

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos



**“INFLUENCIA DEL GERMINADO EN EL VALOR NUTRITIVO DE TORTILLA NIXTAMALIZADA OBTENIDA A PARTIR DE MAIZ BLANCO (*Zea mays*)”.**

POR:

ROBERT EDUES DIAZ DE LA TORRE

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS MAYO

2016

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

INFLUENCIA DEL GERMINADO EN EL VALOR NUTRITIVO DE TORTILLA  
NIXTAMALIZADA OBTENIDA A PARTIR DE MAIZ BLANCO (*Zea mays*)

Por:

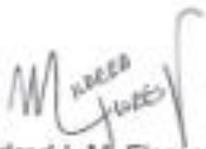
ROBERT EDUES DIAZ DE LA TORRE

TESIS

QUE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

A P R O B A D A P O R:

  
M. C. Mildred I. M. Flores Verástegui  
ASESOR PRINCIPAL

  
Dra. Dolores Gabriela Vázquez Martínez  
COASESOR

  
M.C. Sergio Sánchez Martínez  
COASESOR

  
Dr. José Duenes Alanís  
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenvista Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2016



## DEDICATORIA

Después de una larga lucha, de poner todo el empeño y ganas, se ve reflejado en este día tan importante en mi vida y no lo hubiera podido lograr sin la ayuda de mis padres:

Ma: Tu siempre me apoyaste, buscaste la forma de cómo animarme a pesar de la distancia, siempre preguntabas por cómo estaba, de ti aprendí la amabilidad y el empeño de hacer las cosas que se ven reflejadas después de tantos desvelos.

Pa: te doy las gracias, por detrás de este logro estás tú, dándome la confianza, animándome y apoyándome a pesar de las situaciones que se enfrentaban, de ti aprendí a tener el coraje para no dejarse derrumbar a la primera y este logro de lo dedico a ti.

Jenny: tú fuiste indispensable para lograrlo ya que, como mamá y papá me estuviste aconsejando, orientándome, diciendo que ya no saliera, que dejáramos las fiestas, tus palabras siempre fueron tomadas en cuenta y siempre estarán presentes.

Deysi: por ser la más pequeña, dedico mucho esfuerzo en esto para que estés orgullosa de mí por aprovechar la oportunidad que me dieron, además para ser un ejemplo a seguir para que tú también le pongas empeño y logres muchas cosas.

A mis abuelos que también nos apoyaron desde lejos, ayudándonos y apoyándonos siempre.

A mis grandes amigos Sandra Jacobo, Valeria Segundo, Antonio Ahumada, Liz García, Ángeles López, Ernesto Sánchez, Porfirio Martínez, Adela Luna, Daniela González, Oscar Salinas, Itzel Cervantes y Daniela Esquivel con los que compartí, alegrías, tristezas, desvelos y fiestas, serán recordados como los mejores.

A todos mis compañeros de la generación ya que juntos vivimos grandes experiencias como viajes, convivios, trabajos en equipo, malos ratos y así como ellos, tampoco se dieron por vencidos hasta lograr su gran sueño, el de ser un ingeniero, un Buitre.

M. C. Mildred I. M. Flores Verástegui quien, con paciencia y disponibilidad de su agenda tan apretada, me dio un espacio para resolver mis dudas y apoyarme en este proyecto, siempre con muchas ganas y entusiasmo.

M.C. Sergio Sánchez Martínez quien me apoyó para terminar este proyecto, que me asesoró en el análisis estadístico de los resultados obtenidos.

También a la TQL. Patricia Herrera Gaytán del Departamento de Ciencias del Suelo por la facilitación de equipo para poder lograr este proyecto y a la L.C.Q. Magdalena Olvera Esquivel del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos por su atención y disponibilidad en cuanto a los materiales y reactivos que me facilitaba a todas horas.

A mi querida Universidad que me dio un segundo hogar y la gran oportunidad de ser una persona preparada con las bases suficientes para

poder defenderme en el campo laboral y poner en alto el nombre de mi UAAAN.

## INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	x
CAPITULO I .....	1
INTRODUCCION .....	1
Justificación .....	2
Hipótesis.....	3
Objetivos .....	3
Objetivo general .....	3
Objetivos específicos .....	3
CAPITULO II .....	4
MARCO TEORICO.....	4
Maíz .....	4
Tipos de maíz .....	5
Producción de maíz a nivel mundial.....	6
Producción de granos y oleaginosas en México .....	7
Composición química del grano de maíz .....	8
Almidón.....	9
Proteína .....	9
Lípidos .....	10
Fibra dietética .....	10
Minerales .....	11
Vitaminas liposolubles.....	11
Vitaminas hidrosolubles .....	12
Industria harinera y de masa de maíz nixtamalizado .....	12
Harinas industriales para la elaboración de tortillas.....	13
La nixtamalización .....	14

Proceso de nixtamalización.....	14
Cambios nutricionales por el proceso de nixtamalización.....	14
Desventajas en la pérdida de nutrientes del proceso térmico-alkalino en la nixtamalización.....	15
La tortilla y su consumo .....	16
Valor nutritivo y elaboración tradicional e industrial de la tortilla de maíz.....	17
Pérdida de nutrientes en la transformación del grano a tortilla .....	18
CAPITULO III .....	19
MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
Material biológico.....	19
Materiales y reactivos de laboratorio.....	19
Metodología.....	20
Etapa 1. Germinación del grano.....	20
Etapa 2. Proceso de nixtamalización.....	21
Etapa 3. Elaboración de tortillas.....	21
Etapa 4. Determinaciones analíticas .....	22
Color .....	22
Humedad .....	23
Almidón.....	24
Proteína .....	24
Grasa .....	26
Carbohidratos totales .....	27
Análisis estadístico .....	29
CAPITULO IV.....	30
RESULTADOS Y DISCUSION .....	30
DETERMINACIONES ANALITICAS .....	30
Color .....	30

Humedad .....	31
Almidón.....	32
Carbohidratos totales .....	37
Cenizas.....	38
CAPITULO V.....	40
Conclusiones .....	40
CAPITULO VI.....	41
BIBLIOGRAFIA.....	41
CAPITULO VII.....	44
ANEXOS .....	44

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz	4
Tabla 2. Composición química general de distintos tipos de maíz (%)	6
Tabla 3. Composición química porcentual proximal de las partes del grano de maíz (base seca)	9
Tabla 4. Porcentaje de proteína en diferentes variedades de maíz en germen y endospermo	10
Tabla 5. Fibra neutro (FND) y ácido-detergente (FAD), hemicelulosa y lignina en el maíz completo para cinco variedades de maíz (%)	11
Tabla 6. Composición aproximada del maíz bruto y de las tortillas en la elaboración de forma tradicional e industrial	17
Tabla 7. Materiales y reactivos de laboratorio	19
Tabla 8. Tratamientos	20
Tabla 9. Cromaticidad en tortilla	30

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales productores de maíz (1998-2008)	6
Figura 2. Principales productores de maíz en México, 1998-2008	7
Figura 3. Principales partes estructurales del grano de maíz ( <i>Zea mays</i> )	8
Figura 4. Producción de harina de maíz, 2007-2010 (toneladas)	13
Figura 5. Consumo diario de tortillas por persona	16
Figura 6. Consumo de tortilla en México 2002-2010 (millones de toneladas)	16
Figura 7. Proceso de germinación del grano de maíz ( <i>Zea mays</i> )	20
Figura 8. Proceso de nixtamalización	21
Figura 9. Molienda de maíz nixtamalizado y elaboración de tortillas	22
Figura 10. Modelo CIELAB para la determinación de color (L, a y b)	22
Figura 11. Colorímetro y tortilla de maíz germinada y nixtamalizada	23
Figura 12. Estufa y tortilla deshidratada	23
Figura 13. Preparación de muestra para determinación de almidón	24
Figura 14. Digestión, Destilación y Titulación de proteína	25
Figura 15. Determinación de extracto etéreo	26
Figura 16. Determinación de carbohidratos totales	28
Figura 17. Determinación de cenizas	28
Figura 18. Gráfico de caja para medias (porcentaje de humedad) en tortilla de maíz ( <i>Zea mays</i> ) germinado y nixtamalizado a diferentes tiempos	31
Figura 19. Gráfico de caja para medias (porcentaje de almidón) en tortilla de maíz ( <i>Zea mays</i> ) germinado y nixtamalizado a diferentes tiempos	33
Figura 20. Gráfico de caja para medias (porcentaje de proteína) en tortilla de maíz ( <i>Zea mays</i> ) germinado y nixtamalizado a diferentes tiempos	34

Figura 21. Gráfico de caja para medias (porcentaje de grasa) para tortilla de maíz ( <i>Zea mays</i> ) germinado y nixtamalizado a diferentes tiempos	36
Figura 22. Gráfico de medias (porcentaje de Carbohidratos totales) para tortilla de maíz ( <i>Zea mays</i> ) germinado y nixtamalizado a diferentes tiempos	37
Figura 23. Gráfico de caja para medias (porcentaje de cenizas) en tortilla de maíz ( <i>Zea mays</i> ) germinado y nixtamalizado a diferentes tiempos	38

## RESUMEN

La tortilla es muy importante en nuestra dieta diaria ya que su consumo es de gran frecuencia en el territorio mexicano siendo uno de los productos líder con mayor demanda. Hoy en día nuestro país ha tenido problemas en cuanto a la alimentación, porque los hábitos que se tenían hace algunos años se han venido perdiendo, la inadecuada forma de comer afecta desde temprana edad y se ve reflejada en los niños que padecen obesidad o sobrepeso, siendo este un problema alarmante para nuestra población, ya que con esto la vida promedio de cada persona se ve disminuido.

Como se mencionaba anteriormente la tortilla es muy consumida y gracias al proceso de nixtamalización al que es sometida se pueden mejorar ciertos atributos en cuanto a su valor nutricional como pueden mencionarse la cantidad de almidón, proteínas, grasa, carbohidratos y cenizas.

Para la presente investigación se realizó un estudio en tortillas de maíz germinado a los tiempos de 0, 48, 96, 144 y 192 horas y nixtamalizado, para ser evaluadas posteriormente y determinar el cambio en cuanto a su composición química. Los resultados obtenidos se analizaron mediante el paquete estadístico Minitab 17 con la prueba de medias Tukey ( $P < 0.05$ ), demostrándose que la germinación tuvo influencia en el valor nutritivo de la tortilla, ya que a las 96 horas se encontró el menor contenido de almidón, así mismo se obtuvo el mayor contenido de proteína en comparación de los otros tiempos de germinación del grano, en el caso de cenizas se encontró que a las 144 hora se presentó el mayor contenido.

Correo electronico; Roberto edues diaz de la torre, [robrtdiaz84@gmail.com](mailto:robrtdiaz84@gmail.com)

**Palabras clave:** Maíz, Germinación, Nixtamalización, Tortilla, Bromatológico.

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

La nutrición es el conjunto de procesos que comprende la digestión de alimentos, la absorción de sus componentes y el aprovechamiento de los nutrientes para la restauración de tejidos. Una buena alimentación se consigue teniendo una dieta balanceada evitando así ciertas enfermedades.

México es el centro de origen del maíz, aquí se concentra probablemente la mayor diversidad de este grano en el mundo, donde ha venido evolucionando con el paso del tiempo y también es aquí donde se encuentra la mayoría de sus parientes silvestres como son la cebada, los tocintles, y otro conjunto de gramíneas conocidos como maicillos. Esta planta fue domesticada hace aproximadamente 3500 años, junto con otros cultivos como son el frijol, el chile y la calabaza; con la domesticación empezaron las actividades agrícolas (FAO, 1973)

En nuestro país el maíz forma parte de nuestra alimentación diaria ya que es el cultivo con mayor presencia, constituye un insumo para la ganadería y para la obtención de numerosos productos industriales como catsup, queso, mantequilla de maíz, jarabe de maíz alto en fructosa, maltodextrina, goma de xantana, ácido ascórbico y la tortilla.

La tortilla es muy importante en nuestra alimentación ya que su consumo ha superado al del pan. Es muy utilizada en nuestro país en casi todos los platillos y en los clásicos los tacos. Como sabemos las tortillas aportan un 38.8 por ciento de las proteínas, 45.2 por ciento de las calorías y 49.1 por ciento del calcio de la dieta diaria de la población de México, y puede proveer el 70 por ciento del total de calorías y el 50 por ciento de las proteínas ingeridas diariamente (Figueroa Cárdenas, J.D. 2001).

Hoy en día la alimentación de los mexicanos ha venido cambiando más rápido en comparación con los últimos 50 años, esto se debe al tipo de vida que se tiene en la actualidad llevando a nuestro país al primer lugar en sobrepeso y obesidad, éste es un tema muy importante ya que se viene dando desde la niñez, por lo que se buscan alternativas como la implementación de programas contra la desnutrición y problemas que lo conllevan, enseñando a la comunidad buenos hábitos alimenticios además de actividades físicas, también mejorando productos que se consumen diariamente, como ejemplos tenemos: panes enriquecidos con fibra, bebidas endulzadas con splenda, tortillas bajas en calorías, alimentos ricos en vitaminas y minerales, así como productos lácteos enriquecidos con proteínas.

## Justificación

La alimentación es una actividad que básicamente todos los organismos vivientes realizamos y consiste en la ingesta de alimentos necesarios para satisfacer necesidades básicas. Dependiendo del tipo de alimentación de cada individuo así será su salud ya que si se tiene como costumbre una comida balanceada, menor será la probabilidad de padecer alguna enfermedad como sobrepeso, obesidad, o diabetes entre otras.

En México podemos detectar muchas enfermedades ya sean de naturaleza infecto-contagiosa como no transmisibles, dentro de estas últimas se han venido destacando en los últimos 28 años el sobrepeso y la obesidad, trayendo consigo otro tipo de enfermedades como hipertensión, diabetes tipo II, problemas cardiovasculares, cáncer colorectal, etc.; lo anterior es debido a una mala alimentación, el consumo de alimentos chatarra o por la ingesta excesiva de alimentos donde los nutrientes son demasiados. Debido a las necesidades de mejorar la salud en las personas en nuestro país, se plantea como alternativa modificar un producto de consumo frecuente, la tortilla de maíz, sometiendo al grano a un proceso de germinación con el fin de disminuir la cantidad de almidón presente en el grano.

Por lo que con este trabajo de investigación se pretende obtener una tortilla con alto valor nutritivo, con la ayuda de los procesos de germinación y nixtamalización, ya que como se menciona este producto es de gran consumo en nuestro país, pudiendo ayudar a combatir los problemas que se relacionan con una mala alimentación, por el exceso de consumo.

## **Hipótesis**

La germinación del grano es un proceso que puede beneficiar el valor nutritivo de la tortilla de maíz germinado y nixtamalizado.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Determinar el valor nutritivo de tortilla de maíz germinado y nixtamalizado (*Zea mays*).

### **Objetivos específicos**

- Realizar un análisis bromatológico de tortilla de maíz blanco germinado y nixtamalizado (*Zea mays*) a diferentes tiempos.
- Determinar el porcentaje de almidón de las tortillas de maíz germinado y nixtamalizado.
- Establecer cómo influye el tiempo de germinación en el contenido de proteínas, extracto etéreo, carbohidratos totales, y cenizas.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### Maíz

El maíz (*Zea mays ssp. Mays*) es un pasto de la familia botánica *Poaceae* o *Gramineae* como se muestra en la Tabla 1. Este cultivo, al igual que el trigo se originó mediante el proceso de domesticación que llevaron a cabo los antiguos habitantes mesoamericanos a partir de los teocintes, gramíneas muy similares al maíz, los cuales crecen de manera natural principalmente en lo que viene siendo México y parte de Centro América. Se considera que las poblaciones antiguas de teocintle del centro de México (Kato K. 1984) o los que crecen en el trópico seco de la Cuenca del Balsas (Matsuoka Y. *et al.* 2002), pudieron ser los ancestros de los cuales se domesticó el maíz como planta cultivable.

Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz

CLASIFICACION TAXONOMICA	
Reino:	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Poales
<b>Familia</b>	Poaceae (Gramíneae)
<b>Subfamilia</b>	Panicoideae
<b>Tribu</b>	Andropogoneae
Genero	Zea
Especie	Z. mays
<b>Nombre científico</b>	
Zea mays L	

Anónimo 2008

El desarrollo de los grupos aztecas, mayas, zapotecas, mixtecos, purépechas, totonacas, mazatecas y zoques, se fundamentan en el cultivo y aprovechamiento de este grano. El maíz es distintivo entre las plantas cultivadas ya que se le puede consumir en sus diferentes estados de maduración. Cuando es elote, previo a su maduración (camagua) o también ya como grano maduro (Biodiversidad Mexicana, 2015).

### **Tipos de maíz**

Existen diferentes tipos de maíz, usualmente se clasifican de acuerdo a la dureza del grano donde podemos mencionar al duro o Flint que se caracteriza por ser cristalino-colorado. Se utiliza para la obtención de polenta, pero sus usos se han extendido para la fabricación de cereales para desayuno o como alimento para animales. También tenemos los tipos dentados que tienen una alta proporción de almidón y de baja proteína, que son utilizados en bajas proporciones para consumo humano.

También tenemos a los tipos reventadores (*pisingallo* o *popcorn*), su endospermo es vítreo y contiene una pequeña fracción de almidón encerrado en un pericarpio denso y resistente. Los maíces harinosos se caracterizan por tener un endospermo blando y son utilizados para consumo en fresco. El maíz de alto valor nutritivo tiene una mayor concentración de aceites en comparación al maíz común, además de un incremento del 20 por ciento de aminoácidos esenciales (Gear J. R. E., 2010).

Cabe mencionar que el grano aporta diferentes cantidades de nutrientes ya que esto depende de la variedad, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química general de distintos tipos de maíz (%).

Tipo	Humedad	Cenizas	Proteínas	Fibra cruda	Extracto etéreo	Hidratos de carbono
Salpor	12.2	1.2	5.8	0.8	4.1	75.9
Cristalino	10.5	1.7	10.3	2.2	5.0	70.3
Harinoso	9.6	1.7	10.7	2.2	5.4	70.4
Amilaceo	11.2	2.9	9.1	1.8	2.2	72.8
Dulce	9.5	1.5	12.9	2.9	3.9	69.3
Reventador	10.4	1.7	13.7	2.5	5.7	66.0
Negro	12.3	1.2	5.2	1.0	4.4	75.9

Cortez Wild-Altamirano, 1972.

### Producción de maíz a nivel mundial

Dentro de los granos básicos, el maíz presentó un gran incremento en la producción a nivel mundial de 615.8 millones de toneladas en 1998 a 822.7 millones de toneladas en el 2008, y se concentró principalmente en 10 países los cuales son: Estados Unidos con el primer lugar teniendo un 40 por ciento de la producción seguido de China en el segundo lugar con una producción del 20 por ciento, en tercer lugar Brasil con producción del 6 por ciento y México en el cuarto lugar y una producción del 3 por ciento como se muestra en la Figura 1.

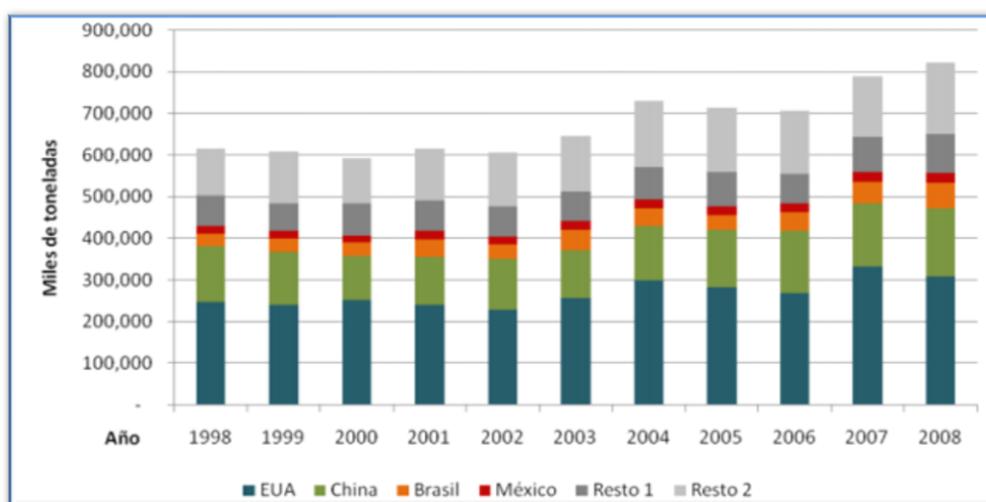
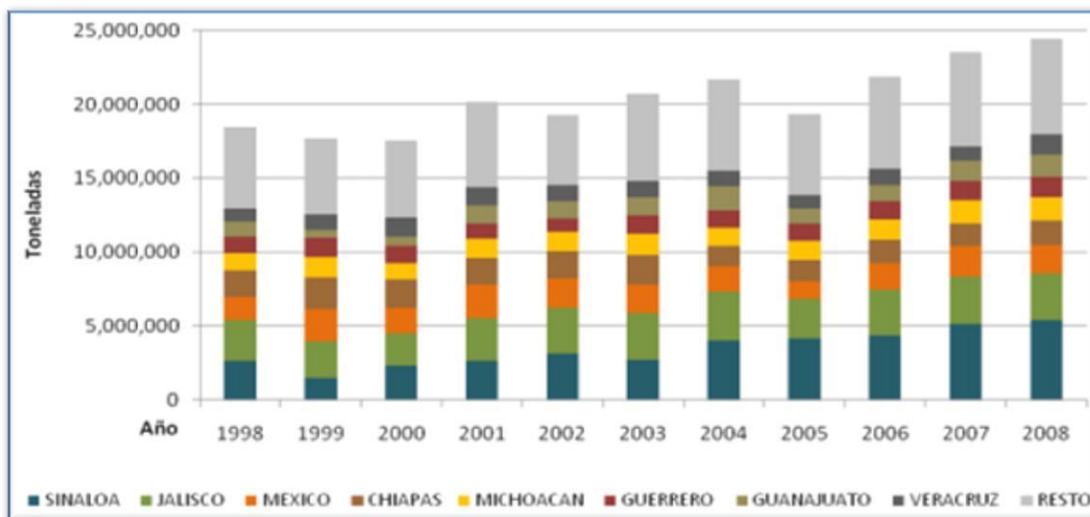


Figura 1. Principales productores de maíz (1998-2008)

Fuente: Elaboración propia con base en información de FAOSTAT, FAO Statistics 2009

## Producción de granos y oleaginosas en México

En el 2008 México alcanzó una producción de 37, 481, 648 toneladas de granos básicos en donde se destaca el maíz, siendo el cultivo más importante con un aporte del 65.1 por ciento, en segundo lugar el sorgo contribuyendo con el 17.6 por ciento, como tercer lugar tenemos el trigo con el 11.2 por ciento y teniendo con una participación menor al frijol, el arroz, la cebada y en último lugar la avena con 3, 2.1, 0.6 y 0.4 por ciento respectivamente. En el periodo que comprende de 1998 a 2008 la producción de granos en México presentó de manera global un comportamiento a la alza. De acuerdo con los datos del Sistema Agroalimentario de Consulta (SIACON, 2009) la producción de maíz presentó una tendencia a la alza debido a que en el año de 1998 se produjeron 18, 454,710 toneladas y para el año 2008 el volumen de producción alcanzó los 24, 410,279 toneladas lo que significa una TMAC de 2.6 por ciento como se muestra en la Figura 2.



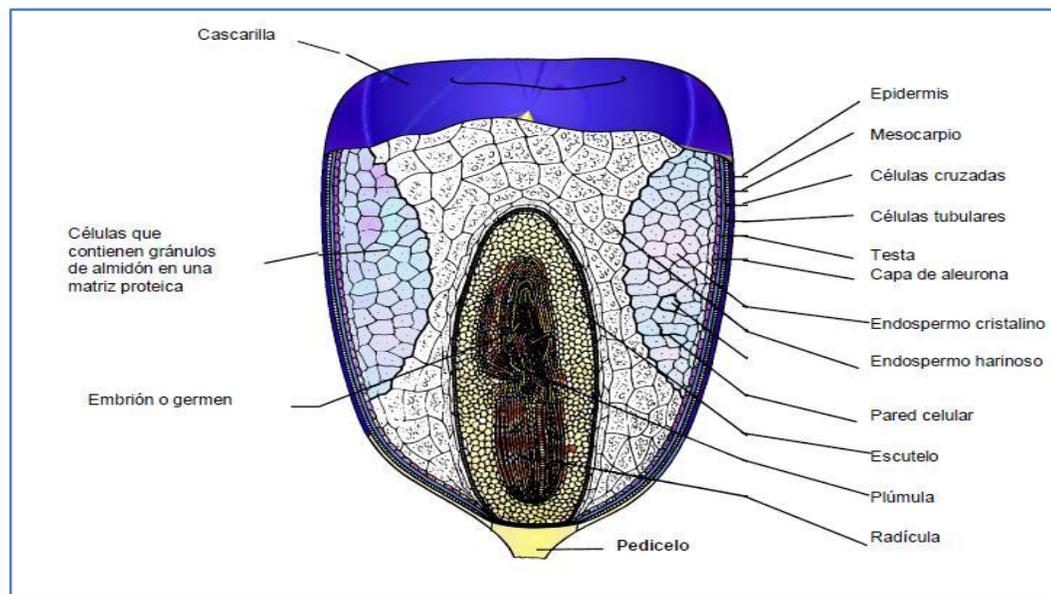
**Figura 2. Principales productores de maíz en México, 1998-2008**  
Fuente: Elaboración propia con base en información del SIACON, SAGARPA 2009

Entre los años de 1998 y 2008, aproximadamente el 70 por ciento de la producción en México se obtuvo en 8 estados entre los cuales se pueden mencionar Sinaloa con el 16.9 por ciento, Jalisco con el 14.2 por ciento, Estado de México con el 9 por ciento y Chiapas el 8.4 por ciento. Para este periodo casi el 70 por ciento de la superficie sembrada a nivel nacional se concentró en diez

estados del país destacándose en primer lugar Chiapas con el 10.8 por ciento, del segundo lugar al sexto Jalisco con el 8 por ciento, Veracruz con el 7.5 por ciento, Oaxaca con el 7.2 por ciento, Puebla con el 7.1 por ciento y el Estado de México con el 7 por ciento, del séptimo al décimo lugar Guerrero con el 6 por ciento, Michoacán con el 5.9 por ciento, Sinaloa con el 5.5 por ciento y Guanajuato con el 5 por ciento (SIACON, SAGARPA 2009).

### Composición química del grano de maíz

El grano de maíz está compuesto por: pericarpio, endospermo y germen (Figura 3), en cada uno se pueden encontrar diferentes cantidades de nutrientes como se muestra en la Tabla 3 donde el contenido de proteínas, extracto etéreo (grasa) y cenizas es mayor en el germen en comparación del pericarpio y endospermo, para fibra cruda se tiene una mayor cantidad en el pericarpio mientras que, para el almidón tenemos una mayor cantidad en el endospermo y germen (Watson, 1987).



**Figura 3. Principales partes estructurales del grano de maíz (*Zea mays*)**  
Fuente: Véles Medina, 2004

**Tabla 3. Composición química porcentual proximal de las partes del grano de maíz (base seca).**

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3,7	8,0	18,4
Extracto etéreo	1,0	0,8	33,2
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8
Cenizas	0,8	0,3	10,5
Almidón	7,3	87,6	8,3
Azúcar	0,34	0,62	10,8

Fuente: Modificado de Watson, 1987.

### Almidón

El almidón es un carbohidrato de reserva sintetizado y almacenado como fuente de energía en plantas, además después de la celulosa es el segundo hidrato de carbono más abundante en la biosfera. El contenido de este polisacárido varía según la fuente de obtención, como los más importantes tenemos a los cereales donde se destaca el maíz y trigo, también algunas leguminosas como el haba (De Baere 199; Bello y Paredes 199; Bernal y Martínez 2006; Biliaderis 1991; Buléon *et. al.*, 1998).

El grano de maíz en su generalidad está constituido por un 72 a 73 por ciento de almidón y otros hidratos de carbono que oscilan del 1 al 3 por ciento del grano. El endospermo es donde se encuentra una gran cantidad de carbohidratos (FAO, 2013).

### Proteína

El maíz es una fuente de proteína de baja calidad por sus reducidos niveles de lisina y triptófano. El grano está constituido de un 8 a 10 por ciento del peso en el endospermo que es donde se encuentra la mayor parte, siendo al menos cinco fracciones distintas (Landry y Moureaux 1970;1982), entre las que se encuentran: las albuminas, globulinas y el nitrógeno no proteico que suman aproximadamente un 18 por ciento del total de nitrógeno.

En la Tabla 4 se muestra como hay una variación respecto al contenido de proteína en diferentes variedades de maíz en grano, germen y endospermo.

**Tabla 4. Porcentaje de proteína en diferentes variedades de maíz en germen y endospermo**

Muestra	Amarillo	Azotea	Cuarenteño	Opaco-2
Grano entero	42,5	44,3	65,4	81,4
Germen	65,7	80,4	90,6	85,0
Endospermo	40,9	42,0	46,4	77,0

En porcentaje de caseína al 100 %  
Poey *et al.* 1979

## Lípidos

El germen constituye del 10 al 12 por ciento del peso seco y tiene un bajo contenido de ácidos saturados como es el ácido palmítico que constituye un 11 por ciento y el ácido esteárico que solo se encuentra en pequeñas cantidades cercanas al 2 por ciento. Dentro de los ácidos grasos insaturados se encuentra el ácido linoleico en un 44 por ciento mientras que del ácido oleico se encuentra en un 37 por ciento (El Maíz en la Nutrición Humana, 2014).

## Fibra dietética

La fibra dietética es el componente que se encuentra en mayor proporción. El pericarpio constituye del 5 al 6 por ciento del peso seco donde se incluyen todos los tejidos de cobertura exterior. En la Tabla 5 se muestran los resultados de fibra expresados en fibra ácido-detergente y fibra neutro-detergente de hemicelulosa y lignina en el maíz, de acuerdo a Sandstead *et al.* (1978) y Van Soestet *et al.* (1979).

**Tabla 5. Fibra neutra (FND) y ácido-detergente (FAD), hemicelulosa y lignina en el maíz completo para cinco variedades de maíz (%)**

Muestra de maíz N <sup>a</sup>	FND	FAD	Hemicelulosa	Lignina	Paredes celulares
1	8,21	3,23	4,98	0,14	9,1
2	10,84	2,79	8,05	0,12	10,8
3	9,33	3,08	6,25	0,13	12,0
4	11,40	2,17	9,23	0,12	13,1
5	14,17	2,68	11,44	0,14	14,2
Promedio	10,79 ± 2,27	2,79 ± 0,44	8,00 ± 2,54	0,13 ± 0,01	11,8 ± 2,0

Fuente: Bressani, Breuner y Ortiz, 1989

## Minerales

La concentración de cenizas en el grano de maíz es de aproximadamente el 1.3 por ciento. El germen es el que proporciona casi un 78 por ciento de todos los minerales presentes en el grano de los cuales el más abundante es el fósforo. También se encuentran otros minerales como son calcio, magnesio, potasio, hierro, sodio, cobre, manganeso y zinc.

## Vitaminas liposolubles

El grano de maíz contiene dos vitaminas liposolubles, la provitamina A que es un tetraterpeno de 40 carbonos, simétrico y lineal formado a partir de ocho unidades isoprenoides de 5 carbonos (Rodríguez-Amaya, B.D. 1999), que es utilizado con mayor frecuencia como pigmento en la industria alimentaria; y la vitamina E también conocida como tocoferol. Ambas están determinadas por su carácter antioxidante ya que en particular previenen las reacciones de peroxidación de lípidos (enranciamiento).

La mayoría de los carotenoides se encuentran en el endospermo del grano y en pequeñas cantidades en el germen. La vitamina E se encuentra principalmente en el germen del grano (Gil H. A. 2010).

## **Vitaminas hidrosolubles**

Las vitaminas hidrosolubles se encuentran en mayor parte en la capa de aleurona del grano de maíz y en menor cantidad en el germen y endospermo. El contenido de tiamina y riboflavina del maíz está determinado por el medio ambiente y las prácticas que se ejecutan al momento de cultivarse, más que por la estructura genética del mismo grano. La niacina es una de las vitaminas más estudiadas por la relación que tiene con la pelagra en poblaciones que consumían altas cantidades de este cereal (Christianson *et al.*, 1968). Lo anterior debido a que está ligada y el organismo animal no la puede asimilar, sin embargo, existen técnicas que permiten su hidrólisis y así su asimilación.

## **Industria harinera y de masa de maíz nixtamalizado**

El consumo de maíz en México es cercano a los 30 millones de toneladas, donde el 74 por ciento corresponde al maíz blanco mientras que el 26 por ciento se trata de maíz amarillo importado de los Estados Unidos. Estos son utilizados principalmente en la industria harina y de masa de nixtamal, también para la industria productora de alimentos pecuarios balanceados, industria de cereales, frituras, botanas y almidones.

De acuerdo al INEGI existe una producción creciente en la industria harinera de maíz en México ya que en la información de la encuesta industrial se muestra un alcance de 2.28 toneladas en el 2010 como se observa en la Figura 4. Esta industria se concentra en pocas empresas entre las cuales se pueden encontrar a Grupo Industrias MASECA con una participación del 71.2 por ciento del mercado seguido de MINSA con un 23.54 por ciento, HARIMASA el cual ocupa el 1.4 por ciento, CARGILL de México con un 1.3 por ciento, Molinos Anáhuac con un 1.1 por ciento y por ultimo Productos Manuel José con un 0.2 por ciento.

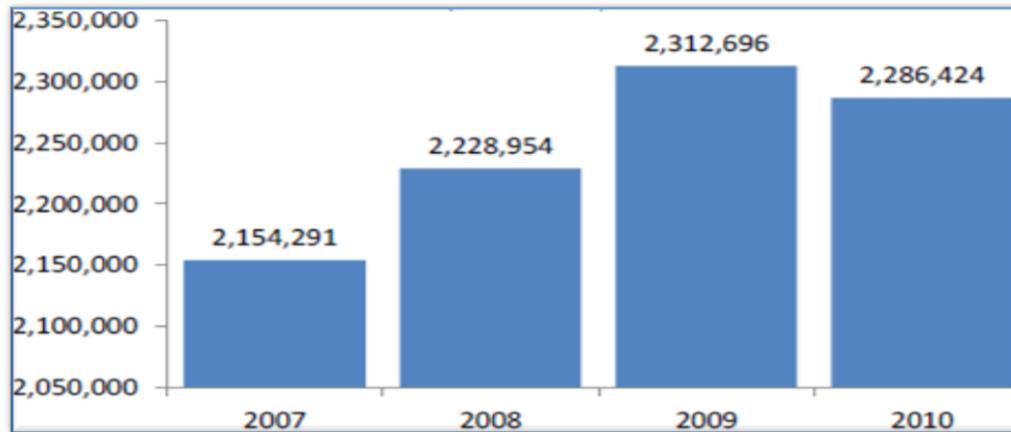


Figura 4. Producción de harina de maíz, 2007-2010 (toneladas)

### Harinas industriales para la elaboración de tortillas

La producción de harinas industriales difieren con respecto a las elaboradas de forma tradicional, una de las principales modificaciones en este proceso es la reducción del tiempo de cocción y el tiempo de reposo que se le da al grano de maíz dando como resultado harinas con bajo contenido de calcio, también se reduce el contenido de fibra ya que el pericarpio es removido del producto final (Gutiérrez *e.t al.* 2007).

Las harinas instantáneas de maíz nixtamalizado son ampliamente utilizadas en México, norte y Centroamérica y se han venido desarrollando con una rapidez por que una de sus ventajas es que reduce el tiempo de preparación y elaboración de tortilla. Como sabemos el proceso tradicional de nixtamalización es básico en los métodos comerciales empleados ya que se utilizan para producir tortillas, botanas y una variedad de productos mexicanos en los cuales se pueden mencionar los tamales, gorditas, chilaquiles, burritos, tostadas, tacos, etc.

Las tortillas están presentes en la población Mesoamericana, especialmente en México, en donde la tortilla básicamente forma parte de la dieta diaria, y se estima que el consumo perca pita es de 234g por día (Siap. Sagarpa 2005).

## La nixtamalización

Este proceso de ablandamiento de la corteza externa del grano de maíz también conocido como pericarpio, se realiza por medio de la adición de cal. Este proceso consta de dos etapas básicas donde la primera consta de un tratamiento térmico alcalino el cual tiene inicio a temperatura ambiente hasta alcanzar una temperatura alta definida manteniéndola isotérmicamente en un periodo determinado establecido. La segunda consiste en una secuencia de operaciones, unitarias para obtener lo que viene siendo el granulo y producir las tortillas, donde están inmersos (agua con cal) una combinación de fenómenos de transporte, transferencia de momentum, de calor y de masa (E. Gutiérrez *et. al.* 2007).

## Proceso de nixtamalización

El maíz que se utiliza para consumo humano en México se procesa siguiendo la técnica de la nixtamalización la cual se conoce del náhuatl nexlli, cal de cenizas y tamali, masa cocida de maíz (Cabrera, 1992) donde la técnica se basa en el cocimiento del grano de maíz (1 parte) en agua (2-3 parte) y cal (1-3% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) durante 30-60 minutos dejando en remojo en el agua de cocción de 12 a 16 horas, se realiza posteriormente un lavado del maíz, esto con el fin de eliminar el exceso de cal y fragmentos del pericarpio desprendido. Los granos que se obtienen ya limpios se muelen en molino de piedra (forma tradicional) hasta obtener la masa que servirá para la obtención de la tortilla (García Méndez, 2004).

## Cambios nutricionales por el proceso de nixtamalización

Los resultados de los análisis químicos que se han realizado en diferentes estudios nos demuestran que el proceso de la nixtamalización causa ciertos cambios en el maíz (Gomez-Aldapa *et. al.*, 1996; Pflugfelder *et. al.*, 1988;).

Como se sabe el maíz es deficiente en aminoácidos esenciales, principalmente en la lisina y en menor grado otros como el triptófano y los azufrados (Waliszewski *et. al.*, 2003; Figueroa., 1999). Este método (nixtamalización) es un proceso que afecta selectivamente a las proteínas ya que durante el cocimiento, la zeína

(Maner, 1990; Bazúa, 1988), es una proteína nutricionalmente pobre, disminuye su solubilidad, mientras que la gluteína (de mayor valor nutricional) aumenta su solubilidad y por consiguiente la disponibilidad de los aminoácidos esenciales (Martínez-Flores *et. al.*, 2002; Paredes-López O. y Saharópulos-Paredes, 2002). Esto incrementa 2.8 veces la lisina, y el triptófano, mientras que la relación de isoleucina se incrementa 1.8 veces (Katz *et. al.*, 1974). Lo anterior indica que hay un balance de los aminoácidos esenciales agregándole un valor nutritivo mayor a las proteínas gracias a los cambios que se dan en la nixtamalización.

Durante la nixtamalización el calcio juega un papel importante ya que el tratamiento con cal facilita la remoción del pericarpio y controla la actividad microbiana, dando como resultado el mejoramiento del sabor, aroma, color, vida de anaquel y el valor nutricional de las tortillas (Rooney, 1993). De acuerdo a Trejo-González *et.al.*, (1982), el calcio se incorpora al grano de maíz durante este proceso enlazándose con el almidón y aumentando su cantidad hasta tres veces más en comparación de muestras sin nixtamalizar como lo mencionan Bressani *et. al.*, (1958) y Katz *et.al.*, (1974).

### **Desventajas en la pérdida de nutrientes del proceso térmico-alcalino en la nixtamalización**

Una de las desventajas de este proceso viéndolo desde el punto nutricional es la pérdida de componentes químicos que se presentan en el grano de maíz, las cuales se incrementan con el tiempo de cocimiento, con las concentraciones de cal y durante el reposo en el agua de cocción. Del germen se pierde aproximadamente el 41.5 por ciento tanto de los lípidos como de los carbohidratos, también existen pérdidas de tiamina, riboflavina y niacina que van desde el 60, 52 y 32 por ciento respectivamente en relación total al grano. A pesar de lo anterior el maíz nixtamalizado presenta un mayor valor nutricional en comparación del maíz crudo.

## La tortilla y su consumo

La industria de la tortilla nace hace 100 años con las innovaciones tecnológicas para la sustitución del metate por el molino de nixtamal y el desarrollo de la máquina tortilladora. El gran logro tecnológico en este campo ha sido la fabricación de harina instantánea nixtamalizada hace 50 años. La tortilla es un producto alimentario que se combina con todos los platillos en México y se conoce también en la cocina internacional, (Figuroa Cárdenas, 2008). Su versatilidad ha permitido que la gastronomía mexicana sea muy conocida en todas partes teniendo preferencia en el mercado mundial.

Un estudio por parte de la Encuesta Nacional de Ingreso Gasto en los Hogares (ENIGH) en los años 2002, 2005, 2008 y 2010 muestra el consumo de tortilla diaria por persona y el consumo de tortillas en México (Figura 5 y 6).

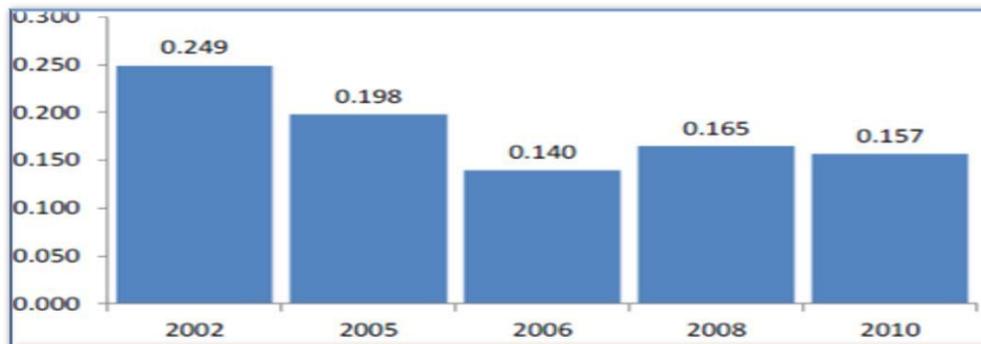


Figura 5. Consumo diario de tortillas por persona  
Fuente: ENIGH-INEGI

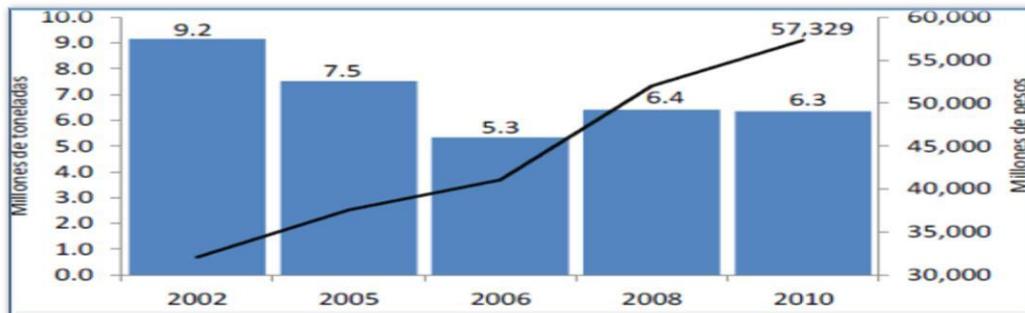


Figura 6. Consumo de tortilla en México 2002-2010 (millones de toneladas)  
Fuente: SE-DGIB con base en información de la ENIGH-INEGI

## Valor nutritivo y elaboración tradicional e industrial de la tortilla de maíz

La tortilla que es muy consumida en América Central es uno de los alimentos que nos aporta nutrientes esenciales para que nuestro organismo pueda funcionar correctamente. En sí, la tortilla sola provee 38.8 por ciento de las proteínas, 45.2 por ciento de las calorías y 49.1 por ciento del calcio de la dieta diaria de la población urbana de México y en zonas rurales provee aproximadamente el 70 por ciento del total de calorías y el 50 por ciento de las proteínas ingeridas diariamente.

Los diferentes tipos de procesos que se le dan al maíz para la elaboración de tortillas pueden influenciar en los cambios de las mismas ya que se ha mencionado que la elaboración de las tortillas de forma tradicional tienen menor pérdida nutritiva en comparación de las que se elaboran de manera industrial, como se aprecia en la Tabla 6, donde se presenta la comparación de tortilla elaborada de forma tradicional e industrial para maíz blanco y amarillo (Paz y Paz Scrimshaw, 1958; Cravioto *et al.*, 1945; Ramhotra, 1958; Saldana y Brown, 1984).

**Tabla 6. Composición aproximada del maíz bruto y de las tortillas en la elaboración de forma tradicional e industrial**

Producto	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)	Fibra cruda (%)	Hidratos de carbono (%)	Calorías (por 100g)
<b>Tortillas</b>							
Blanco	47,8	5,4	1,0	0,8	0,7	44,5	204
Amarillo	47,8	5,6	1,3	0,8	0,6	44,4	212
Blanco	41,9	5,8	-	0,9	-	-	-
Industrial	40,5	5,8	0,9	1,1	1,4	50,3	226
Industrial	44,0	5,3	3,4	1,2	0,7	42,8	215
Industrial	45,2	5,2	3,1	1,4	1,1	41,1	206

Fuente: Bressani Paz y Paz Scrimshaw, 1958; Cravioto *et al.*, 1945; Ramhotra, 1958; Saldana y Brown, 1984.

## **Pérdida de nutrientes en la transformación del grano a tortilla**

Existen pocos estudios donde se demuestren las pérdidas de nutrientes en los procesos de transformación del maíz a tortillas (Cravioto *et al*, 1945; Bressani, Paz y Paz y Scrimshaw, 1958). En la tortilla se produce una disminución en sustancias extraíbles con éter de un 33 por ciento en el maíz amarillo y un 43 por ciento para el maíz blanco que se puede deber a que en el proceso de elaboración de las tortillas se pierde el pericarpio, la aleurona, la piloriza y parte del germen. Cuando se aplica el tratamiento con cal a 96 °C por 55 minutos se hidroliza el pericarpio, que se elimina durante el lavado, a lo que puede atribuirse en gran medida la pérdida de fibra (El Maíz en la Nutrición Humana, 2014).

Las tortillas pueden tener un ligero aumento de proteínas que el grano original, como lo han determinado varios investigadores, y el contenido de cenizas aumenta por la absorción de la cal lo que da lugar un aumento considerable del contenido de calcio (Saldana y Brown, 1984; Ranhotra, 1985). También se dan pérdidas significativas en el contenido de tiamina que van del 52 al 72 por ciento, riboflavina que van del 28 al 54 por ciento y, la niacina del 28 al 36 por ciento. Para el maíz amarillo se pierde del 15 al 28 por ciento del caroteno (Cravioto *et al*. 1945). De acuerdo a un estudio realizado por Breuner y Ortiz, (1989); el contenido de magnesio pasó del 8 al 35 por ciento del maíz a la tortilla, el sodio no experimentó ningún cambio y se observó una disminución del potasio, y un aumento en el contenido de fósforo entre el maíz y la tortilla.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

La parte experimental del trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Bioprocesos y Bromatología del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos que se encuentra en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

#### Material biológico

Se utilizó maíz blanco (*Zea mays*) que fue obtenido de la central de abastos de la ciudad de Saltillo, Coahuila.

#### Materiales y reactivos de laboratorio

En la Tabla 7 se mencionan los materiales y equipos que se utilizaron en el desarrollo de este proyecto.

Tabla 7. Materiales y reactivos de laboratorio

Reactivos	Materiales	Equipo de laboratorio
Ácido sulfúrico concentrado	Aluminio	Agitador Vortex (Benchmark BRP)
Agua destilada	Bolsas con cierre Hermético	Balanza analítica (Ohaus Adventurer)
Agua purificada	Embudo de plástico	Campana de extracción (Loster)
Almidón	Matraz de Erlenmeyer de 1litro	Comal
Hexano	Micro celdillas	Colorímetro (Konica Minolta CR-400)
Fenol sulfúrico	Micro y espátula	Destilador (Labconco)
Hidróxido de sodio al 50%	Mortero	Estufa de gas
Mezcla digestora	Pipetas	Espectrofotómetro (Genesys UV10)
Sacarosa	Probetas	Soxhlet (Kimax Kimble)
	Recipiente de plástico	Incubadora (Quincy Lab)
	Tubos de ensaye	Molino manual (Estrella)
	Vasos de precipitados	Mufla (CAISA, Mod,439 DL)
		Parrilla de agitación y Calentamiento (Thermo Scientific)
		Vortex (Benchmark)

## Metodología

Para el proyecto se desarrollaron 4 etapas y se evaluaron 5 tratamientos con 5 repeticiones, los cuales se describen en la Tabla 8.

Tabla 8. Tratamientos establecidos

TRATAMIENTOS	CONDICIONES DEL GRANO DE MAÍZ PREVIO A LA NIXTAMALIZACION
DIA 0	Maíz sin germinar
DIA 2	Maíz germinado a 48 horas
DIA 4	Maíz germinado a 96 horas
DIA 6	Maíz germinado a 144 horas
DIA 8	Maíz germinado a 192 horas

### Etapa 1. Germinación del grano

Se pesaron 25 muestras de maíz con 150 gramos en cada recipiente de plástico, posteriormente se lavaron con agua purificada para que el grano de maíz comenzara el proceso de germinación y se dejaron en reposo a temperatura ambiente dentro de la cámara bioclimática por: 0, 48,96, 144 y 192 horas (Figura 7). Se estuvieron monitoreando y regando cada 24 horas durante el tiempo especificado.



Figura 7. Proceso de germinación del grano de maíz (*Zea mays*)

## Etapa 2. Proceso de nixtamalización

Pasado el tiempo establecido para cada tratamiento se colocaron en matraz Erlenmeyer de un litro con 250 ml de agua purificada y 0.9 gramos de cal, se colocaron en parilla de agitación y calentamiento por 40-50 minutos a una temperatura de 190 °C, dejando reposar en agua de cocción por 24 horas.

Pasado el tiempo, se lavaron con agua purificada de dos a tres veces hasta eliminar el exceso de cal como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Proceso de nixtamalización

## Etapa 3. Elaboración de tortillas

El maíz nixtamalizado se llevó a un molino manual de disco para obtener la masa, una vez molido se pasaron a un recipiente para el amasado agregando 40 ml de agua purificada para obtener una mezcla homogénea, posteriormente se elaboraron las tortillas con la ayuda de una máquina tortilladora manual pasándolas a un comal de metal para su cocción en estufa de gas (Figura 9).

Cabe mencionar que las bolas de masas utilizadas para la elaboración de las tortillas fueron de 40 gramos aproximadamente.



Figura 9 Molienda de maíz nixtamalizado y elaboración de tortillas

#### Etapa 4. Determinaciones analíticas

##### Color

CIE  $L^* a^* b^*$  es un sistema de medición de color adoptado por CIE en 1976, el cual sirve para determinar la absorción de luz visible en una muestra (Figura 10)

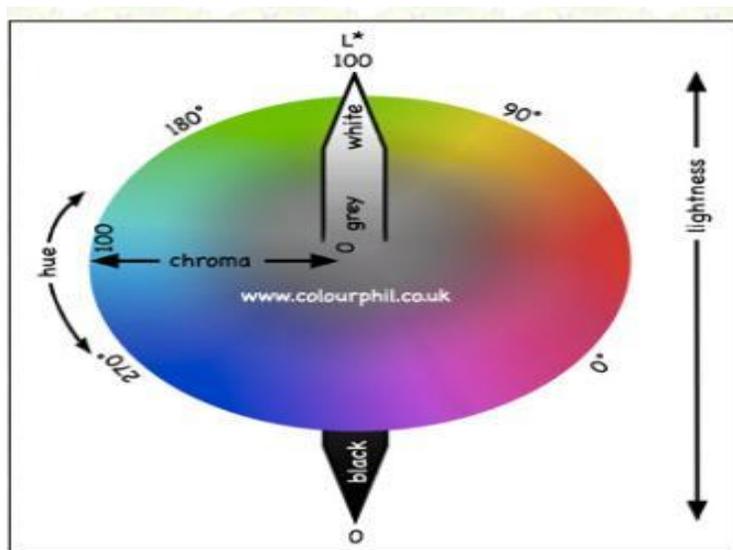


Figura 10. Modelo CIELAB para la determinación de color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ )

Para esta determinación se realizaron las mediciones de color de las tortillas antes y después del secado con la ayuda del colorímetro (Konica Minolta CR400) (Figura 11).



Figura 11. Colorímetro (Konica Minolta CR400) y tortilla de maíz germinada y nixtamalizada

## Humedad

La humedad es considerada como la pérdida de agua que sufre una muestra al ser deshidratada. Debido a lo anterior las tortillas de maíz se deshidrataron en estufa a temperaturas menores de 60°C por 48 horas (Figura 12).



Figura 12. Estufa y tortilla deshidratada

Se calculó el contenido de humedad con la fórmula que se muestra continuación:

---

## Almidón

Químicamente el almidón es un polímero de glucosa y está compuesto de dos macromoléculas de diferentes estructuras, la amilosa que es el componente esencialmente lineal y la amilopectina que es el componente ramificado. Para determinar su concentración, se realizó una prueba espectrofotométrica tomando como base una curva estándar de almidón (Anexo 1).

### Preparación de la muestra

Esto se realizó pesando 1 gramo de muestra de tortilla fresca, la cual fue triturada en mortero con 100 ml de agua destilada y filtrada con doble gasa. Posteriormente se tomaron 2 ml de muestra pasándolos a tubo de ensaye y agregando 2 ml de solución stock diluida para después agitar en vortex y leer absorbancia en espectrofotómetro a 620 nm (Figura 13).

La solución stock se preparó pesando 1.1 g de yodo resublimado y 2,2 g de yoduro de potasio, aforando a 50 ml con agua destilada, y se almacenó en frasco ámbar. Para la preparación de solución stock diluida, se tomaron 2 ml de solución stock y se aforó a 100 ml con agua destilada.

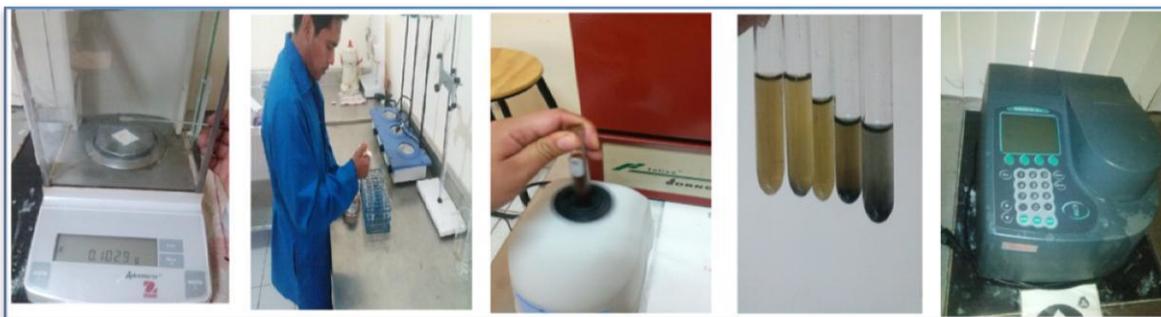
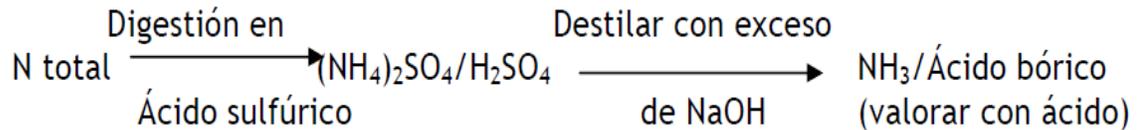


Figura 13. Preparación de muestra para determinación de almidón

## Proteína

Se utilizó el método Micro Kjeldahl, en que se digieren las proteínas y otros componentes orgánicos presentes en el alimento en una mezcla con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. En esta reacción el nitrógeno orgánico se

convierte en sulfato de amonio, la mezcla digerida se neutraliza con una base y se destila posteriormente en una solución de ácido bórico. Los aniones del borato así formado se titulan con HCl estandarizado, los cuales se convierte en el nitrógeno de la muestra analizada.



Para la determinación de proteína, se utilizó 1 gramo de cada una de las muestras deshidratadas y trituradas, para posteriormente ser digeridas, destiladas y tituladas como se muestra en la Figura 14.



**Figura 14. Digestión, Destilación y Titulación para determinación de proteína**

Una vez realizado lo anterior se cuantificó el contenido de nitrógeno por medio de la siguiente fórmula:

$$\frac{(\quad)(\quad)(\quad)}{\quad}$$

En base a la cantidad de nitrógeno, se llevó a cabo la determinación del contenido de proteínas aplicando la siguiente fórmula:

$$(\quad)(\quad)$$

El factor de conversión es diferente para cada alimento ya que no todos contienen las mismas características, para el caso de nuestras muestras se utilizó el valor de 6.25, ya que la mayoría de las proteínas tienen una cantidad aproximada de 16% de nitrógeno, por lo que:

---

## Grasa

Para la determinación del contenido de grasa, se lleva a cabo un reflujo de solvente por calentamiento continuo donde el solvente a utilizar debe tener las siguientes características, un alto poder disolvente para lípidos, que se evapore fácilmente y que no deje residuos, tener un punto de ebullición bajo y que penetre fácilmente en las partículas alimenticias. Los solventes más utilizados son éter de petróleo, hexano y éter etílico.

Se realizó el método Soxhlet en donde existe un goteo continuo del solvente (hexano) sobre la muestra que se encuentra envuelta en papel filtro o dedal dentro del extractor Soxhlet, para después calcular la cantidad de extracto etéreo por diferencia de peso.

Se utilizaron 5 gramos de cada muestra deshidratada y triturada de tortilla dejándolas en el equipo Soxhlet por 6 horas como se muestra en la Figura 15.



Figura 15. Determinación de extracto etéreo

Posteriormente se determinó la cantidad de extracto etéreo con la siguiente fórmula:

$$\left( \frac{\quad}{\quad} \right)$$

## **Carbohidratos totales**

### ***Método de fenol-sulfúrico***

En condiciones de acidez y altas temperaturas ocurren una serie de reacciones diversas en los carbohidratos presentes en una muestra, iniciando por una deshidratación simple, si se continúa el calentamiento y la catálisis ácida, se producen varios derivados del furano, los cuales se condensan consigo mismos y otros subproductos para producir compuestos oscuros o coloridos.

La determinación de carbohidratos totales se realizó por espectrofotometría tomando como base una curva estándar de sacarosa (Anexo 2).

### **Preparación de la muestra**

1 gramo de muestra se homogenizó en mortero con 10 ml de agua destilada. De esta mezcla se tomó 1 ml y se pasó a un tubo de ensaye, para después agregar 2 ml de fenol sulfúrico por las paredes dentro de un baño de agua con hielo, posteriormente se colocó en baño de agua caliente por 5 minutos, dejando enfriar a temperatura ambiente para leer absorbancia en espectrofotómetro a 480 nm (Figura 16).

Para la preparación del fenol sulfúrico se mezcló 0.1 g de fenol por cada 10 ml de ácido sulfúrico concentrado.



Figura 16. Determinación de carbohidratos totales

### Cenizas

La determinación en seco nos sirve para determinar la cantidad total de minerales en alimentos y este método se basa en la descomposición de la materia orgánica quedando solamente materia inorgánica en la muestra aplicando temperaturas de 550 a 600 °C. Este método es eficiente ya que se determinan tanto las cenizas solubles en agua, como las insolubles y solubles en medio ácido.

Se utilizó 1 gramo de cada una de las muestras de tortilla, el cual se incineró en la mufla a 550 °C por dos horas, dejando enfriar para poder pesar como se muestra en la Figura 17, y realizar el cálculo del contenido de cenizas con la fórmula que se presenta a continuación:



Figura 17. Determinación de cenizas

Una vez obtenido el porcentaje de cenizas, se calculó el porcentaje de materia orgánica con la fórmula siguiente:

### **Análisis estadístico**

Una vez terminada la parte experimental, los resultados fueron analizados mediante el paquete estadístico Minitab 17, en un diseño experimental completamente al azar de un solo factor, para determinar las diferencias entre los tratamientos utilizando la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de esta investigación.

#### DETERMINACIONES ANALITICAS

##### Color

De acuerdo a los resultados se encontraron cambios en cuanto al color de la tortilla para  $a^*$  y  $b^*$  conforme el tiempo de germinación, como se muestra en la Tabla 9. Existe una disminución en cuanto a la saturación de color amarillo ( $b^*$ ) ya que conforme mayor es el tiempo de germinación, el valor en  $b^*$  disminuye en comparación al obtenido en la tortilla de maíz sin germinación.

**Tabla 9. Cromaticidad en tortilla (coordenadas  $a^*$  y  $b^*$ )**

Tiempo de germinación (h)	$a^*$	$b^*$
0	-0.622	16.256
48	-0.386	16.290
96	-0.447	14.838
144	-0.270	17.307
192	0.678	14.817

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran similitud con los publicados por Pérez Vargas (2014) y Contreras Sánchez (2014) en cuanto a los valores de  $b^*$ , donde el aumento de éste conforme el tiempo de germinación es evidente, obteniendo concentraciones de color amarillo ( $b^*$ ) elevadas en la tortilla de maíz germinado por 144 horas. Respecto a esto se debe recordar que los responsables del cambio de color en los productos provenientes de plantas y cereales son los componentes fenólicos que al oxidarse y polimerizarse producen la formación de melaninas (Fennema, 1996).

## Humedad

De acuerdo al análisis de varianza se encontró diferencia significativa en cuanto a al contenido de humedad en las tortillas elaboradas a partir de maíz germinado y nixtamalizado (Anexo 3). Esto se puede observar en la Figura 18, donde a las 192 horas de germinación, se encontró la mayor cantidad de humedad en las tortillas respecto a los demás tratamientos. Esto puede deberse a que el grano de maíz va absorbiendo el agua para empezar con el proceso de germinado, por lo tanto el aumento de concentración puede estar relacionado a la cantidad de agua absorbida durante la germinación.

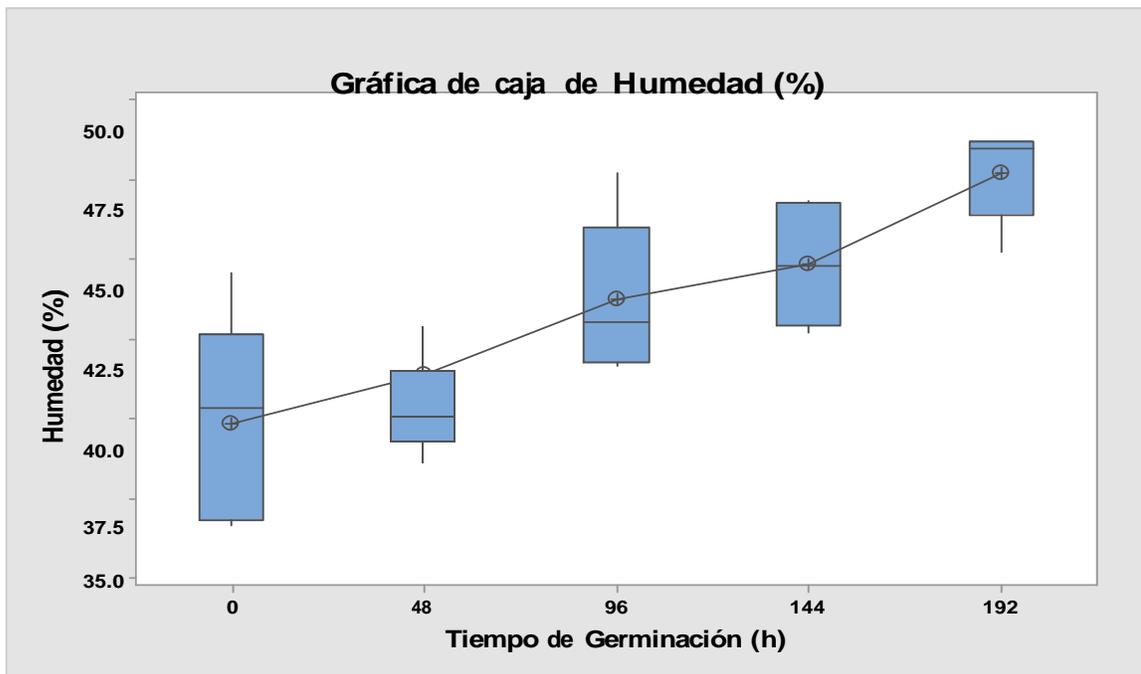


Figura 18. Gráfico de caja para medias (porcentaje de humedad) en tortilla de maíz (*Zea mays*) germinado y nixtamalizado a diferentes tiempos.

En diferentes estudios realizados por Bressani C. R., *et. al.* (1958), Cravioto M. J. *et. al.* (1945), Ramhotra N. K. (1958), así como por Saldana, G. y Brown, H.E. evaluaron el contenido de humedad en tortillas de maíz elaboradas de forma casera e industrial encontrando valores entre 47.8 y 40.5 por ciento. Si esto se compara con los resultados obtenidos en esta investigación, se puede demostrar

que se encuentran dentro del rango reportado por los autores anteriormente mencionados (Figura 20).

Figuroa Cárdenas J. D. (2002) menciona que el porcentaje de humedad para una tortilla de buena calidad debe estar en el rango de 40 a 50 por ciento, esto significa que la tortilla, obtenida con el proceso de nixtamalización posterior a una germinación es de buena calidad ya que se encontró dentro los rangos establecidos por este autor.

### **Almidón**

En base a los resultados obtenidos del análisis de varianza se observa que estadísticamente no hay diferencia significativa en cuanto al contenido de almidón en las tortillas de maíz germinado y nixtamalizado (Anexo 4), sin embargo en la Figura 19 se muestra el promedio de la concentración de almidón en las tortillas generadas a partir de maíz a diferentes tiempos de germinación (0, 48, 96, 144 y 192 horas) donde se aprecia que si hay diferencia numéricamente encontrándose el menor contenido de almidón a las 96 horas en comparación a la tortilla sin germinar.

Lo anterior puede ser debido a que en el proceso de germinación, el grano utiliza el almidón como fuente de energía para liberar la plúmula y radícula. Como sabemos el almidón está formado de unidades de glucosa y se hidroliza en la germinación de la semilla pudiendo así ser utilizado como fuente de energía (Germinación de semillas, 2015), por lo tanto su disminución es notable conforme transcurre la germinación.

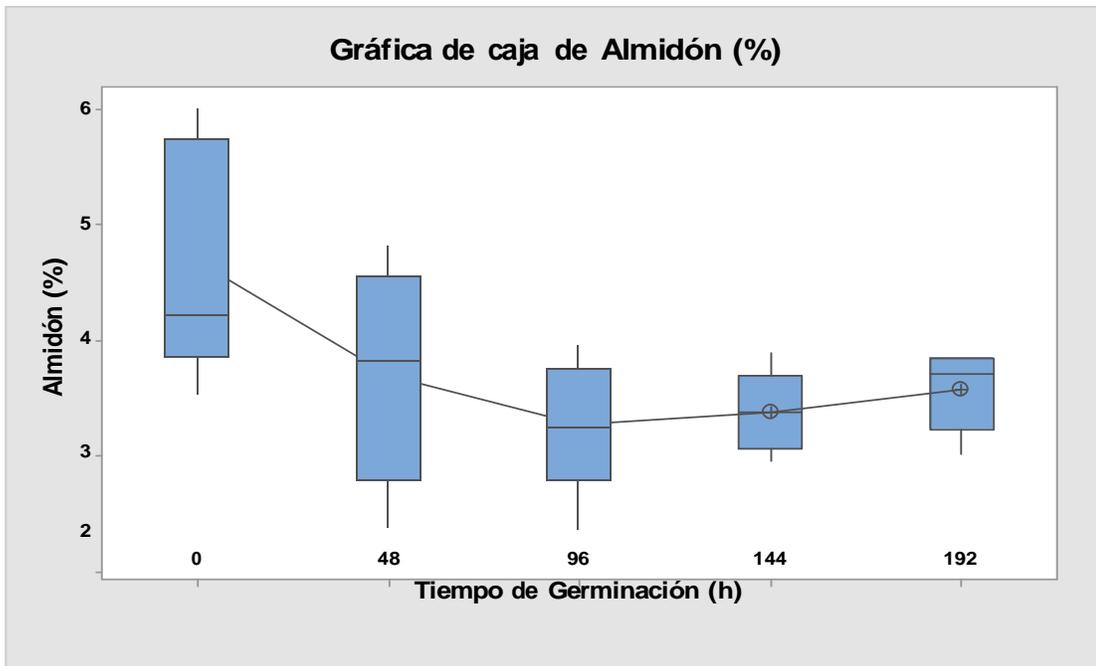


Figura 19. Gráfico de caja para medias (porcentaje de almidón) en tortilla de maíz (*Zea mays*) germinado y nixtamalizado a diferentes tiempos.

Comparando los resultados obtenidos en este proyecto de investigación con los generados por Pérez Vargas L.E. (2014) y Contreras M. A. (2014), ellos reportaron que el mayor contenido de almidón encontrado en la tortilla de maíz germinada y nixtamalizada fue a las 48 y 96 horas respectivamente, mientras que el menor contenido se encontró a las 192 horas; en nuestra tortilla el mayor contenido de almidón se encontró a las 0 horas de germinación y el menor contenido fue a las 96 horas.

Aun y cuando los tiempos no fueron iguales, se logró comprobar que el tiempo de germinación es un factor importante para la disminución del contenido de almidón. Lo cual pudo deberse a las diferencias en las condiciones de manejo de los granos de maíz, tales como: cantidad de agua utilizada y las condiciones de manipulación, ya que Pérez Vargas (2014) realizó la germinación a 24.2 °C, mientras que Contreras (2014) la llevó a cabo en una cámara bioclimática donde la temperatura osciló entre 22 y 24 °C.

## Proteína

De acuerdo al análisis estadístico, se encontró en el ANVA diferencia significativa entre los tratamientos, y la prueba de medias por Tukey muestra que los tiempos 0 y 192 son estadísticamente diferentes (Anexo 5).

Como se muestra en la Figura 20 en las tortillas de maíz germinado por 96 horas se encontró el mayor contenido de proteínas en comparación con las elaboradas después de 192 horas de germinación, en donde se obtuvo la menor concentración.

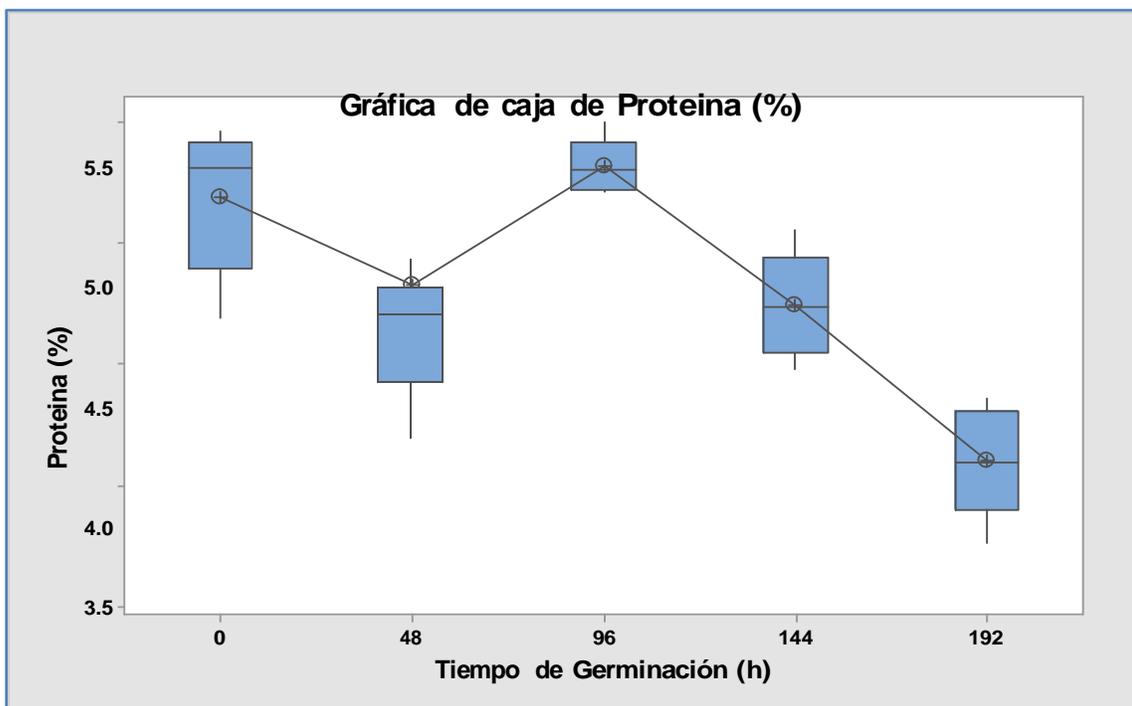


Figura 20. Gráfico de caja para medias (porcentaje de proteína) en tortilla de maíz (*Zea mays*) germinado y nixtamalizado a diferentes tiempos.

Lo anterior puede deberse a que en el proceso de germinación existe la utilización de sustancias de reserva del endospermo para el crecimiento de la radícula y coleóptilo (Cruz Pérez *et. al.* 2003; Méndez Natera *et. al.* 2008), también involucra cambios a nivel celular y genético, como la hidratación de proteínas, respiración, proliferación celular o la activación de genes para la liberación de exudados (Walker *et. al.* 2003).

Haciendo una comparación en cuanto al contenido de almidón (Figura 19) y proteínas (Figura 20) existe una correlación, ya que a las 96 horas de germinación se obtuvo el menor contenido de almidón y la mayor concentración de proteínas.

Ramón L. G. (2012) realizó un trabajo de investigación, donde se elaboró tortilla de maíz sin fortificar de forma tradicional y tortilla de maíz fortificada a la que se agregaron 2.9 gramos de lisina y 0.63 gramos de triptófano, obteniendo valores de 0.51 y 5.78 g por cada 100 gramos respectivamente; haciendo una comparación con nuestros resultados observamos que el contenido de proteína para la tortilla elaborada de forma tradicional fue menor en comparación de nuestra tortilla, para el caso de la tortilla fortificada los valores fueron similares a los presentados en la Figura 20.

Figueroa Cárdenas J. D. *et.al.* (2001) encontraron que en tortilla de maíz industrial el contenido de proteína solubles fue de 5.2 a 7.2 por ciento mientras que en la tortilla tradicional los valores estuvieron entre 7.8 a 10.3 por ciento, esto pudo deberse a la utilización de equipos calibrados para la elaboración de las tortillas, así como las temperaturas manejadas.

## **Grasa**

Respecto al contenido de grasa no se encontró diferencia estadísticamente significativa de acuerdo al análisis de varianza en la tortilla de maíz germinado nixtamalizado y sin germinar, sin embargo en la Figura 21 se muestra el promedio para cada uno de los tratamientos donde se observa que existe diferencia numérica entre ellos ya que a las 144 horas de germinación se encontró el menor contenido de grasa en comparación a la tortilla generadas a partir de granos sin germinar.

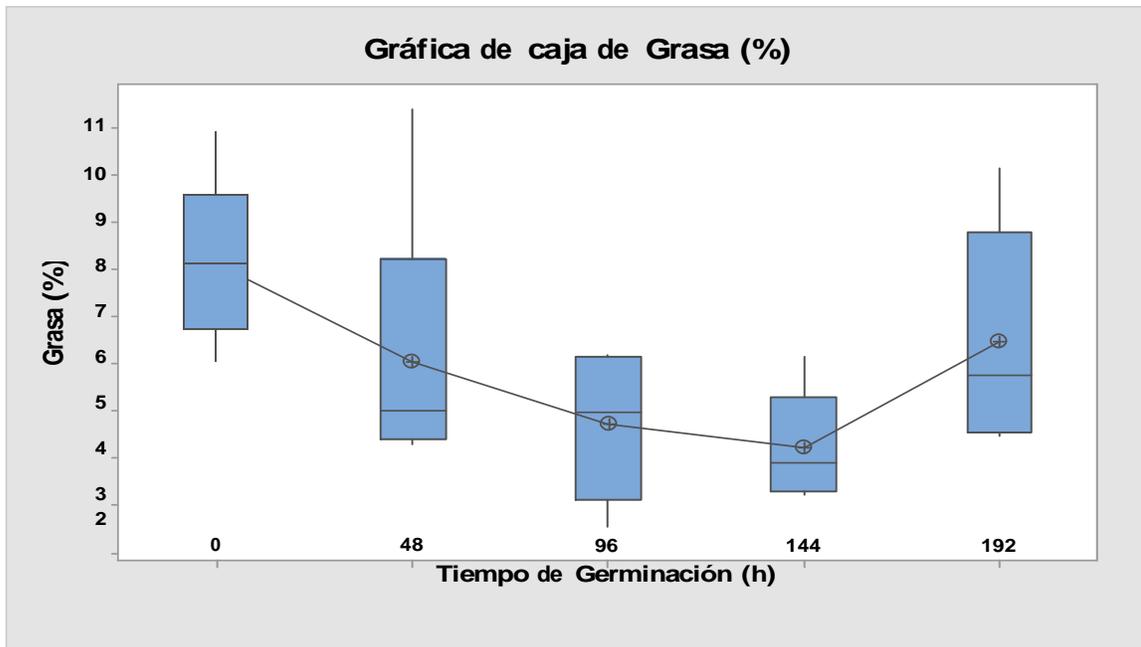


Figura 21. Gráfico de caja para medias (porcentaje de grasa) para tortilla de maíz (*Zea mays*) germinado y nixtamalizado a diferentes tiempos.

De acuerdo a un estudio realizado por García Méndez en el 2004 encontró que en tortilla de maíz nixtamalizado el contenido de grasa fue de 1.62 por ciento. Aunque en el presente trabajo se encontró una notable la disminución de grasa en las tortillas de 8.06 a 4.196 por ciento, esto fue mayor que lo reportado por García Méndez, lo que significa que la germinación del grano no tiene gran impacto en la disminución de la misma pero si con respecto a la tortilla no germinada evaluada en este estudio.

Figuroa Cárdenas J. D. *et.al.* (2001) al realizar un estudio donde el objetivo era determinar la cantidad de grasa en donde adicionaron a tortilla de nixtamal diferentes componentes tales como: vitaminas y pasta de soya desgrasada, encontraron en sus muestras de 4.12 a 4.78 por ciento, de manera que se asemejan con los tratamientos de 96 y 144 horas de germinación, lo que permite deducir que la germinación del grano de maíz (*Zea mays*) para la elaboración de las tortillas disminuyen la cantidad de grasa sin la necesidad de la adición de ningún componente.

## Carbohidratos totales

De acuerdo al análisis estadístico se encontró que no existe diferencia significativa entre tratamientos, es decir el tiempo de germinación no afecta el contenido de carbohidratos en las tortillas (Anexo 7). Cabe mencionar que numéricamente hay una ligera diferencia como se muestra en la Figura 22 donde el menor contenido de carbohidratos se obtuvo a los tiempos de 48 y 192 horas de germinación en comparación al testigo.

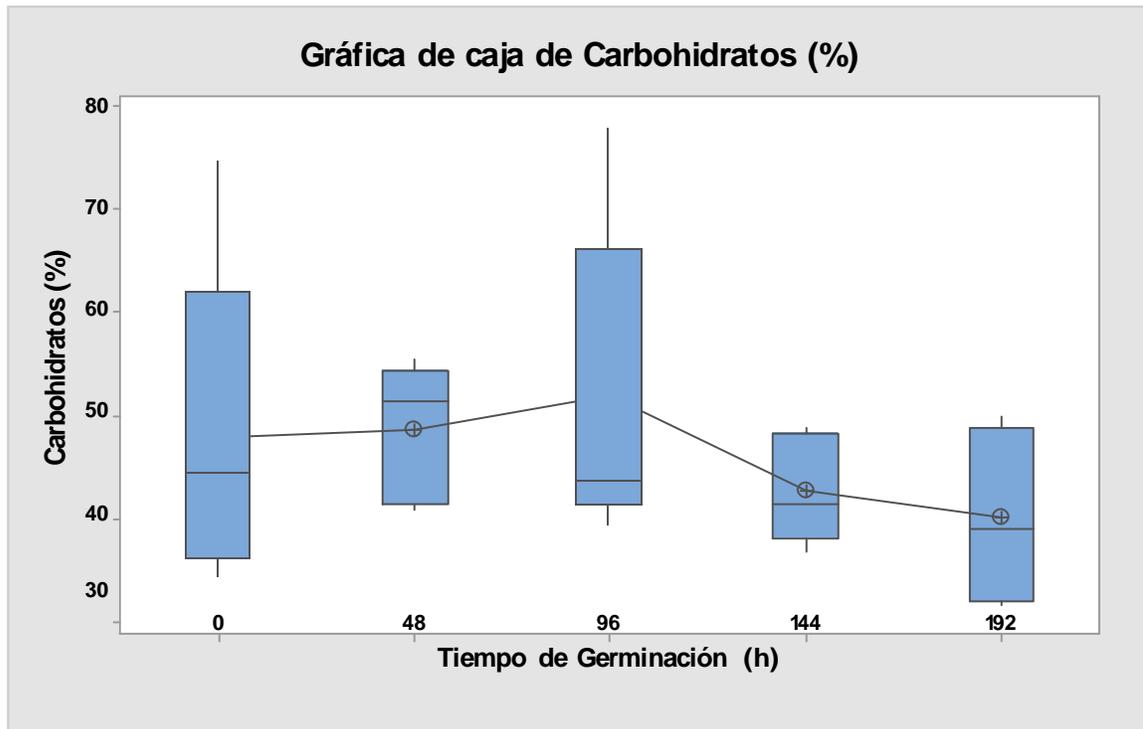


Figura 22. Gráfico de caja para medias (porcentaje de carbohidratos totales) para tortilla de maíz (*Zea mays*) germinado y nixtamalizado a diferentes tiempos.

De acuerdo a la FAO (1993) el contenido de carbohidratos presente en tortilla de maíz blanco elaborada de manera tradicional e industrial es de 44.5 y 44.7 por ciento respectivamente, esto se compara con nuestros resultados donde el valor en tortillas de maíz sin germinar fue de 47.84 por ciento mientras que en las de maíz germinado por 192 horas fue de 40.140 por ciento; como se puede observar el contenido de carbohidratos que se obtuvo fue menor a los reportados por la FAO, por lo tanto se deduce que la germinación del grano antes de la

nixtamalización, favorece para tener una tortilla con menor contenido de carbohidratos, teniendo así una tortilla baja en calorías ayudando a evitar ciertas enfermedades relacionadas con la ingesta excesiva de los mismos (FAO, 1993).

## Cenizas

En base a los resultados del análisis de varianza (ANVA) se observa que si existe diferencia significativa en relación al contenido de cenizas entre las tortillas de maíz germinado y sin germinar (Anexo 8). En la Figura 23 se muestra el gráfico de medias obtenida por Tukey donde se puede apreciar que el mayor contenido de cenizas se obtuvo a las 144 horas de germinación, en comparación a los demás tiempos.

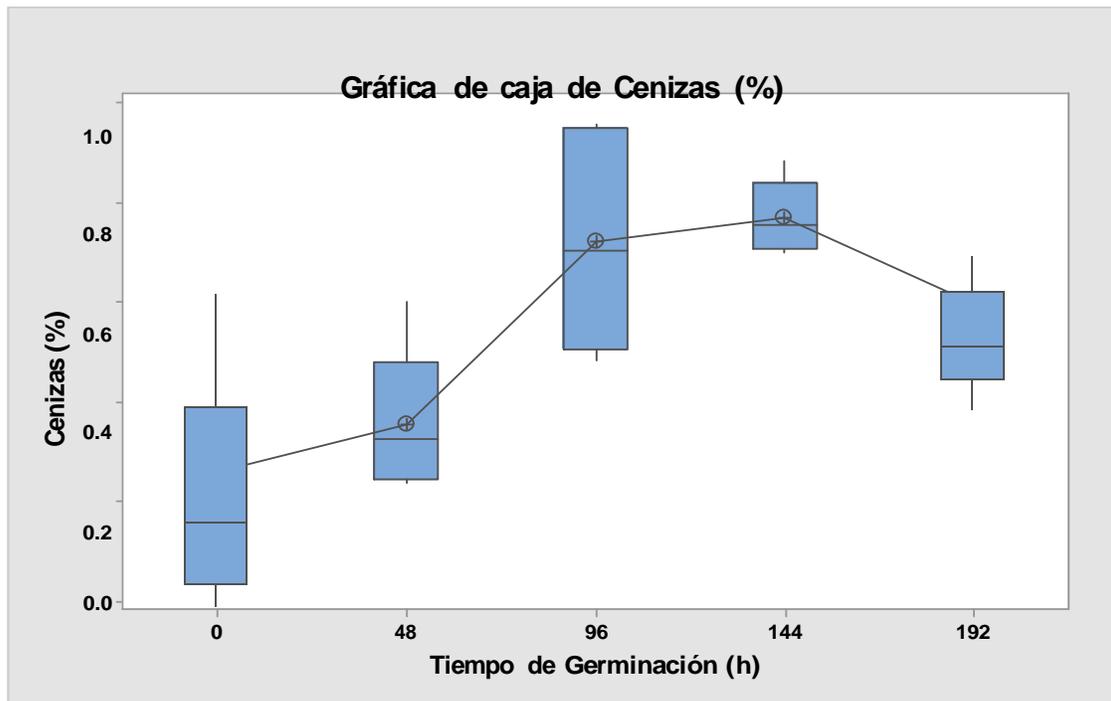


Figura 23. Gráfico de caja para medias (porcentaje de cenizas) en tortilla de maíz (*Zea mays*) germinado y nixtamalizado a diferentes tiempos.

Es notable como existe un incremento de cenizas conforme transcurre el tiempo de germinación. Pflugfelder, Rooney y Waniska (1988) mencionan que el aumento en el contenido de cenizas depende de la cantidad de cal utilizada, temperaturas de cocción, tiempo de remojo y las características del maíz.

Figueroa Cárdenas J. D.*et.al.* (2001) encontraron que en la tortilla tradicional el contenido de cenizas es de 0.9-1.4 por ciento, haciendo comparación con nuestros resultados se observa que el contenido de cenizas se encuentra cercanos a lo reportado por ellos, como se observa en la Figura 23.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, el proceso de germinación a diferentes tiempos, influye en la composición química de las tortillas obtenidas después de su nixtamalización.

La humedad contenida en las tortillas de maíz germinado y nixtamalizado se encontró dentro de los rangos, que brindan a las mismas rolabilidad evitando que se quiebren.

El contenido de almidón presentó la menor concentración a las 96 horas de germinación.

En cuanto a la concentración de proteínas, ésta se vio favorecida obteniendo el mayor contenido a las 96 horas de germinación en comparación a los demás tratamientos.

A las 144 horas de germinación se obtuvo la menor concentración de grasa y cenizas en relación a las tortillas de maíz sin germinar.

La germinación a la que se sometió el grano de maíz (*Zea mays*) permitió disminuir el contenido de almidón, grasa y carbohidratos, así como concentrar el contenido de proteínas y cenizas.

## CAPITULO VI

### BIBLIOGRAFIA

Agama Acevedo Edith, Astrid Ottenhof Marie, Farhat Imad A., Paredes López Octavio, Ortiz Cereceres, Joaquín, Bello Pérez Luis A Efecto de la Nixtamalización Sobre Las Características Moleculares del Almidón de Variedades Pigmentadas de Maíz, Interciencia, vol.29, Núm. 11, (2004), pp.643-649, Asociación Interciencia Venezuela

Análisis de la Cadena de Valor Maíz-Tortilla: Situación actual y Factores de Competencia Local, Secretaria de Economía, dirección general de Industrias Básicas (2012).

Carbohidratos consultada en; <http://carbohidratos.net/carbohidratos>

Corcuera VR; Pennisi M; Kandus MV2; Salerno JC (1897), Determinación de la Composición de Ácidos en Granos de Maíz de Uso Especial, Com. Inv. Científ. Pcia. Bs. As.; Inst. Genética Ewald A. Favret-INTA C.C. 25 (1712) Castelar.

E. Gutiérrez Cortez; I, Rojas Molina; M.ACornejo Villegas; M.E. Rodríguez (2008), Cambios Morfológicos y Micro Estructurales en Pericarpio de Maíz y su Influencia en el Fenómeno de Transferencia de Masa (Agua y Calcio) durante la Etapa de Cocción en el Proceso de Nixtamalización, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán- UNAM, Posgrados en Ingeniería, Facultad de Ingeniería-UAQ, Facultad de ciencias Naturales-UAQ, Centro de física aplicada y Tecnología Avanzada-UNAM.

El Maíz en la Nutrición Humana consultada en: [http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S08.htm#CUADRO 16](http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S08.htm#CUADRO_16), Fecha de consulta 26/12/2014

Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012, Obesidad en Adultos: Los Retos de a Cuesta Abajo, Evidencia para la Política Pública en Salud.

Figuroa Cárdenas Juan de Dios, Acero Godínez María G., Vasco Méndez Nora L., Lozano Guzmán Alejandro, Flores Acosta Luz M., González-Hernández Jesús (2001), Fortificación y Evaluación de Nixtamal Archivos, ISSN 0004-0622.

García Méndez Susana, (2004), Estudio Comparativo y Evaluación Biológica de Tortilla de Maíz Elaboradas por diferentes Métodos de Procesamiento, Tesis Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigaciones en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada.

Hernández Gil Ángel (2010), Tratado de la Nutrición, Composición y Calidad de los Alimentos, Tomo II, 2da Edición, Editorial Medica Panamericana.

Instituto de Tecnología ORT (2009), Análisis Bromatológico

INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; *Calidad del Grano de Maíz* (2006), (en línea).[http://www.produccionbovina.com/informacion\\_tecnica/suplementacion/80-grano\\_maiz.pdf](http://www.produccionbovina.com/informacion_tecnica/suplementacion/80-grano_maiz.pdf). Acceso: 04 de diciembre (2014).

Jesús Alezones, Manuel Ávila, Alberto Chassaigne y Venancio Barrientos (2010), Caracterización del perfil de ácidos grasos en granos de híbridos de maíz blanco cultivados en Venezuela, ALAN v.60 n.4, ISSN 0004-0622.

J. Salvador Ricardo (2001), MAÍZ, Publicaciones del Programa Nacional de Etnobotánica Serie: Traducciones Número: 15, Chapingo.

Martínez Jasso Irma, Villezca Becerra Pedro A. (2005), La Alimentación en México un Estudio a Partir de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares y de las Hojas de Balance Alimenticio de la FAO., Ciencia UANL, Vol. III, No. 1.

Ortiz Prudencio Selena del Alba (2006), Tesis Determinación de la Composición Química Proximal y fibra Dietaria de 43 Variedades Criollas de Maíz de 7

Municipios del Sureste del Estado de Hidalgo, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Institución de Ciencia de la Salud, Área Académica de Nutrición.

Saldana, G. y Brown, H.E. 1984. Nutritional composition of corn and flour tortillas. J. Food Sci., 49: 1202- 1203.

Universidad Politecnica de Valencia, Germinación de Semillas consultada el 28/04/2015 en: [http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas/tema\\_17.htm](http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas/tema_17.htm)

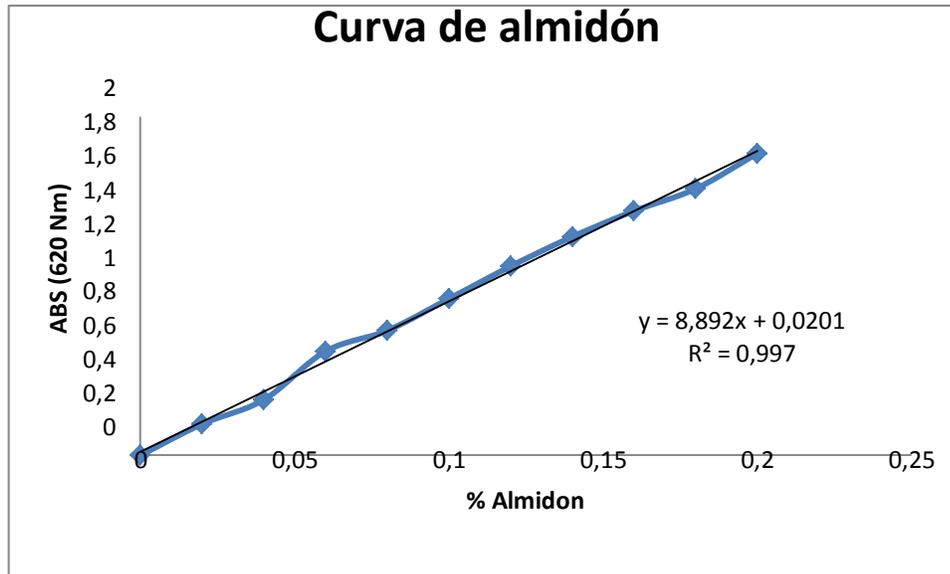
Vázquez Rodríguez, J. A., Amaya Guerra, C. A (2010). Evaluación Sensorial de Tortillas de Maíz Fortificadas con Harina de Amaranto, Frijol y Nopal, XII CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, Departamento de Alimentos. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Véles Medina José Juan (2004), Tesis Caracterización de Tostadas Elaboradas con Maíces Pigmentados y Diferentes Métodos de Nixtamalización, Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada.

## CAPITULO VII

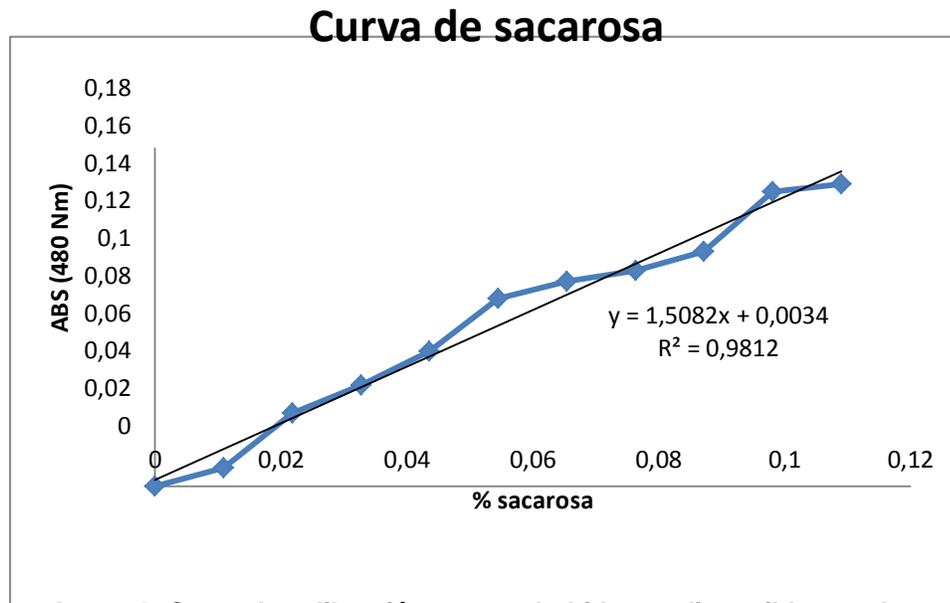
### ANEXOS

#### Anexo 1. Curva de calibración para almidón



Anexo 1. Curva de calibración para almidón

#### Anexo 2. Curva de calibración para carbohidratos disponibles totales



Anexo 2. Curva de calibración para carbohidratos disponibles totales

**Anexo 3. Análisis de varianza: % humedad vs. Días de Germinación (h) y comparación de parejas por Tukey**

**Análisis de varianza**

Análisis de Varianza	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo de Germinación (h)	4	189.41	47.353	9.48	0
Error					
Total	24	289.29			

**Comparaciones en parejas de Tukey**

Tiempo de Germinación (h)	N	Media	Agrupación
192	5	47.735	A
144	5	44.831	AB
96	5	43.72	ABC
48	5	41.345	BC
0	5	39.83	C

**Anexo 4. Análisis de varianza: % Almidón vs. Días de Germinación (h) y comparación de parejas por Tukey**

**Análisis de varianza**

Análisis de Varianza	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Días de Germinación (h)	4	12.96	3.240	2.86	0.050
Error	20	22.67	1.134		
Total	24	35.63			

### Comparaciones en parejas de Tukey (confianza de 95%)

Tiempo de Germinación (h)	N	Media	Agrupación
96	5	46.30	A
0	5	43.87	A
144	5	40.84	A
192	5	39.27	A
48	5	38.49	A

### Anexo 5. Análisis de varianza: Proteína (%) vs. Tiempo de Germinación (h) y comparación de parejas por Tukey

#### Análisis de Varianza

Análisis de Varianza	Gl	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Tiempo de Germinación (h)	4	4.515	1.12885	20.07	0.000
Error	20	1.125	0.05625		
Total	24	5.640			

### Comparaciones en parejas de Tukey (confianza de 95%)

Tiempo de Germinación (h)	N	Media	Agrupación
96	5	5.3115	A
0	5	5.185	A B
48	5	4.826	B
144	5	4.7385	B
192	5	4.097	C

### Anexo 6. Análisis de varianza: Grasa (%) vs. Tiempo de Germinación (h)

#### Análisis de Varianza

Análisis de Varianza	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Tiempo de Germinación (h)	4	47.64	11.909	2.75	0.057
Error	20	86.58	4.329		
Total	24	134.22			

### Comparaciones en parejas de Tukey (confianza de 95%)

Tiempo de Germinación (h)	N	Medias	Agrupación
0	5	8.096	A
192	5	6.47	A
48	5	6.03	A
96	5	4.694	A
144	5	4.196	A

### Anexo 7. Análisis de varianza: % Carbohidratos Totales vs. Tiempo de Germinado (h)

#### Análisis de Varianza

Análisis de Varianza	GL	SC Ajust	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo de Germinado (h)	4	444.5	111.1	0.87	0.501
Error	20	2563.8	128.2		
Total	24	3008.2			

#### Comparaciones en parejas de Tukey

Tiempo de Germinación (h)	N	Media	Agrupación
96	5	51.88	A
48	5	48.52	A
0	5	47.84	A
144	5	42.75	A
192	5	40.14	A

**Anexo 8. Análisis de varianza: Cenizas (%) vs. Tiempo de Germinación (h) y comparación de parejas por Tukey**

**Análisis de Varianza**

Tiempo de Germinación (h)	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Fuente	4	4177	1044.4	7.90	0.001
Error	20	2645	132.3		
Total	24	6823			

**Comparaciones en parejas de Tukey (confianza de 95%)**

Tiempo de Germinación (h)	N	Media	Agrupación
144	5	61.52	A
96	5	60.21	A
192		50.58	AB
48	5	36.31	B
0	5	28.99	B