados, materia orgánica y desinfección.

Tabla 1.1: Métodos para el tratamiento de agua.

#### 1.2.8.1.2 AGUA DE ALBERCAS

El Ozono es capaz de eliminar bacterias, virus, hongos y ayuda en el control de algas. Otro beneficio que brinda el ozono es la oxidación de aceites bronceadores, lociones y grasas, aparte elimina olores, remueve urea, aminos y microorganismos.

Con el uso de Ozono se reduce del 70-90% el empleo de químicos, ya que se minimiza su uso para el control del pH, además se eliminan las líneas de nata y espumas las cuales dan mala apariencia a las albercas.

Otra ventaja es que el agua se siente suave, ya que se encuentra limpia y libre de residuos indeseables, además que no provoca el destiñe del cabello y los trajes de baño.

Al no dejar residuos el Ozono, se evita que existan efectos indeseables sobre el cuerpo humano, ya que no produce irritación en la piel o en los ojos.

#### 1.2.8.2 CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS EN CÁMARAS FRIGORÍFICAS

Es sobradamente conocido que el empleo del frío en la conservación de productos perecederos como carnes, pescados, leche, frutas, etc., es imprescindible ya que a bajas temperaturas se inhiben las actividades enzimática y microbiana, responsables de la alteración de los citados productos. Sin embargo, muchos de estos microorganismos permanecen en los alimentos y en el ambiente bajo diferentes formas de resistencia, que pueden volver a convertirse en el microorganismo activo cuando las condiciones de temperatura sean favorables. Por otra parte existen unos microorganismos, los psicrófilos, capaces de crecer a temperaturas bajas, cercanas a los 0° C. El hecho de que el frío por sí solo, tenga propiedades atenuantes tanto en el campo de la desinfección como en la desodorización, contribuye a que al cabo del tiempo se impregnen las paredes de las cámaras frigoríficas de microorganismos como de sustancias volátiles que pueden dar lugar a alteraciones bacterianas y organolépticas de los productos a

conservar, reduciendo así el tiempo de mantenimiento en las cámaras. Así pues, se hace necesario mejorar la acción conservante del frío, así como su poder desodorante, ya que éste atenúa los olores pero no los elimina (Welsbach Ozone Equipment. Food preservation and storage. Philadelphia).

Existen muchos sistemas que apoyando la acción del frío, tratan de purificar el ambiente de las cámaras frigoríficas con el fin de conseguir una mayor desinfección y desodorización, alargando la vida del producto. Entre estos se pueden citar las radiaciones ultravioleta, carbono activo, compuestos de amonio cuaternario, aldehído fórmico, permanganato potásico, lechada de cal, etc. La mayoría de estos productos presentan inconvenientes, los más habituales consisten en el previo vaciado de las cámaras y en dejar residuos que pueden resultar tóxicos. En cuanto al ozono, se puede decir que debido a sus propiedades como desinfectante y desodorizante, a su mínima toxicidad y fácil eliminación, no dejando residuo alguno tras su aplicación, su utilización sería de gran eficacia en las cámaras de frío, como sustitutivo de los anteriores.

Los resultados obtenidos en una atmósfera ozonizada se pueden resumir en los siguientes:

- \* Carencia de mohos en alimentos y envases.
- \* Conservación más prolongada de los alimentos.
- \* Conservación del peso inicial con alto grado de humedad.
- \* Mejor calidad interna.
- \* Excelente apariencia externa.
- \* Pocas mermas por deterioro.
- \* Retrasa la maduración de la fruta al actuar rompiendo la molécula de etileno por oxidación. Es sabido que el etileno activa el metabolismo de ciertas frutas acelerando su maduración.

La American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning cita la utilidad del ozono en la conservación de alimentos refrigerados. Las dosis de aplicación de ozono en cámaras de frío varían de 0,6 a 1,6 mg/m<sup>3</sup>, dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad y del tipo de producto a conservar (American Society of Rotring Engineering by Smock. Refrigeration Engineering)

### **1.2.8.3 CONSERVACIÓN DE PRODUCTOS CÁRNICOS**

La carne es uno de los alimentos más perecederos, por tanto para su conservación y almacenamiento se suele recurrir al empleo de bajas temperaturas y, cuando el tiempo de almacenamiento es largo, a la congelación. Al hablar de carnes se está haciendo referencia a toda clase de ellas, pollería, cerdo, ternera, buey y cordero.

En principio la masa muscular de cualquier animal sano es estéril, es decir no contiene microorganismos, es en la manipulación de la misma cuando se aportan microorganismos procedentes del ambiente ó del propio eviscerado del animal. Por tanto, la aplicación del ozono debería comenzar en el mismo matadero, con el fin de



eliminar o reducir el aporte microbiano producido durante el sacrificio. Experiencias realizadas hace algunos años en diferentes mataderos de Alemania, coinciden en que concentraciones de ozono de 0,02 a 0,03 mg/m<sup>3</sup> de aire disminuyen el 93% de los microorganismos transportados por el aire.

En Europa, se utiliza ozono para la conservación de carnes desde antes de la segunda guerra mundial. En todos los casos se muestra que la aplicación periódica de ozono en cámaras de frío previene la aparición de mohos en tiempos de hasta 36 semanas. Las concentraciones de ozono empleadas en la conservación de carnes refrigeradas oscilan entre 1 y 2 p.p.m.

Una sencilla y repetitiva experiencia que demuestra el poder de conservación de carnes del ozono, es la siguiente:

Se parte un pollo en tres trozos, uno de ellos se deja en la nevera, otro se coloca en refrigeración con ozono y el tercero se deja en ambiente ordinario a 20°C. Al cabo de 14 días, el tercio dejado al aire libre está en descomposición, el tercio de la nevera si bien se ha conservado tiene considerablemente alteradas sus propiedades organolépticas, mientras que el tercio almacenado con ozono se conserva perfectamente fresco (Centro Experimental del Frío. Madrid).

#### 1.2.8.3.1 EMBUTIDOS

Con el ozono se controlan los mohos, que si bien son necesarios en el proceso de secado son perjudiciales en exceso. Tanto en secaderos artificiales como naturales, se puede llegar a un control de mohos utilizando las concentraciones de ozono adecuadas en cada caso.

#### 1.2.8.3.2 JAMONES

En secaderos de jamones se utiliza actualmente en España el ozono por sus propiedades en la eliminación de microorganismos no deseables, como protección frente a alteraciones del producto causadas por dichos microorganismos.

#### 1.2.8.3.3 PESCADO

El pescado es tanto o más alterable que la carne. En el almacenamiento de pescados refrigerados se combate, como en el caso de la carne, la descomposición y la aparición de olores no deseables.

El ozono consigue sobradamente la solución de ambos problemas. No obstante si los pescados no han sido eviscerados, la descomposición se inicia en su interior y el ozono sólo puede prolongar unos días el inevitable y total deterioro.

También es recomendable la administración de ozono en las bodegas de los barcos de pesca, en el transporte del pescado a los centros de venta y en las vitrinas frigoríficas de marisquerías, restaurantes y pescaderías (Ewell, A.W. Ozono and its application in food preservation).

#### 1.2.8.4 FRUTAS

##### 1.2.8.4.1 MANZANAS

Toda clase de manzanas pueden ser ozonizadas en almacenes frigoríficos. Debido al efecto germicida del ozono se evitan tanto la putrefacción de las frutas como su fermentación. Con concentraciones de 1 a 2 p.p.m. se puede poner el mayor grado higrométrico que permita la fruta sin que se formen mohos ni en la fruta ni en los envases. Al usar un alto grado de humedad no hay pérdida de peso en la fruta.

Una ventaja adicional de la conservación de manzanas con ozono es su efecto desodorante, al eliminar las emanaciones gaseosas de las frutas evita la pérdida de aromas y además permite el almacenamiento conjunto de diferentes tipos de manzanas conservando cada una de ellas sus características particulares.

Al vaciarse las cámaras de manzanas es conveniente usar ozono para la desinfección de las mismas, quedando en condiciones óptimas para realizar cualquier tipo de almacenamiento posterior.

##### 1.2.8.4.2 NARANJAS

En este campo está muy extendido el uso de ozono, controla los mohos y también la atmósfera propia del almacenamiento de la naranja, producida en su mayor parte por las emanaciones de esencias. Se genera una neblina debida al ozono y a la esencia propia de la naranja, que protege al fruto.

Es necesario mantener un alto grado de humedad para evitar el resecamiento de la piel y conservar el aspecto de naranja recién cosechada. Se ha observado también que la penetración de los olores es mucho menor usando ozono, consiguiéndose totalmente su eliminación con una ozonización más prolongada.

##### 1.2.8.4.3 MELOCOTONES

Conservados en atmósfera ozonizada con una concentración de 2 p.p.m., se consigue prolongar la vida de esta fruta conservando todas sus propiedades. El melocotón sale fresco, sin señales de haber sido atacado por hongos, siendo las mermas muy bajas.

##### PERAS

Toda clase de peras puede recibir tratamiento con ozono en cámaras frigoríficas. El ozono responde con éxito a todas las alteraciones propias de las cámaras, controlando la aparición de mohos y consiguiendo una mayor duración del almacenamiento.

#### 1.2.8.4.4 PLÁTANOS

El problema de los plátanos tiene dos vertientes claramente diferenciadas, el transporte desde los lugares de producción hasta los de consumo y una vez madurados, el de su conservación. En su transporte por vía marítima, en un ambiente ozonizado y a temperatura adecuada, los plátanos se conservan verdes. Todas las emanaciones que produce el plátano son eliminadas, de esta forma el transporte queda garantizado, llegando la fruta en óptimas condiciones a sus puntos de destino. Durante el proceso de maduración, no debe aplicarse ozono ya que si así fuera, el plátano no maduraría. Una vez madurado, es conveniente ozonizar a fin de prolongar el almacenamiento del producto.

#### 1.2.8.4.5 MELONES

Aunque ésta sea una fruta de estación y su período de ventas sea muy restringido, con dosis de 2 p.p.m. de ozono, se pueden conservar los melones en cámaras frigoríficas sin deterioro perceptible.

#### 1.2.8.4.6 FRUTAS PEQUEÑAS

De 1 a 2 p.p.m. de ozono en bodegas y cámaras de almacenamiento de frutas de pequeño tamaño como uvas, ciruelas, fresas, moras, albaricoques, etc., no solamente se reduce el crecimiento de mohos, sino que también mejora el aroma de estas frutas (Gane, R. Effect of ozone on fruits. Report on Food Investigation Board).

#### 1.2.8.5 VEGETALES

##### 1.2.8.5.1 TOMATES

Antes de proceder a su embalaje, el ozono consigue una mayor duración del tomate, endureciendo su cutícula y evitando la aparición de mohos. Los tomates así conservados sufren menos deterioro durante su transporte y almacenamiento.

##### 1.2.8.5.2 OTROS VEGETALES

Todos los vegetales que han sufrido un tratamiento con ozono en cámaras frigoríficas, han conseguido una conservación más dilatada, así como también una mayor duración una vez sacados de las cámaras. Estos vegetales requieren mayor cantidad de ozono,

llegando algunos de ellos a necesitar del orden de 3 p.p.mm (Watson, R.D. Some factors influencing the toxicity of ozone to fungi in cold storage. Journal of ASRE).

#### 1.2.8.6 HUEVOS

Naturalmente la humedad favorece la aparición de contaminaciones fúngicas, de ahí el sabor característico de los huevos de cámara que llevan mucho tiempo almacenados. Aplicando ozono en dichas cámaras, se controlan los mohos incluso con humedades relativas altas. Con ello los huevos mantienen su peso y tamaño, así como el sabor que no queda alterado por la aparición de mohos (Ewell, A.W. Ozono and its application in food preservation).

#### 1.2.8.7 USO INDUSTRIAL

El Ozono ha sido utilizado en la industria embotelladora para la desinfección del interior de las botellas de refresco y cerveza, Las cervecerías también usan el ozono para remover cualquier residuo de malos olores o sabores del agua usado en la producción de la cerveza.

El Ozono es usado para la industria farmacéutica como desinfectante así como también en la industria fabricante de componentes eléctricos para oxidar las impurezas superficiales.

#### 1.2.8.8 USO MÉDICO

##### 1.2.8.8.1 OZONOTERAPIA

Es la técnica que utiliza el ozono como agente terapéutico en un gran número de patologías. Es una terapia netamente natural, con pocas contraindicaciones y efectos secundarios mínimos, siempre que se realice correctamente.

En los estudios realizados, en diferentes grupos de control de modelos experimentales humanos se han obtenido unos resultados satisfactorios con una media de recuperación superior al 75% de los enfermos, siendo de gran interés el poder considerar a la Ozonoterapia como un tratamiento de Medicina natural efectivo y coadyuvante a los diferentes tratamientos de Medicina convencional.

El ozono puede considerarse como droga activa y como tal debe ser producido y usado de la misma manera que la insulina o la penicilina. Sin embargo por el hecho de tener una corta o mediana vida, el ozono no puede ser embotellado o almacenado.

#### 1.2.8.8.2 OTROS USOS EN MEDICINA

- Retardos de cicatrización.
- Arteriosclerosis y por tanto todas aquellas patologías derivadas de la disminución del aporte de oxígeno a los tejidos.
- Vulvovaginitis de repetición.
- Colitis ulcerosa.
- Fibromialgia y Síndrome de fatiga crónica.
- Artrosis.
- Hernia discal.
- Coadyuvante en oncología.
- Uso en Odontología para enfermedades periodontales y desinfección de áreas de trabajo.

## **1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La mayoría de los consumidores de tortilla de maíz nixtamalizado tienen preferencias por aquellas de color blanco y no las que están demasiado amarillas. Este factor de color afecta directamente los productores de tortilla al disminuir sus ventas.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

La desventaja de los blanqueadores químicos como el dióxido de titanio, zerolux, le blanq, entre otros que pueden ocasionar al consumidor problemas cancerígenos al consumir cantidades elevadas [[www.lentech.com/espanol/tabla-periodica/Ti.htm](http://www.lentech.com/espanol/tabla-periodica/Ti.htm)]. En

cambio el ozono tiene varias aplicaciones en el área alimenticia sin generar problemas de salud [Gutiérrez-Castro, 2000]. Debido a que el ozono es aplicado en textiles para la eliminación del color, blanqueamiento dental, conservación de productos perecederos como carnes, frutas, leches, entre otros [www.electrozono.com/apliaciones-industriales.asp]. Ahora lo aplicaremos al maíz nixtamalizado para eliminar el color amarillo, ya que a la mayoría de las personas no les gusta las tortillas de maíz nixtamalizado demasiado amarillas y esto afecta directamente su venta.

## **1.5 PROBLEMA A RESOLVER**

Eliminación del color amarillo de las harinas de maíz nixtamalizado mediante la aplicación de ozono a diferentes tiempos.

## **1.6 HIPÓTESIS**

Mediante la aplicación del ozono se eliminara el color amarillo en pericarpio del grano de maíz nixtamalizado.

## **1.7 OBJETIVOS**

### **1.7.1 OBJETIVO GENERAL**

Eliminación del color amarillo de harinas de maíz nixtamalizado a diferentes temperaturas mediante la aplicación de ozono en función del tiempo.

### **1.7.2 OBJETIVOS PARTICULARES**

- a. Preparación de muestras con diferentes cantidades de maíz nixtamalizado con diferente tiempo de aplicación de ozono.
- b. Evaluación del porcentaje de tamaño de partícula de las muestras de harina de maíz nixtamalizado como función del tiempo de ozonización.
- c. La medición de la intensidad de los colores: amarillo y blanco de las muestras de harina de maíz obtenidas, utilizado el sistema computarizado de medición de color CIELAB.
- d. Evaluar el desarrollo de viscosidad de suspensiones acuosas en formulaciones de distribución de tamaño de partícula de las harinas de maíz nixtamalizado con diferente tiempo de ozonización y comparando con la muestra control.
- e. Se aplico dióxido de titanio a harinas de maíz nixtamalizado para eliminar el color amarillo.
- f. Evaluación mediante IR de las muestras de harinas de maíz nixtamalizado

## **Capítulo 2**

### **2.1 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS**

Para la realización de este trabajo se utilizaron granos de maíz blanco de la variedad dentada (*Zea Mays* L.), cultivado en la región del Valle de Toluca.

#### **2.1.2 VARIABLES DE NIXTAMALIZACIÓN**

- Variedad de maíz tipo *Zea Mays*, cultivado en la región del Valle de Toluca.
- Relación agua-maíz (3:1 V/m).
- Contenido de  $\text{Ca(OH)}_2$ : %  $\text{Ca(OH)}_2$  / maíz nativo = 0.8 g/g.
- Temperatura de cocción: 92 °C

- Tiempo de cocción: 45 minutos.
- Tiempo de reposo: 6 horas.

### 2.1.3 NIXTAMALIZACIÓN

#### Muestras de 50 gr de maíz

- El maíz es seleccionado, utilizando sólo granos blancos que no estén dañados ni quebrados en el área del pericarpio.
- El maíz es pesado en cantidades de 50 gramos.
- Hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  grado alimenticio Marca Mallinckrodt es pesado en cantidades de 0.4 gramos.
- Se agregan 400 ml de agua potable en un vaso de precipitados de 3litros.
- Se sumerge un matraz de 1 litro al vaso de precipitados y se agregan a dicho matraz 150 ml de agua de garrafón marca Argentopora junto con el hidróxido de calcio previamente pesado.
- Se aumenta la temperatura del vaso de precipitados con un mechero hasta alcanzar los 92 °C.
- Los granos de maíz previamente pesados se agregan al matraz y se mantienen a la temperatura de 92 °C durante 45 minutos.
- El matraz se retira del fuego y se deja reposar la muestra completa durante 6 horas a temperatura ambiente (22 °C).

#### Muestras de 100 gr de maíz

- El maíz es seleccionado, utilizando sólo granos blancos que no estén dañados ni quebrados en el área del pericarpio.
- El maíz es pesado en cantidades de 100 gramos.
- Hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  grado alimenticio Marca Mallinckrodt es pesado en cantidades de 0.8 gramos.
- Se agregan 400 ml de agua potable en un vaso de precipitados de 3 litros.
- Se sumerge un matraz de 1 litro al vaso de precipitados y se agregan a dicho matraz 300 ml de agua de garrafón marca Argentopora junto con el hidróxido de calcio previamente pesado.
- Se aumenta la temperatura del vaso de precipitados con un mechero hasta alcanzar los 92 °C.
- Los granos de maíz previamente pesados se agregan al matraz y se mantienen a la temperatura de 92 °C durante 45 minutos.
- El matraz se retira del fuego y se deja reposar la muestra completa durante 6 horas a temperatura ambiente (22 °C).

#### Muestras de 150 gr de maíz

- El maíz es seleccionado, utilizando sólo granos blancos que no estén dañados ni quebrados en el área del pericarpio.
- El maíz es pesado en cantidades de 150 gramos.



- Hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  grado alimenticio Marca Mallinckrodt es pesado en cantidades de 1.2 gramos.
- Se agregan 400 ml de agua potable en un vaso de precipitados de 3 litros.
- Se sumerge un matraz de 1 litro al vaso de precipitados y se agregan a dicho matraz 150 ml de agua de garrafón marca Argentopora junto con el hidróxido de calcio previamente pesado.
- Se aumenta la temperatura del vaso de precipitados con un mechero hasta alcanzar los 92 °C.
- Los granos de maíz previamente pesados se agregan al matraz y se mantienen a la temperatura de 92 °C durante 45 minutos.
- El matraz se retira del fuego y se deja reposar la muestra completa durante 6 horas a temperatura ambiente (22 °C).

#### 2.1.4 OZONIZACIÓN



Figura 1.1: Generador de ozono

#### Muestras con 60 minutos de ozonización acuosa

- El maíz nixtamalizado y reposado previamente es colocado para separarlo del nejayote.
- La muestra de maíz nixtamalizado es colocada en un recipiente con 2 500 ml de agua purificada marca Argentopura.
- Inicia el proceso de ozonización durante 60 minutos.
- Se realiza la medición del pH al final del proceso.
- Se sacan los granos de maíz del agua con ozono, se colocan en una charola de aluminio e inicia el secado en una estufa a una temperatura de 40 °C durante 15 horas.

#### Muestras con 90 minutos de ozonización acuosa

- El maíz nixtamalizado y reposado previamente es colocado para separarlo del nejayote.
- La muestra de maíz nixtamalizado es colocada en un recipiente con 2 500 ml de agua purificada marca Argentopura.
- Inicia el proceso de ozonización durante 90 minutos.
- Se realiza la medición del pH al final del proceso.

- Se sacan los granos de maíz del agua con ozono, se colocan en una charola de aluminio e inicia el secado en una estufa a una temperatura de 40 °C durante 15 horas.

Muestras con 120 minutos de ozonización acuosa

- El maíz nixtamalizado y reposado previamente es colocado para separarlo del nejayote.
- La muestra de maíz nixtamalizado es colocada en un recipiente con 2 500 ml de agua purificada marca Argentopura.
- Inicia el proceso de ozonización durante 120 minutos.
- Se realiza la medición del pH al final del proceso.
- Se sacan los granos de maíz del agua con ozono, se colocan en una charola de aluminio e inicia el secado en una estufa a una temperatura de 40 °C durante 15 horas.

Nota: Se utilizaron 300mg/hora de ozono para cada corrida.

#### 2.1.5 MOLIENDA

- Se lleva a cabo la molienda de los granos de maíz secos en un molino de martillos (200 gr/hora).

#### 2.1.6 MEDICIÓN DE HUMEDAD

- Se mide la humedad de la harina, para lo cual se pesan 3 gr de harina, se coloca sobre una cápsula de aluminio y se mete en una estufa a 120 °C durante 60 min. Por diferencia de pesos se obtiene la humedad de la muestra. Cabe mencionar que la cápsula de aluminio debe estar a peso constante. Para esto la cápsula se mete previamente a la estufa a 120 °C durante 60 minutos también.

Cálculo de humedad:

$$\%H = \frac{\text{Peso}_{\text{perdido}}}{\text{Peso}_{\text{total de harina}}(3g)} \times 100$$

#### 2.1.7 MEDICIÓN DE GRANULOMETRIA

- Se lleva a cabo la medición de la granulometría, en este periodo los tamices se dejan en la máquina agitadora durante 10 minutos.

#### 2.1.8 MEDICIÓN DE VISCOSIDAD RVA

- Esta prueba se lleva a cabo en un medidor de viscosidad, la duración para cada muestra es de 15 minutos, con 1 minuto extra que la máquina utiliza para preparar la muestra, haciendo un total de 16 minutos por corrida.

#### 2.1.9 PRUEBA DE INFRARROJO

- Para esta prueba, se elaboraron pastillas las cuales se hicieron pasar a través del rayo de luz infrarroja.

#### 2.1.10 MEDICIÓN DE COLOR

- Para la realización de esta prueba se tomó como base el sistema CIELAB, se pesaron 4 g de harina para cada muestra analizada, se esparció en un área de 5x5 cm<sup>2</sup>, a cada una de estas muestras se le tomó una fotografía con una cámara digital profesional marca Nikon, la distancia de la lente de la cámara a la muestra fue de 15 cm, con un ángulo de 45 grados respecto al área horizontal. Posteriormente se utilizó el software Photoshop para adquirir valores Lab y realizar las gráficas correspondientes.

## 2.2 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

En esta sección describiremos los experimentos realizados para evaluar los cambios físicoquímicos que sufre el grano de maíz durante el proceso de nixtamalización tradicional hasta convertirlo en harinas instantáneas. Estas harinas son elaboradas por el método tradicional de nixtamalización y al final se aplica ozono.

### 2.2.1 Granulometría

En las harinas instantáneas de maíz es necesario conocer la distribución de tamaño de las partículas y la variación de sus propiedades intrínsecas como función del tiempo de reposo que garanticen la calidad del producto final (Sahai et al 2001). Las tortillas requieren harina con tamaño de partícula fino para desarrollar flexibilidad y cohesividad, mientras que para la elaboración de tortillas fritas requieren un tamaño de partícula grueso, es una formulación que va a promover mayor poder crujiente después de ser freídas.

Las partículas pequeñas contenidas en las harinas de maíz instantáneas son las responsables del incremento en la incorporación de agua, cohesividad, plasticidad y suavidad de la masa cuando se hidrata la harina instantánea de maíz (Sahai et al 2001),

mientras que la distribución de las partículas grandes en harinas de maíz son consideradas como las responsables de las diferentes características como son textura, mayor poder crujiente en productos fritos derivados de maíz, ya que las partículas grandes rompen la red de la tortilla, reducen el calentamiento y disminuyen la incorporación de aceite en la tortilla durante su fritura.

La rehidratación de las harinas instantáneas de maíz, va a depender de las propiedades intrínsecas de las partículas, para incrementar o disminuir la incorporación de agua a la red microestructural de las partículas. En harinas de maíz instantáneas comerciales caracterizadas la distribución de tamaño de partícula, muestra los mayores porcentajes de contenido de harina en las mallas 40, 60, 80 y 100.

### **2.2.2 Determinación de humedad**

Mediante el uso de una balanza diferencial es posible la medición de pérdida de humedad de la harina obtenida de maíz nixtamalizado con proceso de ozonización. La velocidad de pérdida de humedad depende de las modificaciones de las cadenas poliméricas que incrementan o disminuyen la capacidad de retención de agua de la harina. El cocimiento, reposo, molienda y deshidratado del maíz cambian la habilidad de absorber agua e integrarla a su estructura molecular. Esta capacidad de absorción de agua es posible debido a la hidrólisis o al rompimiento de las cadenas poliméricas ocasionados por los cambios fisicoquímicos que ocurren en el grano de maíz durante todos los pasos realizados en la obtención de harina.

Mediante esta técnica lo que se evaluó fue la pérdida de humedad de un harina obtenida después de la molienda de granos de maíz nixtamalizados previamente expuestos a ozono. La harina contiene tres tipos de agua: el exceso de agua libre superficial, exceso de agua libre intra cavidad y agua ligada que no es posible desprenderla utilizando esta técnica, las dos primeras tienen un proceso de difusión diferente y en la tercera es nulo el proceso de difusión de agua debido a la interacción con la red estructural de los granos de la harina; en el caso de una harina (masa) tenemos por un lado gránulos de almidón con tamaños que varían de unas cuantas micras a 40 micras, y por otro lado cúmulos de granos que varían de 800 micras a menor de 100 micras, sin mencionar las contribuciones de la matriz protéica y fracciones de amilosa y amilopectina exudadas durante el proceso de gelatinización; que como veremos depende del tiempo de reposo y sus respectivas distribuciones.

### **2.2.3 Color**

Para la medición del color se utilizó el sistema **L, a, b** de Hunter. Donde **L** corresponde a la claridad y **a** y **b** a la cromaticidad. Concretamente **a** define el componente rojo-verde; rojo para valores positivos y verde para valores negativos. El parámetro **b** define el componente amarillo-azul; amarillo para los valores positivos y azul para los valores negativos. Los colores son tanto más saturados cuanto más separados se encuentran del centro del gráfico los puntos que los definen como se muestra en la figura. Para la medición del color se utilizó una cámara de la marca Nikon, luz blanca, conocida como

luz de día: 6 500 °K; el ángulo entre la superficie y la lente de la cámara fue de 45°, estas muestras finalmente fueron analizadas con el programa Photoshop con el sistema L a b.

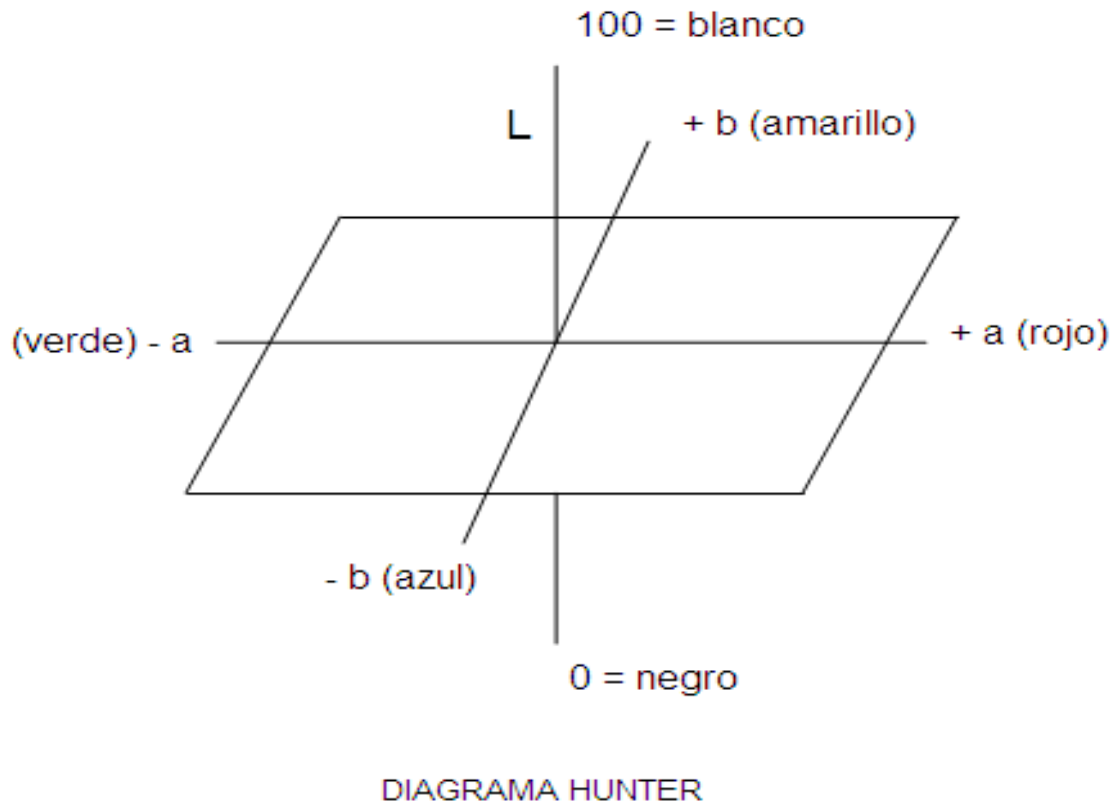


Figura 1.2 Diagrama hunter

#### 2.2.4 Viscosidad

Para esta determinación se prepararon suspensiones de harina de maíz para diferentes cantidades de  $\text{Ca(OH)}_2$ , diferente tiempo de aplicación de ozono, así como diferentes cantidades de maíz. Para cada una de las muestras se utilizaron 4 gramos de harina, la humedad osciló entre 10% y 14%, con base en esto se utilizó agua destilada entre 24.9 y 25.3 ml. A cada una de las suspensiones de las muestras realizadas se les determinó la viscosidad para lo cual se empleó un Rapid Visco Analyser RVA, de Newport Scientific Narabee, NSW Australia, girando a una velocidad de 160 rpm, con una tasa de calentamiento de 5.6 °C/min, manteniendo esta tasa durante todo el ciclo de medición. Los viscoamilogramas se obtuvieron con ascensos de temperatura de la suspensión de 50 °C hasta 90 °C, al alcanzar esta última temperatura la muestra fue mantenida a esta temperatura durante 5 minutos, luego se le sometió a un ciclo de descenso de temperatura con la misma velocidad utilizada para el ascenso Cada prueba tuvo una

duración de 16 minutos, con lo cual se obtuvieron viscoamilogramas completos para su caracterización.

El aparato registra la viscosidad en unidades de centi-pascales en función del tiempo o bien de temperatura. Los datos más importantes de un amilograma son (D'Appolonia 1972):

- a. La temperatura en la cual la viscosidad se empieza a ser perceptible.
- b. El pico máximo de viscosidad alcanzado por la suspensión.
- c. La temperatura a la cual se presenta el pico máximo de viscosidad.
- d. La viscosidad de la muestra alcanzada después del calentamiento permanente a 90 °C.
- e. La viscosidad final alcanzada por la muestra cuando finaliza la medición.

De esta forma se obtuvieron los viscoamilogramas para las harinas de maíz elaboradas con maíz nixtamalizado con aplicación de ozono a diferentes tiempos y cantidades de maíz.

### **2.2.5 Espectroscopia Infrarroja**

Históricamente, el término espectroscopía tiene que ver con el hecho de la descomposición de la luz visible en sus componentes, originándose así espectros que se utilizaban en estudios teóricos de la estructura de la materia. Sin embargo, con el paso del tiempo, el campo de la espectroscopía fue ampliado para incluir el uso no sólo de la luz visible, sino también otros tipos de radiación electromagnética según la tesis de Guzmán Mendoza J. CICATA IPN 2003.

La luz visible representa tan sólo una pequeña parte del espectro electromagnético y generalmente es considerada que comprende el intervalo entre 380 780 nm. Inmediatamente arriba del rojo en el visible se encuentra el infrarrojo, el cual comprende el intervalo entre 780 y  $10^6$  nm. El infrarrojo se divide en infrarrojo cercano, con longitudes de onda de 780 a 2 500 nm, infrarrojo medio de 2 500 a 5 000 nm y el infrarrojo lejano que va de los 5 000 a los  $10^6$  nm.

Cuando se hace incidir radiación sobre una sustancia, pueden ocurrir varios fenómenos. El haz puede pasar a través de la materia sufriendo una pequeña absorción, perdiendo un poco de energía. La dirección de propagación del haz puede ser alterada por reflexión, refracción o difracción. También la energía radiante puede ser absorbida completamente o de manera parcial, lo cual implica una transformación de energía al medio que la absorbe. Este proceso es un fenómeno específico que está relacionado con la estructuras moleculares características del medio.

La rapidez con que la energía es transportada en un haz de energía radiante se denota por el símbolo  $P_0$  para el haz incidente y por  $P$  para la cantidad que no es absorbida después de pasar por la muestra. La razón de la potencia radiante transmitida por la muestra con respecto a la incidente se denomina transmitancia.

$$T = P/P_0$$

Los sólidos presentan diferentes tipos de absorción dependiendo del rango de frecuencias de la radiación electromagnética que se haga incidir sobre ellos. En la región infrarroja existen dos tipos de absorción: la absorción por portadores de carga libre y la absorción por enlaces iónicos. En los materiales aislantes, se presenta fundamentalmente la absorción por enlaces atómicos. Para absorber radiación infrarroja, una molécula debe experimentar un cambio neto en su momento dipolar, como consecuencia de su movimiento de vibración o de rotación. Sólo en estas circunstancias el campo alternante de la radiación electromagnética puede interactuar con la molécula y causar cambios en la amplitud de alguno de sus movimientos. Puede ocurrir que la distribución de carga alrededor de una molécula no sea simétrica, en cuyo caso se tendrá un momento dipolar significativo, se dice en este caso que la molécula es de tipo polar. El momento dipolar está determinado por la magnitud de la diferencia de carga y por la distancia entre los centros de carga en la molécula. La vibración de la molécula produce una fluctuación regular del movimiento dipolar, lo que origina un campo que puede interactuar con el campo eléctrico asociado a la radiación.

Si la frecuencia de la radiación iguala exactamente a la frecuencia de vibración natural de la molécula, ocurre una transferencia neta de energía que da lugar a un cambio en la amplitud de la vibración molecular, como consecuencia se absorbe la radiación. También la rotación de moléculas asimétricas alrededor de sus centros de masa produce una fluctuación dipolar periódica que puede interactuar con la radiación.

Los niveles de energía vibracionales y rotacionales se encuentran cuantizados. Para la mayoría de las moléculas, las diferencias de energía entre estos estados cuánticos corresponden a la región del infrarrojo medio. Debido a esta cuantización de estos modos, un espectro de transmisión de infrarrojo se caracteriza por una serie de bandas de absorción (valles en el espectro de transmisión). En el óxido de aluminio aún cuando está compuesto por enlaces de Al-O, es común que se formen otros enlaces tales como de Al-OH. La presencia de enlaces del grupo OH en la mayoría de los casos es un indicador de la presencia de porosidad en las películas de óxido. Cada uno de estos centros equivale a un centro de absorción que puede tener varias frecuencias de oscilación características, de manera que su presencia se puede determinar identificando las bandas de absorción de los espectros de transmisión de infrarrojo correspondientes. El ensanchamiento de las bandas que aparecen en un espectro de infrarrojo es también importante ya que se relaciona con las propiedades de la estructura del material.

### **2.2.6 Dióxido de titanio**

Grado alimenticio, cosmético, y farmacéutico.



NOMBRE QUÍMICO	Bióxido de Titanio
SINÓNIMO	Dióxido De Titanio
FÓRMULA QUÍMICA	TiO <sub>2</sub>
COLOR INDEX	Pigmento blanco

Tabla 2.1: Dióxido de titanio

De acuerdo a las especificaciones de calidad y de pureza contenidas en la FDA, la USP y la NOM 118SSA1-1994.

En la actualidad el Bióxido de Titanio, que se usa para la industria en general es suministrado en dos tipos.

- 1 El utilizado en muy bajo porcentaje, es un producto de importación que reúna las características de grado USP (Consumo humano).
- 2 Representa el mayor volumen de consumo, proviene del uso del Bióxido de Titanio industrial o de grado técnico, que es utilizado ampliamente sin reunir las características de grado USP y por lo que resulta ser dañino al consumo humano.

#### 2.2.6.1 FUNDAMENTO

El Bióxido de Titanio purificado, colorado sintético blanco, es un aditivo para los alimentos, físicamente es un polvo amorfo, fino sin color, sin olor, ni sabor, eléctricamente neutro cristal, químicamente estable aun en condiciones extremas de alcalinidad y acidez.

USOS:

- 1 Blanqueador de harinas.
- 2 Para tornear cápsulas opacas y así poder adquirir tonalidades diferentes al color blanco.
- 3 Permite el grajeado uniforme brillante en tono blanco y para diluir colores oscuros en caramelos, chocolates y chicles.
- 4 Enturbiante en refrescos, jugos de limón, tomate y naranja.
- 5 Blanqueador.
- 6 Sustituto en leche (en forma y apariencia), en chocolate instantáneo.
- 7 En polvos compactos, lápices labiales, sombras para los ojos.

DOSIS:

El Dióxido de Titanio utilizado fue del 0.1 % del total de la harina tratada.

## CAPÍTULO 3

### 3.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1.1 GRÁFICAS DE COLOR PARA MAÍZ NIXTAMALIZADO CON OZONO.

En la figura 3.1 se muestran fotografías del pericarpio de maíz nixtamalizado con y sin tiempo de ozonización en medio acuoso, el tiempo de ozonización varía desde 0 hasta 120 minutos. Como podemos observar a medida que se incrementa el tiempo de ozonización acuosa, el pericarpio va incrementando su blancura y reduciendo el color amarillo.

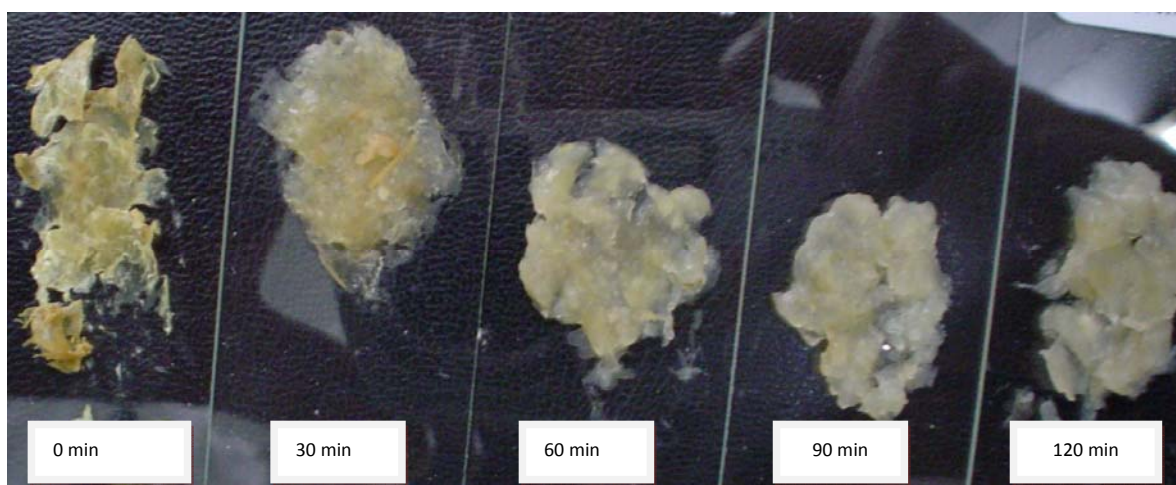


Figura 3.1: Pericarpio de maíz nixtamalizado en función del tiempo de ozonización

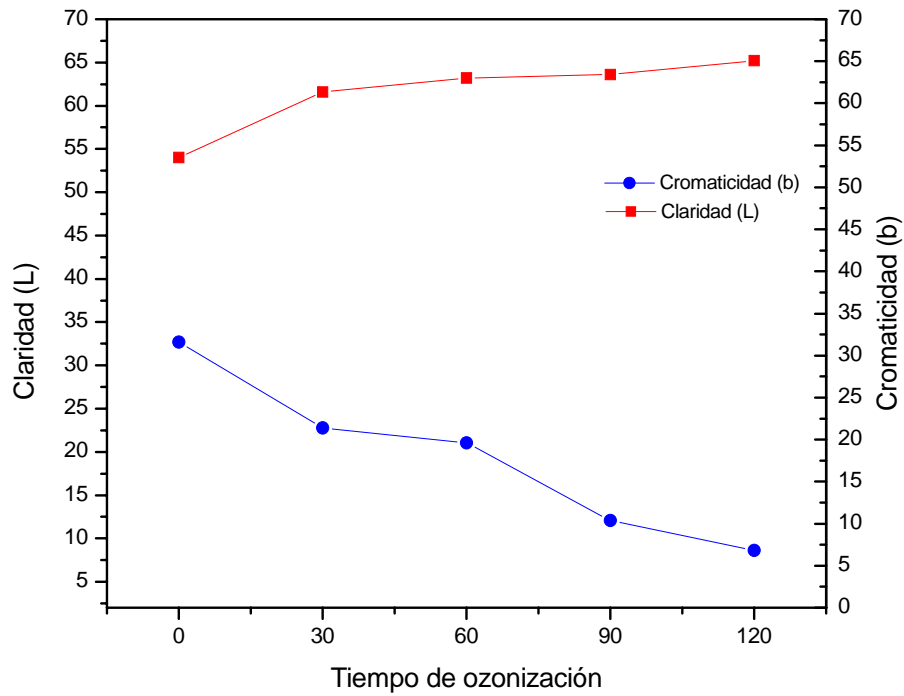


Figura 3.2: Muestra los parámetros L y b del pericarpio de maíz nixtamalizado en función del tiempo de ozonización.

En la figura 3.2 se muestran los parámetros L y b del pericarpio de maíz nixtamalizado en función del tiempo de ozonización. Encontramos que el parámetro L se incrementa al aplicarle 30 minutos de ozonización de 54 a 65. Este parámetro L representa el incremento de la blancura de las muestras y el parámetro b representa el incremento o disminución del color amarillo. En esta figura podemos observar que el parámetro b decrece a medida que aumenta el tiempo de ozonización acuosa, esto significa que estamos eliminando el color amarillo que es el objetivo principal de este trabajo de investigación. Se observa una caída en el parámetro b de 33 hasta un 7, el cual representa un cambio significativo en la eliminación de color amarillo de un 78 % del valor inicial. Estos resultados demuestran que la ozonización acuosa si funciona para eliminar el color amarillo de las muestras con la caída del parámetro b de manera significativa.

En la figura 3.3 se muestran las fotografías de las muestras control y muestras de maíz nixtamalizado con un tiempo de ozonización de 60 minutos en función del número de malla y peso de la muestra. En las muestras control a medida que se acrecienta el número de malla se incrementa la blancura. Y aumenta la intensidad del color amarillo

a media que el peso de la muestra se incrementa. En el caso de las muestras control encontramos que la muestra de maseca es más blanca que minsa ligeramente.

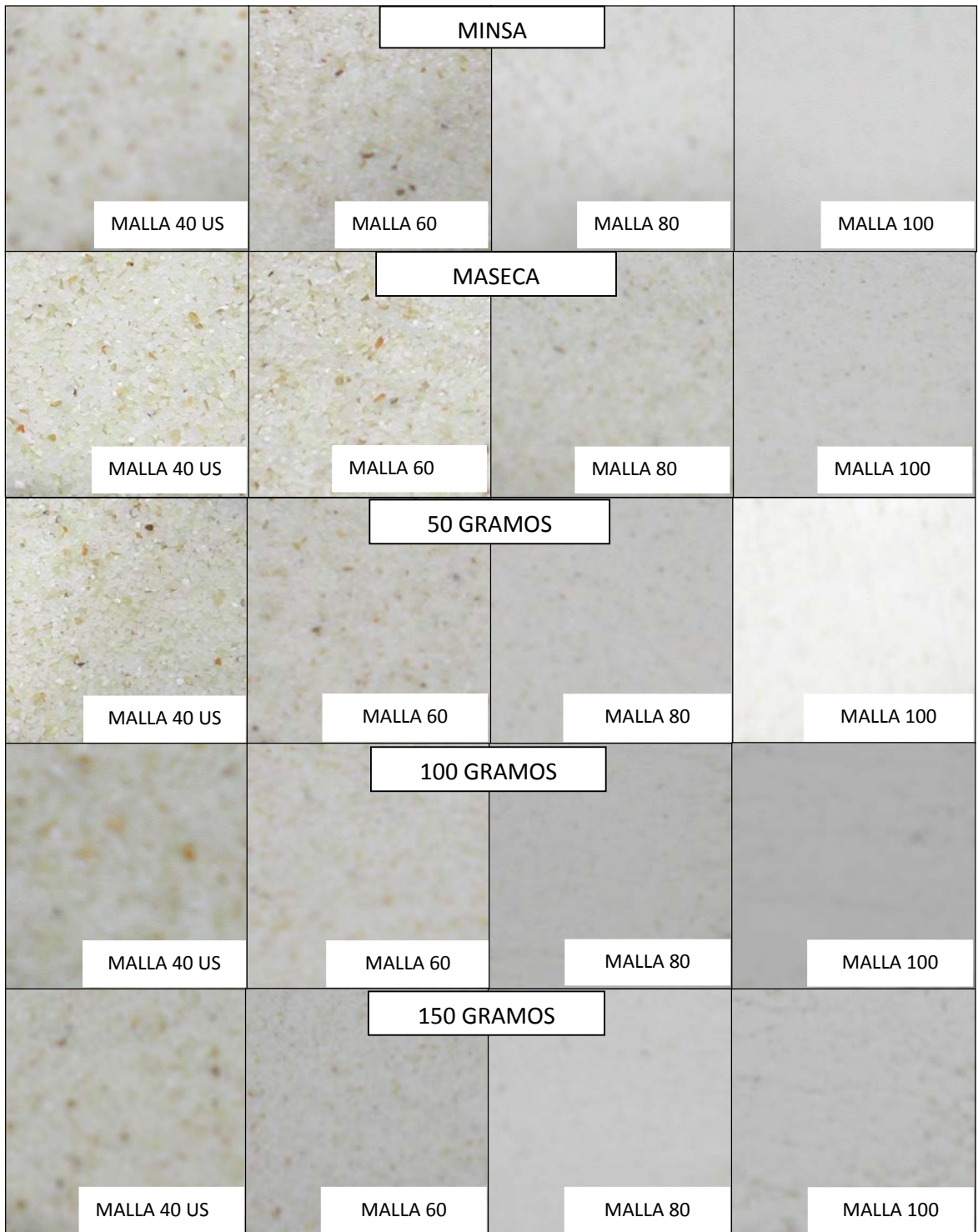


Figura 3.3: Harina de maíz nixtamalizado con 60 minutos de ozonización muestras control.

### 3.1.1.1 CLARIDAD (L)

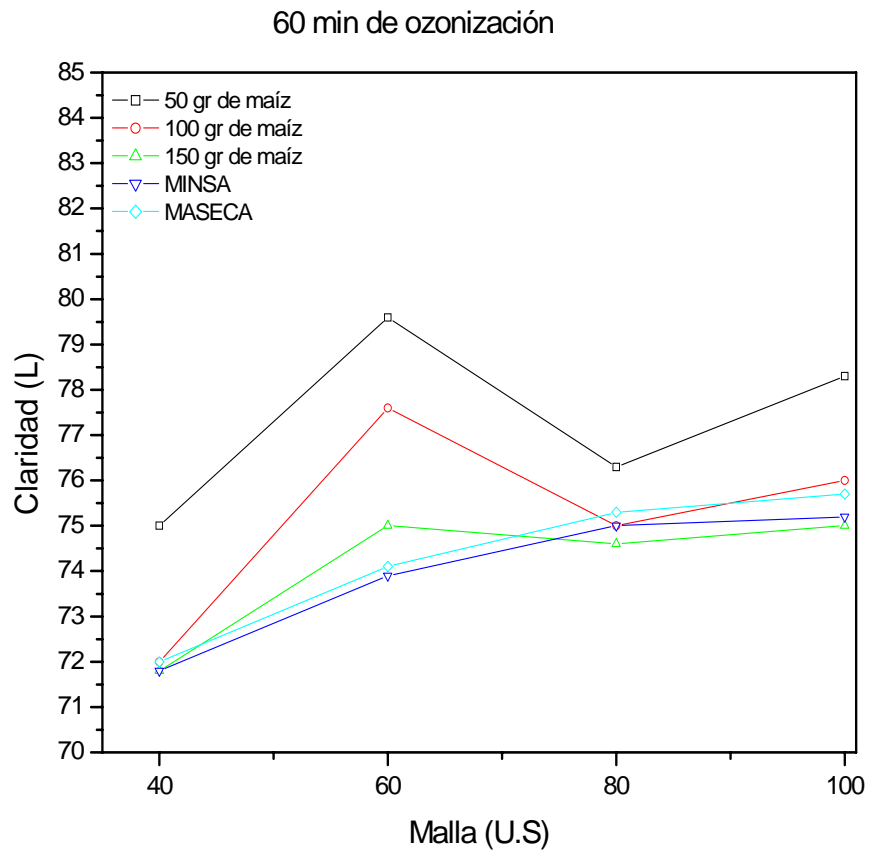


Figura 3.4: Se muestra el parámetro L de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 60 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra

En la figura 3.4 se muestra el parámetro L de las muestras control (Minsa y Maseca) y de las harinas de maíz nixtamalizado en función del número de malla para diferentes cantidades de maíz como son: 50, 100 y 150 gramos con el mismo tiempo de ozonización en medio acuoso de 60 minutos. El parámetro L se incrementa en la muestra de 50 gramos para todas las distribuciones de tamaño de partícula con respecto a las muestras control, así como para la muestra de 100g de maíz en la malla 60 y 100 U.S. con el mismo tiempo de ozonización. En cambio todas las demás muestras el parámetro L es similar a la muestra control. Entonces demostramos que el proceso de ozonificación en medio acuoso si funciona para incrementar la blancura en las harinas de maíz nixtamalizado. Al disminuir la cantidad de muestra, se incrementa la claridad, ya que, existe una mayor disposición de ozono en cada grano de maíz. El máximo de blancura se observa en la malla 60 para las diferentes cantidades de muestra. Para el caso de la muestra control y las muestras correspondientes a las mallas 40, 80 y 100 U.S se incrementa la blancura a medida que se aumenta el número de malla.

En la figura 3.5 se muestran las fotografías de las muestras control y muestras de maíz nixtamalizado con un tiempo de ozonización de 90 minutos en función del número de malla y peso de la muestra. En las muestras control a medida que se acrecienta el número de malla se incrementa la blancura y cuando el peso de la muestra se incrementa se observa que aumenta la intensidad del color amarillo. En el caso de las muestras control encontramos que la muestra de maseca es más blanca que minsa ligeramente.



Figura 3.5: Harina de maíz nixtamalizado para 90 minutos de ozonización y muestras control.



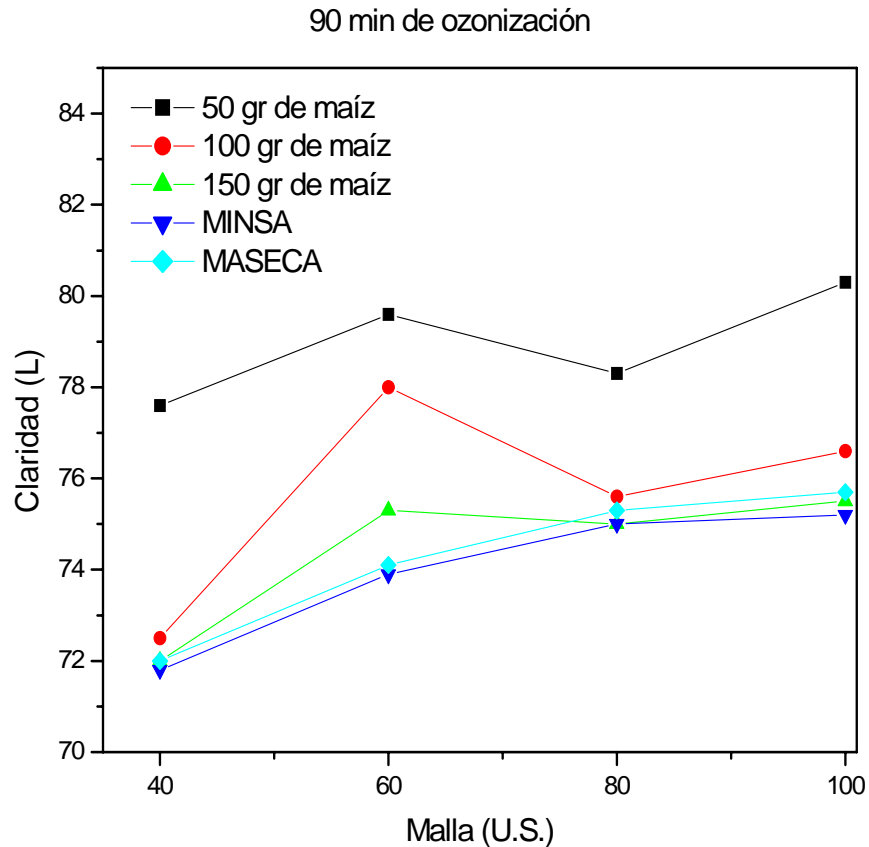


Figura 3.6: Se muestra el parámetro L de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 90 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra

En la figura 3.6 se muestra el parámetro L de las muestras control (Minsa y Maseca) y las harinas de maíz nixtamalizado en función del número de malla para diferentes cantidades de maíz como son: 50, 100 y 150 g con el mismo tiempo de ozonización en medio acuoso de 90 minutos. El parámetro L se incrementa en la muestra de 50 y 100 gramos para todas las distribuciones de tamaño de partícula con el mismo tiempo de ozonización. En cambio la muestra de 150g el parámetro L es similar a las muestras control. Al disminuir la cantidad de muestra, se incrementa la claridad, ya que, existe una mayor disposición de ozono en cada grano de maíz. Comparando los resultados de la figura 2 con los de la figura 1 se observa que los valores de L en la muestra de 50 gramos tienden hacia una línea recta a medida que se incrementa el tiempo de ozonización. Conforme disminuye el tamaño de partícula se incrementa el valor de la claridad para las muestras control y las mutras de 50 y 150g. Para el caso de la muestra de 100g existe un máximo de blancura en la malla 60 aun mayor para las demás mallas de la misma muestra.





Figura 3.7: Harina de maíz nixtamalizado para 120 minutos de ozonización y muestras control.

En la figura 3.7 se muestran las fotografías de las muestras control y muestras de maíz nixtamalizado con un tiempo de ozonización de 120 minutos en función del número de malla y peso de la muestra. En las muestras control a medida que se acrecienta el número de malla se incrementa la blancura. Y aumenta la intensidad del color amarillo a media que el peso de la muestra se incrementa. En el caso de las muestras control encontramos que la muestra de maseca es más blanca que minsa ligeramente.

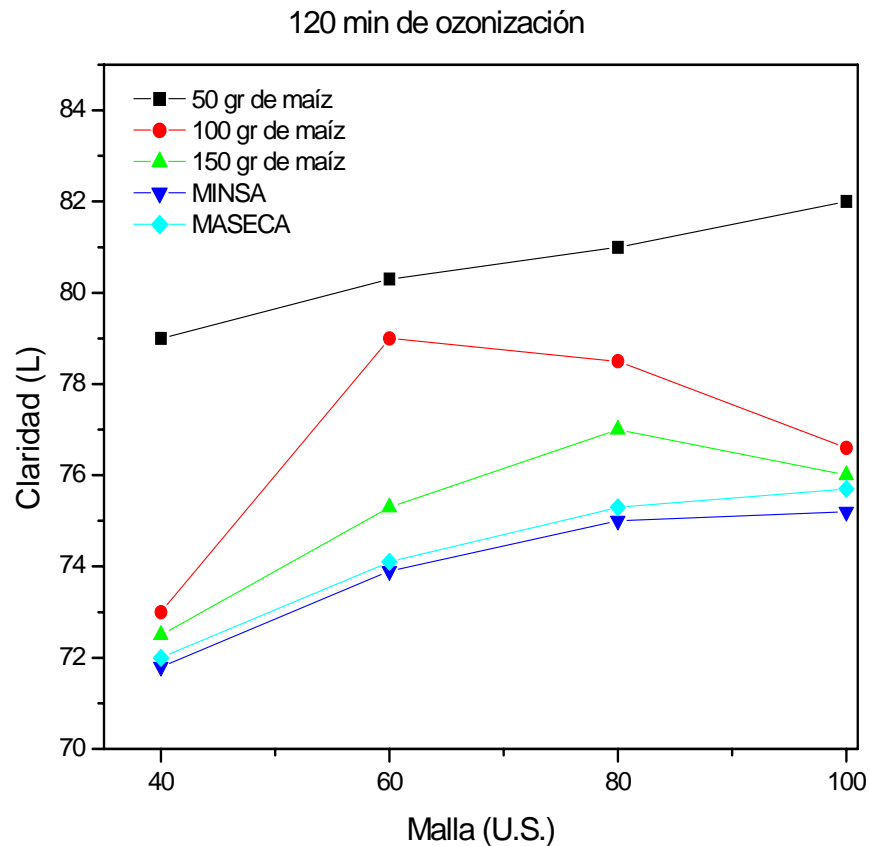


Figura 3.8: Se muestra el parámetro L de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 120 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra

En la figura 3.8 se muestra el parámetro L de las muestras control (Minsa y Maseca) y las harinas de maíz nixtamalizado en función del número de malla para diferentes cantidades de maíz como son: 50, 100 y 150 g con el mismo tiempo de ozonización en medio acuoso de 120 minutos. El parámetro L se incrementa con la muestra de 50, 100 y 150 gramos para todas las distribuciones de tamaño de partícula. Encontramos que el proceso de ozonización si funciona para incrementar la blancura en las harinas de maíz nixtamalizado ozonificadas en medio acuoso. Al disminuir la cantidad de muestra, se incrementa la claridad, ya que, existe una mayor disposición de ozono en cada grano de maíz. Para la muestra de 50 gramos de maíz nixtamalizado se observa una línea recta de forma ascendente, para este caso de incrementar el número de malla aumenta la

blancura en las harinas de maíz nixtamalizado. Así mismo se observa que existe un máximo en la muestra de 100 g para la malla 60 U.S. con respecto a los valores de la misma muestra, de 150 gramos y muestras control.

### 3.1.1.2 CROMATICIDAD (b)

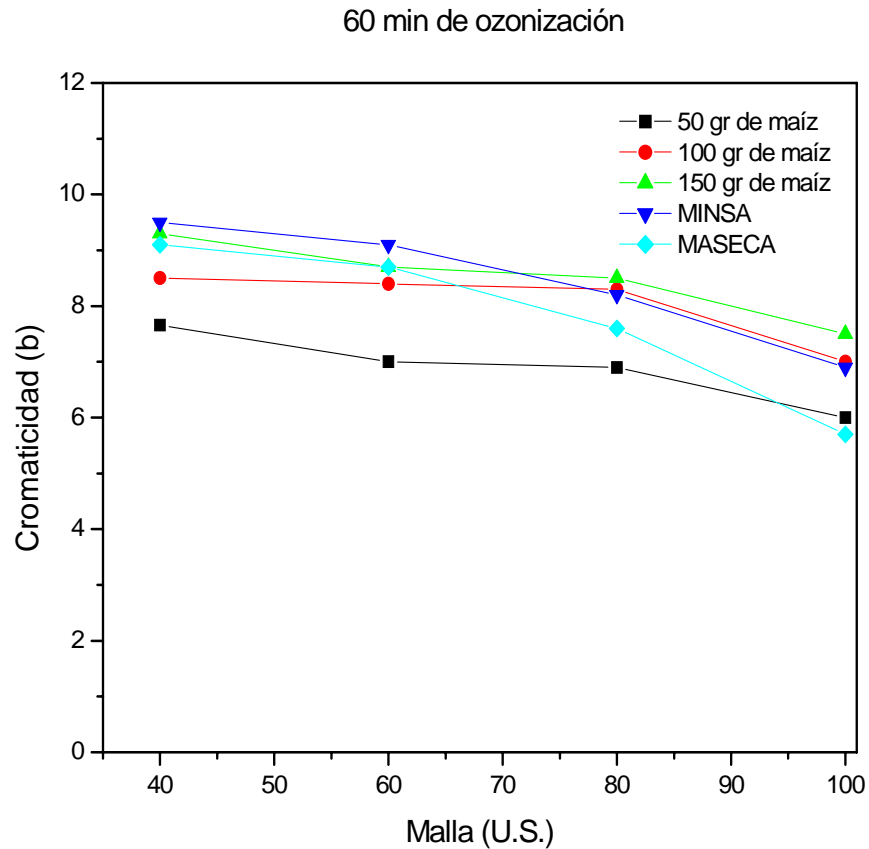


Figura 3.9: Se muestra el parámetro b de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 120 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra

En la figura 3.9 se muestra el parámetro b de la muestra control (Minsa y Maseca) y las harinas de maíz nixtamalizado en función del número de malla para diferentes cantidades de maíz como son: 50, 100 y 150 gramos con el mismo tiempo de ozonización en medio acuoso de 60 minutos. El parámetro de color b es el que nos indica la intensidad del color amarillo. El parámetro b disminuye en la muestra de 50 gramos para las distribuciones de tamaño de partícula de la malla 40, 60 y 80, así como para la muestra de 100 gramos de maíz en la malla 40 y 60 con el mismo tiempo de ozonización. En cambio todas las demás muestras el parámetro b es similar a la muestra control. Entonces encontramos que el proceso de ozonización si funciona para disminuir la intensidad del color amarillo en las harinas de maíz nixtamalizado ozonificadas en

medio acuoso. Al disminuir la cantidad de muestra, disminuye la cromaticidad (b), ya que, existe una mayor disposición de ozono en cada grano de maíz.

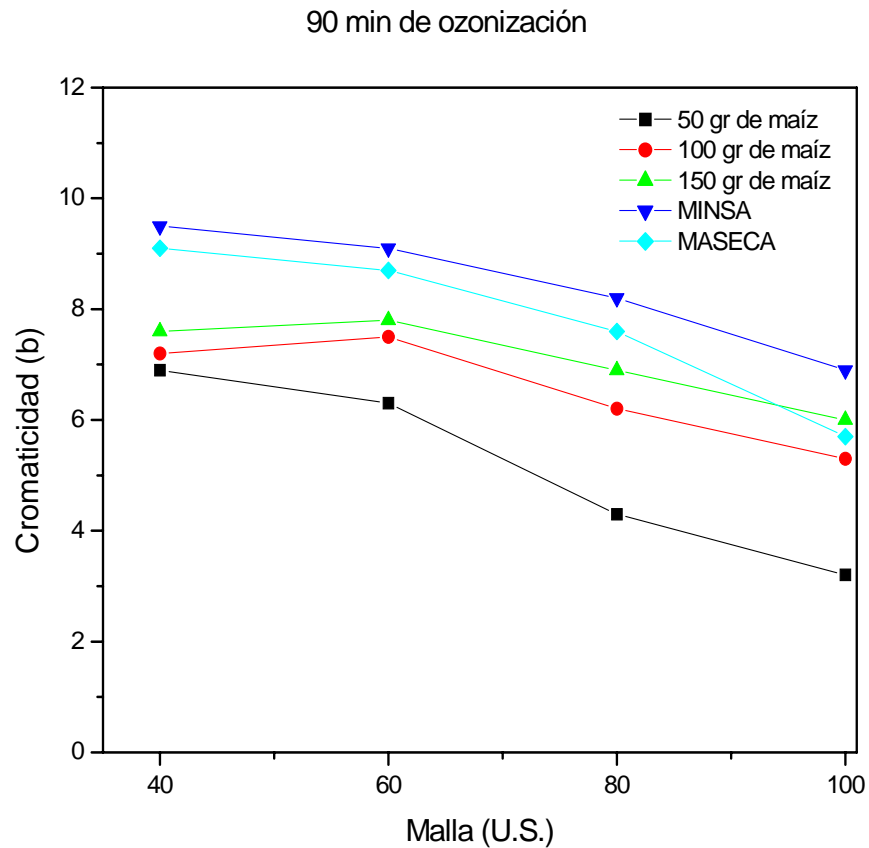


Figura 3.10: Se muestra el parámetro b de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 120 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra

En la figura 3.10 se muestra el parámetro b de la muestra control (Minsa y Maseca) y las harinas de maíz nixtamalizado en función del número de malla para diferentes cantidades de maíz como son: 50, 100 y 150 gramos con el mismo tiempo de ozonización en medio acuoso de 90 minutos. El parámetro b disminuye en las muestras de 50 y 100 gramos para las diferentes distribuciones de tamaño de partícula, así como para la muestra de 150 gramos de maíz en la malla 40, 60 y 80 con el mismo tiempo de ozonización. Para la malla 100 en 150 gramos de maíz el parámetro b es similar a las muestras control. Entonces encontramos que el proceso de ozonización sí funciona para disminuir la intensidad del color amarillo en las harinas de maíz nixtamalizado ozonificadas en medio acuoso. Al disminuir la cantidad de muestra, disminuye la cromaticidad (b), ya que, existe una mayor disposición de ozono en cada grano de maíz.

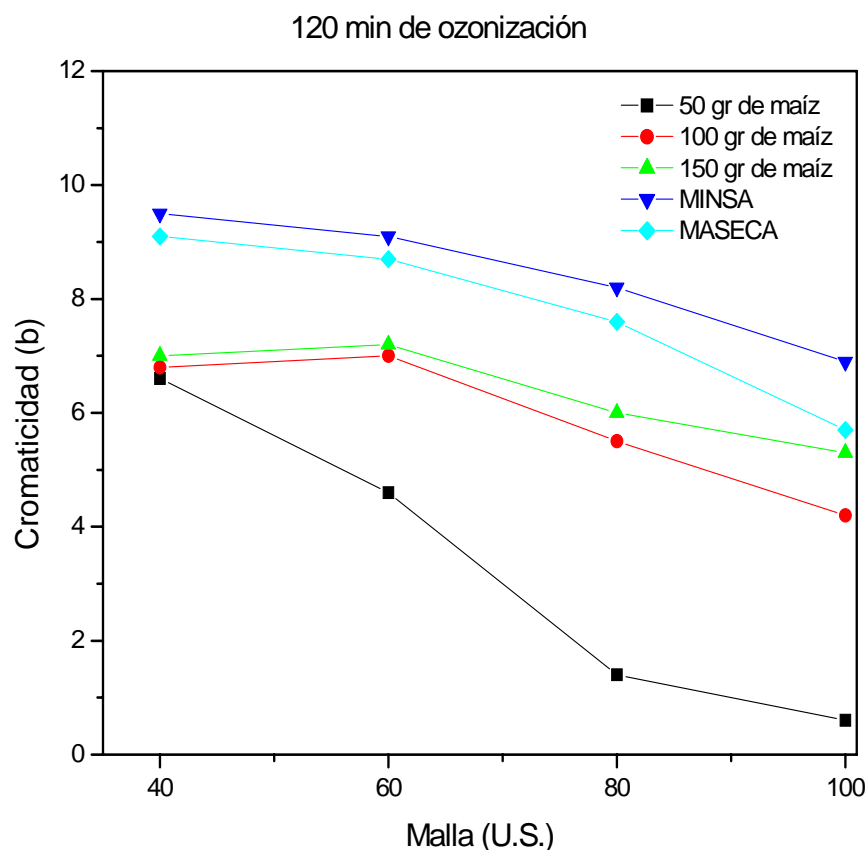


Figura 3.11: Se muestra el parámetro b de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 120 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra

En la figura 3.11 se muestra el parámetro b de las muestra control (Minsa y Maseca) y las harinas de maíz nixtamalizado en función del número de malla para diferentes cantidades de maíz como son: 50, 100 y 150 g con el mismo tiempo de ozonización en medio acuoso de 120 minutos. El parámetro b disminuye en la muestra de 50, 100 y 150 gramos para todas las distribuciones de tamaño de partícula con el mismo tiempo de ozonización. Para la muestra de 50 g de maíz nixtamalizado se observa una línea casi recta de forma descendente, para este caso entre más fina es la malla disminuye la intensidad de color amarillo en la harina.

Entonces encontramos que el proceso de ozonización si funciona para disminuir la intensidad del color amarillo en las harinas de maíz nixtamalizado ozonificadas en medio acuoso. Al disminuir la cantidad de muestra, disminuye la cromaticidad (b), ya que, existe una mayor disposición de ozono en cada grano de maíz.

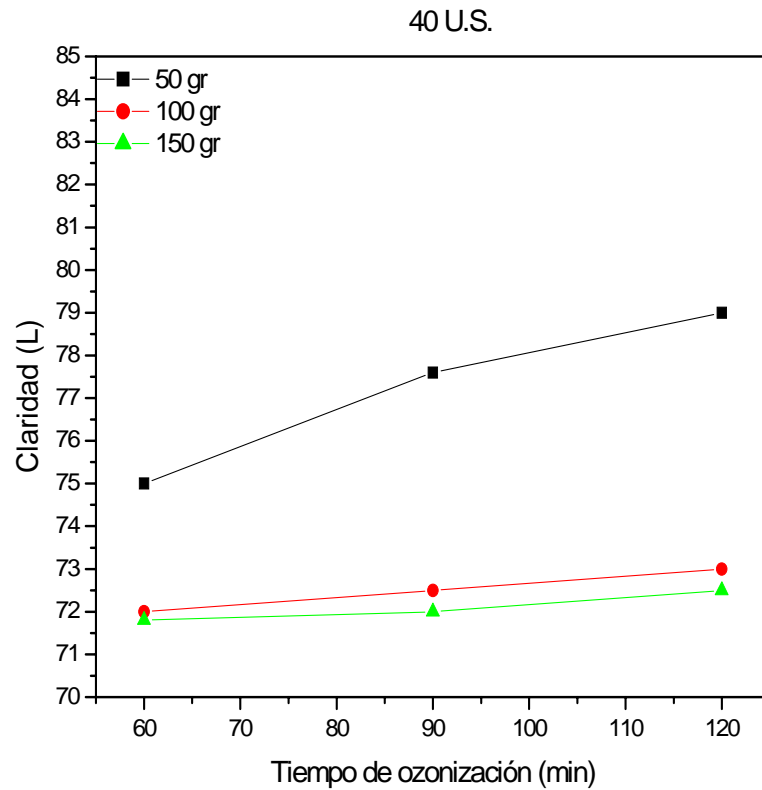


Figura 3.12: Se muestra el parámetro L de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 40 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g)

En la figura 3.12 se muestra el parámetro L de las harinas de maíz nixtamalizado retenida en la malla 40 en función del tiempo de ozonización de muestras de 50, 100 y 150 gramos. Se observa que el parámetro L se incrementa a medida que aumentamos el tiempo de ozonización en caso de la muestra de 50g. Y para el caso de las otras dos muestras no hay una diferencia significativa. El aumento del parámetro L representa un aumento en la claridad de las muestras.

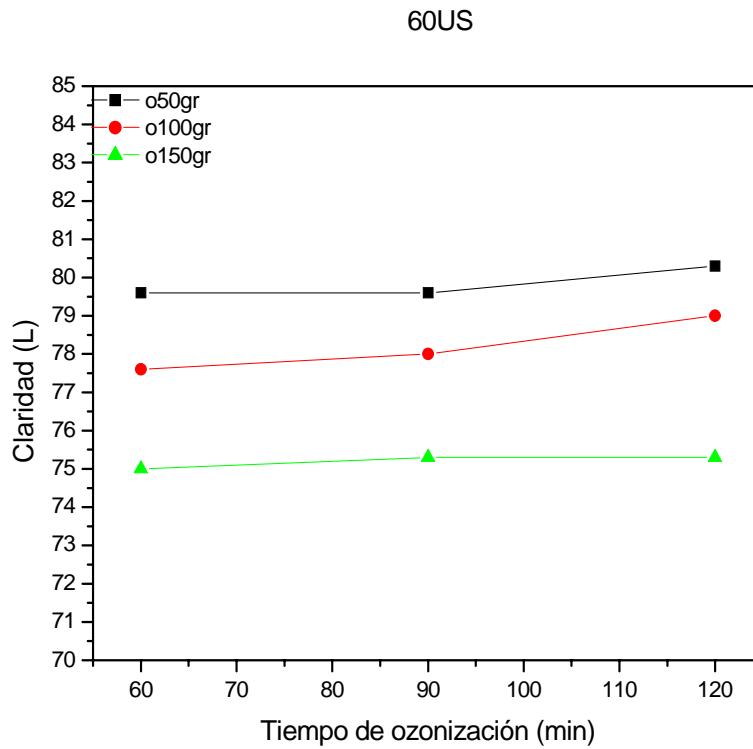


Figura 3.13: Se muestra el parámetro L de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 60 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).

En la figura 3.13 se muestra el parámetro L de las harinas de maíz nixtamalizado retenida en la malla 60 en función del tiempo de ozonización de muestras de 50, 100 y 150 gramos. El aumento del parámetro L representa un aumento en la claridad de las muestras. Se observa que el parámetro L se incrementa a medida que disminuimos la cantidad de muestra. Para el caso de las distribuciones de tamaño de partícula retenida en la malla 60 se observa una influencia que al incrementar la masa de la muestra disminuye el parámetro L, esto significa que la disposición de ozono es menor en los granos de maíz.

### 80US

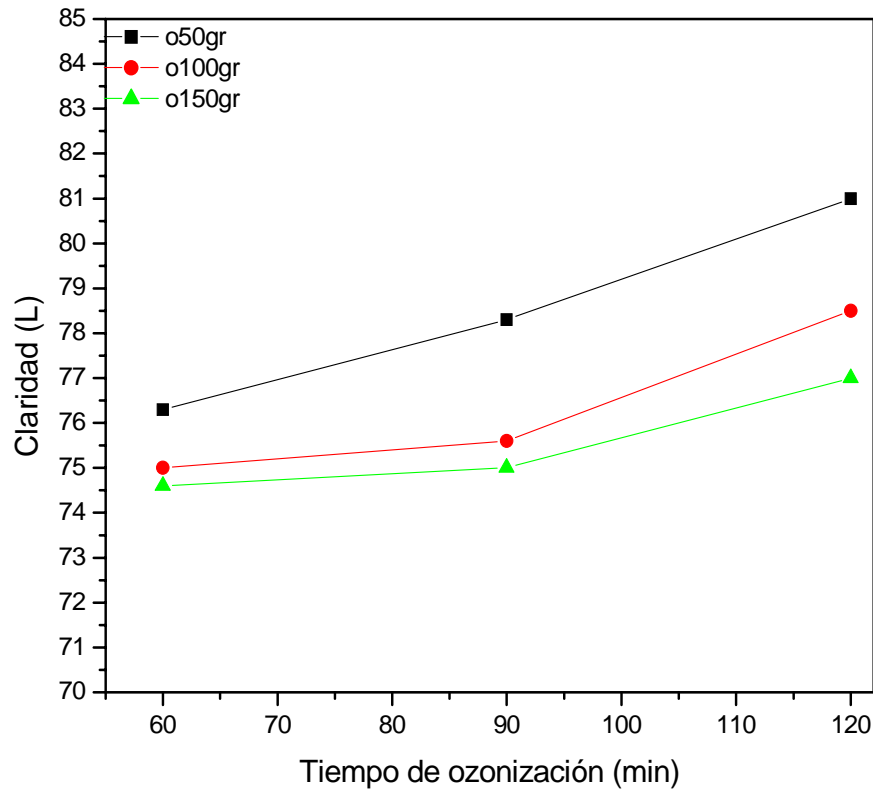


Figura 3.14: Se muestra el parámetro L de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 80 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).

En la figura 3.14 se muestra el parámetro L de las harinas de maíz nixtamalizado retenida en la malla 80 en función del tiempo de ozonización de muestras de 50, 100 y 150 gramos. Se observa que el parámetro L se incrementa a medida que disminuimos la cantidad de muestra. El aumento del parámetro L representa un aumento en la claridad de las muestras. Para el caso de las distribuciones de tamaño de partícula retenida en la malla 60 se observa una influencia que al incrementar la masa de la muestra disminuye el parámetro L, esto significa que la disposición de ozono es menor en los granos de maíz. Esto muestra una diferencia significativa en el parámetro L de las harinas de maíz nixtamalizado como función del tiempo de ozonización a razón que se incrementa la cantidad de muestra.



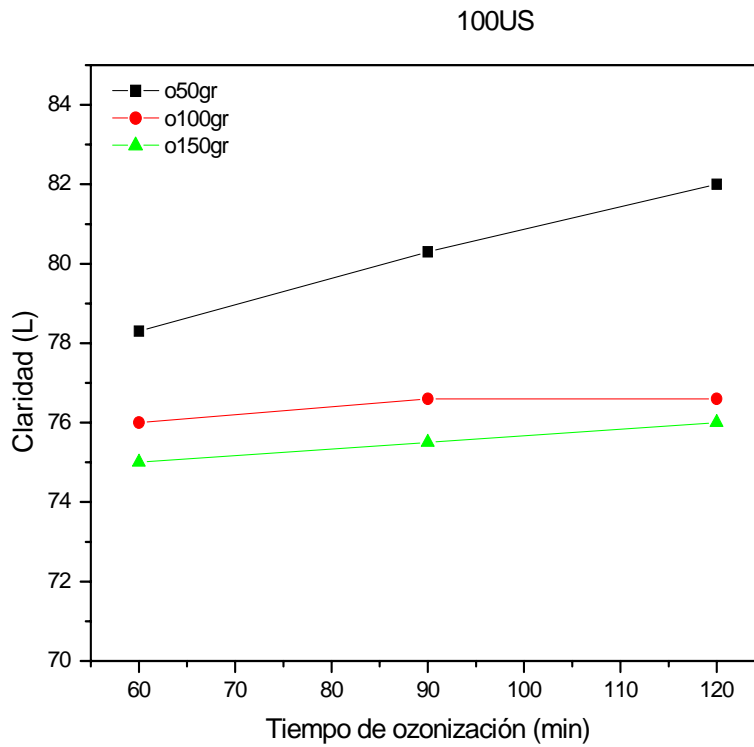


Figura 3.15: Se muestra el parámetro L de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 100 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).

En la figura 3.15 se muestra el parámetro L de las harinas de maíz nixtamalizado retenida en la malla 100 en función del tiempo de ozonización de muestras de 50, 100 y 150 gramos. El aumento del parámetro L representa un aumento en la claridad de las muestras. Se observa que el parámetro L se incrementa a medida que disminuimos la cantidad de muestra. Para el caso de las distribuciones de tamaño de partícula retenida en la malla 60 se observa una influencia que al incrementar la masa de la muestra disminuye el parámetro L, esto significa que la disposición de ozono es menor en los granos de maíz.

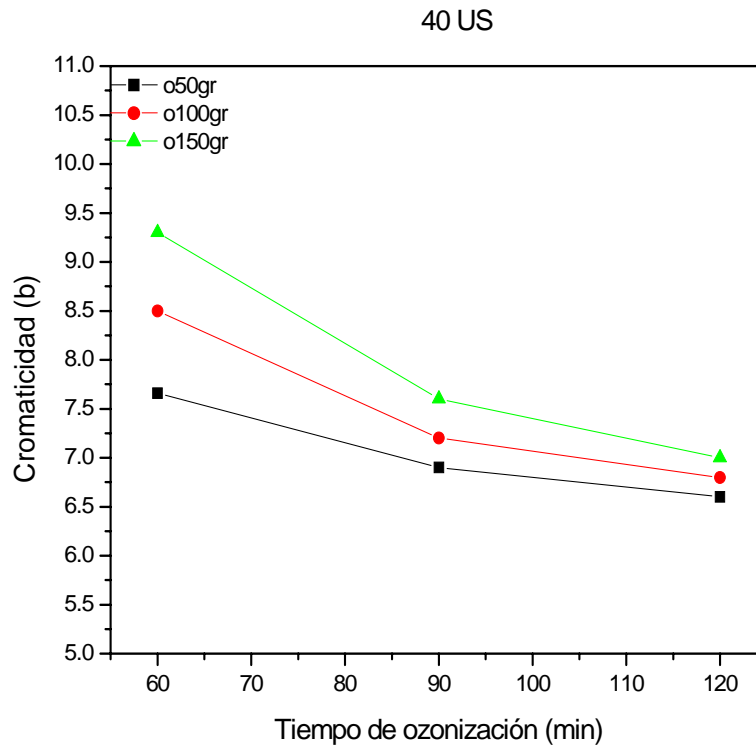


Figura 3.16: Se muestra el parámetro b de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 40 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).

En la figura 3.16 se muestra el parámetro b de las harinas de maíz nixtamalizado retenida en la malla 40 en función del tiempo de ozonización de muestras de 50, 100 y 150 gramos. La disminución del parámetro b representa una reducción en el color amarillo de las muestras. Se observa que el parámetro b disminuye a medida que reducimos la cantidad de muestra. Para el caso de las distribuciones de tamaño de partícula retenida en la malla 60 se observa una influencia que al incrementar la masa de la muestra aumenta el parámetro b, esto significa que la disposición de ozono es menor en los granos de maíz.

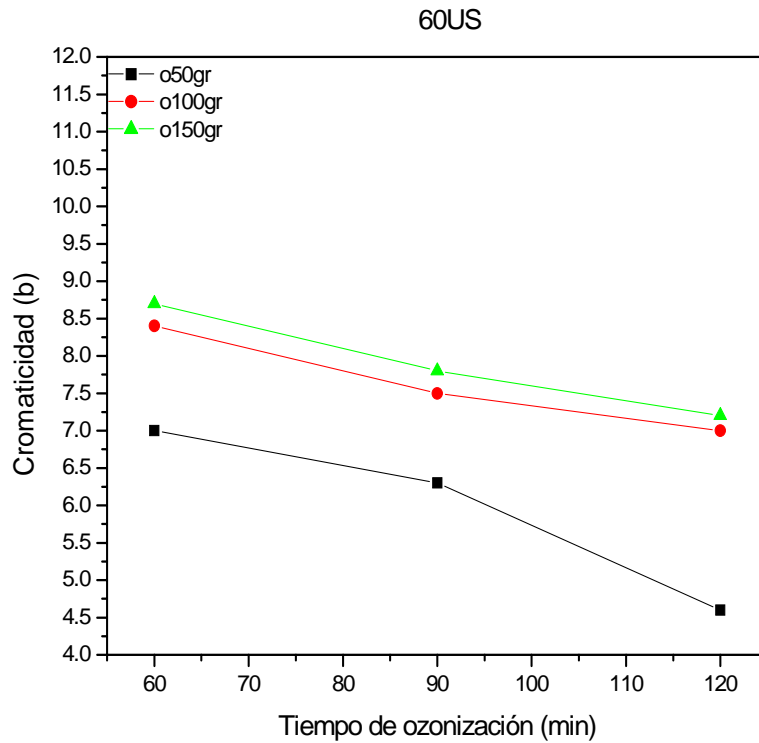


Figura 3.17: Se muestra el parámetro L de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 60 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).

En la figura 3.17 se muestra el parámetro b de las harinas de maíz nixtamalizado retenida en la malla 60 en función del tiempo de ozonización de muestras de 50, 100 y 150 gramos. La disminución del parámetro b representa una reducción en el color amarillo de las muestras. Se observa que el parámetro b disminuye a medida que reducimos la cantidad de muestra. Para el caso de las distribuciones de tamaño de partícula retenida en la malla 60 se observa una influencia que al incrementar la masa de la muestra aumenta el parámetro b, esto significa que la disposición de ozono es menor en los granos de maíz.

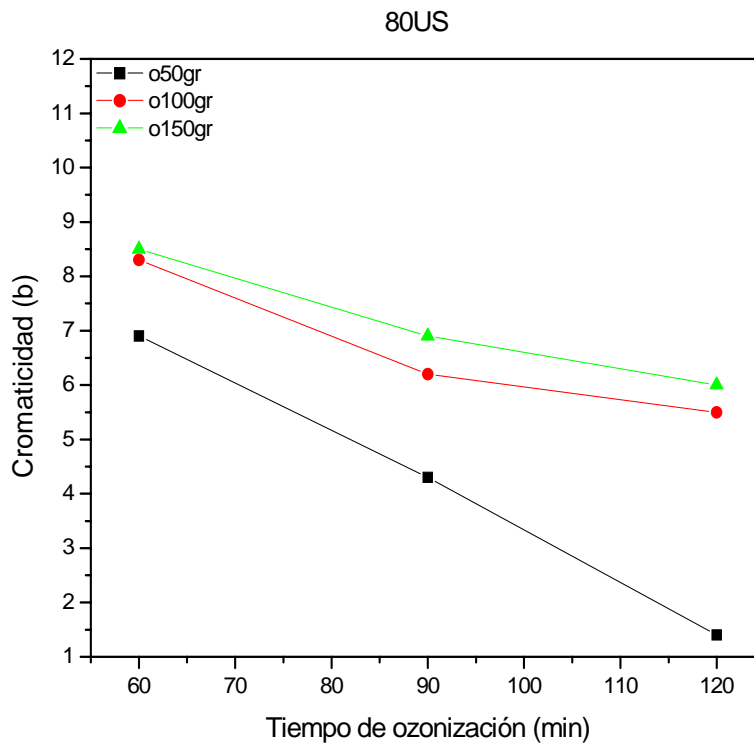


Figura 3.18: Se muestra el parámetro b de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 80 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).

En la figura 3.18 se muestra el parámetro b de las harinas de maíz nixtamalizado retenida en la malla 80 en función del tiempo de ozonización de muestras de 50, 100 y 150 gramos. La disminución del parámetro b representa una reducción en el color amarillo de las muestras. Se observa que el parámetro b disminuye a medida que reducimos la cantidad de muestra. Para el caso de las distribuciones de tamaño de partícula retenida en la malla 60 se observa una influencia que al incrementar la masa de la muestra aumenta el parámetro b, esto significa que la disposición de ozono es menor en los granos de maíz.

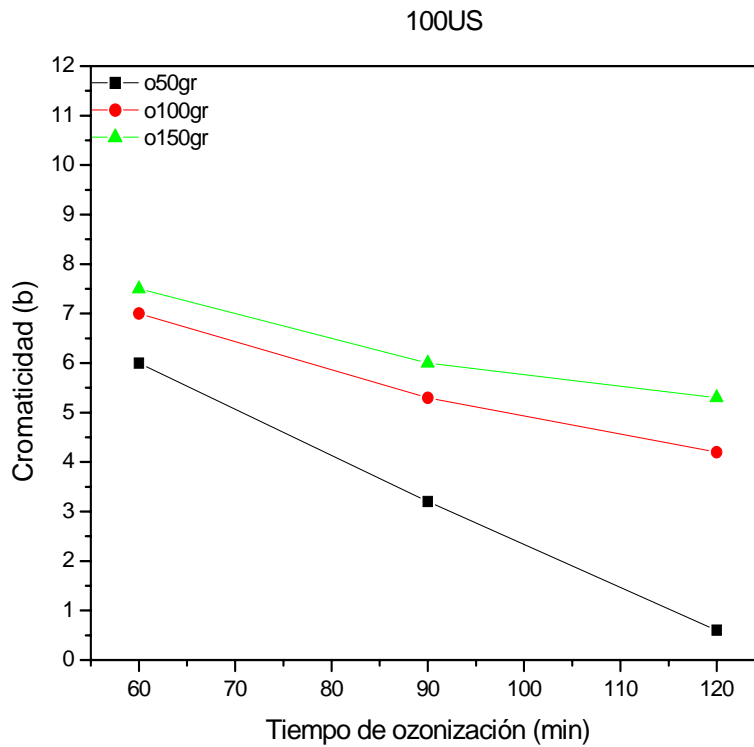


Figura 3.19: Se muestra el parámetro b de harinas de maíz nixtamalizado correspondiente a la malla 100 en función del tiempo de ozonización de diferentes cantidades de muestra (50, 100 y 150 g).

En la figura 3.19 se muestra el parámetro b de las harinas de maíz nixtamalizado retenida en la malla 100 en función del tiempo de ozonización de muestras de 50, 100 y 150 gramos. La disminución del parámetro b representa una reducción en el color amarillo de las muestras. Se observa que el parámetro b disminuye a medida que reducimos la cantidad de muestra. Para el caso de las distribuciones de tamaño de partícula retenida en la malla 60 se observa una influencia que al incrementar la masa de la muestra aumenta el parámetro b, esto significa que la disposición de ozono es menor en los granos de maíz.

### 3.1.2 DIÓXIDO DE TITANIO

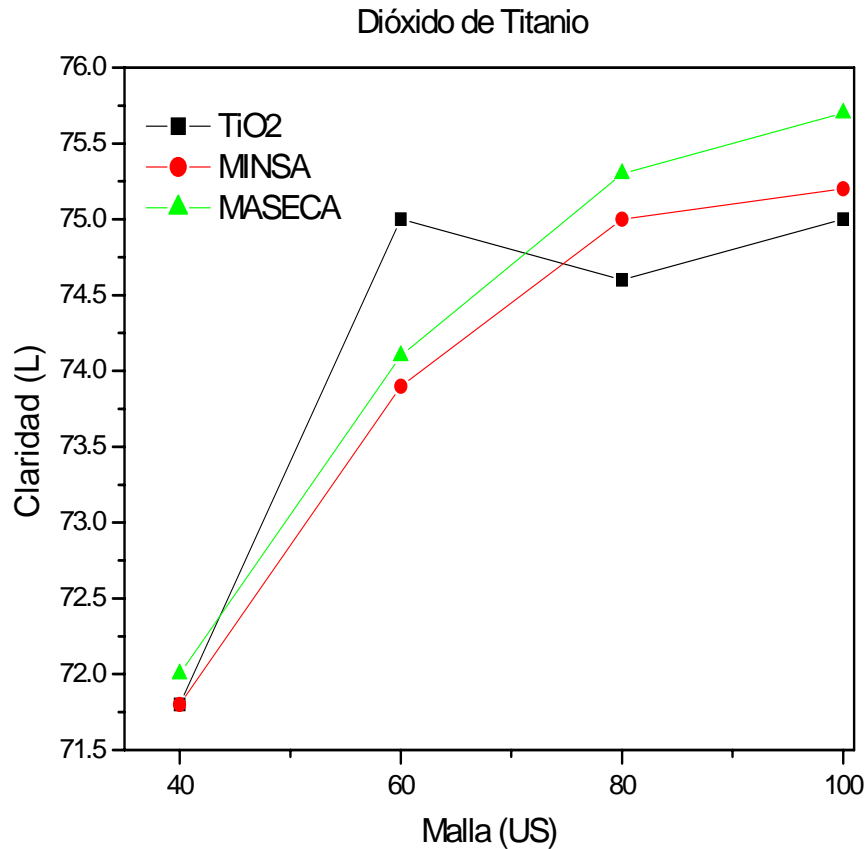


Figura 3.20: Se muestra el parámetro L de las muestras control y harinas de maíz nixtamalizado con tiempo de ozonización de 60 minutos en función del número de malla y cantidad de muestra.

En la figura 3.20 se muestra el parámetro L de las muestras control (Minsa y Maseca) y de la harina de maíz nixtamalizado con Dióxido de Titanio. El parámetro L se incrementa en todas las muestras para todas las distribuciones de tamaño de partícula con respecto a las muestras control, así como para la muestra con Dióxido de Titanio. En la malla 60 se observa un máximo para la muestra con dióxido de Titanio. En cambio todas las demás muestras el parámetro L es similar a la muestra control. Para el caso de la muestra control y las muestras correspondientes a las mallas 40, 80 y 100 U.S. se incrementa la blancura a medida que se aumenta el número de malla.

### Dióxido de Titanio

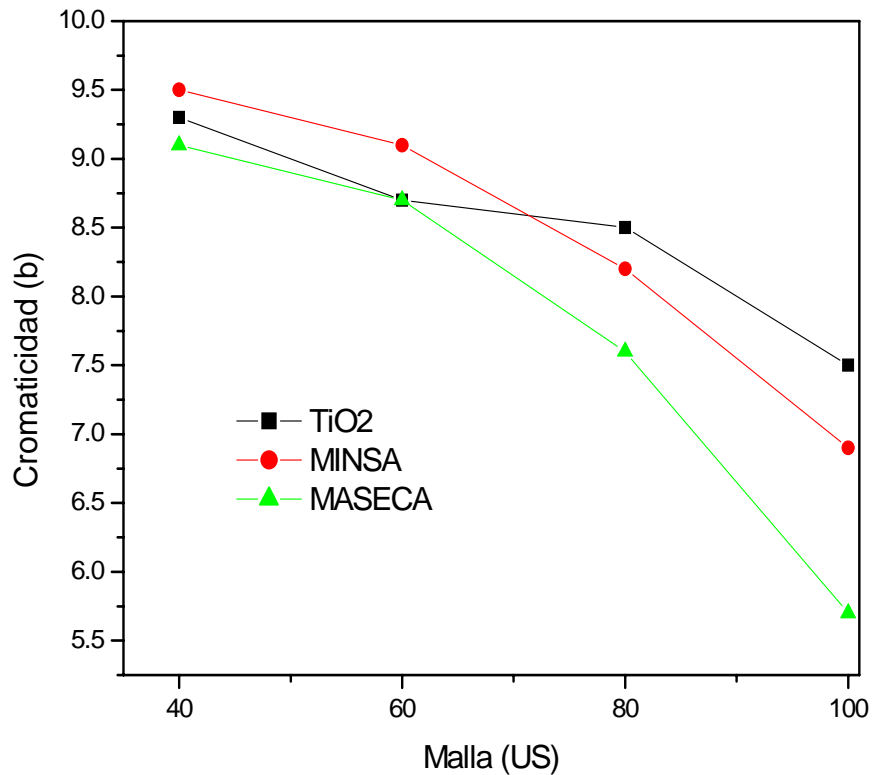


Figura 3.21: Se muestra el parámetro b de las muestras control (minsá y Maseca) y harina de maíz nixtamalizado con Dióxido de Titanio.

En la figura 3.21 se muestra el parámetro b de la muestra control (Minsa y Maseca) y harina de maíz nixtamalizado con Dióxido de Titanio. El parámetro de color b es el que nos indica la intensidad del color amarillo. Se observa que cuanto más pequeño es el tamaño de partícula las muestras pierden color amarillo. Para la curva de dióxido de Titanio, se observa en la malla 80 que disminuye menos en relación a las harinas control Minsa y Maseca.

### 3.1.3 DIFERENCIA DE COLOR DE HARINAS NIXTAMALIZADAS CON TIEMPO DE OZONIZACIÓN RESPECTO A MINSa Y MASECA

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta a)^2} \dots\dots\dots ec. 1$$

Para la diferencia de color no se tomara en cuenta el parámetro “a” ya que no tiene un valor significativo y puede omitirse.

Ejemplo:

Valores

	<b>MASECA</b>	<b>MINSA</b>
<b>L</b>	<b>92</b>	<b>73</b>
<b>a</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>
<b>b</b>	<b>4</b>	<b>12</b>

Tabla 3.1: Valores de color para Maseca y Minsa

Sustituyendo valores en ec. 1:

$$\begin{aligned} \Delta E &= \sqrt{(92 - 73)^2 + (4 - 12)^2 + (-1 - 0)^2} \\ &= \sqrt{(19)^2 + (8)^2 + (1)^2} \\ &= 20.63 \end{aligned}$$

Ahora si descartamos el valor de  $\Delta a$  nos queda:

$$\begin{aligned} \Delta E &= \sqrt{(19)^2 + (8)^2} \\ &= 20.61 \end{aligned}$$

Por lo tanto se descarta el valor de  $\Delta a$ .

Tiempo de ozonización (mm)	Cantidad de muestra (g)	Número de malla (US)	$\Delta E$ Respecto a Minsa	$\Delta E$ Respecto a Maseca
		40	3.69128704	3.32770191



		60	6.07453702	5.75673519	
		80	1.83847763	1.22065556	
		100	3.22800248	2.61725047	
	100		40	1.0198039	0.6
			60	3.76563408	3.51283361
			80	0.1	0.76157731
			100	0.80622577	1.33416641
	150		40	0.2	0.28284271
			60	1.17046999	0.9
			80	0.5	1.14017543
			100	0.63245553	1.93132079
	90	50	40	6.35609943	6.01664358
60			6.35059052	6.00083328	
80			5.10881591	4.45982062	
100			6.3007936	5.23545605	
100			40	2.40416306	1.96468827
			60	4.40113622	4.08044115
			80	2.0880613	1.43178211
			100	2.12602916	0.98488578
150			40	1.91049732	1.5
			60	1.91049732	1.5
			80	1.3	0.76157731
			100	0.9486833	0.36055513
120	50	40	7.76208735	7.43303437	
		60	7.823682	7.43303437	
		80	9.06862724	8.42199501	
		100	9.26984358	8.10555365	
	100		40	2.95465734	2.50798724
			60	5.51543289	5.18652099
			80	4.42040722	3.82753184
			100	3.04138127	1.74928557
	150		40	2.596151	2.15870331
			60	2.36008474	1.92093727
			80	2.97321375	2.33452351
			100	1.78885438	0.5

Tabla 3.2: Tiempo de ozonización y  $\Delta E$  para Maseca y Minsa.

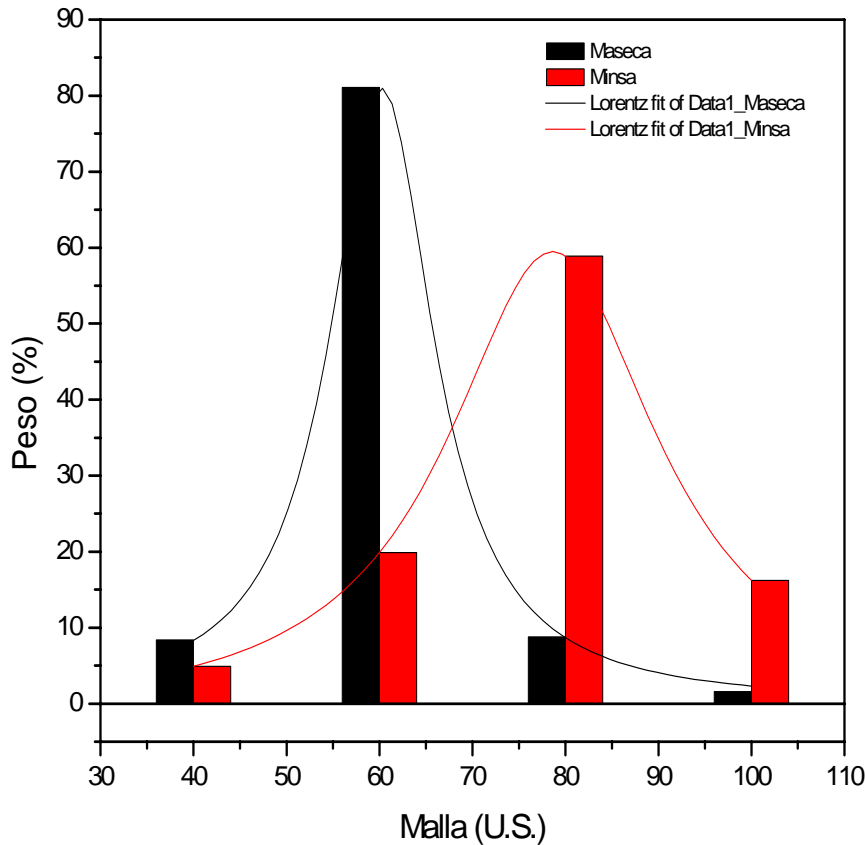


Figura 3.22: Se muestra la distribución de tamaño de partícula de las muestras control

La figura 3.22 muestra el porcentaje de tamaño de partícula de las muestras control, para el conjunto de mallas 40, 60, 80 y 100 U.S. Como podemos observar para el caso de la muestra de maseca el mayor porcentaje de tamaño de partícula se encuentra en la malla 60 U.S. con un valor de 80 % aproximadamente y para minsa el mayor porcentaje se encuentra en la malla 80 U.S. con un valor de 60 % aproximadamente, esto significa que la muestra de minsa contiene una mayor cantidad de partícula más fina. Un 35 % del peso total de minsa es contenido entre la malla 60 y 100 U.S. Por lo tanto podemos decir que la industria de minsa tiene una molienda más fina respecto a maseca.

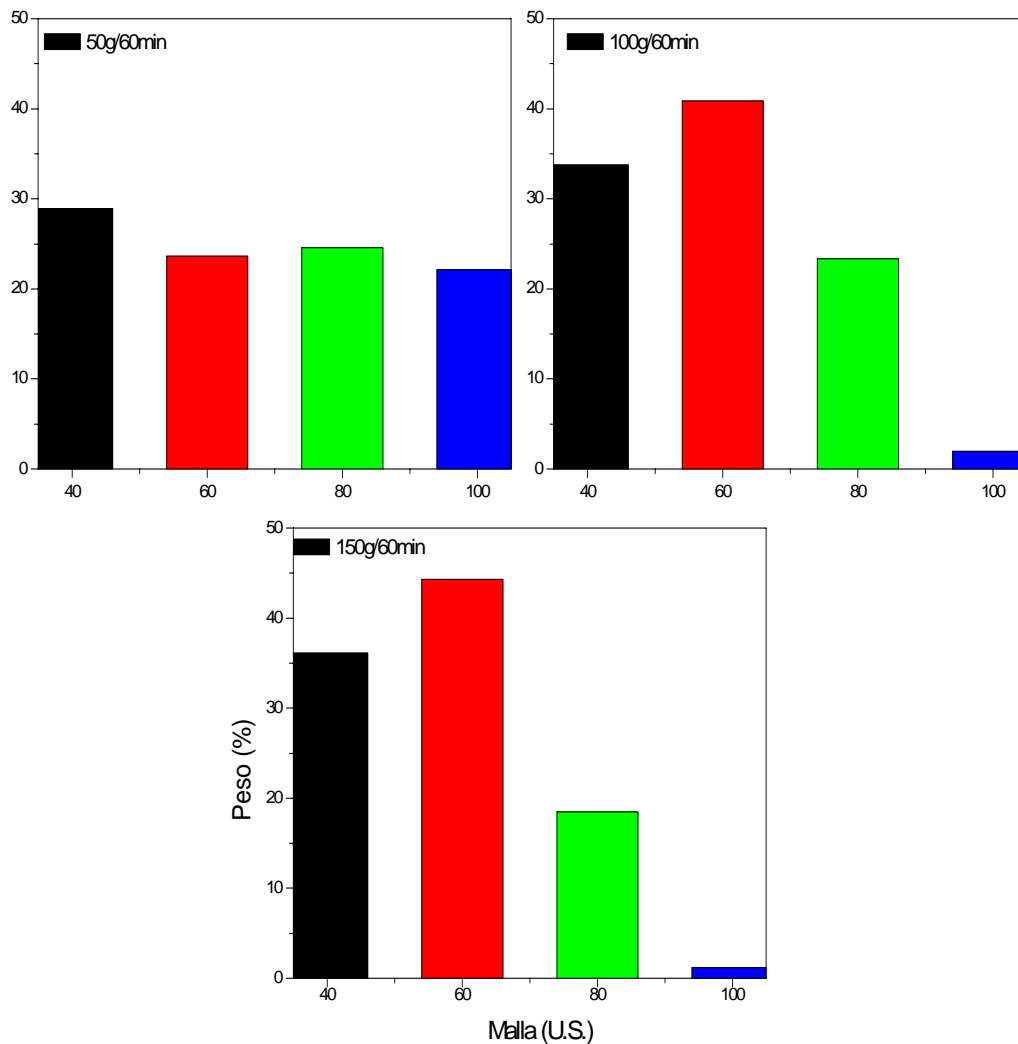


Figura 3.23: Se muestra la distribución de tamaño de partícula de las muestras de harina de maíz nixtamalizado en función del número de malla para 60 min de ozonización y diferentes cantidades de muestra.

La figura 3.23 muestra el porcentaje de tamaño de partícula de maíz nixtamalizado con 60 minutos de ozonización acuosa, para el conjunto de mallas 40, 60, 80 y 100 U.S. En la figura se observan diferentes cantidades de muestra de maíz nixtamalizado tales como 50, 100 y 150 g respectivamente. Se puede observar para el caso de la muestra de 50 g que su porcentaje de peso es casi homogéneo para todas las mallas, se encuentra entre el 20 y 28 %. Para la muestra de 100 g se encuentra un máximo de peso en la malla 60 con 41% y un mínimo en la malla 100 con el 2 %. Para la muestra de 150 g su máximo peso se localiza en la malla 60 con 44 % y su mínimo en la malla 100 con el 1%. Comparando las 3 gráficas se observa que la muestra de 150 g contiene mayor tamaño de partícula y la muestra de 50 g es la que tiene tamaños de partícula más pequeños, por

lo tanto la muestra de 50 g contiene una molienda más homogénea. Pudiera ser que el tiempo de ozonización influya en el tamaño de partícula.

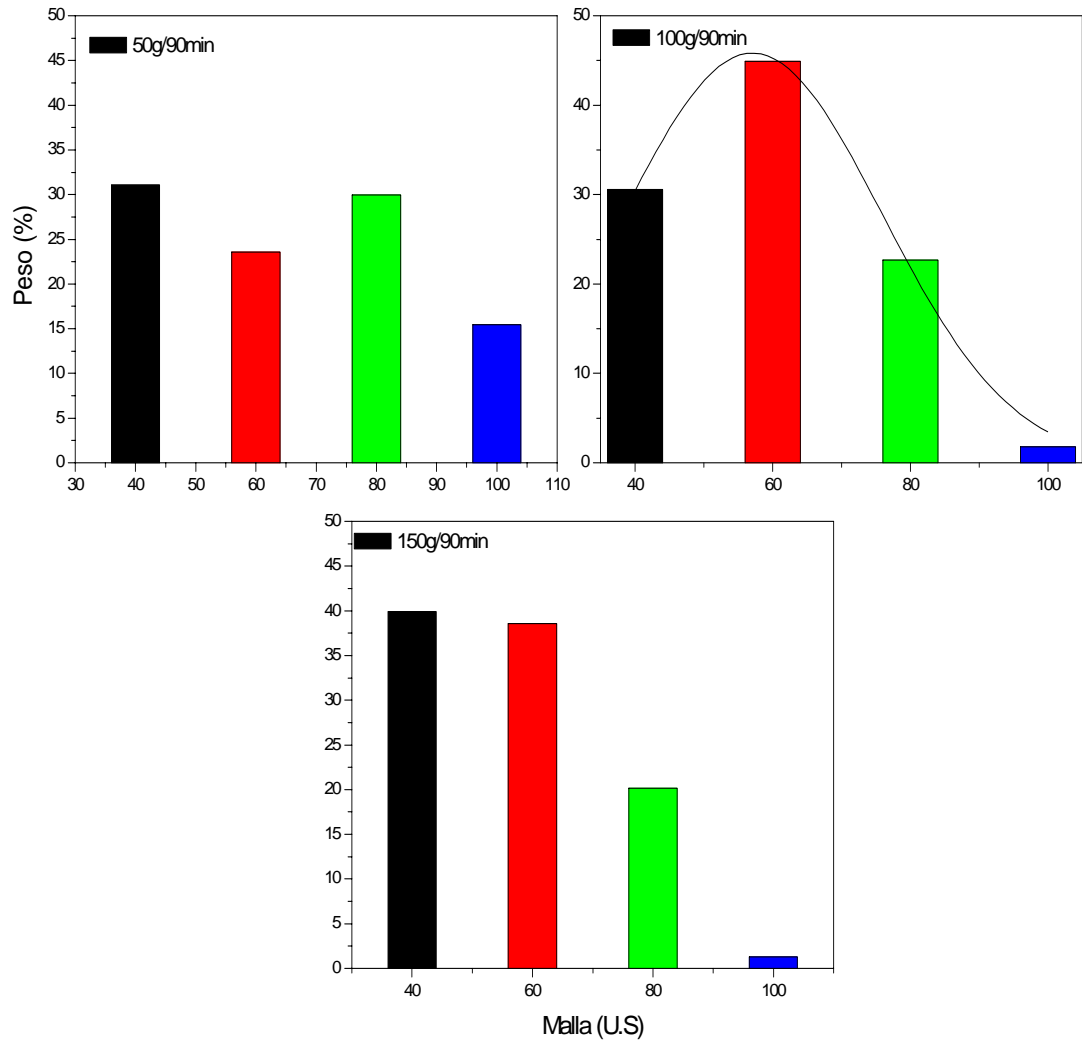


Figura 3.24: Se muestra la distribución de tamaño de partícula de las muestras de harina de maíz nixtamalizado en función del número de malla para 90 min de ozonización y diferentes cantidades de muestra.

La figura 3.24 muestra el porcentaje de tamaño de partícula de maíz nixtamalizado con 90 minutos de ozonización acuosa, para el conjunto de mallas 40, 60, 80 y 100 U.S. En la figura se observan diferentes cantidades de muestra de maíz nixtamalizado tales como 50, 100 y 150 g respectivamente. Se puede observar para el caso de la muestra de 50 g que su mayor porcentaje de peso se encuentra en la malla 40 y su menor porcentaje está en la malla 100 con 15 %. Para la muestra de 100 g se encuentra un máximo de peso en la malla 60 con 45 % y un mínimo en la malla 100 con el 2 %. Para la muestra de 150 g

su máximo peso se localiza en la malla 40 con 40 % y su mínimo en la malla 100 con 1 %. Comparando las 3 gráficas se observa que la muestra de 100 g contiene mayor tamaño de partícula y la muestra de 50 g es la que tiene tamaños de partícula más pequeños, por lo tanto en la muestra de 50 g se observan menores diferencias en el porcentaje de peso, en su molienda. Pudiera ser que el tiempo de ozonización influya en el tamaño de partícula.

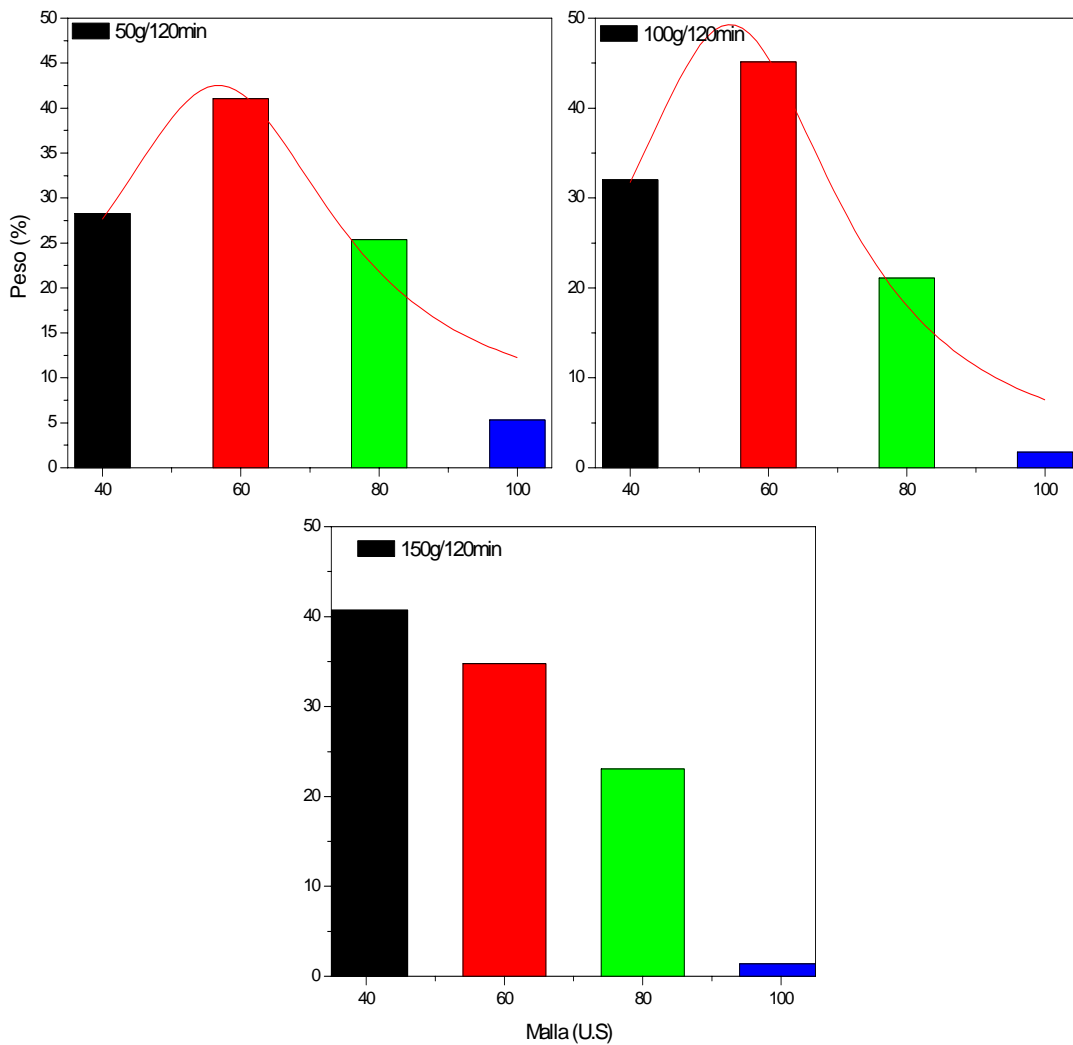


Figura 3.25: Se muestra la distribución de tamaño de partícula de las muestras de harina de maíz nixtamalizado en función del número de malla para 120 min de ozonización y diferentes cantidades de muestra.

La figura 3.25 muestra el porcentaje de tamaño de partícula de maíz nixtamalizado con 120 minutos de ozonización acuosa, para el conjunto de mallas 40, 60, 80 y 100 U.S. En la figura se observan diferentes cantidades de muestra de maíz nixtamalizado tales como

50, 100 y 150 g respectivamente. Se puede observar para el caso de la muestra de 50 g que su mayor porcentaje de peso se encuentra en la malla 60 con 42 % y su menor porcentaje está en la malla 100 con 6 %. Para la muestra de 100 g se encuentra un máximo de peso en la malla 60 con 45 % y un mínimo en la malla 100 con el 2 %. Para la muestra de 150 g su máximo peso se localiza en la malla 40 con 42 % y su mínimo en la malla 100 con 1 %. Comparando las 3 gráficas se observa que la muestra de 100 g contiene mayor cantidad de tamaño de partícula de malla 60 mientras que la muestra de 50 g es la que tiene mayor cantidad de tamaño de partícula de malla 100, por lo tanto en la muestra de 50 g se sigue conservando mejor la molienda respecto a las muestras de 100 y 150 g. Pudiera ser que el tiempo de ozonización influya en el tamaño de partícula.

### 3.1.4 GRÁFICA DE VISCOSIDADES PARA MAÍZ NIXTAMALIZADO CON OZONO

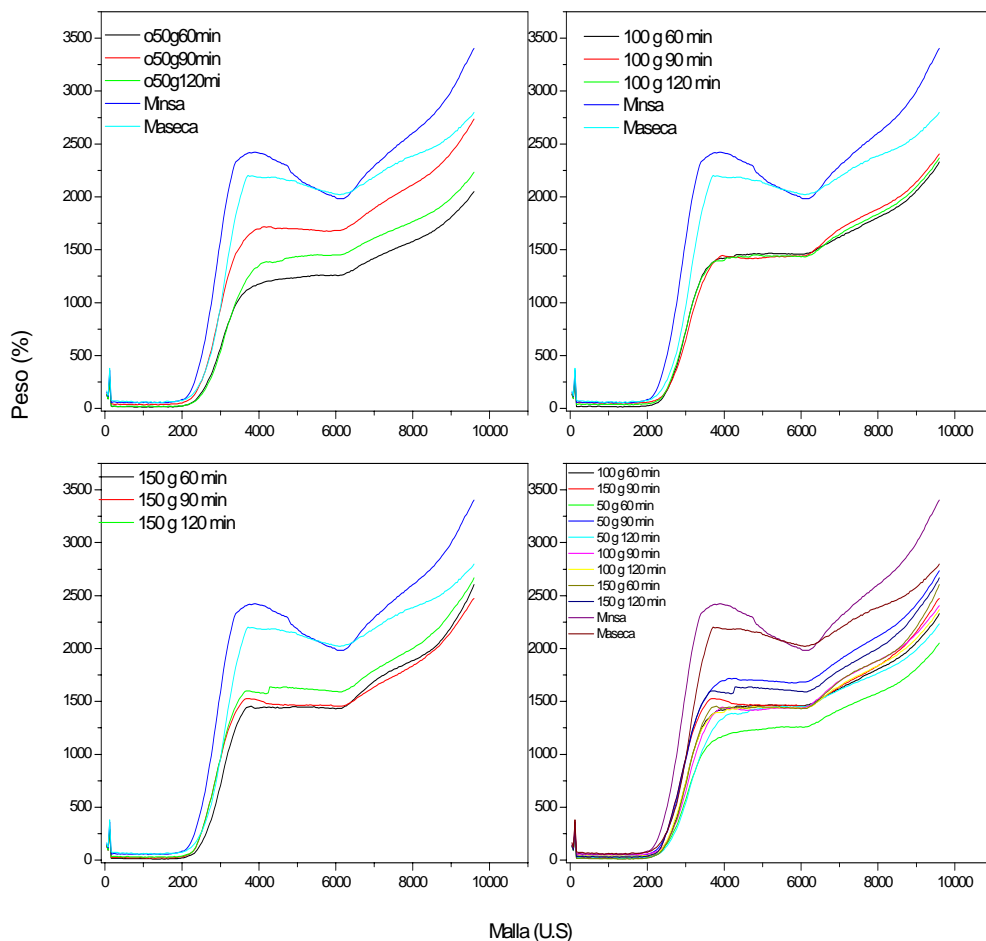
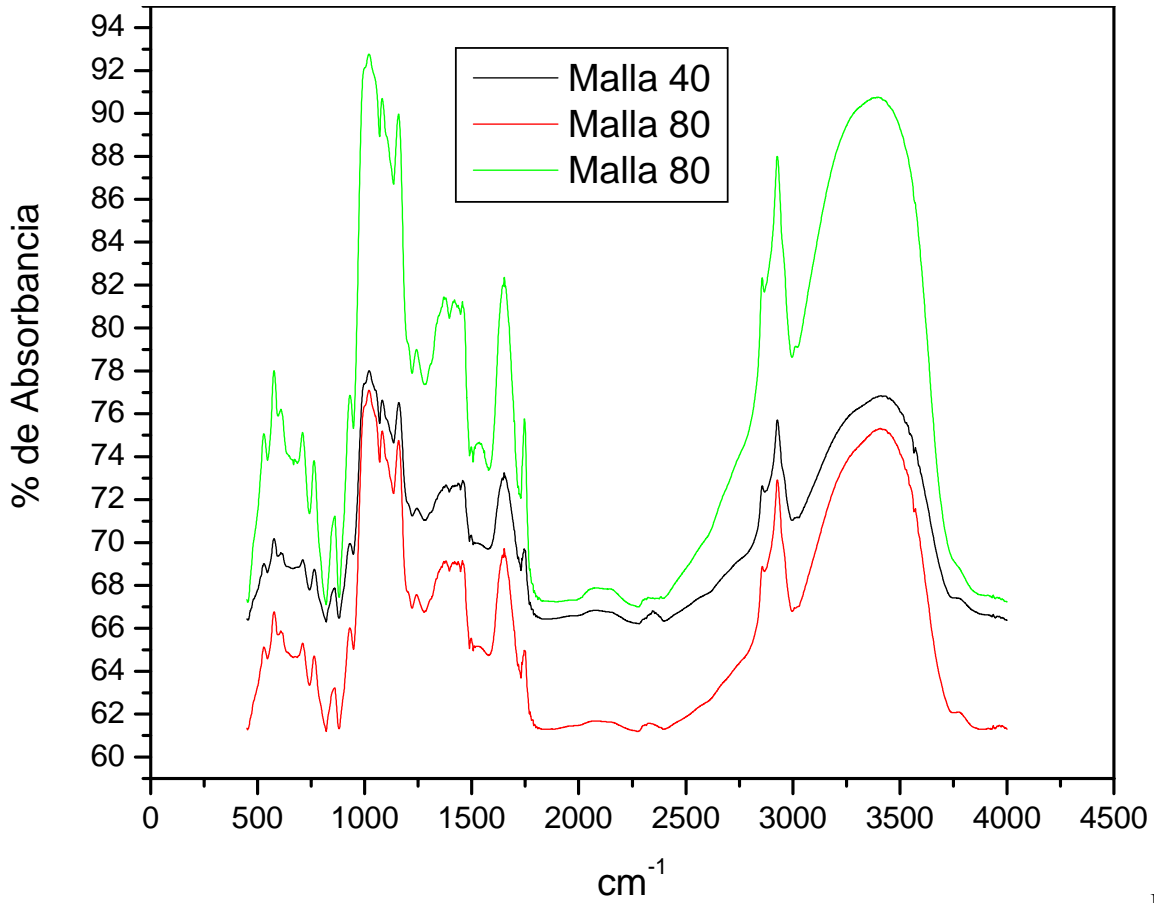


Figura 3.26: Viscosidades de maíz nixtamalizado con ozono.

En la figura 3.26 se muestran las viscosidades de maíz nixtamalizado con ozono para 50, 100 y 150 g de muestra, cada una para diferentes tiempos de ozonización 60, 90 y 120 minutos, así mismo se muestran las viscosidades de las muestras control Maseca y Minsa. Los perfiles del maíz nixtamalizado con ozono disminuyen respecto al de minsa y maseca. Esta caída de viscosidad se debe probablemente al tipo de molienda que se realizó a las harinas ozonizadas, ya que se llevó a cabo en un molino de martillo de martillos, el cual tiene la desventaja de calentarse en poco tiempo de molienda. Se puede observar que minsa desarrolla mayor viscosidad que maseca y por lo tanto es la mayor de todas.

### 3.1.5 MUESTRAS ANALIZADAS CON INFRARROJO

## ABSORBANCIA

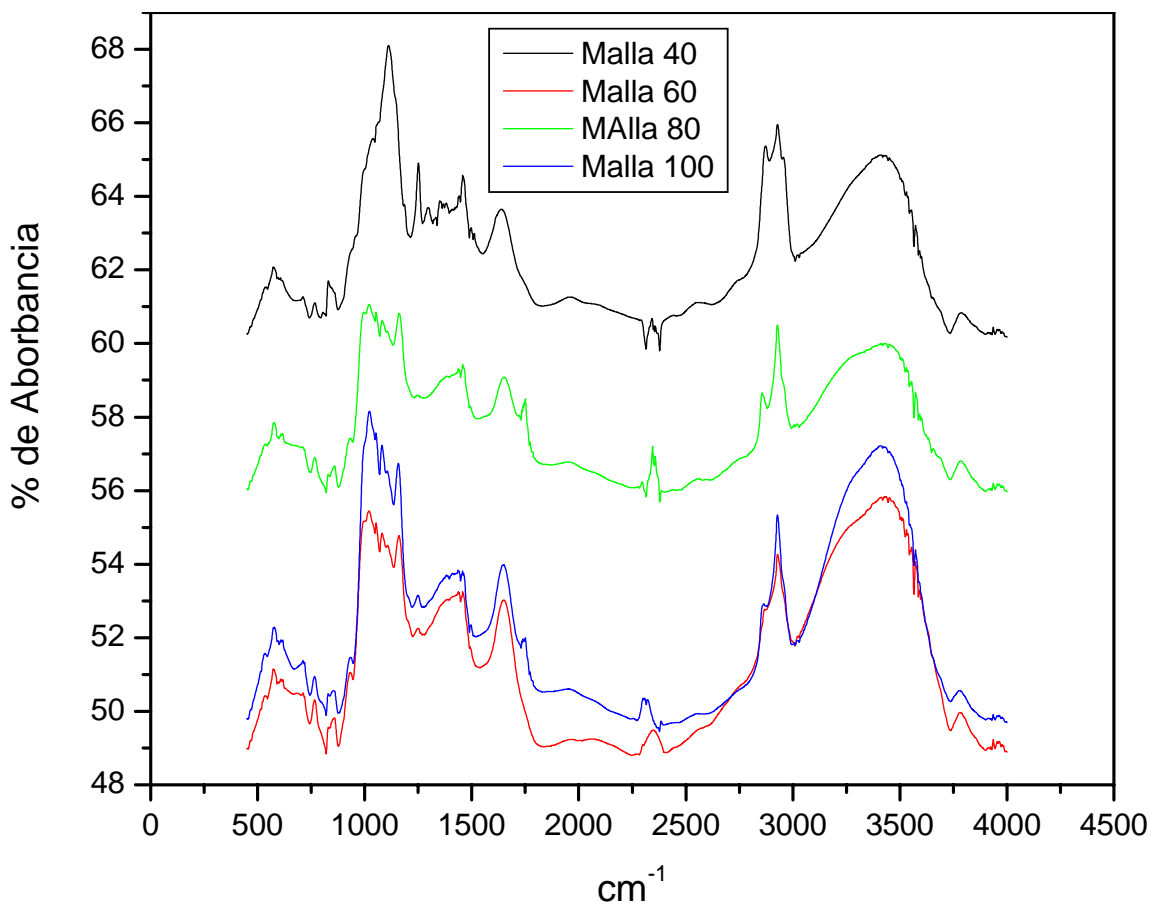


Figura

3.27: Muestra de harina de maíz Maseca analizada con IR.

En la figura 3.27 se observa que los carbohidratos tienen bandas de absorción en la región 1160-1000  $\text{cm}^{-1}$  que involucra estiramientos de los enlaces C-O de los grupos COH y COC. Bandas fuertes y anchas de absorción situadas a 3350  $\text{cm}^{-1}$  son causadas por los estiramientos OH. Los picos medianos de absorción cercanos a 2900  $\text{cm}^{-1}$  son causados por el estiramiento los enlaces C-H, agitaciones de CH y CH<sub>2</sub> y deformaciones en el plano CH. Las bandas medianas que pertenecen a la región 960-730  $\text{cm}^{-1}$  están relacionadas con la presencia de  $\alpha$ -Glucosa constituyente de la amilosa y la amilopectina.





Figura

3.28: Muestra de harina de 50 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 60 minutos, analizada con IR.

En la figura 3.28 se observa que los carbohidratos tienen bandas de absorción en la región 1160-990  $\text{cm}^{-1}$  que involucra estiramientos de los enlaces C-O de los grupos COH y COC. Bandas fuertes y anchas de absorción situadas a 3400  $\text{cm}^{-1}$  son causadas por los estiramientos OH. Los picos medianos de absorción cercanos a 2900  $\text{cm}^{-1}$  son causados por el estiramiento los enlaces C-H, agitaciones de CH y CH<sub>2</sub> y deformaciones en el plano CH. Las bandas medianas que pertenecen a la región 960-730  $\text{cm}^{-1}$  están relacionadas con la presencia de  $\alpha$ -Glucosa constituyente de la amilosa y la amilopectina.

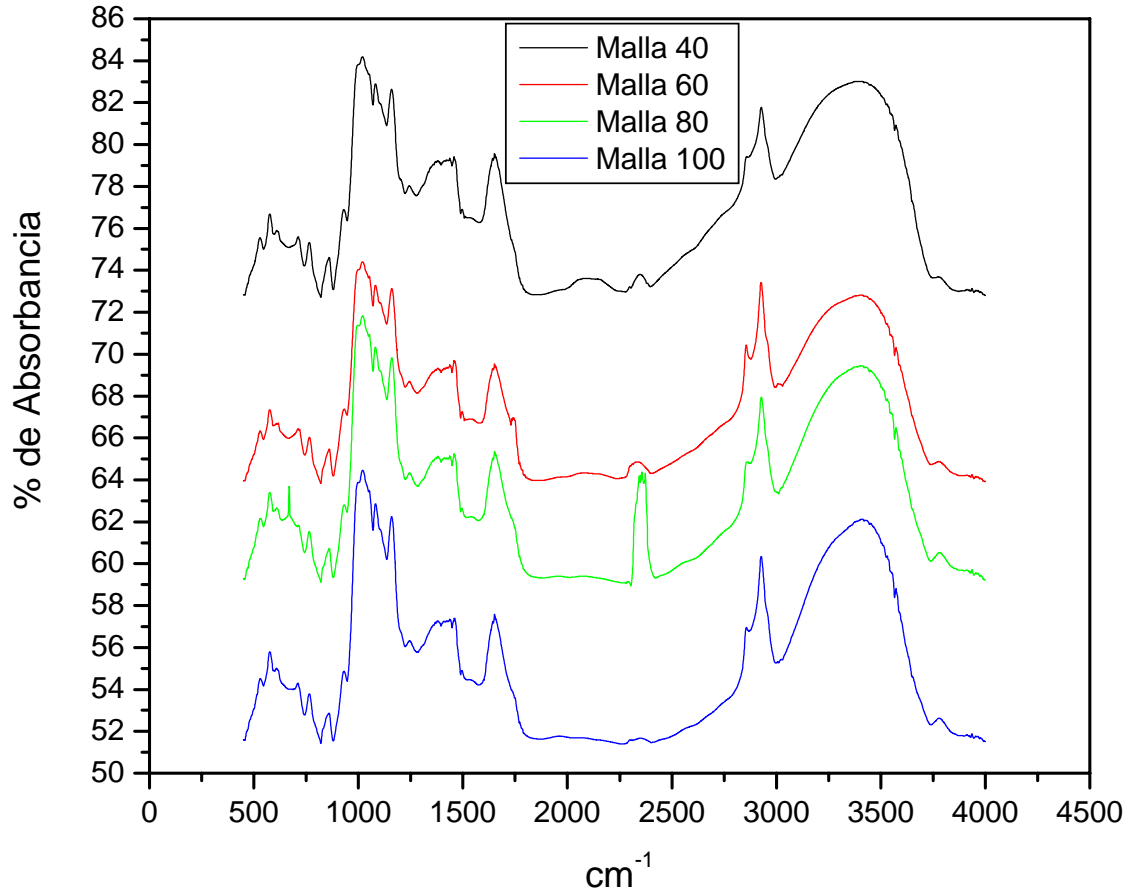
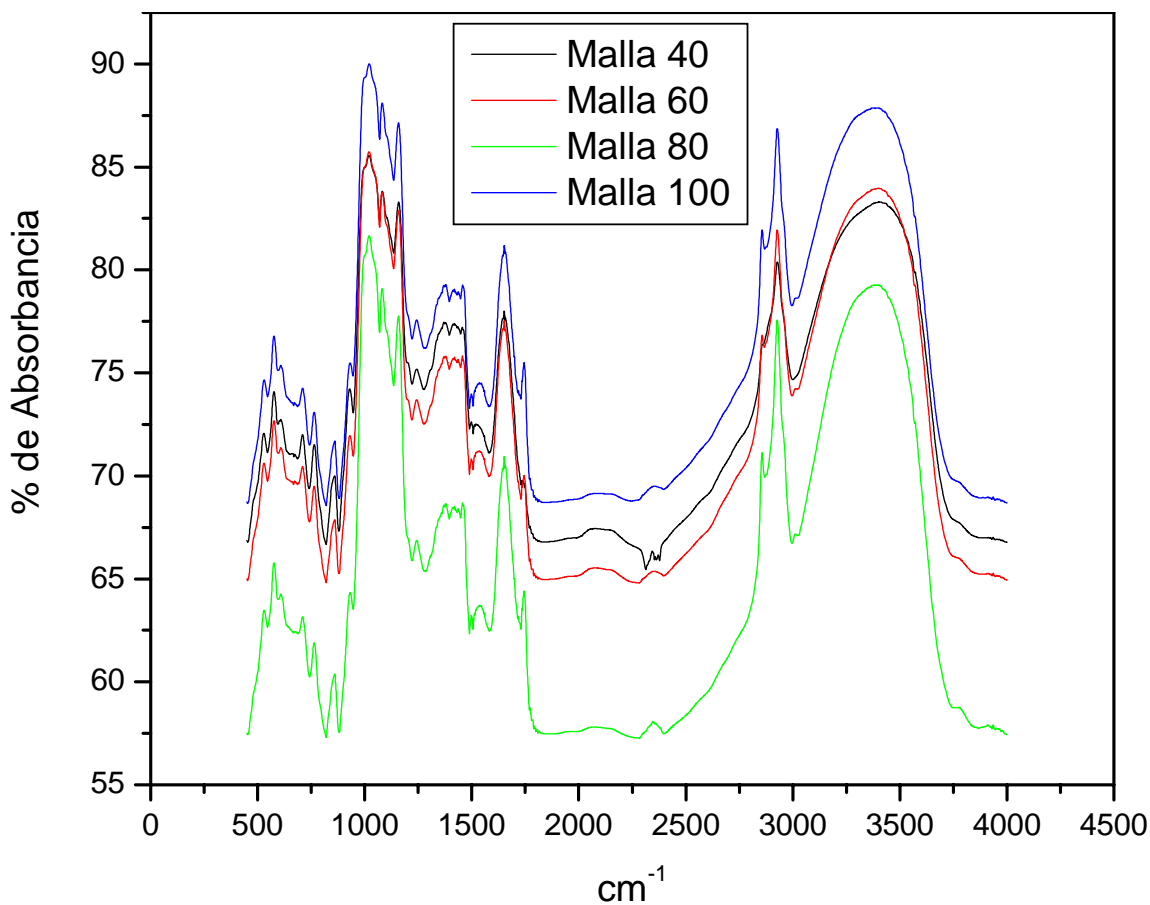


Figura 3.29: Muestra de harina de 100 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 60 minutos, analizada con IR.

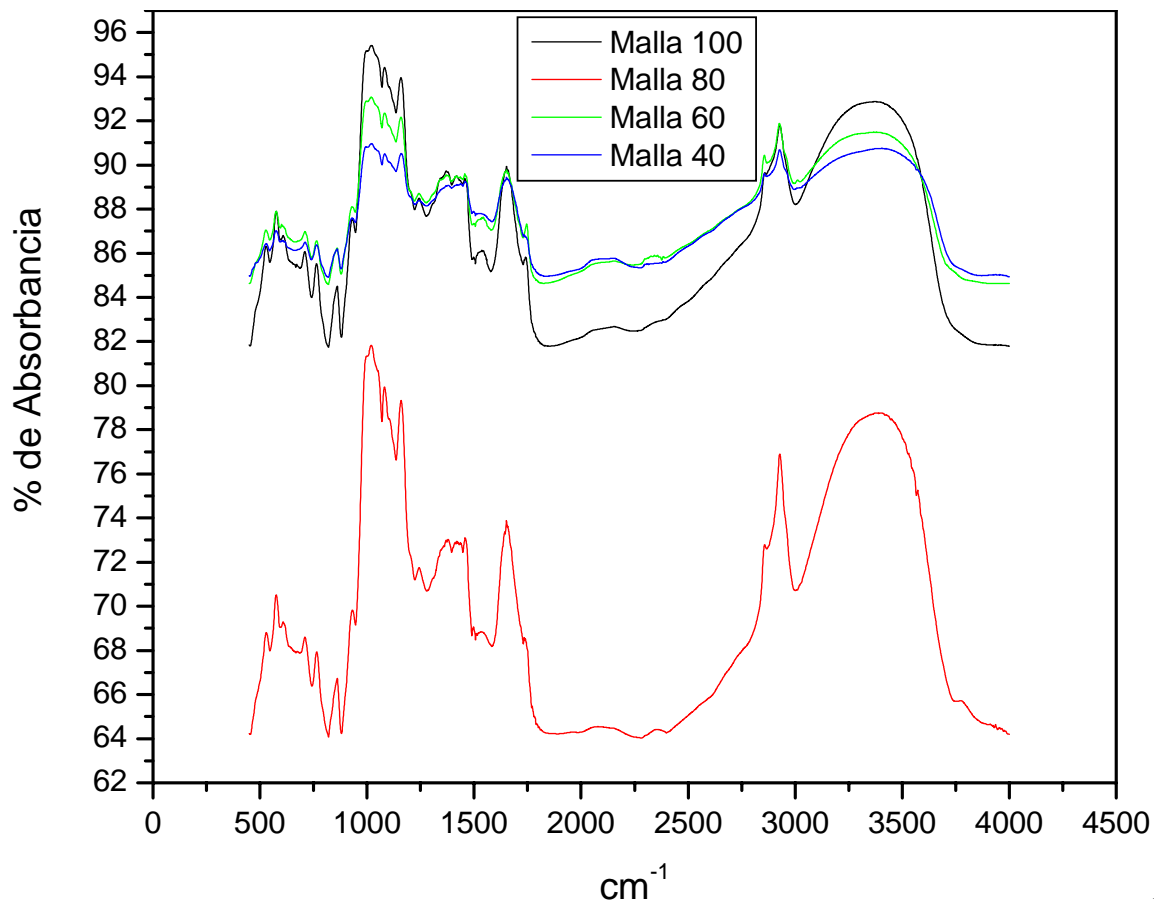
En la figura 3.29 se observa que los carbohidratos tienen bandas de absorción en la región 1160-1000  $\text{cm}^{-1}$  que involucra estiramientos de los enlaces C-O de los grupos COH y COC. Bandas fuertes y anchas de absorción situadas a 3450  $\text{cm}^{-1}$  son causadas por los estiramientos OH. Los picos medianos de absorción cercanos a 2900  $\text{cm}^{-1}$  son causados por el estiramiento los enlaces C-H, agitaciones de CH y CH<sub>2</sub> y deformaciones en el plano CH. Las bandas medianas que pertenecen a la región 960-730  $\text{cm}^{-1}$  están relacionadas con la presencia de  $\alpha$ -Glucosa constituyente de la amilosa y la amilopectina.



Figura

3.30: Muestra de harina de 150 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 60 minutos, analizada con IR.

En la figura 3.30 se observa que los carbohidratos tienen bandas de absorción en la región 1150-990  $\text{cm}^{-1}$  que involucra estiramientos de los enlaces C-O de los grupos COH y COC. Bandas fuertes y anchas de absorción situadas a 3450  $\text{cm}^{-1}$  son causadas por los estiramientos OH. Los picos medianos de absorción cercanos a 2900  $\text{cm}^{-1}$  son causados por el estiramiento los enlaces C-H, agitaciones de CH y CH<sub>2</sub> y deformaciones en el plano CH. Las bandas medianas que pertenecen a la región 960-730  $\text{cm}^{-1}$  están relacionadas con la presencia de  $\alpha$ -Glucosa constituyente de la amilosa y la amilopectina.



Figura

3.31: Muestra de harina de 50 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 90 minutos, analizada con IR.

En la figura 3.31 se observa que los carbohidratos tienen bandas de absorción en la región  $11650-1000\text{ cm}^{-1}$  que involucra estiramientos de los enlaces C-O de los grupos COH y COC. Bandas fuertes y anchas de absorción situadas a  $3400\text{ cm}^{-1}$  son causadas por los estiramientos OH. Los picos medianos de absorción cercanos a  $2900\text{ cm}^{-1}$  son causados por el estiramiento los enlaces C-H, agitaciones de CH y CH<sub>2</sub> y deformaciones en el plano CH. Las bandas medianas que pertenecen a la región  $960-740\text{ cm}^{-1}$  están relacionadas con la presencia de  $\alpha$ -Glucosa constituyente de la amilosa y la amilopectina.

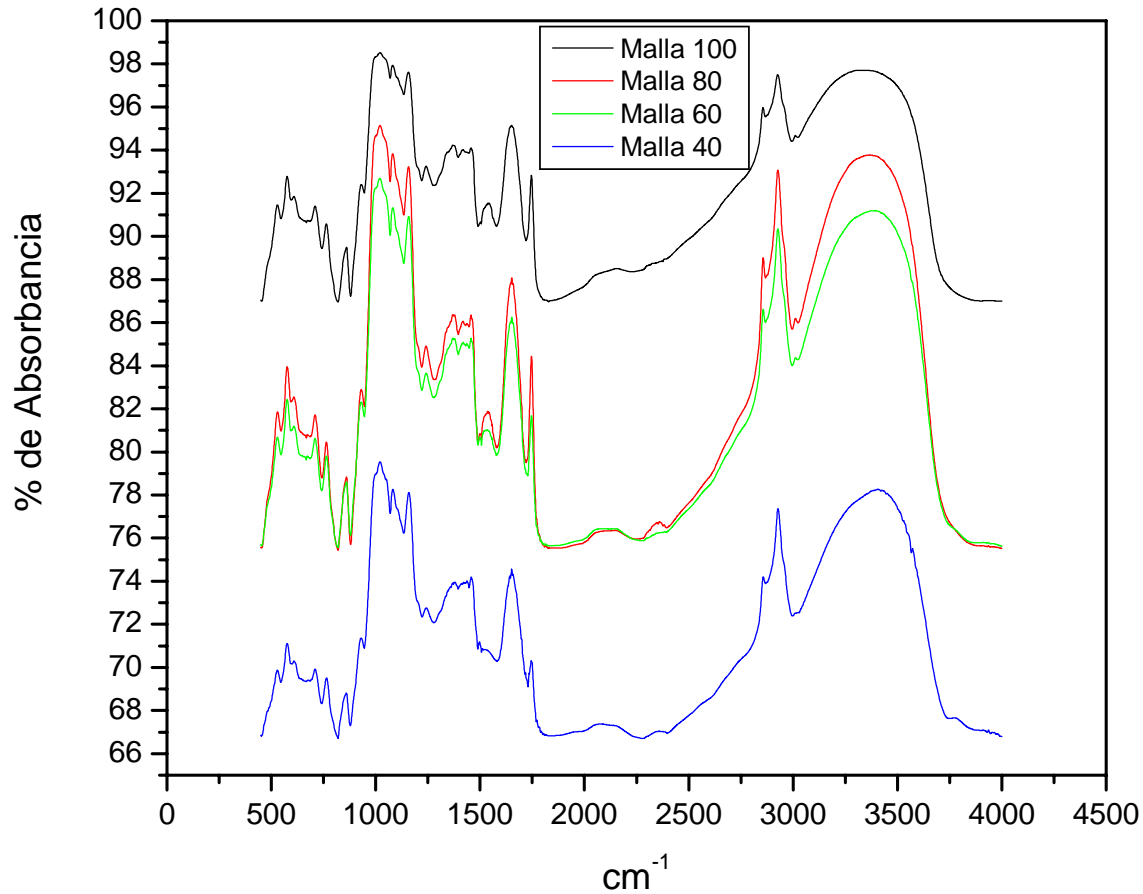
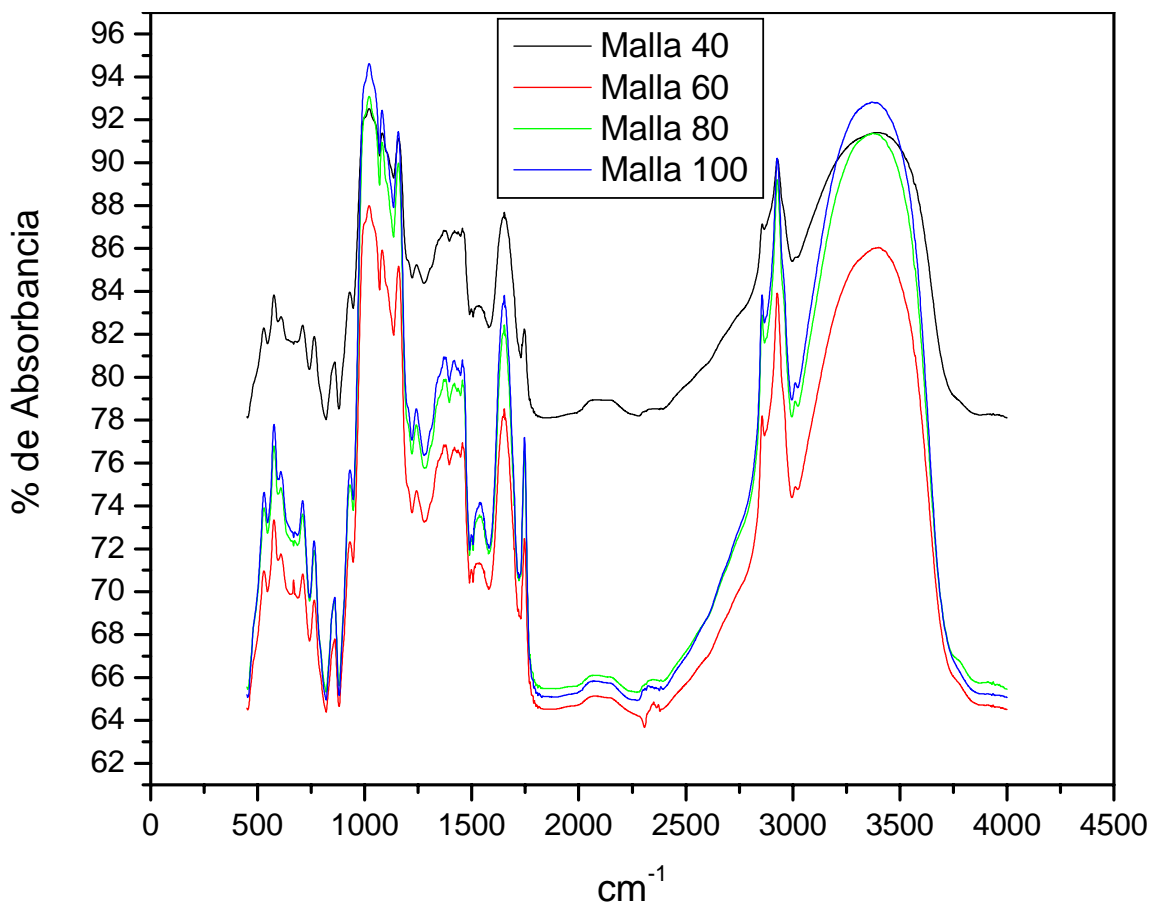


Figura 3.32: Muestra de harina de 100 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 90 minutos, analizada con IR.

En la figura 3.32 se observa que los carbohidratos tienen bandas de absorción en la región 1160-1000  $\text{cm}^{-1}$  que involucra estiramientos de los enlaces C-O de los grupos COH y COC. Bandas fuertes y anchas de absorción situadas a 3400  $\text{cm}^{-1}$  son causadas por los estiramientos OH. Los picos medianos de absorción cercanos a 2900  $\text{cm}^{-1}$  son causados por el estiramiento los enlaces C-H, agitaciones de CH y CH<sub>2</sub> y deformaciones en el plano CH. Las bandas medianas que pertenecen a la región 950-730  $\text{cm}^{-1}$  están relacionadas con la presencia de  $\alpha$ -Glucosa constituyente de la amilosa y la amilopectina.



Figura

3.33: Muestra de harina de 150 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 90 minutos, analizada con IR.

En la figura 3.33 se observa que los carbohidratos tienen bandas de absorción en la región 1170-990  $\text{cm}^{-1}$  que involucra estiramientos de los enlaces C-O de los grupos COH y COC. Bandas fuertes y anchas de absorción situadas a 3400  $\text{cm}^{-1}$  son causadas por los estiramientos OH. Los picos medianos de absorción cercanos a 2900  $\text{cm}^{-1}$  son causados por el estiramiento los enlaces C-H, agitaciones de CH y CH<sub>2</sub> y deformaciones en el plano CH. Las bandas medianas que pertenecen a la región 920-730  $\text{cm}^{-1}$  están relacionadas con la presencia de  $\alpha$ -Glucosa constituyente de la amilosa y la amilopectina.

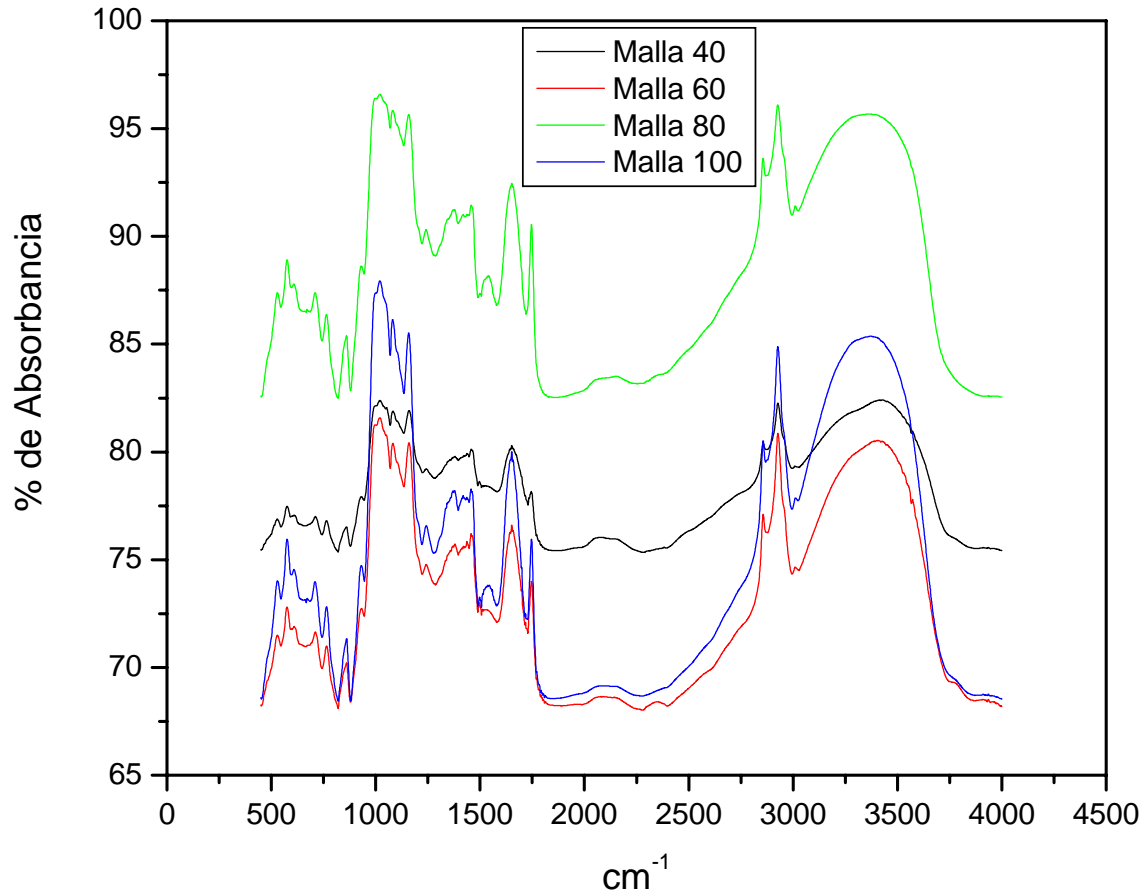


Figura 3.34: Muestra de harina de 50 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 120 minutos, analizada con IR.

En la figura 3.34 se observa que los carbohidratos tienen bandas de absorción en la región  $1160-980\text{ cm}^{-1}$  que involucra estiramientos de los enlaces C-O de los grupos COH y COC. Bandas fuertes y anchas de absorción situadas a  $3450\text{ cm}^{-1}$  son causadas por los estiramientos OH. Los picos medianos de absorción cercanos a  $2900\text{ cm}^{-1}$  son causados por el estiramiento los enlaces C-H, agitaciones de CH y CH<sub>2</sub> y deformaciones en el plano CH. Las bandas medianas que pertenecen a la región  $960-740\text{ cm}^{-1}$  están relacionadas con la presencia de  $\alpha$ -Glucosa constituyente de la amilosa y la amilopectina.

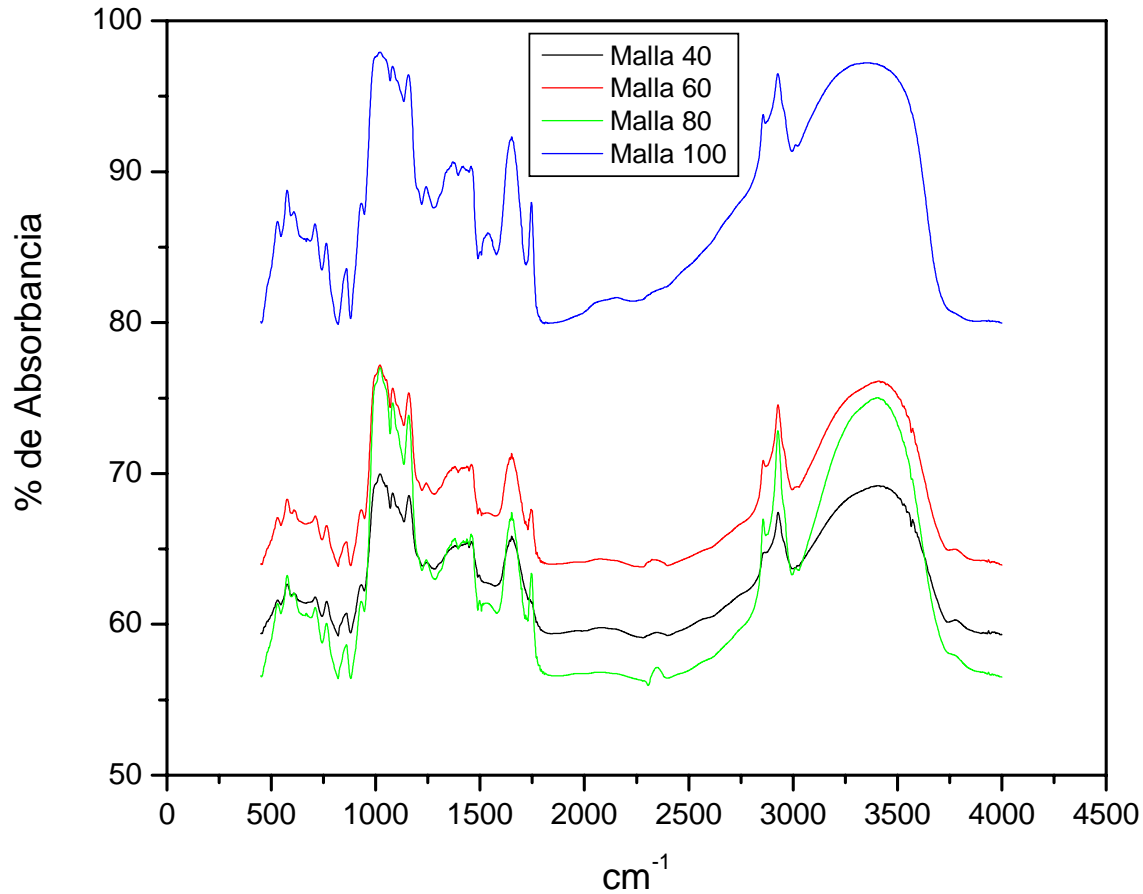


Figura 3.35: Muestra de harina de 100 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 120 minutos, analizada con IR.

En la figura 3.35 se observa que los carbohidratos tienen bandas de absorción en la región 1200-1000  $\text{cm}^{-1}$  que involucra estiramientos de los enlaces C-O de los grupos COH y COC. Bandas fuertes y anchas de absorción situadas a 3450  $\text{cm}^{-1}$  son causadas por los estiramientos OH. Los picos medianos de absorción cercanos a 2900  $\text{cm}^{-1}$  son causados por el estiramiento los enlaces C-H, agitaciones de CH y CH<sub>2</sub> y deformaciones en el plano CH. Las bandas medianas que pertenecen a la región 960-750  $\text{cm}^{-1}$  están relacionadas con la presencia de  $\alpha$ -Glucosa constituyente de la amilosa y la amilopectina.



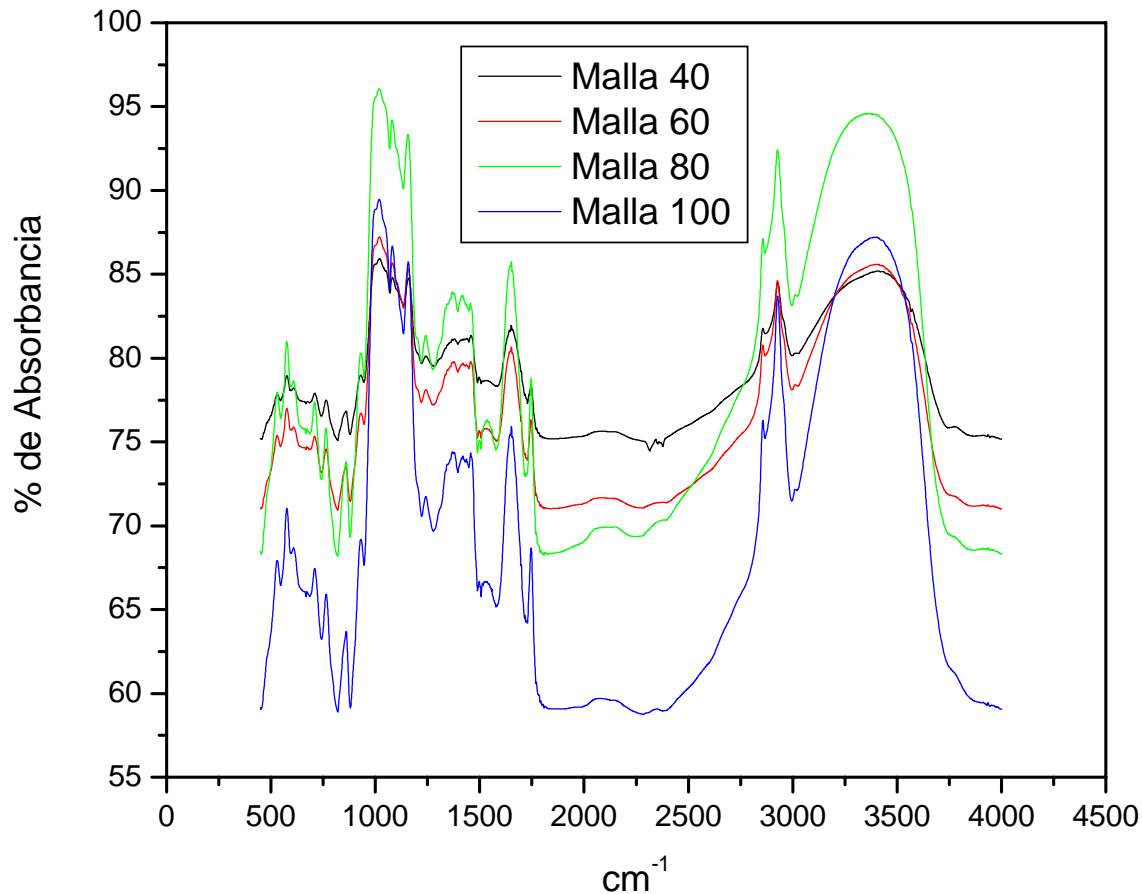


Figura 3.36: Muestra de harina de 150 gramos de maíz nixtamalizado, tratado en ozono durante 120 minutos, analizada con IR.

En la figura 3.36 se observa que los carbohidratos tienen bandas de absorción en la región 1200-1000  $\text{cm}^{-1}$  que involucra estiramientos de los enlaces C-O de los grupos COH y COC. Bandas fuertes y anchas de absorción situadas a 3400  $\text{cm}^{-1}$  son causadas por los estiramientos OH. Los picos medianos de absorción cercanos a 2900  $\text{cm}^{-1}$  son causados por el estiramiento los enlaces C-H, agitaciones de CH y CH<sub>2</sub> y deformaciones en el plano CH. Las bandas medianas que pertenecen a la región 960-750  $\text{cm}^{-1}$  están relacionadas con la presencia de  $\alpha$ -Glucosa constituyente de la amilosa y la amilopectina.

## 3.2 MOLINO DE NIXTAMAL

PARA MOLIENDA DE MAIZ NIXTAMALIZADO EN MOLINO DE DISCOS



Figura 3.37 Discos de acero para moler maíz nixtamalizado.

En la figura 3.37 se observan los discos de acero para un molino de maíz nixtamalizado, este tipo de molienda se conoce como húmeda, debido a que los granos de maíz se les añade agua durante el proceso, en estos discos se puede observar que tienen unas ranuras en forma de estría, esta forma en los discos sirve para aumentar la fricción entre los disco y la muestra a moler.

El trabajo realizado con este molino para moler maíz nixtamalizado surgió después de estar trabajando con otros molinos y observar que éstos no entregaban una molienda uniforme, por lo tanto, se quiso solucionar este problema.

Estas piezas van colocadas en un molino eléctrico para molienda de maíz nixtamalizado húmedo.

Para la obtención de estas piezas en principio se realizó un diseño de las mismas en un dibujo de Autocad. Se tomo como referencia el diseño de una pieza fabricada en piedra.

En un principio las piezas se quisieron obtener por medio de máquinas de corte/desbaste como un centro de maquinado con CNC, pero existían muchos problemas, ya que las piezas tienen diferentes formas irregulares.

Se recurrió entonces a otro proceso de manufactura, que es la fundición. Primero se realizó un modelo de las piezas conocido como macho, esto en material de acrílico. Posteriormente se colocaron los modelos de acrílico en cajas y se llenaron de arena hasta obtener los moldes de las piezas. Finalmente se realizó el vaciado del acero líquido.

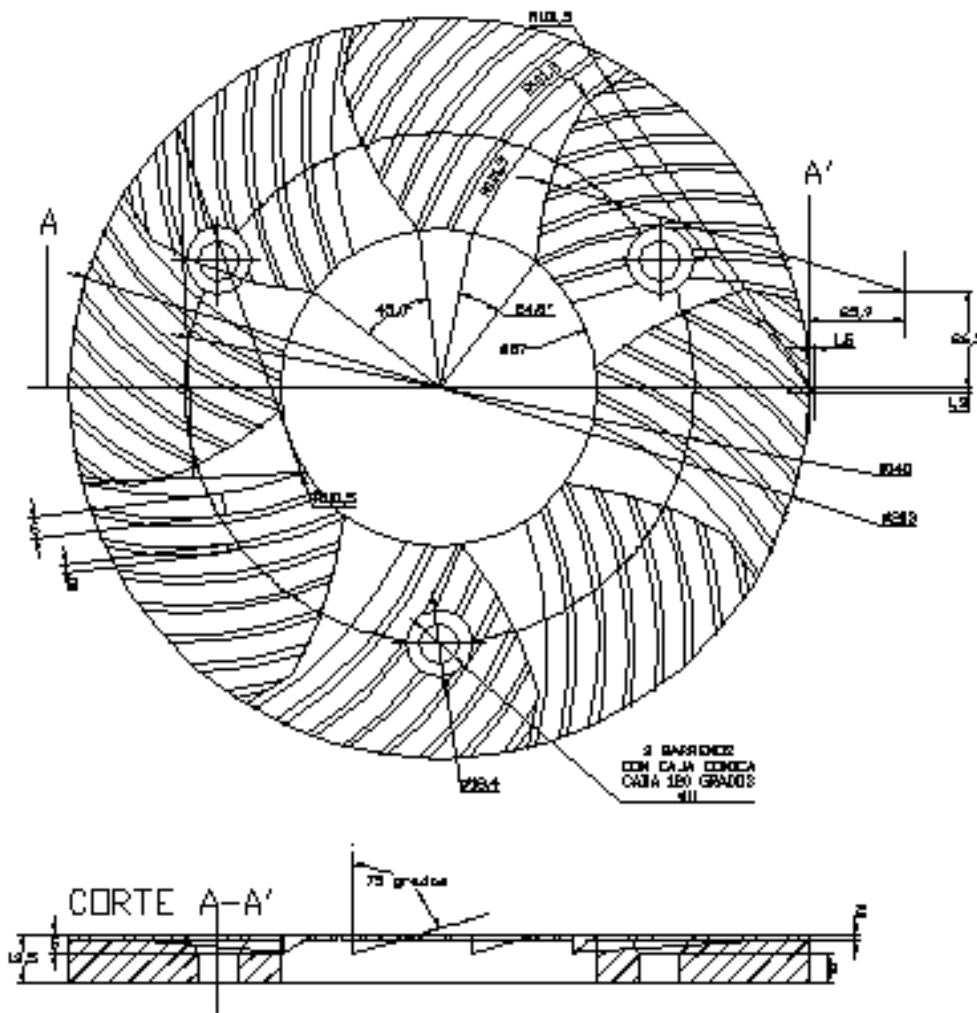


Figura 3.38: Vistas isométricas del un disco para molino de maíz nixtamalizado.

En la figura 3.38 se observa el dibujo de las vistas frontal e inferior del disco de acero para un molino de maíz nixtamalizado. En estas vistas se pueden observar todas las dimensiones del disco de acero.

### 3.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL ACERO

- Acero para alimentos.
- Componentes:

%C máx	%Mn máx	%P máx	%Si máx	%Cr máx	%Ni máx	%S máx
0.08	2.00	0.045	1.00	18/20	8/10	0.030
- Propiedades mecánicas:
  - Acero no endurecible.
  - No magnético.
  - Muy tenaz a la fragilidad.
  - Resistente a la corrosión.
  - Se le puede adicionar: Molibdeno, Tungsteno, Silicio, Cobre, Titanio.
  - Soldabilidad muy buena.
- Temperatura a la que empieza a formarse capas es de 850 a 1150° C.

## Capítulo IV

### 4.1 CONCLUSIONES

- El ozono si funciona como agente reductor del color amarillo en la harina de maíz nixtamalizado, utilizando dicho ozono en forma acuosa para tratar los granos de maíz antes de su molienda.
- Cuando el tamaño de partícula de los gránulos de harina se hacen más pequeños, el color amarillo tiende a notarse cada menos.
- La viscosidad de las harinas obtenidas con aplicación de ozono es similar a las harinas obtenidas de manera tradicional. Por lo tanto no se alteran las características en la textura de nuestras harinas.
- En la espectroscopía infrarroja, de manera general no se observan cambios.
- En las muestras tratadas con Dióxido de Titanio, las características en la textura son similares a las harinas obtenidas por el método tradicional.
- El proceso de eliminar el color a las harinas de maíz nixtamalizado, mediante aplicación de ozono, es rentable ya que la integración de un generador de de ozono al proceso de producción de harina de maíz es relativamente bajo.

## 4.2 RECOMENDACIONES

Para investigaciones futuras sobre el tema se sugiere:

- Utilizar un generador de ozono, de mayor capacidad al nuestro (mayor a 300mg/hora), para trabajar con cantidades más grandes, esto para pasar de nivel de laboratorio a nivel macro, semejando a la producción industrial.
- Estudiar lo que sucede cuando se está llevando a cabo la aplicación de ozono a los granos de maíz nixtamalizado, para de esta forma saber si dicho ozono no causa alguna reacción que pueda dañar la salud del ser humano al consumir este producto.
- Investigar si se pierden o no algunos nutrientes de la harina de maíz nixtamalizado cuando se lleva a cabo el proceso de aplicación de ozono.

## 4.3 BIBLIOGRAFÍA

- [1].- [www.lentech.com/espanol/tabla-periodica/Ti.htm](http://www.lentech.com/espanol/tabla-periodica/Ti.htm).
- [2].- Gutiérrez-Castro, R. Eliminación de color en lixiviados de rellenos sanitarios por oxidación química con ozono y peróxido de hidrógeno. Tesis de Ingeniería Química. 2000.
- [3].- [www.electrozono.com/apliaciones-industriales.asp](http://www.electrozono.com/apliaciones-industriales.asp)
- [4].- Millington-Keith R. Photoyellowing of wool. Coloration Technology. 2006.
- [5].- Aksel-Hüseyin. Afterclearing by ozonation: a novel approach for disperse dyeing of polyester. Coloration Technology. 2006.
- [6].- Faria-Patricia. Mineralisation of coloured aqueous solutions by ozonation in the presence of activated carbón. Water Research. 2005.
- [7].- Nagy, R. Ozone: Chemistry and Technology. Advances in Chemistry Ozone Chemistry and Technology. Advances in Chemistry vol. 21. Washington.
- [8].- American Society of Rotring Engineering by Smock. Refrigeration Engineering.
- [9].- Centro Experimental del Frío. Madrid.
- [10].- Colbert, J.W. Removal of ethylene from storage atmospheres.
- [11].- Ewell, A.W. Ozono and its application in food preservation.
- [12].- Gane, R. Effect of ozone on fruits. Report on Food Investigation Board.
- [13].- Schemer, H.A. Ozone in relation to storage of apples. US Department of Agriculture. Circular nº 765.
- [14].- Smoch and Watson. Ozone and apple, storage. Refrigeration Engineering.
- [15].- Watson, R.D. Some factors influencing the toxicity of ozone to fungi in cold storage. Journal of ASRE.
- [16].- Welsbach Ozone Equipment. Food preservation and storage. Philadelphia.
- [17].- Vega-Santos P. La tecnología del ozono como alternativa de uso en el tratamiento de agua. Tesis Ingeniería Química IPN. 1998.
- [18].- RGF Enviromental System, Inc. 3875 Fiscal Court, Suite 100, West Palm Beach, FL, E.U.A., (<http://www.rfg.com>). 1997.
- [19].- Guzmán-Mendoza J. Caracterización estructural y composición de películas delgadas de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> preparadas por rocío pirolítico, 2003. Tesis.



- [20].- Ponce-Parra C. Estudio de pigmentos en grano de maíz mediante técnicas fototérmicas y técnicas convencionales de análisis químicos, 2003. Tesis.
- [21].- Ramos G., Pezet-Valdez G., O'Connor-Sánchez A., Placencia C., R. C. Pless, Hydratation rates for various of Mexican maize base on single-kernel measurement, 2004. *Cereal Chem.* 81(3): 308-313.
- [22].- Monragon M, Bello-Perez L. A., Agama-Acevedo E., Betancur-Ancona D. y Luis-Peña J. 2004. Effect of Cooking on Starch Gelatinization of Corn During Nixtamalization. *Starch.* 56 (2004) 248-253.
- [23].- Trejo-Gonzalez A., Feria-Morales A., y Wild-Altamirano C. 1982. The Role of Lime in the Alkaline Treatment of Corn for Tortilla Preparation. 245-263.
- [24].- Arábula-Villa G., Barrón-Ávila L., González-Hernández J., Moreno-Martínez E. y Luna-Bárceñas G. 2001. Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz. *Archivos latinoamericanos de Nutrición.* Vol. 51 No. 2, 187-194.
- [25].- Bello-Pérez L. A., Osorio-Díaz P., Agama-Acevedo E., Núñez-Santiago C. y Paredes-López O. 2002. Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia.* 36:319-328.
- [26].- Martínez-Bustos F., Martínez-Flores H., Sanmartín-Martínez E., Sánchez-Sinécio F., Chang Y., Barrera-Arellano D. y Rios E. Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalisation process. (online: 2001). *J. Sci. Food. Agric.* 81:1455-1462.
- [27].- Cortés-Gómez A., San Martín-Martínez E., Martínez-Bustos F., Vázquez-Carrillo G. M. 2005. Tortillas of blue maize (*Zea mays* L.) prepared by a fractionated process of nixtamalization: analysis using response surface methodology. *Jornal of Food Engineering* 66 273-281.
- [28].- Laria J., Meza E., Mondragón M., Silva R., Peña J. L. 2005. Comparison of overall water uptake by corn kernel with and without dissolved calcium hydroxide at room temperature. *Jornal of Food Engineering.* 451-456.