

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**CUANTIFICACIÓN DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES EN
TORTILLA NIXTAMALIZADA DE MAÍZ (*Zea mays*)
GERMINADO.**

Por:

MARÍA DE LOS ANGELES CONTRERAS SÁNCHEZ

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener título profesional de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista Saltillo, Coahuila, México.

JUNIO de 2014.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**CUANTIFICACIÓN DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES EN TORTILLA
NIXTAMALIZADA DE MAÍZ (*Zea mays*) GERMINADO.**

Por:

MARÍA DE LOS ANGELES CONTRERAS SÁNCHEZ

TESIS

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

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

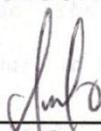
APROBADA POR:



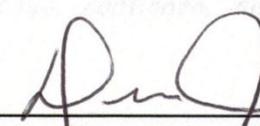
M. C. Mildred I. M. Flores Verástegui
ASESOR PRINCIPAL



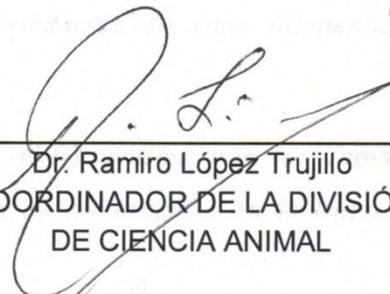
M. C. María Hernández González
COASESOR



Dra. Susana González Morales
COASESOR



Dra. Diana Jasso Cantú
COASESOR



Dr. Ramiro López Trujillo
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CIENCIA ANIMAL



Buena Vista Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2014

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada te doy gracias Señor por haberme permitido llegar felizmente a este día y te pido que con tu luz me guíes y me acompañes siempre a lo largo de mi vida profesional.

A mi Alma Terre Mater UAAAN por darme la oportunidad y cobijo para realizar mis estudios profesionales.

Al Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos principalmente a los profesores, por su paciencia y enseñanzas que aportaron en mi formación profesional.

A la M. C. Mildred I. M. Flores Verástegui, (mi asesora), por su valiosa asesoría, confianza, amistad y apoyo incondicional brindado para la realización de esta investigación.

A la M. C. María Hernández González por su apoyo incondicional durante toda mi carrera y por su colaboración para este proyecto.

A la Dra. Susana González Morales por su apoyo y colaboración para la revisión de este trabajo y por brindarme su apoyo, confianza, disposición y asesoría para la realización de este trabajo.

A la Dra. Diana Jasso Cantú gracias por el tiempo disponible para la revisión de este trabajo y por brindarme en cada momento en el transcurso de la carrera.

A todos mis colegas de ICTA gracias por los momentos que compartieron conmigo, por haber hecho de mi estancia en la Universidad más amena.

DEDICATORIA

Con gran respeto y admiración dedico esta tesis a mis queridos padres que con su apoyo y ejemplo que en cada segundo de mi vida me han brindado.

María de los Ángeles Sánchez Marcial

y

Hermenegildo Contreras Vergara

Por sus cuidados, amor y comprensión, también por vivirlo conmigo alentándome, corrigiéndome, comprendiéndome, apoyándome incondicionalmente y compartiendo logros y tropiezos, alegrías y tristezas, por sus esfuerzos y sacrificios que me han permitido crecer como persona y superarme cada día.

Por todo el ayer, les dedico todo mi mañana.

A mis queridísimos hermanos, Karla Contreras Sánchez y Luis Ángel Contreras Sánchez por ser las personitas que me impulsan a seguir adelante para que sean mejor que yo en todos los aspectos.

A mis familiares a cada uno de ellos tíos(as), primos(as), abuelos que han servido de alguna manera en mi vida que me ayudaron a estar en estos momentos aquí, entre la familia Contreras y familia Sánchez hoy un logro más en mi vida.

A mis amigos, Ana Gloria, Karla, Lupita, Lulú, Isaura, Irving, Francisco Javier, Ángel, Jorge Valencia, Jorge Corrales, Francisco, Javi, Armando, Luu, Erika, Triny, Lili, y a todos que no alcance a mencionar mil gracias porque con su cariño, amistad y amor me motivaron a mi formación profesional.

A una gran persona por apoyarme siempre en todo desde el inicio de la carrera hasta la culminación de ella, es merecido dedicarle este trabajo ya que gracias a él logre salir adelante, por siempre estar a mi lado en el cumplimiento de esta meta que tenemos juntos. ¡Gracias! Ing. Víctor Manuel Torres Vera.

Y no me puedo ir sin antes decirles, que sin ustedes a mi lado no lo hubiera logrado, tantas desveladas sirvieron de algo y aquí está el fruto. Les agradezco a todos con toda mi alma el haber llegado a mi vida y el compartir momentos agradables y tristes, pero esos momentos son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean. Los quiero y nunca los olvidaré.

María de los Ángeles Contreras Sánchez.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
INDICE DE CONTENIDO	vi
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE CUADROS	x
RESUMEN	xi
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	2
1.2 Hipótesis	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos	3
CAPÍTULO 2	4
2 MARCO TEÓRICO	4
2.1 Maíz	4
2.1.1 Descripción botánica	5
2.1.2 Composición del grano	5
2.1.3 Aporte nutricional del maíz	7
2.1.4 Producción y consumo del maíz	9
2.1.5 Producción de maíz en México.	9
2.1.6 Tortilla de maíz	10
2.2 Nixtamalización	11
2.2.1 Importancia de la nixtamalización del maíz	11
2.2.2 Proceso tradicional de tortilla de maíz nixtamalizado	12

2.2.3 Cambios y valor nutricional de la tortilla de maíz nixtamalizado _____	13
2.2.4 Calidad de la tortilla _____	14
2.3 Germinación de maíz _____	15
2.3.1 Movilización de sustancias de reserva _____	16
2.4 Proteínas _____	18
2.4.1 Aminoácidos _____	19
2.4.1.1 Aminoácidos esenciales _____	19
2.4.1.2 Aminoácidos no esenciales _____	21
2.4.1.3 Cuantificación de aminoácidos _____	23
CAPÍTULO 3 _____	26
3 MATERIALES Y MÉTODOS _____	26
3.1 Localización del sitio experimental _____	26
3.2 Material biológico _____	26
3.3 Material de laboratorio _____	26
3.4 Equipos y reactivos químicos _____	26
3.5 Metodología experimental _____	27
3.5.1 Etapa 1. Preparación de muestra para germinación _____	28
3.5.2 Etapa 2. Proceso de nixtamalización _____	28
3.5.3 Etapa 3. Elaboración de tortillas _____	29
3.5.4 Etapa 4. Determinación de características físicas. _____	30
3.5.4.1 Determinación de color _____	30
3.5.4.2 Determinación de almidón _____	31
3.5.4.3 Identificación y cuantificación de aminoácidos _____	34
3.5.4.3.1 Digestión de la muestra _____	34
3.5.4.3.2 Cromatografía _____	35
3.5.4.3.3 Factor de resolución _____	36
3.5.4.3.4 Cuantificación _____	36
3.5.4.3.5 Curvas de calibración estándar _____	37

3.6	Análisis estadístico	38
CAPÍTULO 4		39
4.1	Resultados y discusión	39
4.1.1	Cuantificación de almidón	39
4.1.2	Color	40
4.1.3	Aminoácidos	43
4.1.3.1	Identificación de aminoácidos	44
CAPÍTULO 5		47
5.1	Conclusiones	47
CAPÍTULO 6		48
6.1	Referencias bibliográficas	48
CAPÍTULO 7		54
7.1	Anexos evaluación físico química	54
Anexo 1. Análisis de varianza y prueba de medias para la variable almidón en tortilla a diferentes tiempos de germinación		54
Anexo 2. Análisis de varianza y prueba de medias para la variable, luminosidad (L*) en tortilla a diferentes tiempos de germinación (JMP 5.0.1):		55
Anexo 4. Análisis de varianza y prueba de medias para la variable, cromaticidad (a*) en tortilla a diferentes tiempos de germinación (JMP 5.0.1):		56
Anexo 5. Análisis de varianza y prueba de medias para la variable, cromaticidad (b*) en tortilla a diferentes tiempos de germinación (JMP 5.0.1):		57
Anexo 6. Análisis de varianza y prueba de medias para la variable concentración de aminoácidos en tortilla a diferentes tiempos de germinación (JMP 5.0.1):		58
Anexo 7. Análisis de varianza y prueba de medias para la variable identificación y cuantificación de cada aminoácidos en tortilla a diferentes tiempos de germinación (JMP 5.0.1):		59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Grano de maíz y sus partes. (Bressani, R. 1990).	5
Figura 2. Germinación hipogea en maíz (<i>Zea mays L.</i>)	15
Figura 3. Tanque cromatográfico y revelación de aminoácidos	25
Figura 4. Proceso de germinación del maíz	28
Figura 5. Proceso de nixtamalización	29
Figura 6. Proceso de elaboración de tortilla	30
Figura 7. Determinación de color en tortilla.....	31
Figura 8. Determinación de almidón en tortilla	33
Figura 9. Cromatografía	35
Figura 10. Factor de resolución (rf)	36
Figura 11. Esquema de cuantificación de aminoácidos	37
Figura 12. Gráfico de medias para el contenido de almidón en tortillas de maíz nixtamalizado y germinado a diferentes tiempos	39
Figura 13. Diagrama de cromaticidad $L^*a^*b^*$	41
Figura 14. Variedad de colores de tortillas elaboradas con granos sometidos a diferentes tiempos de germinación.	42
Figura 15. Gráfico de medias para luminosidad en tortillas de maíz nixtamalizado y germinado a diferentes tiempos	42
Figura 16. Gráfico de medias para la comparación de aminoácidos en tortillas de maíz nixtamalizado y germinado a diferentes tiempos.....	43
Figura 17. Gráfico de medias para la identificación y cuantificación de aminoácidos en tortillas de maíz nixtamalizado y germinado a diferentes tiempos (Días 0 – 4)..	44
Figura 18. Gráfico de medias para la identificación y cuantificación de aminoácidos en tortillas de maíz nixtamalizado y germinado a diferentes tiempos (Días 5 - 8)...	45

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Composición química próxima de las partes principales de los granos de maíz (%).....	7
CUADRO 2. Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz.	8
CUADRO 3. Características de Germinación del maíz	16
CUADRO 4. Equipo y reactivos químicos	27
CUADRO 5. Tratamientos.....	27
CUADRO 6. Preparación de tubos para la curva de calibración	33
CUADRO 7. Preparación de curvas de calibración estándar para aminoácidos..	37
CUADRO 8. Cromaticidad en tortilla de maíz elaborada con granos de maíz sometidos a diferentes tiempos de germinación.	40

RESUMEN

México es uno de los países más importantes en la ingesta de maíz, con una gran tradición de su cultivo y fuerte arraigo en su consumo, por constituir la base de la alimentación de la población. De los productos elaborados con maíz en México, las tortillas constituyen el principal producto por su aportación en carbohidratos y proteínas principalmente. Sin embargo, cuando el maíz es sometido al proceso térmico alcalino conocido como nixtamalización, varios cambios benéficos ocurren, incrementándose su valor nutricional. El presente trabajo de investigación muestra un estudio acerca del tiempo óptimo de germinación para mejorar la calidad nutricional evaluando el contenido de aminoácidos esenciales y así llevar a cabo la elaboración de tortillas sin alteraciones organolépticas percibidas por el consumidor.

Para este estudio se elaboraron tortillas a partir de maíz germinado considerando 9 tiempos de germinación de 0 a 192 horas. Para la obtención de éstas los granos de maíz germinado se sometieron a un proceso de nixtamalización por un periodo de tiempo de 45 minutos. Una vez terminado el proceso de cocción de las tortillas se realizó una evaluación de color, seguida de un análisis para determinar el porcentaje de almidón y el contenido de aminoácidos en las diferentes muestras.

Se obtuvieron tortillas con bajo contenido de almidón cuando el maíz se germinó por un periodo de 8 días, comparado con las tortillas elaboradas sin proceso de germinación; en cuanto a la presencia de aminoácidos fue posible identificar, 8 aminoácidos esenciales y 5 no esenciales en las tortillas de maíz germinado por un tiempo de 192 hrs (8 días); así como una alta concentración de tirosina y cistina en tortillas cuando el proceso de germinación se mantuvo por 24 horas.

Palabras claves: Maíz, Germinación, Nixtamalización, Tortilla, Aminoácidos.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal. Ha sido y continúa siendo parte básica de la alimentación de grandes sectores de la población de varios países de Latinoamérica, principalmente México y Centro América. Es uno de los cereales que juega un papel importante en la dieta de la población, su principal forma de consumo es la tortilla, la cual provee el 70% de calorías y la mitad de las proteínas de su dieta.

El consumo total de maíz en los últimos 5 años ha variado de 18,697 a 20,277 toneladas por año. (SIAP 2013). Actualmente en México se consumen 800 millones de tortillas/día de los cuales un 22.8% provienen de harinas nixtamalizadas, 36.7% de masa de molino de nixtamal y 40.5% de nixtamalización tradicional en zonas rurales. (García–Cañedo, 2002).

El maíz es el único medio de subsistencia para muchos habitantes en México de las zonas rurales, es por eso que existe la necesidad de usar nuevas alternativas de productos para el incremento en la nutrición de las personas sin afectar su dieta, así como tener un alimento más saludable.

Se ha demostrado que las proteínas del maíz en bruto tienen un bajo valor nutritivo por tener deficiencia de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano. Con el tratamiento alcalino para la elaboración de tortillas resulta una desnaturalización de las proteínas del maíz, particularmente las glutelinas, que se vuelven más digeribles, por lo que el tratamiento alcalino intensifica la utilidad de estos aminoácidos esenciales. (Bressani, R. 1978).

A causa de la gran importancia del maíz como alimento básico de muchas personas, principalmente de los países en desarrollo, y de su bajo valor nutritivo, sobre todo en lo que se refiere a las proteínas, este trabajo de investigación abre una puerta a la necesidad de conocer y mejorar el aprovechamiento biológico de

sus nutrientes para obtener un mejor aporte realizando una germinación del grano previo al proceso de nixtamalización para obtener un mayor contenido proteico y aminoácidos esenciales.

1.1 Justificación

Desde la antigüedad la tortilla de maíz nixtamalizada es de suma importancia en la dieta mexicana, siendo un producto de canasta básica aunado al incremento en los problemas de salud relacionados con la alimentación, nace la necesidad de nuevas alternativas para el incremento en la nutrición de las personas en México, así como tener un alimento más saludable y favorable para la población mexicana, con un producto accesible a cualquier consumidor, como lo es la tortilla sometida a un proceso de germinación, debido a que este tipo de productos poseen un mayor contenido protéico.

1.2 Hipótesis

La germinación previa a la nixtamalización modifica las propiedades nutritivas en el maíz, aporta una mayor presencia de aminoácidos esenciales y disminuye el contenido de almidón.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el contenido de aminoácidos esenciales en tortillas nixtamalizadas elaboradas con granos de maíz a diferentes etapas de germinación para identificar el tratamiento más favorable para la obtención de una tortilla de mejor calidad nutricional.

1.3.2 Objetivos específicos

- Germinar granos de maíz en las mejores condiciones para la nixtamalización y elaboración de tortillas.
- Evaluar las diferentes tortillas procedentes de los diferentes tiempos de germinación en cuanto a contenido de almidón y color.
- Analizar las tortillas elaboradas con granos de maíz germinado a 0, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 172 y 196 horas y nixtamalizado para determinar la presencia de los aminoácidos esenciales.
- Comparar estadísticamente las características encontradas en las tortillas de maíz nixtamalizado y germinado contra las tortillas de maíz nixtamalizado sin germinar.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Maíz

El maíz, es la planta domesticada del género *Zea*, perteneciente a la familia de las *gramíneas*, subfamilia *andropogonacea*, tribu *maidea*, identificada específicamente como: *Zea mays L.* Hernández, (1972.) mencionó que el maíz (*Zea mays L.*) no se encuentra como planta silvestre en la actualidad y no se sabe cuando se originó, pero hay evidencias de que fue hace miles de años. Las excavaciones, arqueológicas, geológicas y las mediciones con carbón radioactivo en mazorcas de maíz antiguas encontradas en cavernas, indican que la planta debe haberse cultivado por lo menos desde hace 5000 años. Los granos de polen de *Zea euchlaena* y *Trinsacum* encontrados en la ciudad de México son aun más antiguos.

El antropólogo estadounidense Richard Stockton MacNeish encontró restos arqueológicos de plantas de maíz que se estima datan de hace, aproximadamente, ocho milenios. Indicios de los procesos que llevaron al pueblo nativo del valle de Tehuacán, Puebla a dominar el cultivo de este cereal han sido encontrados en la cueva de Coxcatlán, Ajalpan y otros sitios de la zona. Lo anterior fue posible gracias a las condiciones tan secas del clima de Tehuacán, que impidieron la descomposición de los xilotes (maíz tierno) de los primeros maíces cultivados en la zona. (González-Ramos, 2001).

Considerando que en esta zona estuvo el centro de la civilización Azteca, es lógico concluir que el maíz fue un logro de esta cultura y fue parte importante de su alimentación. (Vida Culinaria, 2013).

El grano de maíz es una cariósida formado por una sola semilla en la cual el recubrimiento del fruto (pericarpio) se adhiere firmemente en la semilla. El grano está compuesto del pericarpio o piel, germen o embrión y endospermo. El pericarpio resiste la penetración del agua y protege el grano, está compuesto

principalmente de minerales, fibra y aceite, con muy poco almidón, proteína, azúcares y vitaminas. La composición del maíz varía y se ve afectada por su genética y el ambiente. (González-Ramos, 2001).

2.1.1 Descripción botánica

La planta de maíz es de porte robusto, de fácil desarrollo y producción anual; el tallo es simple, erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 metros de altura, es robusto y sin ramificaciones, por su aspecto recuerda al de una caña, las hojas son largas, de gran tamaño, alternas y paralelinervias; se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presentan vellosidades, los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes (SIAP, 2010).

El sistema radicular de tipo fasciculado está formado por tres tipos de raíces: las raíces seminales (nacidas de la semilla), las raíces secundarias (que constituyen la casi totalidad del sistema radicular), y las raíces adventicias que aparecen en último lugar, a nivel de los primeros nudos situados por encima de la superficie del suelo (Fleury y et al., 1979).

2.1.2 Composición del grano

La semilla del maíz está compuesta principalmente de cuatro partes anatómicas que se presentan en la Figura 1.

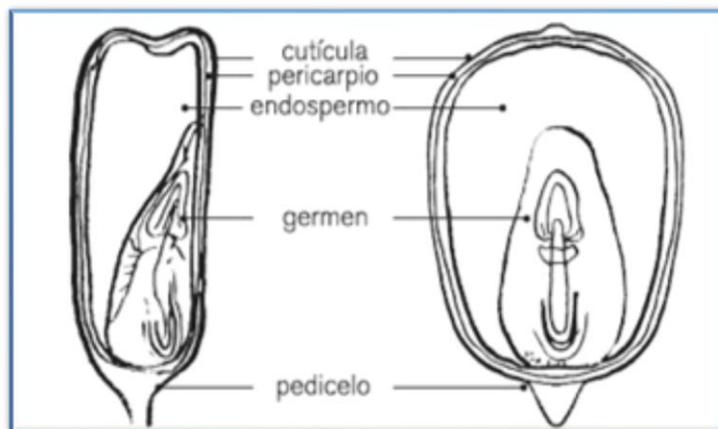


Figura 1. Grano de maíz y sus partes. (Bressani, R. 1990).

- a) **Pericarpio:** Ésta es la verdadera cubierta o cáscara del grano, compuesta por todas las capas exteriores. El pericarpio representa del 5 al 6 por ciento de peso seco del grano y todas sus capas están compuestas de células muertas, epidermis, células cruzadas y tubulares. (Watson y Ramstad, 1987).
- b) **Pedicelo:** Representa aproximadamente el 0.8 por ciento del grano y es la estructura celular con la que el grano se encuentra unida al olote. Está compuesto de una capa exterior de abscisión que sella la punta del grano maduro. A esta capa le sigue una serie de células parenquimatosas en forma de estrellas, ligadas por sus puntas, formando una estructura frágil y porosa, conectada con la capa de células cruzadas del pericarpio. (Jackson – Rooney, 1988).
- c) **Endospermo:** Está compuesto de paquetes de células elongadas con gránulos de almidón de 5-30 μ embebidos en una unión continua de proteínas. El almidón del endospermo es de dos tipos: harinoso y corneo (Watson Ramstad, 1987), además está formado por una capa celular llamada aleurona, lugar donde residen enzimas hidrolíticas (Gómez, 1993). El endospermo harinoso rodea la hendidura central y es ligeramente opaco. Watson y Ramstad (1987), explicaron que la opacidad del endospermo harinoso puede ser debido a la refracción de la luz de la minuciosa capa de aire alrededor de los gránulos de almidón, los cuales resaltan del desgarre de la unión de la proteína durante el secado, por otra parte el endospermo corneo, la unión de proteína es espesa y permanece intacta con el secado. Durante el secado, los gránulos de almidón son gelatinizados en el endospermo corneo y son comprimidos. (Watson y Shandera, 1988).
- d) **Germen:** Está compuesto por el embrión y el escutelo. El escutelo funciona como un órgano nutritivo del embrión. El germen es el mejor depósito de lípidos, el cual contiene un 83 por ciento del total del grano. La proteína que contiene el germen del grano de maíz (glutelina y globulina) es de buena

calidad y su contribución a la proteína del grano entero es en promedio de 15 por ciento. (Watson y Ramstad, 1987).

Como se muestra en el Cuadro 1, las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87 por ciento, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67 por ciento), celulosa (23 por ciento) y lignina (0,1 por ciento) (Burga y Duensing, 1989). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87 por ciento), aproximadamente 8 por ciento de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.

CUADRO 1. Composición química próxima de las partes principales de los granos de maíz (%)

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

Fuente: Watson, 1987.

Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33 por ciento por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20 por ciento) y minerales. Se dispone de algunos datos sobre la composición química de la capa de aleurona, elemento con un contenido relativamente elevado de proteínas (aproximadamente el 19 por ciento) y de fibra cruda.

2.1.3 Aporte nutricional del maíz

El maíz es un cereal rico en carbohidratos, además de contener niacina, fósforo y calcio, que permiten el buen funcionamiento de los sistemas respiratorios,

nervioso y cardiovascular; interviniendo en la formación y mantenimiento de huesos y dientes y además de ayudar en la coagulación de la sangre (CONAL, 1990).

Charley (1987) cita los siguientes componentes principales del grano de maíz: carbohidratos, proteínas, lípidos y en menor cantidad minerales, vitaminas y fibra cruda. Los datos anteriores confirman que la composición química es variable y está relacionada con: estado, raza, variedad, tecnología del cultivo y clima, parte de la planta o del grano que se analice, técnicas y métodos de análisis. (Reyes, 1990).

Con respecto al contenido de nutrientes, una ración de 100 g de maíz, contiene 356 Kcal y 8.1 g de proteínas en promedio; ubicándose en un punto intermedio respecto al trigo y arroz que aportan 330 y 362 Kcal, y 10.2 y 7.4 g de proteínas, respectivamente. En cuanto al contenido de grasa el maíz es superior a estos cereales con 4.8 g mientras que en carbohidratos es ligeramente inferior con 71.3 g. (SIEPA, 1987).

CUADRO 2. Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz.

Aminoácido	Endospermo ^a		Germen ^b		Modelo FAO/OMS
	%	mg/g N	%	mg/g N	
Triptófano	48	38	144	62	60
Treonina	315	249	622	268	250
Isoleucina	365	289	578	249	250
Leucina	1 024	810	1 030	444	440
Lisina	228	180	791	341	340
Total azufrados	249	197	362	156	220
Fenilalanina	359	284	483	208	380
Tirosina	483	382	343	148	380
Valina	403	319	789	340	310

^a1, 26 por ciento de N.

^b2, 32 por ciento de N

Fuente: Orr y Watt. 1957.

El germen aporta pequeñas cantidades de lisina y triptófano, los dos aminoácidos esenciales limitantes en las proteínas del maíz. Las proteínas del endospermo tienen un bajo contenido de lisina y triptófano, al igual que las proteínas de todo el grano. La deficiencia de lisina, triptófano e isoleucina ha sido perfectamente demostrada mediante numerosos estudios con animales (Howe, Jasón y Gilfillan, 1965) y un número reducido de estudios con seres humanos (Bressani, 1971).

2.1.4 Producción y consumo del maíz

Los principales países productores de maíz a nivel mundial son los Estados Unidos, China y Brasil; sin embargo, la producción mundial de maíz blanco es relativamente pequeña si se compara con la de maíz amarillo. El comercio mundial de maíz se encuentra dominado por los Estados Unidos, que es el principal exportador, siendo China quien ocupa la segunda posición y Brasil la tercera. (FAO 2003).

El consumo total de maíz en los últimos 5 años varió de 18,697 a 20,277 toneladas por año. (SIAP 2013).

2.1.5 Producción de maíz en México.

La superficie cultivada de maíz a nivel nacional ha venido registrando una tendencia hacia la baja en los últimos años. La producción oscila anualmente entre 12 y 14 millones de quintales dependiendo de las condiciones climáticas prevalecientes, siendo la sequía el principal factor que incide en las bajas producciones que se registran en algunos años. Debido a los problemas de baja productividad, baja rentabilidad, riesgo climático y baja competitividad que presenta el maíz, los productores deben considerar la sustitución de las áreas de siembra por opciones que permitan obtener mayores niveles de rentabilidad y solo cultivar en bajas proporciones que le permitan el autoconsumo al pequeño productor que se aferra al cultivo (Abelino Alberto y Rolando, 2003).

Esta importante gramínea, que forma parte de los alimentos básicos de México, en los estados productores, durante el periodo de 2006 a 2008, el maíz representó en promedio 45.5 por ciento de la superficie agrícola de Sinaloa, 43.1 por ciento de Jalisco, 64.5 por ciento de la superficie agrícola de Sinaloa, 43.1 por ciento de Jalisco, 64.2 por ciento del Estado de México, 51.4 por ciento de Chiapas, 44.1 por ciento de Michoacán, 36.3 por ciento de Guanajuato y 56 por ciento de Guerrero. Aun cuando el maíz es el cultivo con mayor extensión, la aportación al valor de la producción agrícola es menor, sobre todo en estados que también cuentan con producción frutícola dado el mayor valor de mercado de los productos frutales.

Este es el caso de Michoacán, Guanajuato y Estado de México, en donde la producción de maíz representó sólo 14.6, 22.6 y 34.8 por ciento del valor de la producción agrícola promedio entre 2006 y 2008, respectivamente. Con relación a los sistemas de producción de maíz, es posible afirmar que el 98.6 por ciento de la producción de maíz de Sinaloa proviene de superficies cultivadas bajo riego, así como en Guanajuato, donde 62.4 por ciento de la producción se realiza bajo este mismo sistema. Por otra parte, 92.2 por ciento de la producción del Estado de México, 97.8 por ciento de la de Chiapas, 66.7 por ciento de la de Michoacán y 91.2 por ciento del maíz proviene de Guerrero. (Fuentes L. L. 2012).

2.1.6 Tortilla de maíz

La tortilla es uno de los alimentos de mayor consumo en México. En algunos grupos poblacionales éste llega a ser mayor de 329 g/día (INEGI, 2002). Por su alto contenido de carbohidratos es considerada como una excelente fuente de calorías, desafortunadamente carece de una buena calidad proteica. Esto se debe a que el grano de maíz es deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y triptófano. (Bello-Pérez, L. A., Solorza-Feria y O. Paredes – López. 2002).

La forma de la tortilla se hace a mano usando harina de maíz o de trigo, pero siempre se hornea o se cuece en un comal. Se puede comer sola o envolviendo varios rellenos. La tortilla es la base de los tacos, tostadas y una multitud de otros

plattillos. La tortilla, era la comida principal de los aztecas. Usadas como sabrosas cucharas para comer, se pueden tostar y servir con ensaladas, o simplemente solas y calientes. (Vázquez - Lara, 2000).

2.2 Nixtamalización

Del náhuatl *nixtli*, cenizas, y *tamalli*, masa, el proceso de la nixtamalización se ha transmitido de generación en generación en Mesoamérica, y todavía se utiliza como en tiempos prehispánicos. Se inicia con la adición de dos partes de una solución de cal aproximadamente al 1 por ciento a una porción de maíz. Esta preparación se cuece de 50 a 90 minutos, y se deja remojando en el agua de cocción de 14 a 18 horas. Posterior al remojo, el agua de cocción, conocida como nejayote, se retira y el maíz se lava dos o tres veces con agua, sin retirar el pericarpio ni el germen del maíz. Se obtiene así el llamado maíz nixtamalizado o nixtamal, que llega a tener hasta 45 por ciento de humedad. (Octavio P.-Fidel G. – Luis A., 2009).

La gelificación de los almidones, otorga a la tortilla y otros productos nixtamalizados su notoria flexibilidad y sabor. Los productos de maíz cocidos con cal son una fuente importante de energía, proteínas, fibra dietaria y calcio para las personas que dependen de estos productos como alimento principal. (Katz 1974).

Diversas investigaciones (Bressani et al., 1958; Vaqueiro y Reyes, 1986; Anderson y Brown, 1963) han sido realizadas con la finalidad de hacer más eficiente el proceso tradicional de nixtamalización. Éstas han considerado básicamente aspectos de relación agua:maíz, concentración de cal, temperatura y tiempo de cocimiento, reposo del grano cocido y molienda, sin modificar las características básicas del proceso de nixtamalización.

2.2.1 Importancia de la nixtamalización del maíz

La cocción alcalina y el remojo provocan la disolución y el hinchamiento de las capas del pericarpio, esto hace que las paredes celulares y los componentes de la

fibra dietaria de esta parte del grano se vuelvan frágiles, facilitando su remoción, lo cual obviamente disminuye el contenido de fibra dietaria insoluble. Sin embargo, y por fortuna, en este proceso la fibra dietaria soluble pasa de 0.9 por ciento en el maíz a 1.3 por ciento en la masa, y a 1.7 por ciento en la tortilla. La fibra dietaria en general ha sido reconocida como un componente importante y altamente deseable en los alimentos, ya que ejerce diversas funciones fisiológicas asociadas a la salud. (L. W. Rooney. 1990.)

La nixtamalización también provoca que la estructura que une las células del endospermo, llamada lámina media, y las paredes celulares se degraden y solubilizan parcialmente. La mayoría del germen permanece en el grano durante la nixtamalización, lo que permite que la calidad de la proteína de los productos de la masa no se vea afectada. Otro aspecto sobresaliente es que la membrana semi-permeable que está alrededor del grano, denominada aleurona, permanece sobre el mismo durante este tratamiento, lo que minimiza la pérdida de nutrimentos hacia el nejayote por el fenómeno llamado lixiviación. (Serna-Saldívar, S. 1990.)

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

2.2.2 Proceso tradicional de tortilla de maíz nixtamalizado

Se inicia con el maíz limpio se coloca en tinas para su cocción, se le adiciona una solución de agua con aproximadamente un 1.5 por ciento de cal en base al peso del maíz. La temperatura de solución varía de 70 a 80 por ciento en donde se va a precocer por un tiempo aproximado de 2 a 3 horas dependiendo de la naturaleza del grano, fuerza de la cal y temperatura del agua. Una vez que el grano ha sido cocido se deja reposar toda la noche, al siguiente día el nixtamal o maíz nixtamalizado se lava con agua varias veces para quitar los restos de cal. (Solorza-Feria 2002).

El maíz nixtamalizado es molido en un metate para producir la masa que se utiliza para formar a mano discos que luego son cocidos en un comal de barro. Es importante indicar que el proceso de molienda requiere la adición de agua y que la masa llega a tener de 48 a 55 por ciento de humedad. Finalmente el disco de masa, de aproximadamente 20 centímetros de diámetro, se cuece permitiendo que un lado de tortilla esté en contacto con el calor de 30 a 45 segundos, se voltea para cocer el otro lado durante un minuto y otra vez el lado inicial por otros 30 segundos para completar la cocción. El producto resultante era llamado en náhuatl *tlaxcalli* y fue nombrado tortilla por los españoles. (O. Paredes – López, 2002).

Las propiedades sensoriales y funcionales de todos los productos derivados de la masa son de suma importancia. En general, la tortilla preparada a partir de maíz blanco tiene mayor aceptación. (Bello-Pérez, 2002).

2.2.3 Cambios y valor nutricional de la tortilla de maíz nixtamalizado

Las proteínas presentes en el maíz son: zeína (44%), glutelinas (28%), albúminas y globulinas (5%), el 17 por ciento está formado por una fracción de tipo zeína, con enlaces de disulfuro, que es soluble en solución alcohólica conteniendo mercaptoetanol (Hseney, 1986). Durante el proceso de nixtamalización se obtiene una mayor disponibilidad de triptófano presente en el maíz (Bressani *et al.*, 1978). Se ha demostrado que la cocción alcalina altera los patrones de solubilidad de las proteínas, disminuye el contenido de albúminas, globulinas y prolaminas, proteínas solubles en agua (Rooney y Almeida-Domínguez, 1995).

El maíz representa cerca de la mitad del volumen total de alimentos que se consumen cada año en nuestro país. Este cereal se consume principalmente en forma de tortillas y ha generado una industria que aún cuando se encuentra en miles de pequeños establecimientos, es de enorme importancia. Además de la tortilla, se tiene una gran variedad de alimentos preparados con harinas o masa de maíz y que forman parte de la dieta doméstica y comercial. Existen también alimentos industrializados de consumo popular derivados del maíz como son:

harinas, féculas, almidones, mieles, hojuelas, aceites y golosinas. (Verdalet G., I., 2001).

A nivel regional el maíz constituye la fuente de energía más importante en la alimentación del pueblo de México; así en los estados del norte, el maíz aporta en promedio el 30% del valor total calórico de la dieta, mientras que en el centro representa el 39% y en el sur el 38% (CONAL, 1990).

La tortilla proporciona gran parte de la energía diaria que necesitamos por su alto contenido de hidratos de carbono; además, es rica en calcio, fibra y potasio, y baja en grasa y sodio. Se considera que de los requerimientos nutricionales diarios, la tortilla provee aproximadamente 45% de las calorías, 39% de las proteínas y 49% del calcio; incluso en algunas zonas rurales proporciona aproximadamente 70% de las calorías y 50% del consumo protéico diario. Por ello, y con mucha razón, un alto porcentaje de la población mexicana considera la tortilla como un alimento de primera necesidad. (Ojeda R., M. M. 2001).

México es el principal consumidor de tortilla en el mundo, pues se estima que es consumida por el 94% de la población, por lo que el volumen de producción y consumo es cercano a los 12 millones de toneladas de tortillas por año, lo que representa un porcentaje importante entre los productos alimentarios comercializados en el país. Cabe también señalar que es un alimento de suma importancia en la alimentación de diversos países de Centroamérica. (Silva H., E. R. 2001).

2.2.4 Calidad de la tortilla

Las características de calidad de las tortillas de maíz varían entre las regiones de México, y aún más fuera del país. Existen algunas más delgadas que otras, sin embargo es importante y necesario la flexibilidad y firmeza para usarse como taco o cuchara. La superficie no debe ser porosa, debe tener suficiente humedad para recalentarse y mantenerse flexible, ya que las tortillas de baja humedad se hacen rígidas. La tortilla en general, después de enfriarse, pierde humedad, en virtud de

la pérdida de gomas naturales durante el proceso de nixtamalización. (Arámbula V. G., L. 2001).

En cuanto al color se prefieren blancas o amarillas, aunque por regiones geográficas dentro de México son de muy diversos colores: azules o rojas. En cuanto a sabor y aroma, éste es característico a la mezcla de la cal con el maíz. (Flores. L, 2012).

2.3 Germinación de maíz

La germinación de maíz es considerada un método simple y de bajo costo para mejorar la calidad de la materia protéica y el valor nutrimental del grano, ya que en las primeras etapas de la germinación del maíz la concentración de lisina y triptófano aumentan considerablemente. (Besnier Romero, F. 1989.)

En el caso del maíz (*Zea mays*), el mesocótilo es el encargado de elevar el coleóptilo junto con el ápice caulinar y los primordios, la Figura 2 representa la imagen para la germinación hipogea en maíz.

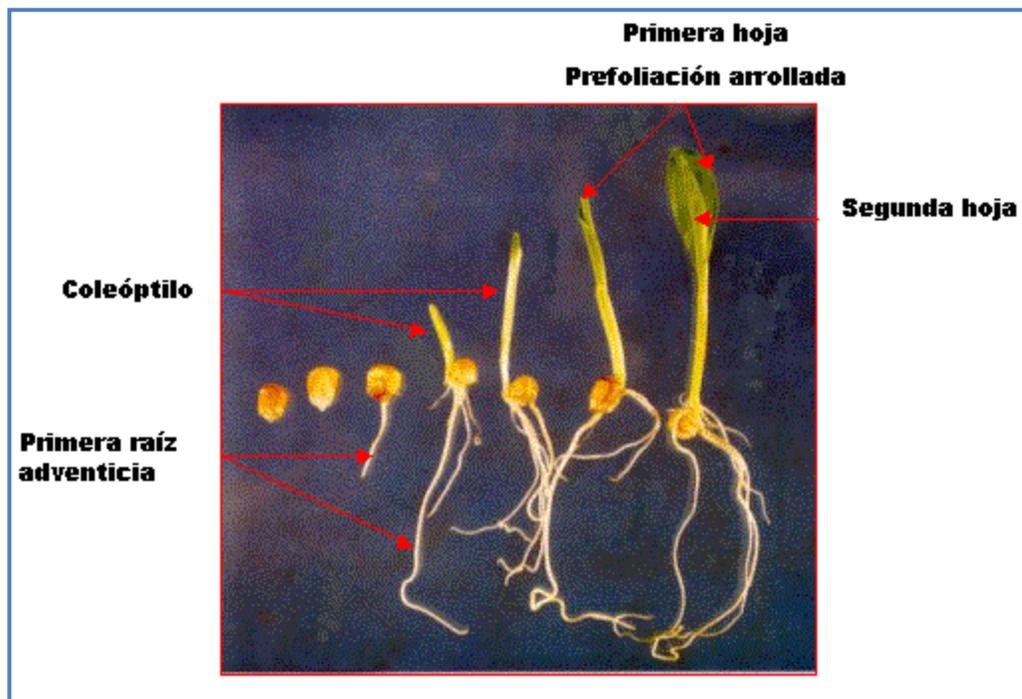


Figura 2. Germinación hipogea en maíz (*Zea mays* L.)

Inicialmente, luego de la emergencia, la plántula pasa por un estado de transición durante el cual produce algunos asimilados pero aún depende del desdoblamiento de las sustancias de reserva. En la medida que la plántula se fija firmemente en el suelo y gradualmente se independiza de los tejidos de reserva ya exhaustos, se completa el proceso. De este modo, cuando la plántula comienza a absorber agua y a fotosintetizar en forma completamente autónoma, es posible afirmar que ha completado el proceso de germinación y se ha establecido convirtiéndose en un organismo autótrofo. (Cronquist, A. 1977).

En el cuadro 3 se muestran diferentes condiciones para llevar a cabo la germinación del maíz, considerando el remojo para la aceleración del proceso de germinación.

CUADRO 3. Características de Germinación del maíz

Germinación de algunas semillas sometidas a remojo					
Especie	Tiempo de un periodo de remojo	Temperatura del agua de remojo	Tiempo que tardan en germinar	Condiciones de germinación	Temperatura de germinación
Maíz	8-12 horas	15-20 °C	3-4 días	Baja luz	20 °C

FAHN, A. 1978.

2.3.1 Movilización de sustancias de reserva

Las semillas contienen cantidades relativamente importantes de reservas alimenticias, que permitirán el crecimiento y el desarrollo de la plántula hasta que ésta sea capaz de alimentarse por sí misma. Estas reservas se encuentran en su mayor parte, formando cuerpos intracelulares que contienen lípidos, proteínas, carbohidratos y compuestos inorgánicos. (Barceló, J. 1984.)

Los compuestos de reserva pueden estar almacenados en el embrión (cotiledones) o en tejidos extraembrionarios, principalmente en el endospermo. Al iniciarse la germinación de las semillas, y cuando las células están suficientemente hidratadas, se produce una activación de la síntesis protéica y,

por lo tanto, la formación de enzimas hidrolíticas que son las que promueven la movilización de las sustancias de reserva. (Barceló, J. 1984.)

- i) Carbohidratos:** El hidrato de carbono más extendido en las semillas, como principal reserva energética, es el almidón. Está formado por los denominados granos de almidón. Estos granos muestran una apariencia característica en cada especie, pudiendo tener formas esféricas, elípticas, poligonales, etcétera. En la hidrólisis del almidón sus componentes (la amilosa, y la amilopectina) son hidrolizados por la α -amilasa y la β -amilasa para liberar glucosa. La degradación del almidón se incrementa progresivamente durante el proceso de germinación, primero lentamente, y luego de una forma más rápida que termina con la práctica desaparición del polisacárido. (Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 1993.)
- ii) Lípidos:** Constituyen un grupo de sustancias químicamente heterogéneas que tienen en común su solubilidad en disolventes orgánicos tales como: éter de petróleo, hexano o cloroformo. Los lípidos de reserva predominantes en las semillas son los triglicéridos. En la movilización y metabolismo de las reservas lipídicas están implicados tres tipos de orgánulos: las vesículas que contienen aceites almacenados (cuerpos lipídicos), los glioxisomas y las mitocondrias. (Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 1993.)
- iii) Proteínas:** La hidrólisis de las proteínas de reserva está catalizada por diferentes tipos de enzimas proteolíticas, agrupadas bajo el nombre de proteasas. A medida que progresa la germinación, las fracciones proteínicas de reserva se transforman en otras de menor peso molecular, especialmente pequeños péptidos y aminoácidos. Los aminoácidos liberados pueden ser utilizados en la síntesis de nuevas proteínas en la plántula en desarrollo o para proporcionar energía mediante la oxidación de su esqueleto carbonado. En los cereales las

proteínas se almacenan en los gránulos de aleurona, acumulados, a su vez, en la capa de aleurona. En las semillas de dicotiledóneas la degradación de las proteínas de reserva se correlaciona generalmente, con una acumulación de aminoácidos libres en los cotiledones. (Barceló, J. 1984.)

2.4 Proteínas

Las proteínas son sustancias complejas, formadas por la unión de ciertas sustancias más simples llamadas aminoácidos; las proteínas son el resultado de las distintas combinaciones entre veinte aminoácidos distintos, compuestos a su vez por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y en ocasiones, azufre. En la molécula protéica, estos aminoácidos se unen en largas hileras (cadenas polipeptídicas) mantenidas por enlaces peptídicos, que son enlaces entre grupos amino (-NH₂) y grupos carboxilo (-COOH). Moureaux, T. (1980).

El ser humano necesita incluir en su dieta ocho aminoácidos esenciales para mantenerse sano: leucina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina. Todos ellos se encuentran en las proteínas de las semillas vegetales, pero como las plantas suelen ser pobres en lisina y triptófano, los especialistas en nutrición humana aconsejan complementar la dieta vegetal con proteínas animales presentes en la carne, los huevos y la leche, que contienen todos los aminoácidos esenciales. Landry, J. y Moureaux, T. (1980)

Las proteínas son un componente importante en los cereales, como el maíz. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 por ciento del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Las proteínas de los granos del maíz han sido estudiadas ampliamente, según Landry (1970).

2.4.1 Aminoácidos

Un aminoácido es una molécula que contiene un grupo carboxilo (-COOH) y un grupo amino (-NH₂) libres. Los aminoácidos pueden representarse en general por NH₂-CHR-COOH, siendo R un radical o cadena lateral característico de cada uno; estos grupos R son muy variados químicamente y son los que otorgan a cada aminoácido sus características químicas propias.

Existen aproximadamente 20 aminoácidos distintos componiendo las proteínas. La unión química entre aminoácidos en las proteínas se produce mediante un enlace péptidico. Esta reacción ocurre de manera natural en los ribosomas, tanto del retículo endoplasmático como del citosol (Mertz, 1971).

Existen dos tipos principales de aminoácidos que están agrupados según su procedencia y características. Estos grupos son aminoácidos esenciales y aminoácidos no esenciales.

2.4.1.1 Aminoácidos esenciales

A los aminoácidos que necesitan ser ingeridos por el cuerpo para obtenerlos se les llama esenciales, la carencia de este tipo de aminoácidos en la dieta limita el desarrollo del organismo, ya que no es posible reponer las células de los tejidos que mueren o crear tejidos nuevos, en el caso del crecimiento. Bradford (1998), menciona a valina, isoleucina, leucina, fenilalanina, triptófano, treonina, metionina, arginina, histidina y lisina como aminoácidos esenciales.

En el caso de las tortillas de maíz nixtamalizado se pueden encontrar aminoácidos esenciales como fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, treonina, triptófano y valina según Bressani y Scrimshaw, (1958); Sanderson *et al.*, (1978).

A continuación se describen las funciones de este tipo de aminoácidos de acuerdo a diversos autores:

- a) Triptófano:** El triptófano ayuda a que la serotonina controle el apetito evitando así la típica ansiedad por la comida, sobre todo en aquellas personas que no pueden dejar de comer todo el día. (Jakubke H.D., 1977).
- b) Leucina:** La leucina reduce los niveles de azúcar en la sangre y ayuda a aumentar la producción de la hormona del crecimiento. (V.W. Rodwell, 2007).
- c) Fenilalanina:** La fenilalanina tiene la habilidad única de bloquear ciertas enzimas, como las encefalinasas en el sistema nervioso central, es efectivo como tratamiento para el dolor de espalda baja, dolores menstruales, migrañas y dolores musculares. (Jeschkeit H., 1977).
- d) Metionina:** Debido a su capacidad para formar cadenas que contienen azufre, que a su vez se conectan entre sí, la metionina es capaz de fortalecer la estructura del cabello y las uñas. (Haneke, E. & Baran, R. 2011).
- e) Isoleucina:** La Isoleucina es necesaria para la formación de hemoglobina, estabiliza y regula el azúcar en la sangre y los niveles de energía. Ayuda a la curación y la reparación del tejido muscular, piel y huesos. (D.K. Granner; 2007).
- f) Treonina:** La treonina es un aminoácido cuyas funciones son ayudar a mantener la cantidad adecuada de proteínas en el cuerpo, es importante para la formación de colágeno, elastina y esmalte de los dientes y ayuda a la función lipotrópica del hígado. (P.A. Mayes 2007).
- g) Valina:** Este aminoácido ayuda en el metabolismo de la glucosa, protege contra la acumulación de sustancias tóxicas que se liberan en las células cuando satisfacen las necesidades de energía. (Murray, R. K. 2007).

- h) Lisina:** Aminoácido, que estimula la liberación de la hormona del crecimiento. Otra función es garantizar la absorción adecuada de calcio y mantiene un equilibrio adecuado de nitrógeno en los adultos. (Jeschkeit H., 1977).

- i) Arginina:** La arginina mejora la circulación sanguínea, fortalece el sistema inmunológico y afecta la libido masculina de forma positiva; acelera la cicatrización de heridas, mejora el proceso «quema grasa» y en las dietas ayuda a acelerar la reducción de peso. (Lavie, L., Hafetz, A. 2003).

- j) Histidina:** La histidina se encuentra elevada en plasma y cerebro durante deficiencias de proteínas, lo que dirige la posibilidad de provocar efectos positivos en funciones del sistema nervioso central. (Jakubke, H.D., 1977).

2.4.1.2 Aminoácidos no esenciales

Aminoácidos que el cuerpo humano es capaz de sintetizar para mantener el metabolismo. Los aminoácidos no esenciales en el cuerpo humano son: glicina, alanina, prolina, tirosina, serina, ácido aspártico, ácido glutámico, asparagina, glutamina y cisteína. (V.W. Rodwell, 2007).

A continuación se menciona la función que tiene cada aminoácido no esencial en el organismo:

- a) Alanina:** Colabora en el metabolismo de la glucosa, (D.K. Granner; 2007).

- b) Ácido aspártico:** El ácido aspártico aumenta la resistencia y es bueno para la fatiga crónica y la depresión, rejuvenece la actividad celular, la formación de células y el metabolismo, protege el hígado, ayudando a la expulsión de amoniaco, absorbe las toxinas y las saca de la circulación sanguínea. (D.K. Granner; 2007).

- c) Ácido glutámico:** Es un aminoácido importante en el metabolismo de azúcares y grasas, ayuda en el transporte de potasio en el líquido cefalorraquídeo, actúa como combustible para el cerebro y ayuda a corregir los trastornos de personalidad. (V.W. Rodwell, 2007).
- d) Prolina:** Este aminoácido ayuda a la producción de colágeno y reducir su pérdida a través del proceso de envejecimiento, ayuda en la cicatrización del cartílago y el fortalecimiento de las articulaciones, los tendones y los músculos del corazón. (Jeschkeit H., 1977).
- e) Cisteína:** La cisteína funciona como un antioxidante de gran alcance en la desintoxicación. Protege el cuerpo contra el daño por radiación, protege el hígado y el cerebro de daños causados por el alcohol, las drogas y compuestos tóxicos del cigarro. (D.K. Granner; 2007).
- f) Tirosina:** Es un aminoácido importante para el metabolismo general. Estimula el sistema nervioso, actúa como un elevador del humor, suprime el apetito y ayuda a reducir la grasa corporal. (V.W. Rodwell, 2007).
- g) Serina:** Este aminoácido es necesario para el correcto metabolismo de las grasas y ácidos grasos, el crecimiento del músculo, y el mantenimiento de un sistema inmunológico saludable. (Lavie, L., Hafetz, A. 2003).
- h) Glutamina:** Es el aminoácido más abundante en los músculos. Ayuda a construir y mantener el tejido muscular y prevenir su desgaste. Este aminoácido aumenta la función cerebral y la actividad mental, promueve un sistema digestivo saludable, reduce el tiempo de curación de las úlceras y alivia la fatiga, la depresión y la impotencia, disminuye los antojos de azúcar y el deseo por el alcohol. (V.W. Rodwell, 2007).

- i) **Glicina:** La glicina retarda la degeneración muscular, mejora el almacenamiento de glucógeno, promueve una próstata sana, el sistema nervioso central y el sistema inmunológico. Es un aminoácido útil para reparar tejidos dañados. (Murray, R. K 2007).

2.4.1.3 Cuantificación de aminoácidos

Los métodos más utilizados en la separación de moléculas son la ultracentrifugación, la electroforesis y la cromatografía (Cardella-Hernández, 2004).

Esta última técnica incluye una serie de métodos analíticos de separación que tienen como característica general el de estar constituidos por una fase estacionaria y una fase móvil, entre las que se distribuyen diferencialmente las sustancias a separar.

Cuando la fase móvil, que arrastra a las partículas que se van a separar, es un líquido (solvente o mezcla de solventes) se denomina cromatografía de líquidos. Si la fase móvil es un gas se denomina cromatografía de gases (Gonzales *et al*, 2008). Dependiendo de la naturaleza de la fase estacionaria y de la fase móvil se pueden distinguir distintos tipos de cromatografía descritos por A. Martinez (2012) y que se describen a continuación.

a) Cromatografía sólido-líquido: La fase estacionaria es un sólido y la móvil un líquido.

b) Cromatografía líquido-líquido: La fase estacionaria es un líquido anclado a un soporte sólido.

c) Cromatografía líquido-gas: La fase estacionaria es un líquido no volátil impregnado en un sólido y la fase móvil es un gas.

d) Cromatografía sólido-gas: La fase estacionaria es un sólido y la móvil un gas.

De acuerdo al tipo de interacción que se establece entre los componentes de la mezcla y las fases móvil y estacionaria se puede distinguir entre:

a) Cromatografía de adsorción: La fase estacionaria es un sólido polar capaz de adsorber a los componentes de la mezcla mediante interacciones de tipo polar.

b) Cromatografía de partición: La separación se basa en las diferencias de solubilidad de los componentes de la mezcla en las fases estacionaria y móvil, que son ambas líquidas.

c) Cromatografía de intercambio iónico: La fase estacionaria es un sólido que lleva anclados grupos funcionales ionizables cuya carga se puede intercambiar por aquellos iones presentes en la fase móvil.

La cromatografía en papel, cromatografía en la que la fase estacionaria es papel, es una técnica en la que se aplica un pequeño volumen de la muestra cerca de uno de los extremos de una hoja de papel filtro. Este tipo de cromatografía puede ser ascendente, en la que el papel se sujeta a la parte superior de la cámara y se sumerge en el solvente, que se encuentra en el fondo, entonces el solvente se mueve hacia arriba por capilaridad. Al realizarse la separación, los solutos de la mezcla original migran a lo largo del papel con diferentes velocidades, dependiendo de la solubilidad en el solvente. La relación de migración de una sustancia (R_f) puede expresarse de acuerdo con la siguiente fórmula (Gonzales *et al*, 2008):

$$R_f = \frac{\text{distancia recorrida por la muestra}}{\text{distancia recorrida por la mezcla eluyente}}$$

La cromatografía es una técnica que permite la separación de moléculas pequeñas como lípidos, nucleótidos, vitaminas, fármacos y aminoácidos; debido a que cada sustancia exhibe un valor R_f particular, es posible separar aminoácidos y péptidos, ya que estos presentan características particulares, de solubilidad,

polaridad y tamaño, por la composición química de sus grupos R. (Koolman & Roehm, 2005).

La posición del aminoácido se revela con ninhidrina, apareciendo una mancha de coloración azul-violeta. La ninhidrina reacciona con los aminoácidos formando las manchas coloreadas según la reacción, como puede observarse en la Figura 3 (Gonzales *et al*, 2008).



Figura 3. Tanque cromatográfico y revelación de aminoácidos

CAPÍTULO 3

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del sitio experimental

La preparación de muestras para germinación, nixtamalización y elaboración de tortilla se llevaron a cabo en el laboratorio de Procesamiento y Bioprocesos del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

3.2 Material biológico

El maíz blanco utilizado para el desarrollo de este trabajo fue obtenido de la Central de Abastos de Saltillo, Coahuila.

3.3 Material de laboratorio

El material empleado se enlista a continuación.

- Celdillas para espectrofotómetro
- Cronómetro
- Espátulas
- Guantes
- Gradillas
- Magnetos
- Matraz Erlenmeyer.
- Mortero pequeño
- Papel filtro
- Pipetas
- Pizeta
- Portaobjetos
- Probeta
- Puntillas
- Regla
- Tijeras
- Tubos de ensaye
- Vaso de precipitado

3.4 Equipos y reactivos químicos

El equipo y los reactivos utilizados se muestran en el Cuadro 4.

CUADRO 4. Equipo y reactivos químicos

EQUIPO	REACTIVOS
Agitador	Acetona
Balanza Analítica Ohaus Adventurer	Ácido acético
Balanza Granataria Ohaus	Ácido clorhídrico
Baño de agua	Agua destilada
Colorímetro Konica-Minolta CR-400	Agua purificada
Espectrofotómetro Genesys UV-10	Alcohol isopropílico
Estufa Quincy Lab	Almidón puro
Penetrómetro	Cal
Macropipeta	n-butanol
Micropipeta	Ninhidrina
	Yodo
	Yoduro de potasio

3.5 Metodología experimental

Para la presente investigación se trabajaron 9 tratamientos con 4 repeticiones como se muestra en el Cuadro 5 y para su desarrollo se establecieron 4 etapas.

CUADRO 5. Tratamientos

TRATAMIENTOS	
DIA 0	Maíz sin germinar
DIA 1	Maíz germinado durante 24 hrs.
DIA 2	Maíz germinado durante 48 hrs.
DIA 3	Maíz germinado durante 72 hrs.
DIA 4	Maíz germinado durante 96 hrs.
DIA 5	Maíz germinado durante 120 hrs.
DIA 6	Maíz germinado durante 144 hrs.
DIA 7	Maíz germinado durante 168 hrs.
DIA 8	Maíz germinado durante 192 hrs.

3.5.1 Etapa 1. Preparación de muestra para germinación

Se pesaron 100 gramos de semilla de maíz, y se colocaron en recipientes de plástico para la germinación durante 0, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 y 192 horas. Las semillas se enjuagaron con agua purificada antes de colocarlas en las bandejas como se muestra en la Figura 4 y se dejaron reposar a temperatura ambiente en oscuridad. Las semillas se regaron con agua purificada cada 24 horas y se monitorearon diariamente.



Figura 4. Proceso de germinación del maíz

3.5.2 Etapa 2. Proceso de nixtamalización

Se tomó la primera muestra de granos de maíz germinado y se colocó en un matraz Erlenmeyer de un litro, posteriormente se adicionó una solución de cal al 16%, ésto para cada una de las muestras de maíz germinado a diferentes tiempos. Como se aprecia en la Figura 5, la mezcla anterior se colocó en una parrilla de agitación y calentamiento durante un rango de 40 a 50 minutos, posteriormente se dejó remojando en el agua de cocción por 24 horas, a

continuación se retiró del matraz y el maíz se lavó de dos a tres veces con agua purificada hasta que el agua de enjuague quedó clara, obteniéndose así el maíz nixtamalizado o nixtamal.

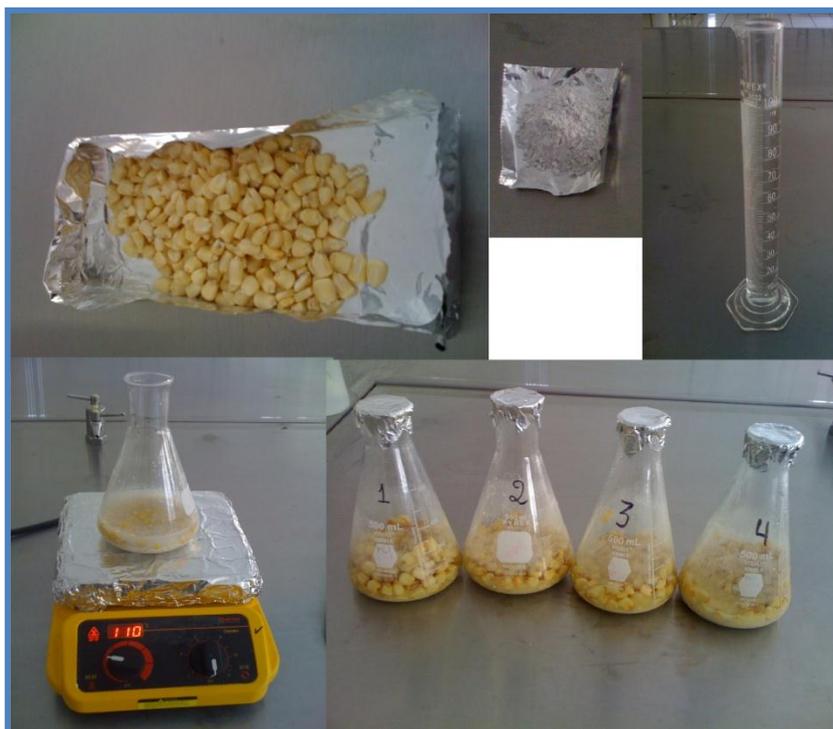


Figura 5. Proceso de nixtamalización

3.5.3 Etapa 3. Elaboración de tortillas

El maíz nixtamalizado se molió en un molino manual de discos para producir la masa que se utilizó para formar discos con ayuda de una máquina tortilladora manual; luego se cocieron en un comal, como puede apreciarse en la Figura 6. Es importante indicar que al proceso de molienda se le agregaron de 30 a 45 mililitros de agua purificada. Finalmente los discos de masa o tortillas, de aproximadamente 20 - 25 centímetros de diámetro, se cocieron permitiendo que un lado de la tortilla estuviera en contacto con el calor de 30 a 45 segundos, después se voltearon para cocer el otro lado durante un minuto y otra vez el lado inicial por otros 30

segundos para completar la cocción, todo esto se le realizó a cada tiempo de germinación de los granos de maíz.



Figura 6. Proceso de elaboración de tortilla

3.5.4 Etapa 4. Determinación de características físicas.

3.5.4.1 Determinación de color

Se tomaron, al azar dos tortillas de las elaboradas con los granos de maíz nixtamalizados germinados de cada uno de los tiempos establecidos.

Se colocaron las tortillas sobre una mesa, encima de una servilleta de papel, como puede observar en la Figura 7. Se colocó el colorímetro Minolta contra la superficie de la tortilla, para la lectura del rayo de luz emitido.

Este proceso se llevó a cabo en la tortilla en 4 puntos específicos identificados como a, b, c y d.

Las lecturas que se obtuvieron en el colorímetro fueron directas para la obtención resultados en el diagrama de cromaticidad $L^* a^* b^*$.



Figura 7. Determinación de color en tortilla

3.5.4.2 Determinación de almidón

Para la cuantificación del contenido de almidón se realizó una determinación mediante una técnica colorimétrica.

Preparación de soluciones

Para esto fue necesario preparar una solución stock y una solución diluida que se describe a continuación:

La primera se preparó disolviendo yodo, yoduro de potasio y agua destilada, mientras que para la diluida se utilizó la solución stock y agua destilada.

Solución stock

La solución stock se preparó disolviendo 1.1 gramos de yodo y 2.2 gramos de yoduro de potasio diluidos aproximadamente en 30 ml de agua destilada para ser posteriormente aforados en un matraz de 50 mililitros. Esta solución se almacenó en un frasco de vidrio color ámbar.

Solución stock diluida

Se tomaron 2 mililitros de la solución stock y se le añadieron 98 mililitros de agua destilada para obtener nuestra solución.

Preparación de la muestra:

Se tomaron, al azar dos tortillas de las elaboradas con los granos de maíz nixtamalizados y germinados de cada uno de los tratamientos establecidos al inicio del experimento.

Se pesó 1 gramo de muestra, se colocaron una a una en un mortero y se añadió a cada una 10 mililitros de agua destilada, para posteriormente homogenizar, (Figura 8).

Se tomaron 2 mililitros del sobrenadante de la muestra preparada y se colocaron en tubos de ensaye; cada muestra en un tubo. Se añadieron 2 mililitros de solución stock diluida. Finalmente se homogenizaron las muestras y se llevaron al espectrofotómetro para su lectura a una longitud de onda de 620 nm.



Figura 8. Determinación de almidón en tortilla

Curva de calibración estándar

Para llevar a cabo la cuantificación de almidón se preparó una solución estándar con 0.2 gramos de almidón en 70 mililitros de agua destilada hirviendo, después se aforó en un matraz de 100 mililitros.

Con esta solución se preparó una serie de tubos como se describe en el Cuadro 6.

CUADRO 6. Preparación de tubos para la curva de calibración

No. de tubo	(ml) solución madre	(ml) Agua destilada
1	0	5
2	0.5	4.5
3	1	4
4	1.5	3.5
5	2	3
6	2.5	2.5
7	3	2
8	3.5	1.5
9	4	1
10	4.5	0.5
11	5	0

Una vez preparados los tubos anteriores, se tomaron 2 mililitros de cada tubo y se adicionaron 2 mililitros de solución stock diluida. Posteriormente se homogenizaron las muestras y se tomó la lectura de absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 620 nm.

Resultados:

Las lecturas obtenidas en el espectrofotómetro fueron directas para la obtención de la curva de calibración, mediante la cual se obtuvo la ecuación para determinar el contenido de almidón de cada una de las tortillas obtenidas a partir de maíz germinado.

3.5.4.3 Identificación y cuantificación de aminoácidos

A continuación se describe la técnica para la determinación de aminoácidos descrita por Maldonado M. (2008).

Se determinó el perfil de aminoácidos mediante una técnica de cromatografía en papel, para lo cual fue necesario llevar a cabo una digestión de las muestras a evaluar.

3.5.4.3.1 Digestión de la muestra

Se pesó 1 gramo de muestra de las tortillas, y se cortó en trozos pequeños, cada muestra se colocó en un tubo de ensayo y se agregó 1 ml de una mezcla ácido clorhídrico:acetona (10:1), después se homogenizaron y se centrifugaron durante 15 minutos a 14,000 rpm; se tomó el sobrenadante y se colocó en otro tubo de ensayo.

Las muestras obtenidas se colocaron en baño de agua a 60°C hasta sequedad, posteriormente se redisolviéron en 0.5 ml de agua destilada, se agregaron 0.5 ml de éter y se homogenizaron. Nuevamente se evaporaron a sequedad en el baño de agua y se redisolviéron en 0.5 ml de agua destilada, finalmente se tomaron 10 µl con los cuales se llevó a cabo la obtención del cromatograma.

3.5.4.3.2 Cromatografía

Se preparó el papel para la cromatografía, se trazó una línea de 1cm de altura en la parte inferior del papel filtro y también se preparó la mezcla de solventes conformado por n-butanol:acetona:ácido acético:agua (3:3:1:1), la cual se colocaron 5 ml en un vaso de precipitado de 80 ml.

Se sujetó el papel filtro ya preparado en una placa de vidrio. Se colocaron 10 µl de la muestra digerida en el centro de la línea trazada sobre el papel, posteriormente se introdujo la placa de vidrio dentro del vaso de precipitado, se dejó reposar hasta que la mezcla de solvente humedeció por completo el papel. Se sacó la placa de vidrio, se retiró el papel y se asperjó con una solución de ninhidrina al 1%, después se dejó secar por aproximadamente 5 minutos en la estufa en un rango de temperatura de 50-55°C y se observaron distintos colores de manchas: rosado, amarillo, violeta, azul violeta, como se muestra en la Figura 9. Este procedimiento se llevó a cabo cuidando de no contaminar a las muestras, es por eso que se trabajó sobre una bolsa de plástico, y se utilizaron guantes.



Figura 9. Cromatografía

3.5.4.3.3 Factor de resolución

Se calculó el factor de resolución (Rf) de cada una de las manchas obtenidas, de todas las muestras de tortillas elaborada de maíz germinado y nixtamalizado, se midió el largo de la mancha y se marcó el centro de la misma, seguido de la medición de la línea base hacia el centro de la mancha y se dividió este dato entre el frente del diluyente (Figura 10).

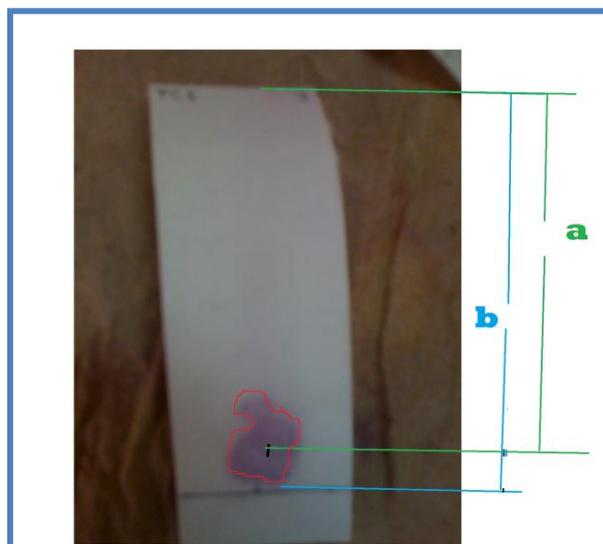


Figura 10. Factor de resolución (rf)

3.5.4.3.4 Cuantificación

Para la preparación de la muestra se recortaron en pequeños pedacitos cada una de las manchas obtenidas mediante la cromatografía y se colocaron en tubos de ensaye, se añadieron 2 ml de alcohol isopropílico al 30%. Se agitaron perfectamente y dejaron reposar por 1 min.

Se colocó la solución coloreada en una celdilla para espectrofotómetro como se observa en la Figura 11 y se realizó la lectura de absorbancia a 570 nm utilizando como blanco alcohol isopropílico al 30% y ninhidrina. Finalmente se realizó el cálculo utilizando la ecuación generada mediante la curva de calibración obtenida para cada uno de los aminoácidos.



Figura 11. Esquema de cuantificación de aminoácidos

3.5.4.3.5 Curvas de calibración estándar

Se preparó una solución estándar al 1% de cada uno de los aminoácidos en alcohol isopropílico al 30%, se colocaron en una gradilla 11 tubos de ensaye y se prepararon conforme al Cuadro 7 que se presenta a continuación.

CUADRO 7. Preparación de curvas de calibración estándar para aminoácidos

No. de tubo	(μ l) solución madre al 1%	(μ l) alcohol isopropílico al 30%	(μ l) ninhidrina
1	0	1000	1000
2	100	900	1000
3	200	800	1000
4	300	700	1000
5	400	600	1000
6	500	500	1000
7	600	400	1000
8	700	300	1000
9	800	200	1000
10	900	100	1000
11	1000	0	1000

Se agitó cada uno de los tubos ya preparados y dejaron reposar por 15 minutos, se colocó la solución en una celdilla para espectrofotometría y se realizó la lectura de absorbancia a 570nm.

3.6 Análisis estadístico

Para el análisis de varianza de las diferentes variables registradas en el experimento se empleó el paquete computacional JMP 5.0.1 utilizando un diseño experimental completamente al azar evaluando 9 tratamientos con 4 repeticiones y submuestreo para cada una, en donde las medias de los datos se analizaron mediante la prueba “t” de student.

CAPÍTULO 4

4.1 Resultados y discusión

4.1.1 Cuantificación de almidón

De acuerdo al análisis de varianza (Anexo 1) del contenido de almidón en tortilla de maíz germinado a diferentes tiempos, existe diferencia significativa entre tratamientos, como puede observarse en la Figura 12. De acuerdo a la prueba de medias no existe diferencia estadística entre los días 0, 5, 6 y 7 de germinación, pero sí entre éstos y el resto.



Figura 12. Gráfico de medias para el contenido de almidón en tortillas de maíz nixtamalizado y germinado a diferentes tiempos

Las diferencias con mayor significancia se presentan en el día 4 con mayor presencia de almidón (4.22%), mientras que en los días 8 y 2, se refleja el menor contenido de éste (1.55 y 1.89% respectivamente).

La tendencia del comportamiento es a la baja en los primeros días, presentándose un incremento debido a la retrogradación del almidón en el día 4, con la

subsecuente disminución debida a los cambios estructurales del grano al momento de la germinación. La degradación del almidón se incrementa progresivamente durante el proceso de germinación, primero lentamente, y luego de una forma más rápida que termina con la práctica desaparición del polisacárido. (Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 1993.)

Los datos obtenidos en la presente investigación coinciden con los obtenidos por Pérez Vargas (2014) ya que él reporta el menor contenido de almidón en tortillas elaboradas con maíz germinado por 192 horas (8 días).

4.1.2 Color

Al medir el color en las tortillas elaboradas con granos de maíz germinado a diferentes tiempos mediante el colorímetro se obtuvieron resultados numéricamente diferentes en cuanto a la saturación del mismo (a^* y b^*) como se muestra en el Cuadro 8.

CUADRO 8. Cromaticidad en tortilla de maíz elaborada con granos de maíz sometidos a diferentes tiempos de germinación.

Cromaticidad en tortilla		
Días de germinación	a^*	b^*
0	0.7165625	27.741875
1	1.0309375	27.390313
2	0.6753125	28.999063
3	1.2806250	27.542500
4	0.7437500	28.992188
5	0.8568750	27.352500
6	1.0393750	28.693437
7	0.8281250	30.184687
8	0.8328125	30.547812

En base a los resultados anteriores es notable un incremento en la saturación del color conforme pasa el tiempo de germinación, obteniéndose concentraciones de color amarillo elevadas en la tortilla tal y como se muestran en el diagrama de cromaticidad (Figura 13). Este comportamiento es similar al reportado por Pérez Vargas (2014), ya que en la tortilla obtenida a partir de maíz germinado reporta el

máximo valor de b^* a las 192 hrs de germinación (8 días), lo que concuerda con lo obtenido en la presente investigación.

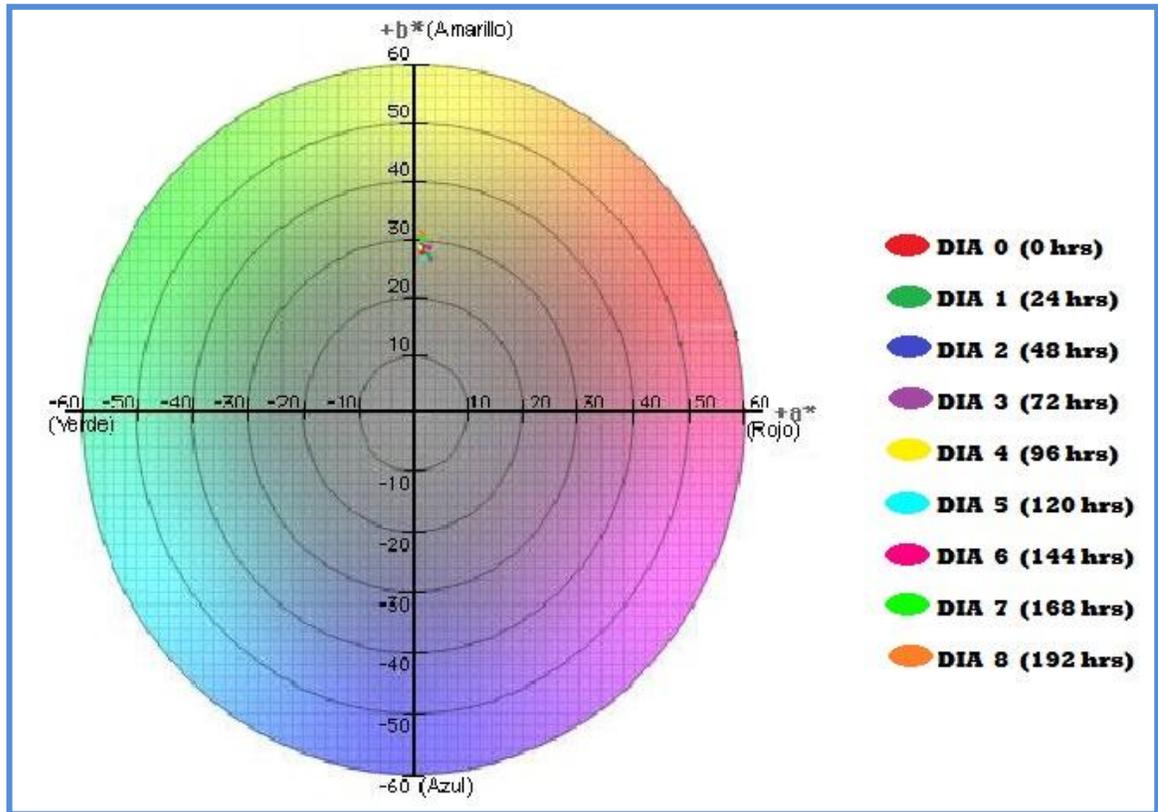


Figura 13. Diagrama de cromaticidad $L^*a^*b^*$

En la Figura 13 se muestran las coordenadas de cromaticidad de las tortillas elaboradas con granos de maíz sometidos a diferentes tiempos de germinación, lo que confirma la no diferencia significativa entre tratamientos ya que se encuentran en el mismo cuadrante.

Lo anterior se refuerza con las imágenes presentadas en la Figura 14, corroborando la precisión del método instrumental en relación con la apreciación de color llevada a cabo por el ojo humano (Konica-Minolta 2002-2013) ya que los días 3 y 6 presentan un valor de a^* superior a uno, que determina el cambio de color en estas tortillas con respecto al resto.

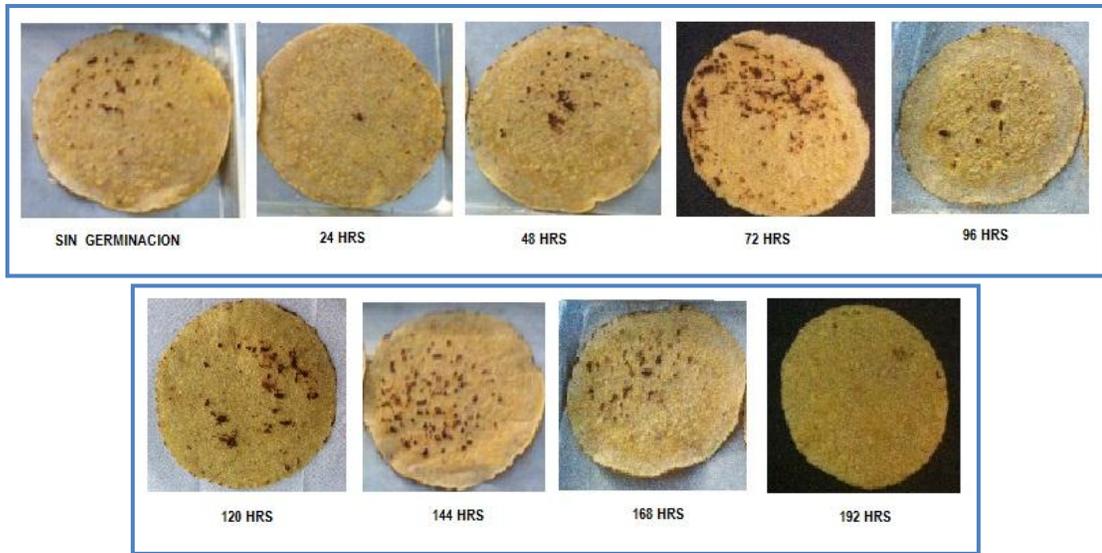


Figura 14. Variedad de colores de tortillas elaboradas con granos sometidos a diferentes tiempos de germinación.

El análisis de varianza realizado para el parámetro luminosidad (L^*) que se presenta en el Anexo 2 muestra que existe diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos. La prueba de medias t de student refleja una diferencia del 4.01% entre las tortillas obtenidas el día 0 (maíz sin germinar) y aquellas generadas a partir de los granos germinados por 7 días (Figura 15).



Figura 15. Gráfico de medias para luminosidad en tortillas de maíz nixtamalizado y germinado a diferentes tiempos

Los resultados obtenidos son menores a los reportados por Vázquez G. *et. al.* en 2011 para la luminosidad en tortillas nixtamalizadas, sin embargo presentan valores en un rango similar a los obtenidos por Pérez Vargas en 2014.

4.1.3 Aminoácidos

De acuerdo al análisis de varianza (Anexo 6) la concentración de aminoácidos en tortilla de maíz germinado a diferentes tiempos, presenta diferencia significativa entre tratamientos, como puede observarse en la Figura 16. De acuerdo a la prueba de medias no existe diferencia estadística entre los días 1 y 2, de germinación, pero sí entre éstos y el resto, observándose que el día 6 se presenta el menor contenido



Figura 16. Gráfico de medias para la comparación de aminoácidos en tortillas de maíz nixtamalizado y germinado a diferentes tiempos

El comportamiento en el contenido de aminoácidos en las tortillas con respecto a los días de germinación a los que fue sometido el grano, se debe a que las proteínas de reserva se degradan y liberan aminoácidos, generando así un incremento en la concentración en los días 1 y 2, los cuales son empleados como fuente de energía para llevar a cabo los cambios físicos y químicos, tal y como lo

menciona Barceló, J. (1984) y Cronquist A. (1977). A medida que la germinación progresa, los aminoácidos liberados son utilizados para la síntesis o degradación de metabolitos para el desarrollo de la plántula, por lo que éstos disminuyen de forma drástica a partir del día 3.

4.1.3.1 Identificación de aminoácidos

En la Figura 17 se muestran los aminoácidos presentes en las tortillas generadas durante los primeros cuatro días de germinación de los granos de maíz

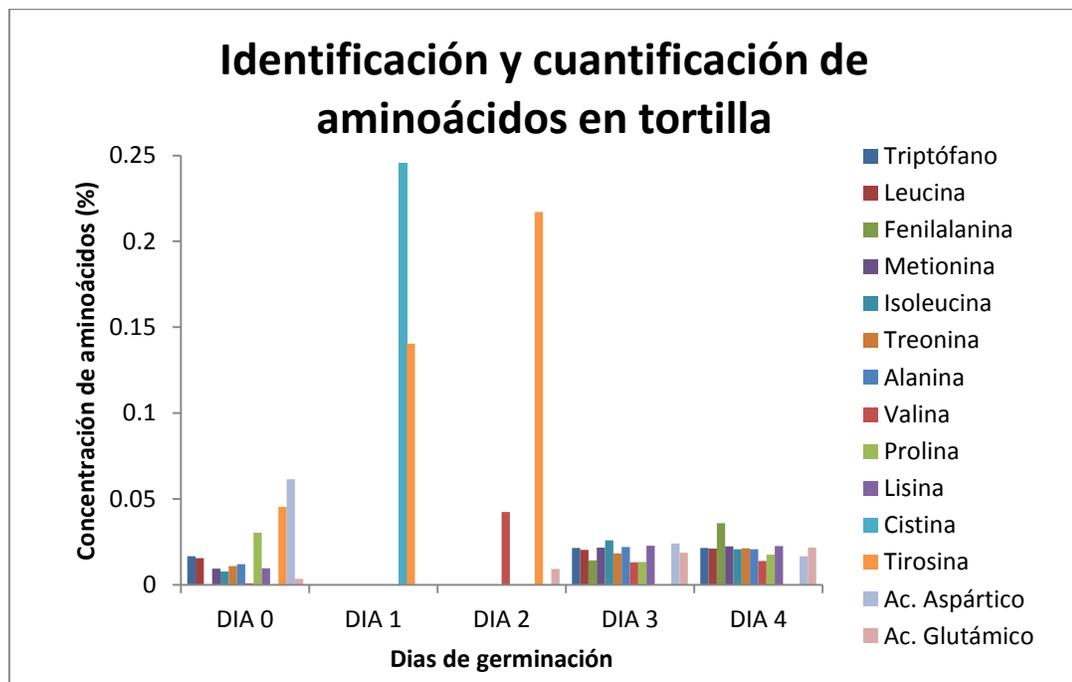


Figura 17. Gráfico de medias para la identificación y cuantificación de aminoácidos en tortillas de maíz nixtamalizado y germinado a diferentes tiempos (Días 0 – 4)

En las tortillas obtenidas a partir de maíz sin germinar (día 0) se encontraron 12 de 14 aminoácidos evaluados, destacando la ausencia de fenilalanina (esencial) y cistina (no esencial). Los aminoácidos no esenciales encontrados en mayor concentración son ácido aspártico, tirosina y prolina; dentro de los esenciales se encuentran triptófano y leucina en menor proporción. Al inicio del proceso de germinación se observa un incremento en el contenido de tirosina de 0.1 % a las

24 horas y de 0.17 % a las 48 horas de germinación; así como la presencia de cistina en una concentración de 0.24 % en el día 1.

Los días 3 y 4 muestran la presencia nuevamente de 12 aminoácidos en mayor concentración con respecto al día 0, destacando la aparición de fenilalanina y la ausencia de tirosina y cistina. Dentro de los aminoácidos esenciales están presentes triptófano, leucina, fenilalanina, metionina, isoleucina, treonina, valina y lisina.

El comportamiento de aminoácidos presentes en tortillas elaboradas con maíz germinado por 5, 6, 7 y 8 días se presenta en la Figura 18.

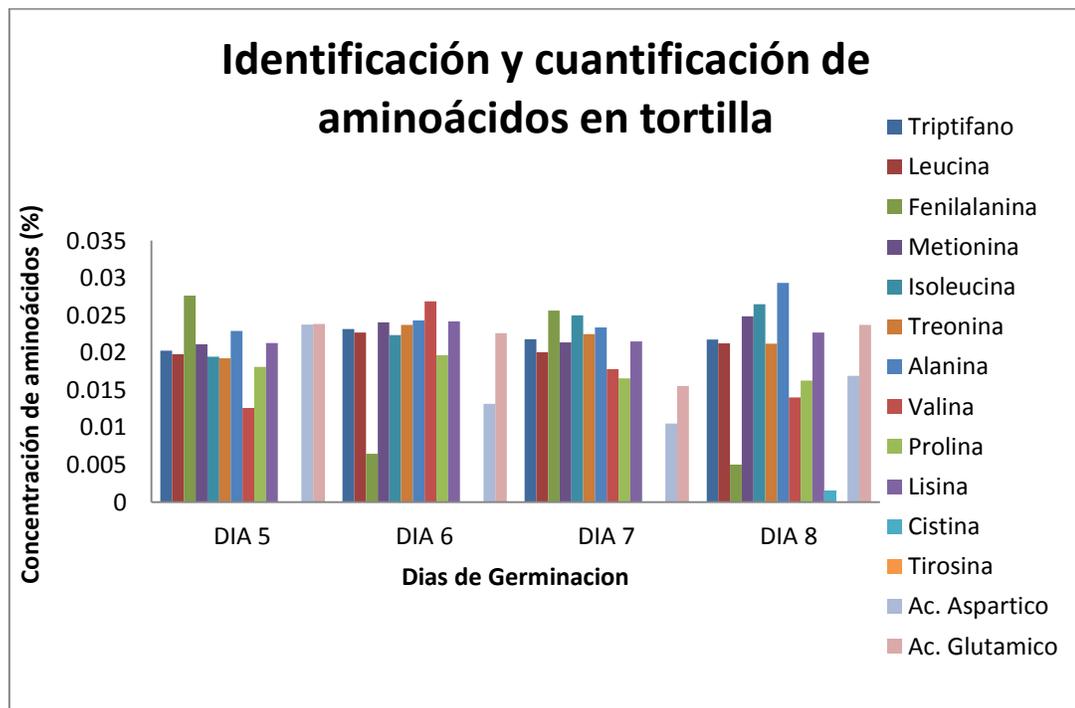


Figura 18. Gráfico de medias para la identificación y cuantificación de aminoácidos en tortillas de maíz nixtamalizado y germinado a diferentes tiempos (Días 5 - 8)

De acuerdo al análisis de varianza (Anexo 7) no existe diferencia significativa en la concentración de aminoácidos en las tortillas elaboradas con grano de maíz germinado por más de 5 días; sin embargo cabe destacar que al día 8 se detectan trazas de cistina.

Las figuras 17 y 18 muestran que a partir del día 4 el triptófano y la lisina, aminoácidos esenciales, duplican su concentración con respecto al día 0 así mismo la ausencia de tirosina a partir del día 3. Lo anterior demuestra el efecto positivo que presenta el proceso de germinación del maíz previo a la nixtamalización para la obtención de tortilla con un mayor contenido de aminoácidos tanto esenciales como no esenciales (Bressani *et. al.* 1978).

CAPÍTULO 5

5.1 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos de la presente investigación se generan las siguientes conclusiones:

- ❖ La germinación no afecta al proceso tradicional de nixtamalización para obtención de tortillas
- ❖ El proceso de germinación no afecta el color de la tortilla, pero si el contenido de almidón ya que la disminución de su concentración en la tortilla se presenta a las 192 horas (8 días).
- ❖ El germinado favorece al contenido de aminoácidos en tortilla nixtamalizada, ya que tiene un efecto en la presencia y concentración de los mismos a lo largo del tiempo.
 - El contenido de tirosina y cistina a las 24 y 48 horas (día 1 y 2) es alto.
 - A partir del día tres se presenta una mayor concentración de 12 aminoácidos en comparación a la del día 0 (maíz sin germinar).
 - La presencia de aminoácidos esenciales se mantiene a partir del día 3 en concentraciones constantes.
- ❖ La tortilla nixtamalizada obtenida a partir de maíz germinado a las 192 horas (8 días) presenta un bajo contenido de almidón y 13 aminoácidos, incluyendo todos los esenciales.

CAPÍTULO 6

6.1 Referencias bibliográficas

Almeida, H. D. y R. W. Rooney. 1995. American Association of cereal quality lab. Soil and crops sciences. Texas A & M University, College station. Tx 77843-2474.

Arámbula V. G., L., Barrón A., J. E., Moreno, M. y Luna B., 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*, 51, 187-194.

A. Martínez (2012). Disponible en: <http://www-saps.plantsci.cam.ac.uk/worksheets/project3.htm> (pigmentos vegetales). Accesado el 19/04/2013 a las 20:05 hrs.

Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 1993. "*Fisiología y Bioquímica Vegetal*". Interamericana/ McGraw-Hill.

Barceló, J. *et al.* 1984. "*Fisiología Vegetal*". Ediciones Pirámide, S.A.

Bello-Pérez, L. A., Solorza-Feria y O. Paredes-López. 2002. "Tortillas bajas en calorías: ¿una alternativa nutricional?", en *Memoria de investigación 2002*. CEPROBIPN, pp. 147-152.

Besnier Romero, F. 1989. *Semillas biología y tecnología*. Ediciones mundi Prensa Castelló, Madrid.

Bradford H.F..1998. Fundamentos de Neuroquímica. Editorial Labor, SA. Barcelon.

Bressani, R. 1972. La importancia del maíz en la nutrición humana, en América Latina y otros países. En R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, eds. Mejoramiento nutricional del maíz. Pub. INCAP L-3, p. 5-30. Guatemala, INCAP.

Bressani, R. 1978. Chemistry, Technology, and nutritive value of maize tortillas. *Food Reviews Int.* 6 (2):225-264.

Cardella-Hernández, 2004. *Bioquímica médica*, tomo I: Biomoléculas. n.d.

CRONQUIST, A. 1977. *Introducción a la Botánica*. Ed. Continental, S.A. México.

FAHN, A. 1978. *Anatomía Vegetal*. Ed. Blume. Madrid. Disponible en: <http://www.cyta.com.ar/semilla/germinacion/germinacion.htm>, accesado el 18/10/2013 a las 15:30 hrs.

Fuentes L. L. 2012. “Comparaciones de cualidades nutricionales de once variedades de maíz “. Tesis Licenciatura. UAAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

García – Cañedo J. L., Reyes – Moreno C. Milán- Carrillo J. Cuen-Ojeda H. M., Gutiérrez-Dorado R. Ramirez-Wong B. Mora-Escobedo R. 2002. Tortillas elaboradas con harinas instantáneas de maíz de calidad proteica (MCP). Opción para mejorar la Alimentación del Mexicano. IV Congreso del Noreste en Ciencias Alimenticias y Biotecnológicas. Libro de Información y Resumen.

García Méndez S. 2004. Estudio Nutricional Comparativo y Evaluación Biológica de Tortillas de Maíz Elaboradas por Diferentes Métodos de Procesamiento. Instituto Politécnico Nacional.

González Ramos, P., L., Aguilera González. C. N., Garza Toledo H., Rúelas Chacón, X., Reyes Vega, M. L. (2001). “Mejoramiento de los Atributos de textura de maíz mediante la adición de harina de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Tesis de

licenciatura. Departamento de investigación de alimentos. Facultad de ciencias químicas. Universidad Autónoma de Coahuila, México.

González-Soto, E.; L. Bucio-Ortiz; P. Damián-Matzumura; F. Díaz de León-Sánchez; E. Cortés-Barberena; L.J. Pérez-Flores. (2009) *Manual de bioquímica 1*. 3ª ed. México.

Greenwood, C.T. (1970). In "The carbohydrates" (W. Pigman, D. Horton & A. Herp, eds.) Academic Press, New York.

Haneke, E. & Baran, R. (2011) *Micronutrients for Hair and Nails*, Nutrition for healthy skin, Volume 2, (pp. 149-163).

Hernández Ch., J.L. 1999. Aplicaciones de biorreguladores bajo el sistema de hidroponía en la raíz del cultivo de tomate Tesis. Licenciatura UAAAN. Buenavista Saltillo, Coahuila, México p. 3.

Hernández X., E. 1972. Consumo humano de maíz y el aprovechamiento de tipos con alto valor nutritivo: Simposium sobre Desarrollo y Utilización de Maíces de alto Valor Nutritivo. Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.

Hoseney, C. R. 1986. Principles of Cereal Science and Technology American Association of Cereal Chemist. Inc. st. Paul, Minn.

Fuentes L. L. 2012. Comparación de cualidades nutricionales de once variedades de Maíz. U. A. A. A. N. Pp. 25.

Jackson, D.S., Rooney. 1988. Alkaline processing. Properties of stress-cracked and broken corn (*Zea mays*).

Jakubke H.D., and Jeschkeit H., "Amino acids, Peptides and Proteins", Wiley Co., pp15-37 (1977).

Koolman, J. & K.H. Roehm. 2005. *Color Atlas of Biochemistry*. 2ª edición. Thieme. New York. EU.

Lavie, L., Hafetz, A., Luboshitzky, R. & Lavie, P. (2003) *Plasma levels of nitric oxide and L-arginine in sleep apnea patients*, Journal of Molecular Neuroscience, Volume 21, issue 1, (pp. 57-63).

Landry, J. y Moureaux, T. 1970. Hétérogénéité des glutélines du grain de maïs: Extraction sélective et composition en acides aminés des trois fractions isolées. Bull. Soc. Chim. Biol. 52: 1021 - 1037.

Landry, J. y Moureaux, T. 1980. Distribution and amino acid composition of protein groups located in different histological parts of maize grain. J. Agric. Food Chem 28: 1186-1191.

Leninhger, Albert L. 1976, Bioquímica. Edición Omega S. A. p 3540.

Mendoza, H.J.M. 1983. Diagnostico climático para la zona de influencia inmediata a la U. A. A. A. N. Pp. 1-5.

Merck, 1975. Hidrólisis de proteína y determinación de aminoácidos por cromatografía de capa fina.

Mertz, E.T., Jambunathan, R., Villegas, E., Bauer, R. Kies, C., McGinnis, J. y Shenk, J.S. 1975. Use of small animals for evaluation of protein quality in cereals. En High-quality-protein maize, CIMMYT-Purdue International Symposium on Protein Quality in Maize, 1972, El Bataan, México, p. 306-329. Stroudsburg, Pa., EE.UU. Dowden Hutchinson & Ross.

Murray, R. K.; D.K. Granner; V.W. Rodwell; P.A. Mayes (2007) *Harper. Bioquímica ilustrada*. 14ª ed. México, Manual Moderno.

Octavio P. L. – Fidel G. L. – Luis A. B. P. 2009. “La nixtamalización y la importancia del maíz”.

Reyes, C., P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT Editores. México. P 10-17.

Serna-Saldívar, S. O., M. H. Gómez y L. W. Rooney. 1990. “Technology, chemistry and nutritional value of alkaline-cooked corn products”, en *Advances in Cereal Science and Technology*, Y. Pomeranz (coord.), vol. x, aacc, pp. 243-307.

Secretaria de información agroalimentaria y pesca SIAP. [2010. Maíz de grano.] [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=202&Itemid=86]].

SIAP con información de: Delegaciones de la SAGARPA; SAT; estimaciones del SIAP. 2013.

S. I. E. P. A. (Sistema Integral de Estímulos de Producción Agropecuaria). Proyecto estratégico de fomento a la producción de maíz.

Vázquez- Lara F., Ramírez – Wong, B; Cinco-Moroyoqui, F.J y Mercado-Ruiz; J.N. 2000. Efecto del tiempo de cocimiento alcalino sobre la textura de la masa y la tortilla de maíz. *Biociencia. Revista de la División de Ciencias Biológicas y de la salud. Universidad de Sonora. Vol. 2. Núm. 3.*

Velásquez Joaquín, 2008, ¿Qué son los aminoácidos?, disponible en: <http://ponce.inter.edu/cai/reserva/jvelazquez/aminoac.html>, accesado el 15/02/2014 a las 18:30 hrs.

Verdalet G., I., Ojeda R., M. M. y Silva H., E. R. (2001). Diagnóstico alimentario y nutricional en familias mexicanas. *Información Tecnológica*, 5, 12-79.

Vida Culinaria, 2013. Disponible en: <http://www.vidaculinaria.com/historia-del-maiz-septiembre2013.html>, accesado el 01/08/2014 a las 17:30 hrs.

Warton David. 1972. EXPERIMENTS AND METHODS IN BIOCHEMISTRY. 1ed. The Mac Millán Co. Estados Unidos (1972) pp. 350.

Watson, A. S. and Ramstad, E. D. 1987. Structure and composition. In Corn: Chemistry and Technology. Ed. Published by the American Association of Cereal Chemists. Inc St. Paul, MN.

CAPÍTULO 7

7.1 Anexos evaluación físico química

Anexo 1. Análisis de varianza y prueba de medias para la variable almidón en tortilla a diferentes tiempos de germinación (JMP 5.0.1):

Analysis of Variance

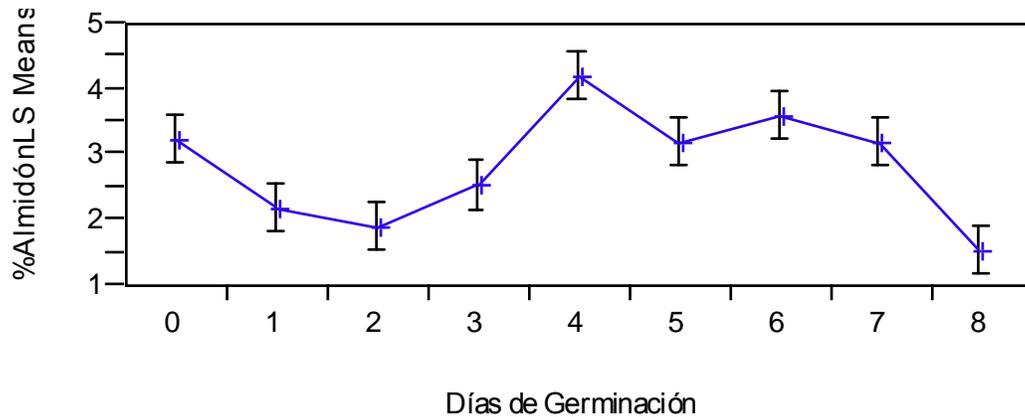
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Días de Germinación	8	23.736080	2.96701	23.1320	<.0001
Error	27	3.463139	0.12826		
C. Total	35	27.199219			

Means Comparisons

Alpha= 0.05 Student's t

Level					Mean
4	A				4.2235643
6		B			3.5929980
0		B			3.2307236
7		B			3.1949530
5		B			3.1912644
3		C			2.5390178
1		C	D		2.1991674
2			D	E	1.8981587
8				E	1.5505026

Levels not connected by same letter are significantly different



Anexo 2. Análisis de varianza y prueba de medias para la variable, luminosidad (L*) en tortilla a diferentes tiempos de germinación (JMP 5.0.1):

Analysis of Variance

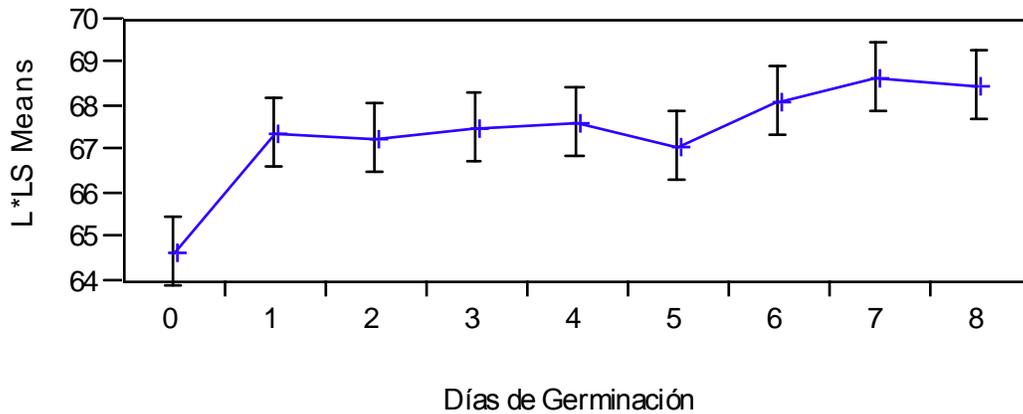
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Días de Germinación	8	43.964017	5.49550	9.3552	<.0001
Error	27	15.860625	0.58743		
C. Total	35	59.824642			

Means Comparisons

Alpha= 0.05 Student's t

Level					Mean
7	A				68.703125
8	A	B			68.506875
6	A	B	C		68.170000
4	A	B	C		67.680937
3		B	C		67.567188
1		B	C		67.416562
2			C		67.285625
5			C		67.145000
0				D	64.693438

Levels not connected by same letter are significantly different



Anexo 4. Análisis de varianza y prueba de medias para la variable, cromaticidad (a*) en tortilla a diferentes tiempos de germinación (JMP 5.0.1):

Analysis of Variance

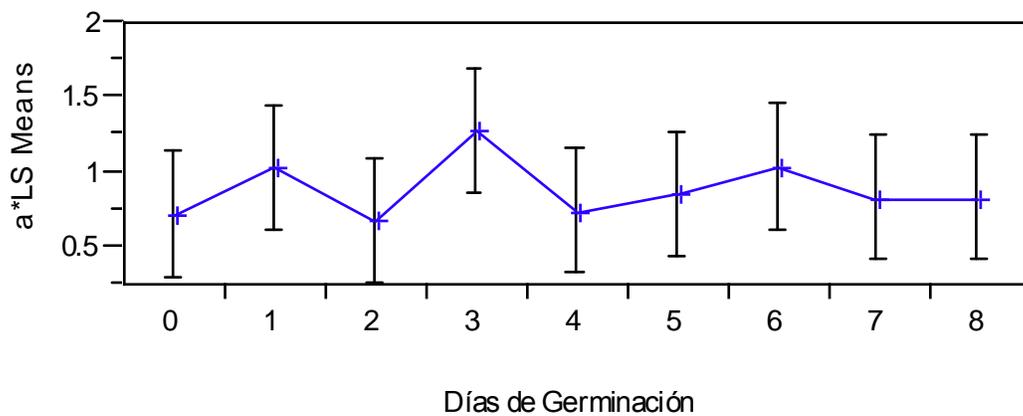
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Días de Germinación	8	1.2020688	0.150259	0.9040	0.5274
Error	27	4.4878078	0.166215		
C. Total	35	5.6898766			

Means Comparisons

Alpha= 0.05 Student's t

Level			Mean
3	A		1.2806250
6	A	B	1.0393750
1	A	B	1.0309375
5	A	B	0.8568750
8	A	B	0.8328125
7	A	B	0.8281250
4	A	B	0.7437500
0	A	B	0.7165625
2		B	0.6753125

Levels not connected by same letter are significantly different



Anexo 5. Análisis de varianza y prueba de medias para la variable, cromaticidad (b*) en tortilla a diferentes tiempos de germinación (JMP 5.0.1):

Analysis of Variance

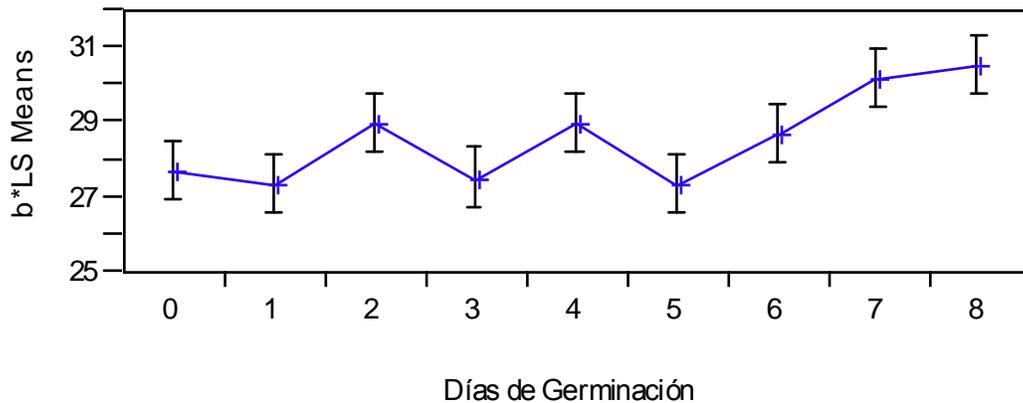
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Días de Germinación	8	46.004266	5.75053	9.7068	<.0001
Error	27	15.995368	0.59242		
C. Total	35	61.999634			

Means Comparisons

Alpha= 0.05 Student's t

Level					Mean
8	A				30.547812
7	A				30.184687
2		B			28.999063
4		B			28.992188
6		B	C		28.693437
0			C	D	27.741875
3				D	27.542500
1				D	27.390313
5				D	27.352500

Levels not connected by same letter are significantly different



Anexo 6. Análisis de varianza y prueba de medias para la variable concentración de aminoácidos en tortilla a diferentes tiempos de germinación (JMP 5.0.1):

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	21	0.3465065	0.016500	4.4779
Error	482	1.7761089	0.003685	Prob > F
C. Total	503	2.1226154		<.0001

LSMeans Differences Student's t

Alpha= 0.050

t= 1.96593

Level				Least Sq Mean
1	A			0.03970005
2	A	B		0.03831007
0		B	C	0.01691190
5			C	0.00517784
7			C	0.00493606
3			C	0.00463848
4			C	0.00389337
8			C	0.00374639
6			C	0.00227986

Levels not connected by same letter are significantly different

4,Trip			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0215506
7,Lis			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0215273
3,Trip			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0214756
7,Met			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0213869
5,Lis			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0212855
8,Leu			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0212441
4,Treo			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0212339
8,Treo			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0212024
5,Met			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0211451
4,Leu			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0210971
4,Iso			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0207638
4,Ala			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0207498
3,Leu			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0203520
5,Trip			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0202662
7,Leu			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0200544
5,Leu			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0198126
6,Pro			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0196564
5,Iso			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0194794
5,Treo			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0192380
3,Glut			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0186455
3,Treo			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0183518
5,Pro			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0180898
7,Val			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0177857
4,Pro			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0175527
8,Asp			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0168971
4,Asp			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0167501
0,Trip			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0167076
7,Pro			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0165622
8,Pro			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0162784
7,Glut			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0155312
0,Leu			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0155095
3,Phe			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0142213
8,Val			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0140211
4,Val			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0138741
3,Pro			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0132747
6,Asp			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0131751
3,Val			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0131290
5,Val			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0125896
0,Ala			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0120584
0,Treo			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0109134
7,Asp			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0105189
0,Lis			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0095514
0,Met			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0094110
2,Glut			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0092034
0,Iso			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0077453
6,Phe			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0064817
8,Phe			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0050152
0,Glut			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0035553
8,Cys			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0015095
0,Val			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	0.0008556
2,Pro			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0055635
2,Treo			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0057263
2,Leu			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0064768
1,Pro			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0067215
0,Phe			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0081503
5,Cys			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0106452
1,Treo			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0118237
2,Lis			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0118468
2,Met			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0119872
2,Trip			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0128661
1,Lis			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0132367
1,Met			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0133771
2,Iso			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0136529

2,Ala			C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0136669
1,Trip				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0142560
1,Iso				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0145840
1,Leu				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0147096
6,Cys				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0147922
1,Ala				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0150569
4,Cys				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0164057
3,Cys				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0171509
7,Cys				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0174484
1,Glut				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0192328
2,Cys				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0217086
1,Val				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0219326
2,Asp				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0228551
1,Asp				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0242451
0,Cys				D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0294243
1,Phe						F	G	H	I	J	K	L	M	-0.0309385
3,Tir					E		G	H	I	J	K	L	M	-0.0328504
7,Tir							G	H	I	J	K	L	M	-0.0381697
6,Tir									I		K	L	M	-0.0525101
8,Tir								H			K	L	M	-0.0526246
5,Tir										J		L	M	-0.0533801
4,Tir											K		M	-0.0537856

Levels not connected by same letter are significantly different

Valores negativos son proyecciones a 0

