



Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Ciencias Agrícolas

EFECTO DE LA COMPOSICIÓN DEL ALMIDÓN DE TRES RAZAS DE MAÍZ SOBRE LA TEXTURA DE UNA MASA COCIDA AL VAPOR

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO INDUSTRIAL

P R E S E N T A :

Ruben Monjaras Hernandez

Generación 39

MODALIDAD: TESIS INDIVIDUAL

Asesores:



Dr. Aurelio Domínguez López Dra. Adriana Villanueva Carvajal

Campus Universitario ðEl Cerrilloö Toluca, Estado de
México. Junio de 2018.

CONTENIDO

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS | iii |
| DEDICATORIAS | v |
| AGRADECIMIENTOS | vi |
| RESUMEN | vii |
| ABSTRACT | viii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. OBJETIVOS | 3 |
| Objetivo General | 3 |
| Objetivos específicos | 3 |
| III. HIPÓTESIS | 3 |
| IV. JUSTIFICACIÓN | 4 |
| V. REVISIÓN DE LITERATURA | 6 |
| 5.1. Consumo del maíz en México | 6 |
| 5.2. Razas de maíz de México | 7 |
| 5.3. Composición del grano de maíz | 12 |
| 5.4. Almidón | 13 |
| 5.4.1. Composición química del almidón | 13 |
| 5.4.2. Amilosa | 14 |
| 5.4.3. Amilopectina | 15 |
| 5.5. Masas de maíz nixtamalizada y cocidas al vapor, los tamales | 16 |
| 5.5.1. Definición e importancia del tamal | 16 |
| 5.5.2. Consumo del tamal en México | 16 |

| | |
|--|----|
| 5.5.3. Diferentes variedades de tamales en México..... | 18 |
| 5.5.4. Reportes científicos sobre los tamales | 19 |
| VI. MATERIALES Y METODOS | 21 |
| 6.1. Evaluación del contenido de almidón y de sus fracciones de amilosa y amilopectina de las razas de maíz blanco, palomero toluqueño y cacahuacintle | 21 |
| 6.2. Nixtamalización de las muestras de maíz | 21 |
| 6.3. Secado y molienda del maíz nixtamalizado | 22 |
| 6.4. Elaboración de tamales | 24 |
| 6.5. Evaluación de la textura de los tamales | 25 |
| 6.6. Análisis estadístico de resultados | 27 |
| VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 28 |
| 7.1. Tiempo de nixtamalización de las tres razas de maíz | 28 |
| 7.2. Cinéticas de secado del maíz nixtamalizado | 31 |
| 7.3. Efecto de la proporción de las tres razas de maíz en las mezclas sobre las propiedades de textura de los tamales..... | 34 |
| 7.4. Efecto de la proporción de almidón y sus componentes en las mezclas de maíz sobre las propiedades de textura de los tamales | 40 |
| VIII. CONCLUSIONES | 45 |
| XIX. BIBLIOGRAFÍA | 46 |
| ANEXOS | 50 |
| Anexo 1. Curvas patrón para el cálculo de almidón, amilosa y amilopectina en maíz | 51 |
| Anexo 2. Análisis de varianza de las variables del perfil de textura de los tamales | 54 |

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Principales Estados productores de maíz. | 7 |
| Cuadro 2. Componentes del grano de maíz. | 12 |
| Cuadro 3. Propiedades fícoquímicas de los polímeros que componen al almidón. | 14 |
| Cuadro 4. Proporción de cada harina de maíz para la elaboración de los tamales. | 24 |
| Cuadro 5. Ecuaciones de regresión para la imbibición de las tres razas de maíz. | 29 |
| Cuadro 6. Ecuaciones de regresión para la cinética de secado de las tres razas de maíz nixtamalizado. | 33 |
| Cuadro 7. Tiempo y humedades críticos del secado de maíz nixtamalizado. | 33 |
| Cuadro 8. Valores promedio de las variables del perfil de textura de tamales elaborados con diversas mezclas de maíces. | 35 |
| Cuadro 9. Desviación estándar de las variables del perfil de textura de tamales elaborados con diversas mezclas de maíces. | 35 |
| Cuadro 10. Coeficientes del modelo de mezclas para la textura de tamales y coeficiente de determinación. | 37 |
| Cuadro 11. Errores estándar del modelo de mezclas para la textura de tamales. | 37 |
| Cuadro 12. Humedad, extracto etéreo, almidón y su composición en las tres razas de maíz. | 40 |
| Cuadro 13. Contenido y composición del almidón y propiedades de textura de las mezclas de maíz. | 41 |
| | |
| Figura 1. Evolución del consumo de maíz en México en millones de toneladas | 6 |
| Figura 2. Grupos de maíces nativos de México. | 8 |
| Figura 3. Maíces A) Cacahuacintle, B) Palomero, C) Blanco criollo. | 11 |
| Figura 4. Estructura del grano de maíz. | 12 |
| Figura 5. Estructura de la amilosa. | 15 |
| Figura 6. Estructura de la amilopectina. | 15 |
| Figura 7. Gastos de elaboración de tamales en festejos mexicanos. | 18 |
| Figura 8. Diversidad de tamales. | 19 |
| Figura 9. Obtención de harina. | 23 |

| | |
|---|----|
| Figura 10. Perfil de textura típico..... | 27 |
| Figura 11. Valores observados y ecuaciones de regresión para la imbibición de las tres razas de maíz. | 29 |
| Figura 12. Cinéticas de secado de las tres razas de maíz nixtamalizado a con una corriente de aire a 80° C. | 32 |
| Figura 13. Perfil de textura típico de los tamales (Elaboración propia)..... | 34 |
| Figura 14. Efecto individual de las tres razas de maíz sobre el perfil de textura de los tamales. . | 39 |
| Figura 15. Efecto de la proporción de amilosa en las mezclas sobre las propiedades de textura de los tamales frescos. | 42 |
| Figura 16. Efecto de la proporción de almidón en las mezclas sobre las propiedades de textura de los tamales frescos. | 43 |

DEDICATORIAS

Me gustaría dedicar esta tesis a toda mi familia.

Pero en especial a mis Padres.

Para mis padres Guillermo y Victoria, gracias por su comprensión, que con su ayuda en los momentos buenos y malos me han enseñado a encarar las adversidades de la vida sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño y todo aquello con una gran dosis de amor y sin pedir nada a cambio.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar todo obstáculo y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Agradezco a mis padres por darme la vida, por darme una infancia llena de felicidad por la formación y educación que con mucho esfuerzo lograron enseñarme y por darme unos hermanos tan maravillosos.

Gracias a mi madre que siempre ha estado en el momento preciso para extenderme su mano por convertir los malos pasos en momentos de reflexión, por escucharme y siempre tener algo que decirme por prestarme su hombro para desahogarme en llanto por ser mi cómplice en tantas travesuras por prepararme mis platillos favoritos y por consentirme hasta el día de hoy.

A mi padre quien me enseñó a valorar los resultados de un gran esfuerzo. a conocer el precio de tener una gota de sudor en la frente, por ser amigo y darme las palabras de aliento, por ser ejemplo padre mío, ocupas un lugar muy especial en mi corazón.

A mis hermanos que gracias a ellos adquirí el don de la reflexión por compartir alegrías y tropiezos de los cuales salimos triunfadores. Por su confianza y por permitirme estar en sus vidas los quiero a cada uno de ellos Oscar, Edgar y Ernesto siempre estarán presentes en mi vida.

A mis tutores Dr. Aurelio Domínguez López y Dra. Adriana Villanueva Carvajal por compartirme parte de sus conocimientos para que este proyecto fuera perfecto.

A mis revisoras Dra. Lolita y Dra. Luz Raquel por hacerme las correcciones correspondientes para que el trabajo fuera mejor.

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto de las razas de maíz blanco, cacahuacintle y palomero sobre el perfil de textura de tamales elaborados con diferentes mezclas de estos cereales. Asimismo se explicó la contribución del contenido de almidón, amilosa y amilopectina, de estos maíces, a las variaciones de dicho perfil de textura. El tiempo óptimo de nixtamalización fue de 40 min para el maíz blanco, de 32.5 min para el cacahuacintle y de 21.5 min para el palomero. El tiempo crítico de secado a 80° C de los nixtamales obtenidos fue de aproximadamente 50 min, con lo que se logró una humedad de 38 - 40%. Los tamales presentaron una dureza que va de los 7.5 a los 19.6 N y resultaron ligeramente adhesivos (0.06 a 0.24 N) y cohesivos (0.72 a 1.01). Todas las mezclas produjeron un endurecimiento significativo de los tamales después de 24 h de reposo. Mientras que el maíz blanco, de manera individual o mezclado, contribuye de manera significativa con la dureza de los tamales, el maíz cacahuacintle es el responsable de la adhesividad y de la cohesividad. La dureza de los tamales no se explicó por el porcentaje de almidón o sus fracciones en las mezclas de maíz. En cambio la cohesividad y la adhesividad resultaron directamente proporcionales a la concentración de almidón y de amilosa en tales mezclas.

Palabras clave:

Tamales, Maíz cacahuacintle; Maíz palomero; Maíz Blanco criollo; Almidón, Textura.

ABSTRACT

In the present work, the effect of white, cacahuacintle and palomero corn on the texture profile of tamales made with different mixtures of these cereals was evaluated. Also, the contribution of the starch, amylose and amylopectin content of these corn breeds to the variations of texture profile was explained. The optimal nixtamalization time was 40 min for white corn, 32.5 min for cacahuacintle and 21.5 min for palomero. The critical time of drying at 80 °C of nixtamales obtained was approximately 50 min, with which a humidity of 38-40% was achieved. Tamales had a hardness ranging from 7.5 to 19.6 N and were slightly adhesive (0.06 to 0.24 N) and cohesive (0.72 to 1.01). All the blends caused a significant hardening of the tamales after 24 h of storage. While white corn, individually or blended, contributes significantly to the hardness of tamales, cacahuacintle is responsible for adhesiveness and cohesiveness. The hardness of the tamales was not explained by the percentage of starch or its fractions in corn blends. On the other hand, the cohesiveness and the adhesiveness were directly proportional to the concentration of starch and amylose in such mixtures.

Keywords

Tamales, Cacahuacintle corn; Palomero corn; Blanco criollo corn; Starch, Texture Profile.

I. INTRODUCCIÓN

La cocina mexicana es conocida internacionalmente por su amplia variedad de platillos y su alto grado de sofisticación. Aunque es el resultado de la cultura gastronómica tradicional de diversas regiones europeas (particularmente españolas) y mesoamericanas, en ella predominan los componentes indígenas y el maíz es indudablemente el más importante. Dentro los productos que comprende esta cultura culinaria, éste cereal se encuentra como ingrediente principal o prácticamente único, tanto en las tortillas como en la masa, previamente cocida al vapor, que componen los tamales (Vargas y Montaña, 2010).

Los tamales, tal como se han preparado desde épocas prehispánicas, junto con la tortilla, los chiles y el frijol son quizás los objetos distintivos de la cultura culinaria mexicana. Bernardino de Sahagún en su *Historia general de las cosas de la Nueva España*, escrita alrededor de 1570, comenta, que los tamales eran unos pastelillos envueltos en hojas naturales, los cuales salían de unas ollas de vapor y eran destinados para adornar las mesas de los emperadores. Alonso de Molina (1513-1579), por su parte, describe una gran variedad de tamales rellenos de frijoles, de chile y de aves asadas, combinadas de diferentes maneras en su *Vocabulario en lengua castellana y mexicana* publicado en 1571. Sin embargo, todos ellos tienen como base una masa derivada de maíz nixtamalizado y cocinada al vapor (Coe, 2004).

Aparte del hecho de que se trata de un alimento tradicional, que está presente en fiestas y comidas especiales y aún que es común en la dieta cotidiana, en la actualidad el tamal se adapta ampliamente al modo de alimentarse de los habitantes de las zonas urbanas de México: es un platillo que podría considerarse dentro del grupo de los denominados *fast food* porque normalmente se presenta al consumidor de una forma cómoda, inmediata, portátil, listo para consumirse y su disponibilidad es muy amplia. Es así que la demanda tiene lugar temprano por la mañana y por la noche ya que no es un alimento que supla la comida del día.

De manera general, la demanda de los tamales, tal como en el caso de los productos agrícolas, se concentra a nivel espacial y temporal. Esto significa que es muy elevada en los conglomerados

urbanos y además en ciertos períodos, particularmente en el otoño y el invierno, aunque existe un consumo regular a lo largo del año. En algunas festividades es tan alta que un solo productor, en una pequeña empresa, se ve obligado a elaborar más de 3000 piezas para comercializar en un solo día (Centro de Vinculación con el Sector Productivo de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2012).

En el momento en que los alimentos tradicionales presentan un incremento sostenido de la demanda comercial y comienzan a producirse masivamente se hace necesario estudiar el efecto del escalamiento industrial sobre sus propiedades funcionales. Derivado de este tipo de estudios se podrían implementar, entonces, métodos que minimicen los efectos de la tecnología y que garanticen al menos medianamente una cercanía a las propiedades que exhibían originalmente. En este sentido, el propósito de este estudio fue, en un primer momento, analizar las propiedades de textura del tamal tradicional, luego verificar cómo influye el tipo de maíz y su proporción de almidón, amilosa y de amilopectina sobre estas propiedades.

II. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el efecto de la composición del almidón de tres razas de maíz: Cacahuacintle, Palomero toluqueño y Blanco criollo, sobre la textura de una masa cocida al vapor (tamales).

Objetivos específicos

- Cuantificar la proporción de almidón, amilosa y amilopectina de los maíces cacahuacintle, palomero toluqueño y blanco criollo.
- Determinar las principales variables de textura de tamales elaborados con diferentes sustituciones parciales de las tres razas de maíz mencionadas en el objetivo general, a saber: Dureza, Cohesividad, Adhesividad y Endurecimiento.
- Evaluar el efecto de la proporción de cada una de las tres razas de maíz, como ingrediente principal, sobre la textura de los tamales.
- Evaluar el efecto de la proporción amilosa-amilopectina y concentración de almidón de diferentes mezclas de harina de maíz nixtamalizado sobre la textura de tamales elaborados con este ingrediente.

III. HIPÓTESIS

La textura de las masas cocidas al vapor (es decir de los tamales) se modifica y presenta un comportamiento diferente en función la proporción de almidón, amilosa y amilopectina, determinada por el tipo de maíz empleado como ingrediente principal.

IV. JUSTIFICACIÓN

Aparte del hecho de que es un alimento tradicional, que está presente en fiestas y comidas especiales y aún que es común en la dieta cotidiana, en la actualidad los tamales se adaptan ampliamente al modo de alimentarse de los habitantes de las zonas urbanas de México. Es un platillo que podría considerarse dentro del grupo de los denominados *fast food* porque normalmente se presenta al consumidor de una forma cómoda, inmediata, portátil, lista para consumirse y su disponibilidad es muy amplia. Es así que la demanda tiene lugar temprano por la mañana y por la noche ya que no es un alimento que supla la comida del día.

En México de manera general, la demanda de los tamales, tal como en el caso de los productos agrícolas, se concentra a nivel espacial y temporal. Esto quiere decir que es muy elevada en los conglomerados urbanos y además en ciertas épocas del año, particularmente en el otoño y el invierno. En algunas festividades es tan alta que un solo productor, en una pequeña empresa, se ve obligado a elaborar más de 3000 piezas para comercializar en un solo día (Centro de Vinculación con el Sector Productivo de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2012.).

Una de las cualidades intrínsecas de la agroindustria es resolver, a través de la tecnología, el problema de la distribución estacional y espacial de la producción agrícola con respecto a un consumo constante y concentrado en los conglomerados urbanos (Flores-Verduzco y Gómez-Cruz, 1987). Esto significa, en el caso de los tamales, que a medida que aumenta el número de piezas que es necesario producir en una empresa dedicada a su elaboración, es necesario incrementar el uso de la tecnología y optimizar el proceso de producción, conservando en la medida de lo posible las propiedades tradicionales de este producto. El escalamiento hacia niveles industriales trae como consecuencia que estos productos se alejen cada vez más del producto tradicional y que sus propiedades funcionales de origen se modifiquen por la intervención de métodos estándares de producción mecanizada.

En el momento en que los alimentos tradicionales manifiestan un incremento sostenido de la demanda comercial y comienzan a producirse masivamente, se hace necesario estudiar el efecto del escalamiento industrial sobre sus propiedades funcionales y en este caso específico su textura.

Por otra parte, las propiedades funcionales de la mayoría de los productos de maíz, entre ellos los tamales, están fuertemente influenciadas por el almidón, a diferencia de lo que ocurre en otros cereales como el trigo cuyas características están dadas principalmente por las proteínas (Salinas-Moreno *et al.*, 2003). Este almidón se compone de amilosa y amilopectina. Al amilosa es una fracción que tiende normalmente a producir retrogradación, es decir a recristalizarse después de la gelificación promovida por el cocimiento y es considerada la principal causa de deterioro a corto plazo; en cambio, la amilopectina es una molécula más apta para la producción de geles que no retrogradan. La formación de geles y la retrogradación son de gran relevancia para la industria alimentaria, ya que son las principales razones del deterioro de los productos ricos en almidón (Mestres *et al.*, 1988), deterioro que se ve reflejado en cambios de textura a través del tiempo. Sin embargo, el conocimiento que hoy existe sobre el comportamiento de la amilosa y la amilopectina en sus aspectos reológicos y de retrogradación no se ha aprovechado para conservar a aún mejorar la textura de los tamales, a pesar de que en pan y tortillas de trigo se han obtenido buenos resultados (Bhattacharya *et al.*, 2002; Waniska *et al.*, 2002). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de modificar la proporción de almidón, amilosa y amilopectina de harinas de maíz nixtamalizado, a través de la mezcla de tres razas contrastantes de maíz (Blanco criollo, Palomero y cacahuacintle), sobre las propiedades de textura de los tamales.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Consumo del maíz en México

Al igual que la producción nacional, el consumo doméstico de maíz en grano muestra una dinámica de crecimiento. De acuerdo con estimaciones oficiales, en el ciclo comercial 2014/17 el consumo de maíz en grano creció 0.4 por ciento a tasa anual para ubicarse en 38.7 millones de toneladas, de los cuales 60.2%, o 23.3 millones de toneladas, es maíz blanco y el restante 39.8%, 15.3 millones de toneladas, es maíz amarillo (Figura 1) (SAGARPA, 2018).

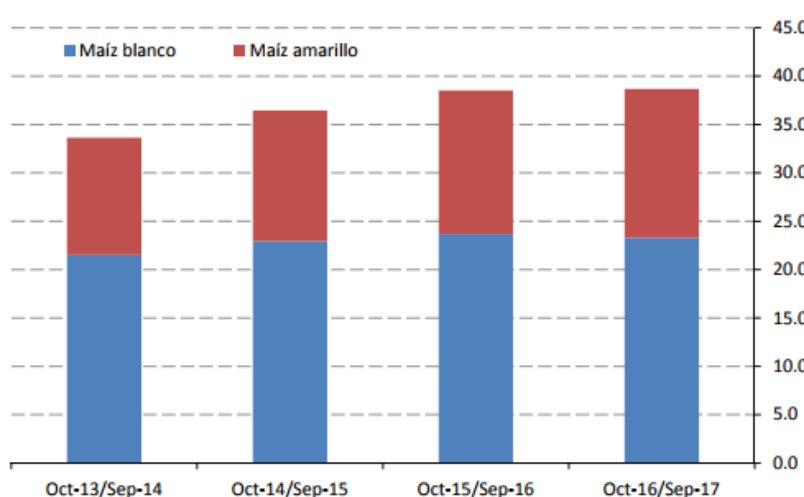


Figura 1. Evolución del consumo de maíz en México en millones de toneladas (SAGARPA, 2018).

En México, las Entidades Federativas de mayor producción de maíz son Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Estado de México, Guanajuato, Chihuahua, Guerrero, Veracruz, Chiapas y Puebla, donde el Estado de México se encuentra en el cuarto lugar con una producción de 2036 t (para el año 2015) esto representa el 8.2% de la producción nacional (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales Estados productores de maíz (en miles de toneladas) (SAGARPA, 2018).

| Estado | Año | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| Sinaloa | 4193 | 4398 | 5133 | 5369 | 5237 | 5228 | 2929 | 3647 | 3628 | 3686 | 5380 |
| Jalisco | 2620 | 3030 | 3252 | 3205 | 2543 | 3395 | 2519 | 3235 | 3303 | 3472 | 3339 |
| Michoacán | 1310 | 1406 | 1567 | 1609 | 1182 | 1526 | 1386 | 1802 | 1747 | 1935 | 1722 |
| México | 1211 | 1801 | 2003 | 1902 | 1316 | 1550 | 649 | 1575 | 2013 | 1856 | 2036 |
| Guanajuato | 1037 | 1068 | 1374 | 1499 | 844 | 1185 | 1016 | 1218 | 1527 | 1420 | 1362 |
| Chihuahua | 671 | 679 | 849 | 830 | 975 | 1069 | 851 | 1113 | 1310 | 1373 | 1437 |
| Guerrero | 1195 | 1215 | 1304 | 1403 | 1136 | 1414 | 1309 | 1304 | 990 | 1332 | 975 |
| Veracruz | 889 | 1097 | 966 | 1330 | 1139 | 973 | 1040 | 1275 | 1192 | 1265 | 1212 |
| Chiapas | 1403 | 1592 | 1526 | 1625 | 1218 | 1394 | 1554 | 1405 | 1529 | 1118 | 1068 |
| Puebla | 778 | 1017 | 942 | 1021 | 658 | 1080 | 612 | 1002 | 942 | 960 | 1002 |
| Resto de los estados | 4032 | 4589 | 4597 | 4617 | 3894 | 4487 | 3769 | 4493 | 4483 | 4785 | 5162 |
| Total | 19339 | 21892 | 23513 | 24410 | 20142 | 23301 | 17634 | 22069 | 22664 | 23202 | 24695 |

5.2. Razas de maíz de México

El cultivo del maíz en México se hace actualmente en un amplio rango de altitud y variación climática, desde el nivel del mar hasta los 3,400 msnm. Se siembra en zonas con escasa precipitación, en regiones templadas, en las faldas de las altas montañas, en ambientes muy cálidos y húmedos, en escaso suelo, en pronunciadas laderas o en amplios valles fértiles, en diferentes épocas del año y bajo múltiples sistemas de manejo y desarrollo tecnológico. A esta gran diversidad de ambientes, los agricultores, indígenas o mestizos, mediante su conocimiento y habilidad, han logrado adaptar y mantener una extensa diversidad de maíces nativos (CONABIO, 2011).

El término raza se ha utilizado en el maíz y en las plantas cultivadas para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, que permiten diferenciarlas como grupo. Las razas se agrupan a su vez en complejos raciales, los cuales se asocian a una distribución geográfica y climática más o menos definida y a una historia evolutiva común (Harlan y de Wet, 1971). El concepto y la categoría de la raza son de gran utilidad como sistema de referencia rápido para comprender la variación de maíz, para organizar el material en las colecciones de bancos de germoplasma y para su uso en el

mejoramiento, así como para describir la diversidad a nivel de paisaje. Sin embargo, cada raza puede comprender numerosas variantes diferenciadas en formas de mazorca, color y textura de grano, adaptaciones y diversidad genética, con lo que se generan grupos de maíces formados por las mismas (Perales y Golicher, 2011).

En México, la clasificación y agrupamiento más recientes de las razas de maíces nativos ha sido reportada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (CONABIO, 2018). Según esta organización, las diversas razas pueden ser divididas naturalmente en siete grupos (Figura 2): Cónico, Sierra de Chihuahua, Ocho hileras, Chapalote, Tropicales precoces, Dentados tropicales y Maduración tardía.

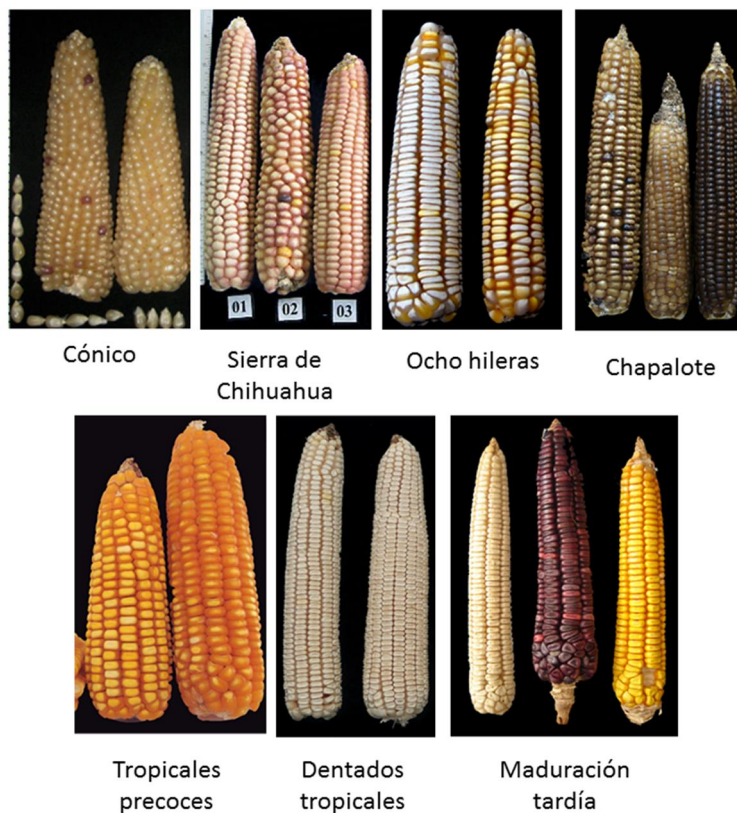


Figura 2. Grupos de maíces nativos de México (CONABIO, 2018).

De acuerdo con la CONABIO (2011), El grupo Cónico incluye razas de maíz cuya característica resaltante es la forma cónica o piramidal de sus mazorcas: Arrocillo, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Dulce, Elotes Cónicos, Mixteco, Mushito, Mushito de Michoacán, Negrito, Palomero de Jalisco y Uruapeño. **En este grupo se encuentran clasificados los maíces Cacahuacintle y Palomero Toluqueño, objetos en este estudio.** Las razas del grupo Sierra de Chihuahua son: Cristalino de Chihuahua, Gordo, Azul, Apachito y Complejo Serrano de Jalisco. El grupo ñOcho hilerasö incluye razas cultivadas en elevaciones bajas e intermedias, desde los Valles Centrales de Oaxaca, centro, se concentran en el occidente y se extienden hacia las planicies y cañadas del noroeste de México. Forman parte de este grupo las razas Blando de Sonora y Onaveño, que tienen mayor presencia en el noroeste; Harinoso de Ocho, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Bofo, Elotes Occidentales, Tablilla de Ocho, Jala y Zamorano Amarillo, que concentran principalmente en el occidente; y las razas Ancho y Bolita que se distribuyen en el centro y sur. El grupo ñChapaloteö incluye las razas Chapalote, Reventador, Dulcillo del Noroeste y Elotero de Sinaloa, cuyo cultivo se ha reportado predominantemente en elevaciones de 100 a 500 m en la planicie costera del Pacífico de Nayarit a Sonora y en el piedemonte y escarpa de la Sierra Madre Occidental, donde se han obtenido muestras hasta cerca de los 2,000 m de altitud. Todas las razas de este grupo tienen mazorcas alargadas con forma de puro y granos con textura que va desde la cristalina, harinosa hasta dulce (textura rugosa por el alto contenido de sacarosa). Las razas que integran el grupo de tropicales precoces son: Nal-Tel, Zapalote Chico, Conejo y Ratón. Se cultivan principalmente en terrenos del trópico seco y regiones semiáridas del país, generalmente en zonas bajas e intermedias (100-1,300 m), adaptadas a limitados regímenes de lluvia lo que les ha conferido un ciclo de maduración corta o temprana con gran adaptabilidad y baja sensibilidad al fotoperíodo. El grupo de maíces dentados tropicales incluye razas agrónomicamente muy importantes del sur de México, distribuidas principalmente en regiones intermedias y de baja altitud: Tuxpeño, Vandeño, Tuxpeño Norteño, Tepecintle, Zapalote Grande y Celaya; las razas Pepitilla y Nal-Tel de Altura se asocian también con este grupo. **A este grupo pertenece el maíz blanco empleado en este trabajo.** El grupo de maíces de maduración tardía incluye a las razas Olotillo, Dzit-Bacal, Comitico, Motozinteco, Tehua, Olotón y Coscomatepec, que se cultivan en un amplio rango de altitud. La raza Dzit Bacal se distribuye en las tierras bajas de la península de Yucatán y el resto en zonas de ladera y cañadas en los sistemas montañosos de la Sierra Madre de Chiapas, incluyendo la Depresión Central, la Sierra Madre del Sur y la porción sur de la Sierra Madre Oriental.

Perales y Golicher (2011) propusieron una clasificación y descripción de las razas como sigue:

Maíz dentado. Este tipo se caracteriza por una pequeña depresión de las coronas desde los granos maduros la cual es ocasionada por el encogimiento del almidón suave en la corona del grano a medida que este va secándose. El encogimiento se limita a las proporciones suaves y almidonosas de la corona del grano.

Maíz cristalino. Este maíz contiene una gruesa capa de endospermo cristalino, que cubre un pequeño centro harinoso generalmente el grano es liso y redondo se usa como alimento animal y humano este tipo de maíz es de cualquier clase (blanco, amarillo o mezclado).

Maíz dulce. El maíz dulce se cultiva principalmente para consumo humano y es cosechado inmaduro. Los granos tienen un contenido relativamente alto de azúcar y pueden ser enlatados y congelados.

Maíz reventador. El maíz reventador generalmente se caracteriza por tener en todo el grano un almidón de tipo duro y cristalino pero en algunas variedades hay una pequeña porción de almidón suave cerca del centro del grano. Los granos son más pequeños que los del maíz cristalino y cuando se calienta se genera dentro de ellos una presión de vapor que expande el grano a una masa de almidón suave y aumenta su volumen de 25 a 30 veces su tamaño.

Maíz harinoso. El maíz harinoso o maíz suave son granos que no son dentados y están formados principalmente por almidón suave exceptuando una pequeña y delgada capa de almidón duro situado alrededor del grano cerca de la cáscara.

Maíz tunicado. Este tipo de maíz cada grano está encerrado en una cubierta o vaina propia y la espiga está rodeada por una cubierta (espatas).

Maíz céreo. La diferencia que tiene con el almidón de maíz común, está en que el almidón del maíz céreo está compuesto de 100% de amilopectina mientras que el almidón de maíz común contiene un 73% de Amilopectina y 27% de amilosa. Este maíz se usa como materia prima para la producción

de almidón céreo, en la molienda húmeda del maíz. Los tipos de almidón céreo (nativo y modificado), son comercializados a nivel mundial debido a su estabilidad y a otras propiedades de sus soluciones son usados para la industria alimenticia como estabilizadores y espesores en pudines, salsas y pasteles en la industria papelera, en la elaboración del papel engomado como adhesivo.

Dentro del conjunto de razas de maíz que se cultivan en México, descritas por Perales y Golicher (2011), el Cacahuacintle pertenece al grupo de los harinosos, el Palomero toluqueño a los reventadores y el Blanco criollo a los cristalinos (Figura 3 A, B, y C). Estos maíces destacan por poseer una composición del almidón contrastante: el Cacahuacintle presenta un endospermo suave y harinoso y los gránulos de almidón, formado principalmente por amilopectina, no se encuentran compactados. Es muy común que en México se use para pozole. El Palomero toluqueño presenta un grano con endospermo duro y cristalino cuyo almidón está formado principalmente por amilosa. Se utiliza para la producción de ñopalomitas y el Blanco criollo es un grano intermedio con una región del endospermo cristalina y otra opaca o suave, estas regiones se caracterizan por estar compuestas de amilosa y amilopectina, respectivamente.

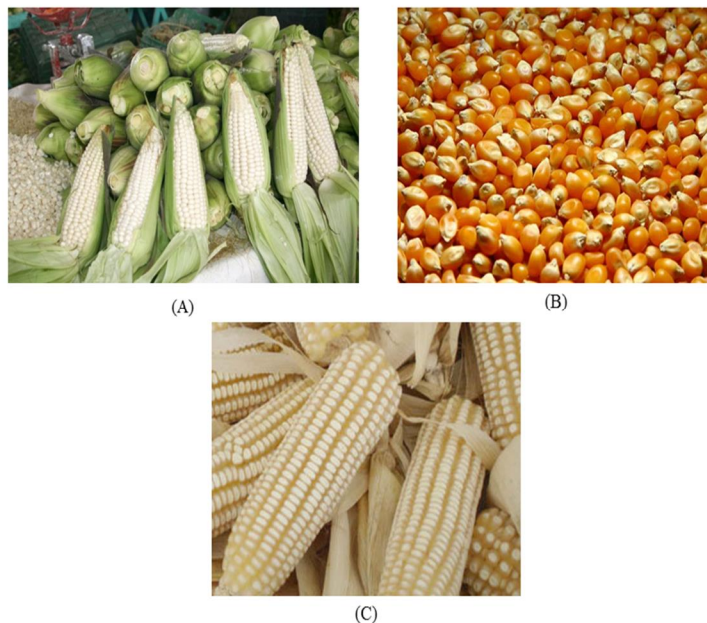


Figura 3. Maíces A) Cacahuacintle, B) Palomero, C) Blanco criollo (Perales y Golicher, 2011).

5.3. Composición del grano de maíz

La Figura 4 muestra la estructura del grano de maíz, que de acuerdo con Reyes (1990), es un fruto denominado cariósipide. La mayor parte de la estructura del grano, alrededor de 82%, está constituida por el endospermo; el pericarpio, por su parte, representa el 6% y el embrión el 12%. La composición bromatológica de la materia seca de este cereal es en promedio la mostrada en el Cuadro 2 (Reyes, 1990)

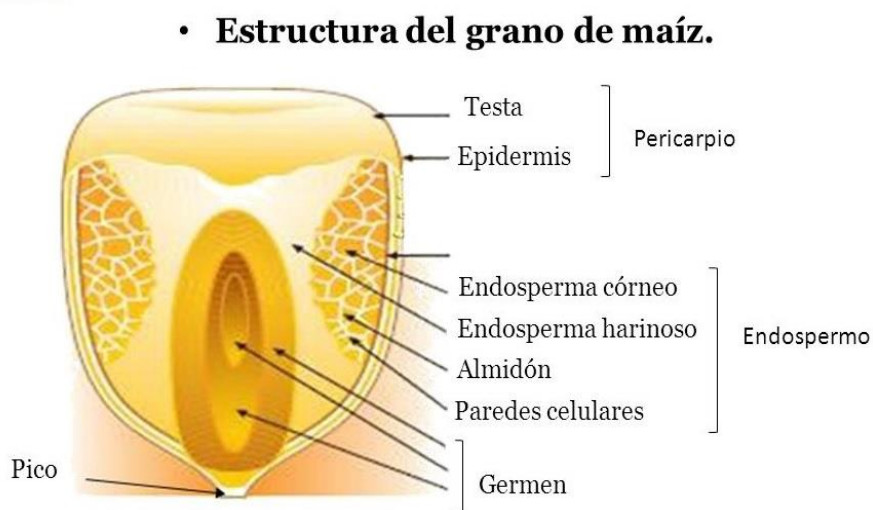


Figura 4. Estructura del grano de maíz (Reyes, 1990).

Cuadro 2. Componentes del grano de maíz.

| Componente | Cantidad (g/100 g M. S.) |
|----------------|-----------------------------|
| Almidón | 72.40 |
| Grasa (aceite) | 4.70 |
| Proteínas | 9.60 |
| Cenizas | 1.43 |
| Azúcares | 1.94 |
| Fibra | 9.93 |

(Reyes, 1990)

5.4. Almidón

El almidón es un carbohidrato de reserva que representa una fuente de energía para el organismo (planta o semilla) que lo contiene. Está formado por dos moléculas, amilosa y amilopectina, como se verá más adelante. La fuente de obtención más importante de este compuesto (para la alimentación humana o animal) son los cereales. El maíz, el arroz y el trigo contienen de 30 a 80% y en las leguminosas (frijol, chícharo y haba) se encuentra desde 25 hasta 50% y en los tubérculos (papa, tapioca y yuca) 60-90%. De la materia seca de la producción mundial de almidón, aproximadamente el 83% es obtenido del maíz seguido del trigo con un 7%, papa con un 6% y la tapioca con 4% (De Baere, 1991; Bello-Perez y Paredes-López, 1999; Bernal y Martínez, 2006; Biliaderis, 1991; Buleon, 1998).

En las últimas investigaciones de este carbohidrato se dan a conocer cuatro fuentes de uso en la industria. (Bernal y Martínez, 2006; Delville, *et al.*, 2002; Guzmán, 1992; Steven, 1995; Thomas y Atwell, 1999).

- ❖ Confiere ciertas características organolépticas a los alimentos como la textura y la consistencia la cual es dada por sus componentes poliméricos de alto peso molecular.
- ❖ Para la nutrición humana y/o animal ya que es la fuente de energía más importante representa el 80% de la ingesta calórica mundial.
- ❖ Para ciertas aplicaciones industriales como la fabricación pinturas espesantes y texturizantes.
- ❖ Para la producción de bio-energéticos.

5.4.1. Composición química del almidón

Químicamente el almidón es un polisacárido semicristalino compuesto por D-glucopiranosas unidas entre sí mediante enlaces glucosídicos. El almidón está formado por dos polímeros de

diferente estructura, la amilosa y la amilopectina (Cuadro 3), los cuales se diferencian por las uniones que presentan dentro del gránulo de almidón y que además representan cerca del 98-99%.

Del peso en seco. La proporción de estos dos polímeros varía según la fuente botánica y su organización física dentro de la estructura granular confiriéndole propiedades fisicoquímicas y funcionales a pesar de la química simple del almidón las moléculas que lo conforman son variables y complejas (Biliaderis, 1991; Cowienson, 2005; Tester *et al.*, 2004).

Cuadro 3. Propiedades fisicoquímicas de los polímeros que componen al almidón.

| Propiedad | Amilosa | Amilopectina |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| Estructura molecular | Lineal | Ramificada |
| Longitud de promedio de cadena | 10 ³ Da | 20-25 Da |
| Grado de polimerización | 10 ³ Da | 10 ⁴ ó 10 ⁵ Da |
| Complejo con yodo | Azul (650 nm) | Púrpura (550 nm) |
| Afinidad de yodo | 19-20% | 1% |
| Valor azul | 1.4 | 0.05 |
| Estabilidad en solución acuosa | Retrograda fácilmente | Estable |
| Hidrolisis con -amilasa | 70% | 55-60% |
| Hidrolisis con -amilasa y dextrinasa | 100% | 100% |
| Propiedades de película | Fuerte | Quebradiza |

(Belitz y Grosch, 1997)

5.4.2. Amilosa

La amilosa (Figura 5) es un polímero lineal formado por D-glucopiranosas que se encuentran unidas entre sí por enlaces α -1, 4 que representan un 99% de su estructura también se ha comprobado la presencia de ciertas ramificaciones se encuentra de manera espaciada e infrecuente lo que permite observar su comportamiento esencialmente lineal (Biliaderis, 1991; Buleon *et al.*, 1998; Mua y Jackson, 1997). El peso molecular de la amilosa es de 10⁵ -10⁶ daltones (Oates, 1997) los enlaces glucosídicos en la configuración α confieren a la amilosa una estructura helicoidal en la que cada vuelta de la hélice consta de 6 unidades de glucosa los grupo hidroxilo se posicionan en el exterior de la hélice mientras que en el interior contienen en su mayoría átomos de hidrogeno y es por lo tanto lipofílico (Figura 5) lo cual permite a la amilosa formar complejos de inclusión en los ácidos libres con algunos alcoholes y con el yodo (Thomas y Atwell, 1999). De acuerdo con Reyes (1990), alrededor del 25% del almidón de maíz está compuesto por amilosa.

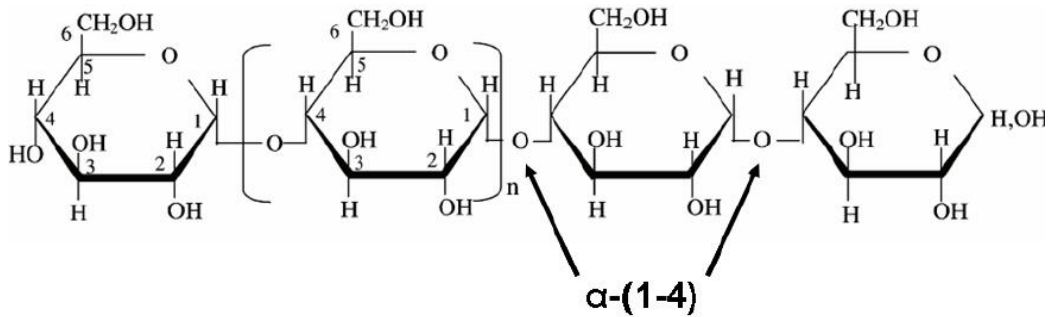


Figura 5. Estructura de la amilosa (Tester *et al.*, 2004).

5.4.3. Amilopectina

La amilopectina Figura 6 representa a un polímero semicristalino y altamente ramificado formado por 595,238 unidades de D-glucopiranosas unidas mediante enlaces α -(1-4) que representan un 92-96% con puntos de ramificación unidos mediante enlaces α -(1-6) que representan un 5-6% de su estructura dichas ramificaciones se localizan aproximadamente cada 15 o 25 unidades de D-glucopiranosas aunque el rango puede excederse a 19 o 31 unidades dependiendo del contenido de amilosa en el almidón (Biliaderis, 1991; Mua y Jackson, 1997; Tang *et al.*, 2002).su peso molecular varía entre 10^7 y 10^8 daltones las cadenas que constituyen a la molécula de amilopectina forma una hélice doble que emboná paralelamente mientras que los segmentos lineales presentan la misma conformación helicoidal que en la encontrada en la amilosa (Oates, 1997; Buleon *et al.*, 1998). De acuerdo con Reyes (1990), alrededor del 75% del almidón de maíz está compuesto por amilopectina.

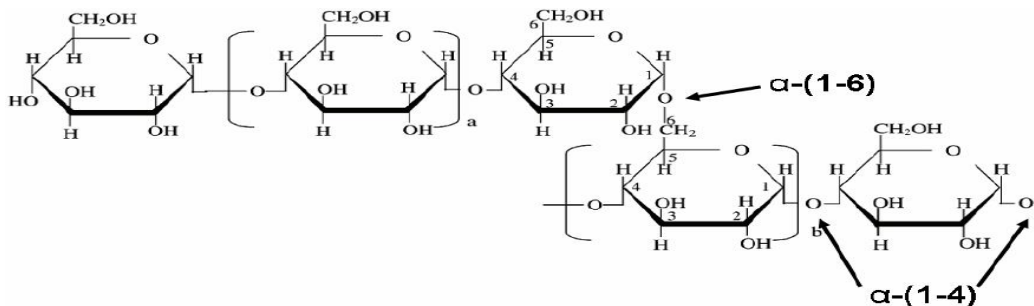


Figura 6. Estructura de la amilopectina (Tester *et al.*, 2004).

5.5. Masas de maíz nixtamalizada y cocidas al vapor, los tamales

5.5.1. Definición e importancia del tamal

Originalmente, la palabra tamal deriva del náhuatl *tamalli*, que es un pan o pastel de maíz, cuya pasta se cuece en ollas de vapor envuelta en las hojas de la mazorca (Oliva de Coll, 1977). Este alimento tiene sus orígenes en la época prehispánica, tiempos en los que se consumía de distintas formas, ya que de ahí toman su nombre los distintos tipos de relleno de tamal con los que cuenta.

Los tamales han tenido una gran importancia dentro de la alimentación, del mexicano y en todos los tiempos de nuestra historia los diferentes escenarios. Donde se pueden preparar y consumir estos alimentos que nos han dado identidad, y que poco a poco por su valor histórico y cultural se han convirtiendo en parte de nuestro patrimonio gastronómico y cultural (Miranda-Osorio, 2011).

5.5.2. Consumo del tamal en México

Según el Centro de Vinculación con el Sector Productivo de la Universidad Nacional Autónoma de México (2012.), «La demanda de los tamales es constante durante todo el año, gracias a las tradiciones y a que este alimento forma parte de las mismas en nuestro país. Los tamales se pueden ofrecer en fondas, restaurantes, hoteles, escuelas, empresas, comercios y fiestas. Las fiestas tradicionales mexicanas sobran: se festeja a los santos del pueblo, los patronos, aniversarios, etc. en las que por lo general se sirven unos tamales, acompañados con el clásico atole de chocolate y de arroz (un claro ejemplo es el día 2 de febrero, El día de la Candelaria, el Día de las Madres y el día de aparición de la Virgen de Guadalupe (12 de diciembre), días en que por supuesto la demanda es mayor. El tamal forma parte de la dieta alimenticia de muchos mexicanos, por eso el auge desde hace algunos años de los establecimientos y las franquicias. En ellos, se presenta una peculiaridad, pues la demanda tiene lugar temprano por la mañana y por la noche ya que no es un alimento que supla la comida del día».

En cuanto al grado de actualización tecnológica en el giro, según el Centro de Vinculación con el Sector Productivo de la Universidad Nacional Autónoma de México (2012), se destaca lo siguiente:

Microempresa/artesanal: La producción de tamales en microempresas se lleva a cabo por medio del procedimiento tradicional, es decir prácticamente todo se hace a mano. Y se utilizan electrodomésticos caseros. Estas empresas comercializan de 150 a 300 piezas/día.

Pequeña empresa: El proceso de producción en una empresa pequeña se lleva a cabo casi totalmente a mano en lo que se refiere a envolver el tamal y la diferencia es que al tener mayor volumen de ventas, es necesario contar con maquinaria especializada como las batidoras industriales para la elaboración de la masa y un número mayor de botes tamaleros. Estas empresas venden de 1000 a 3000 piezas/día.

Mediana empresa: En la producción de una empresa mediana se hace uso de un equipo especializado para la masificación, elaboración y cocción como son: batidoras, parrillas, quemadores, licuadoras, refrigeradores, congeladores y hornos industriales. Estas empresas comercializan de 150 a 300 piezas/día. Estas empresas comercializan de 10000 a 15000 piezas/día.

La oferta encontrada por Procuraduría del Consumidor de México incluye principalmente los envueltos en hoja de maíz y de plátano con rellenos de mole con pollo, rajas con queso y verdes con pollo o puerco, así como dulces con pasas. El precio promedio de los tamales en hoja de maíz (año 2010) es de 11 pesos, a excepción de los de mole con pollo que cuestan 12, aunque los encontramos desde 7 hasta 16. Mientras que el precio promedio para los de hoja de plátano (estilo oaxaqueño) es de 13 pesos, pero los hay hasta de 17 pesos (Ruelas, 2010). En la siguiente gráfica se observa el gasto que las familias destinan a la elaboración de tamales en un día tradicional como lo es la fiesta de la Candelaria en México.

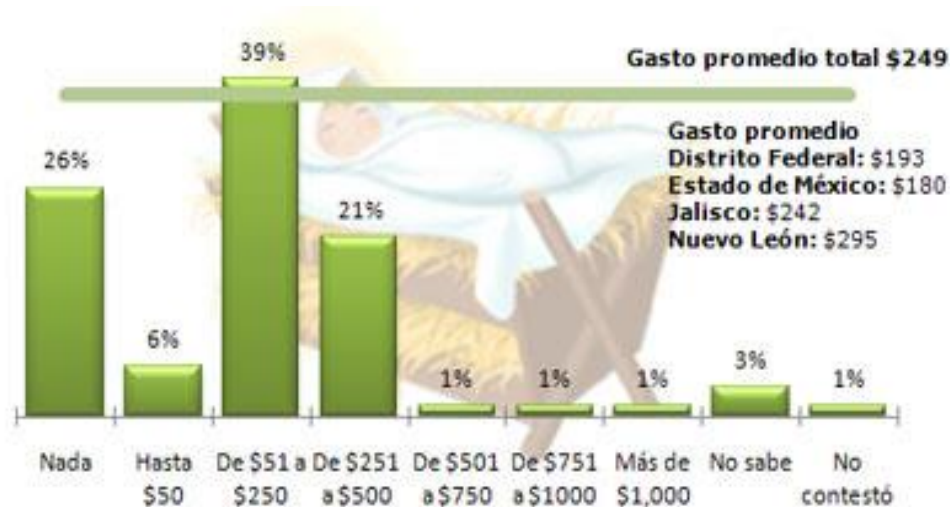


Figura 7. Gastos de elaboración de tamales en festejos mexicanos (Ruelas, 2010).

5.5.3. Diferentes variedades de tamales en México

En nuestro país pueden contabilizarse más de 300 variedades diferentes de tamales. Sin embargo, entre los más populares destacan los siguientes:

- De hoja de Maíz: Verdes y de mole con pollo, rajas con queso sierra y epazote con champiñones, dulce con pasas, piña con nuez.
- Costeños: Envueltos en hoja de plátano, con salsas verdes o rojas o con salsa de chile guajillo con pollo.
- Oaxaqueños: Envueltos en hoja de plátano con mole y pollo.
- Poblanos: Envueltos en hoja de plátano con queso sierra, salsa de jitomate con guajillo y rajas de chile poblano.
- Veracruzanos: En hoja de plátano con salsa de jitomate y chipotle. Costillas de cerdo y hoja de acullo.
- Chiapanecos: En hoja de plátano con mole, pollo, aceituna, almendras, ciruela, pasa, huevo y pimiento morrón (Centro de Vinculación con el Sector Productivo de la Universidad Nacional Autónoma de México, 2012).



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)



(F)

Figura 8. Diversidad de tamales. A) Tamal de hoja de maíz; B) Tamal costeño; C) Tamal oaxaqueño; D) Tamal poblano; E) Tamal veracruzano; F) tamal chiapaneco.

5.5.4. Reportes científicos sobre los tamales

Quizá porque se trata de un producto alimenticio típico, muy centrado en la tradición gastronómica de los países latinoamericanos es que los reportes científicos acerca de su estudio son escasos: Taube (1989), describe a los tamales desde una perspectiva arqueológica y antropológica y los reporta como la forma más común de la dieta maya en relación con el maíz. Muy recientemente Montero-López y Varela-Scherrer (2017) confirmaron este aspecto describiendo el consumo ritual de los tamales en las civilizaciones mayas, acompañados de carne de venado y perro doméstico.

En relación con la expansión geográfica de este tipo de alimentos, Pilcher (2014) describió el efecto de la migración de mexicanos al extranjero en la propagación del consumo de este tipo de tamales en el mundo. En relación con su composición y propiedades se ha encontrado lo siguiente: Weber *et al.* (1993) describió la composición bromatológica de algunos tipos de tamales y tortillas. Navarro-Hidalgo *et al.* (2005) se centraron en la calidad microbiológica de estos productos. Figueroa-Cárdenas *et al.* (2016) y Mariscal-Moreno *et al.* (2017) han evaluado el efecto del tipo de procesamiento (nixtamalización, cocimiento, etc.) de los tamales sobre la formación de almidones resistentes en la masa cocida. Muy recientemente, Rodríguez-Huezo *et al.* (2018) evaluaron el efecto del tipo de grasa sobre la digestibilidad de la proteína y el almidón de los tamales. Hasta la fecha, estudios sobre la textura de los tamales y los factores que la modifican no han sido todavía reportados.

VI. MATERIALES Y METODOS

Con base a los objetivos planteados en este proyecto la metodología comprende las siguientes etapas:

6.1. Evaluación del contenido de almidón y de sus fracciones de amilosa y amilopectina de las razas de maíz blanco, palomero toluqueño y cacahuacintle

Se utilizaron muestras de maíz (con un peso de aproximadamente 20 kg) de las razas de maíz blanco, palomero toluqueño y cacahuacintle, que fueron producidas en el Campus Universitario ðEl Cerrilloö por la Facultad de Ciencias Agrícolas en el período primavera-verano de 2016.

De cada uno de los maíces, se aisló el almidón mediante la metodología propuesta por Agama-Acevedo *et al.* (2005) que consiste en una molienda seca del grano (mediante un molino de discos Mill CM 290 Cemotec, Marca FOSS , Gerber Instruments, Suiza) y obtención del almidón por tamizaje de la harina y por la separación mecánica del salvado y del embrión (estas fracciones permanecen principalmente en el tamiz de malla 20 y en menor medida en el de malla 40, tras el tamizado de la harina recién molida). La pureza del almidón así obtenido fue evaluada enzimáticamente mediante la secuencia propuesta por Goñi *et al.* (1997), también descrita por Galicia *et al.* (2012). A cada muestra de almidón se le determinó el contenido de amilosa y amilopectina a través del método descrito por Galicia *et al.* (2012). Este método consiste en determinar la humedad de la harina, posteriormente desgrasarla mediante hexano u otro solvente apolar y finalmente hacerla reaccionar con lugol y evaluar la absorbancia producida a 620 nm. En el Anexo 1 se reportaron las curvas patrón (concentración-absorbancia) para el cálculo tanto amilosa y amilopectina como de almidón.

6.2. Nixtamalización de las muestras de maíz

Con el propósito de determinar el tiempo óptimo de nixtamalización de cada uno de los tres maíces empleados en este trabajo, se estableció la relación entre el tiempo y la cantidad de agua adsorbida

por los granos a lo largo de este proceso (imbibición). Cada una de las tres razas de maíz se sometió a una nixtamalización mediante un método tradicional estandarizado, que ha sido descrito a detalle por Salinas y Moreno *et al* (2010). La determinación del tiempo óptimo de nixtamalización consistió en lo siguiente: Por cada 1000 g de maíz se utilizaron 2.14 L de una solución al 1.66% de hidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Esta mezcla de maíz y solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se sometió a ebullición durante 150 min y a intervalos regulares de 5 min se tomaran 10 granos a los que se les determinó la humedad mediante el método estándar de estufa propuesto por la AOAC y descrito a detalle por Nielsen (1998). De acuerdo con las recomendaciones de Salinas y Moreno *et al* (2003), el tiempo óptimo de nixtamalización fue aquel en el que la humedad del grano llegó a 50% (la cual depende de características propias del mismo, tales como su dureza). Los resultados obtenidos (30 parejas de datos tiempo-humedad) fueron analizados mediante regresión lineal con la ayuda de la hoja de cálculo Excel.

6.3. Secado y molienda del maíz nixtamalizado

Con el propósito de determinar el tiempo óptimo de secado del maíz nixtamalizado se obtuvo la cinética de deshidratación, por medio de una corriente de aire caliente, de cada una de las razas de maíz (en una estufa de secado, Terlab modelo TE-FH45DM). Alrededor de 500 g de maíz nixtamalizado fueron esparcidos en una charola provista de orificios e inmediatamente sometidos a calentamiento por una corriente de aire a 80°C. De la misma manera que en el caso anterior, a intervalos regulares de 5 min y a lo largo de un período de 150 min, se tomaran 10 granos a los que se les determinó la humedad mediante el método ya mencionado. Los resultados obtenidos (30 parejas de datos tiempo-humedad) fueron analizados mediante regresión lineal con la ayuda de la hoja de cálculo Excel. En este caso, se obtuvo un modelo de regresión para la etapa de secado denominada "período lineal de secado" y otra para la llamada "período de velocidad decreciente de secado", según el modelo propuesto por Geankoplis (2007).

Una vez deshidratado, el maíz nixtamalizado fue molido en un molino convencional de muelas de basalto, comúnmente conocido como molino de piedras. La harina obtenida fue tamizada a través de una malla 20 (850 μm de abertura) y en este caso fue necesario llevar a cabo una molienda

suplementaria a las partículas que tuvieron un tamaño superior a la abertura del tamiz, para garantizar una harina con tamaño de partícula máximo de 850 μm . La Figura 9 resume el proceso seguido en esta etapa.

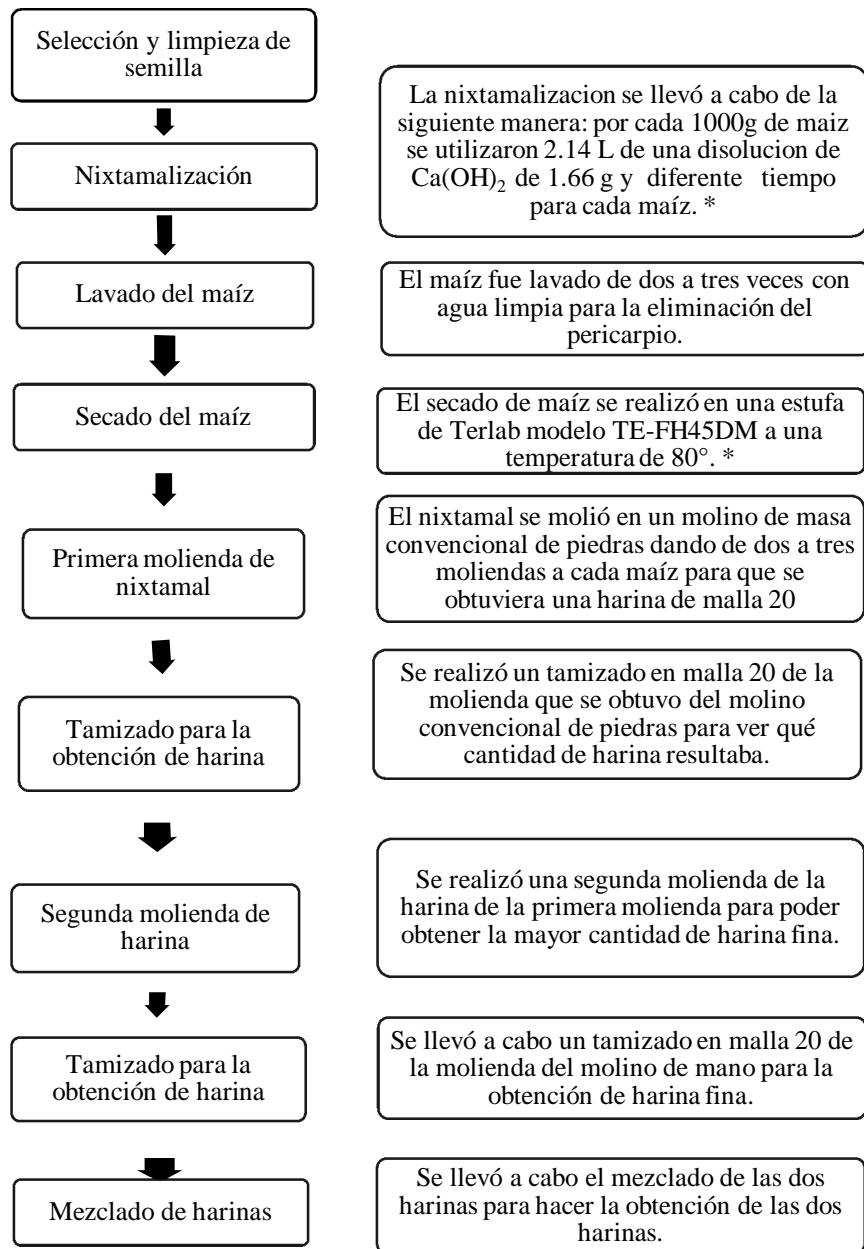


Figura 9. Obtención de harina.

6.4. Elaboración de tamales

Los tamales fueron elaborados empleando una formulación y metodología tradicional, descrita por Novo, (1967). Puesto que en este trabajo se pretendió evaluar el efecto de la proporción de amilosa y amilopectina, que en términos de la hipótesis planteada depende de la raza de maíz usada, se estableció un diseño experimental de mezclas en el que los componentes fueron las razas de maíz Cachuacintle, Palomero toluqueño y Blanco criollo. El Cuadro 4 muestra este diseño experimental como de porcentaje de cada maíz en la mezcla. El arreglo de este diseño es un Simplex centrado aumentado, de acuerdo con la terminología reportada por Cornell (1990).

Cuadro 4. Proporción (en %) de cada harina de maíz para la elaboración de los tamales.

| Unidad Experimental | Cachuacintle | Palomero | Blanco |
|---------------------|--------------|----------|--------|
| 1 | 100 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 100 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 100 |
| 4 | 50 | 50 | 0 |
| 5 | 50 | 0 | 50 |
| 6 | 0 | 50 | 50 |
| 7 | 33.33 | 33.33 | 33.33 |
| 8 | 66.67 | 16.67 | 16.67 |
| 9 | 16.67 | 66.67 | 16.67 |
| 10 | 16.67 | 16.67 | 66.67 |

Como se observa en el Cuadro 4, las unidades experimentales (UE) 1, 2 y 3 corresponden a las mezclas unitarias, a partir de las cuales se podrá verificar el efecto de cada una de las razas de maíz como ingrediente único. Las tres siguientes 4, 5 y 6 corresponden a mezclas binarias y las cuatro últimas 7, 8, 9 y 10 a las mezclas de los tres tipos de grano (ternarias). Como, en principio, cada grano tiene una cantidad de amilosa y amilopectina que le es característica, las mezclas nos permitirán verificar los efectos de las diversas proporciones que se obtienen sobre las propiedades de textura de los tamales. La mezcla unitaria de maíz blanco criollo (UE 3) representa el testigo, puesto que tradicionalmente se elaboran los tamales con este tipo de maíz.

En el recuadro siguiente se describe la metodología propuesta por Novo (1967) para la elaboración de los tamales.

Ingredientes:

500 g de harina de maíz
130 g de manteca de cerdo
9.7 g de sal
1.6 g de bicarbonato de sodio
280 g de agua
Hojas de maíz remojadas y bien escurridas, las necesarias.

Procedimiento:

Crema la manteca (manteca de cerdo TIF Marca ðPepe Fileteö). Utilizando la herramienta de globo de una batidora (Kitchenand modelo KSM150PSWH) y empleando las velocidades y los tiempos que a continuación se describen se garantiza un cremado adecuado de la grasa:

5 minutos a 135 RPM (Velocidad 4)
5 minutos a 225 RPM (Velocidad 8)
4 minutos) a 280 RPM (Velocidad 10)
4 minutos a 180 RPM (Velocidad 6)

Incorporación de los ingredientes restantes (utilizar la herramienta de espiral a velocidad 2: 95 RPM) y agregar agua poco a poco.

Una vez incorporada el agua, mezclar todos los ingredientes durante 5 minutos a velocidad 6: 180 RPM
Elaborar tamales de 80 g cada uno

Cocción de tamales: 120 min en vaporera a temperatura de ebullición del agua (94 °C)

6.5. Evaluación de la textura de los tamales

La evaluación de la textura de los tamales se llevó a cabo con la ayuda de un texturómetro modelo TAXT Plus (Texture Analyser. Stable Micro Systems, Surrey, UK) utilizando una probeta de aluminio cilíndrica de 2.54 cm de diámetro (clave: SMS P/25).

Los tamales recién elaborados se dejaron reposar durante 30 minutos para que alcanzaran la temperatura ambiente. Además, con el fin de verificar el endurecimiento de los tamales tras un almacenamiento de 24 h, una muestra de 5 de ellos se mantuvo en refrigeración a 4 °C durante este tiempo; posteriormente se calentaron durante 30 min y se dejaron en reposo de la misma manera que los anteriores. Para cada uno de los tamales se obtuvo un perfil de textura (TPA a compresión) bajo la metodología propuesta por Díaz-Ramírez *et al.* (2016) adaptándola a este tipo de productos. En los párrafos siguiente se definen sucintamente las variables respuesta de textura y un posible perfil de textura se observa en la Figura 10.

Se utilizó un programa donde se emplearon, las siguientes condiciones de calibración del texturómetro: velocidad Pre-test: 1 mm/s, velocidad Test: 1 mm/s, velocidad Post-test 5 mm/s, Target mode distance: 10 mm. El tamales se colocaron sobre una placa metálica con el fin de que la probeta cilíndrica SMS P/25, midiera el TPA con las siguientes variables:

Dureza: Fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares. El primer pico del TPA (N).

Elasticidad: Extensión a la que un alimento comprimido retorna a su tamaño original cuando se retira la fuerza ($D2/D1=M$, adimensional, ver Figura 10).

Adhesividad: El trabajo requerido para retirar el alimento de la superficie ($Kg\ m^{-2}\ s^{-2}$).

Cohesividad: La fuerza que los enlaces internos hacen sobre el alimento ($\text{Área2}/\text{Área1}$, adimensional, ver Figura 10).

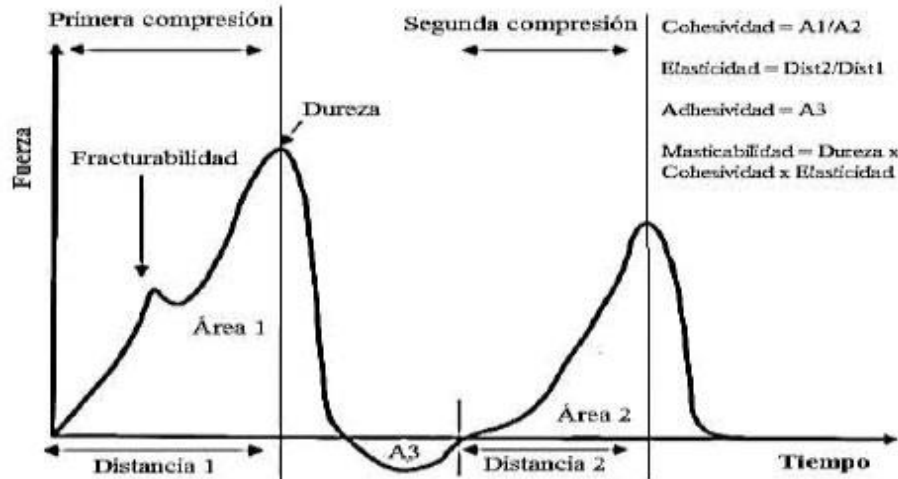


Figura 10. Perfil de textura típico (Mochizuki, 2001).

6.6. Análisis estadístico de resultados

Las UE del diseño experimental descrito en el Cuadro 4 se llevaron a cabo por triplicado. Para las variables respuesta del punto 6.1 *o* Evaluación del contenido de almidón y de sus fracciones de amilosa y amilopectina de las razas de maíz blanco, palomero toluqueño y cacahuacintle *o* de esta metodología (concentración de almidón, amilosa y amilopectina, en g/100 g de maíz) se utilizó un diseño completamente al azar en el que cada tratamiento es una raza de maíz. El análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey fueron los análisis de base.

Para el caso del punto 6.2 *o* Nixtamalización de las muestras de maíz *o* y 6.3 *o* Secado y molienda del maíz nixtamalizado *o* se estableció una relación entre el tiempo de nixtamalización o secado y la cantidad de humedad adsorbida por el grano, entonces el análisis de base consistió en un análisis de regresión de los diversos tiempos de nixtamalización y secado (cada 5 min) y su consecuente humedad adsorbida o retenida.

Para el punto 6.5 *o* Evaluación de la textura de los tamales *o* se elaboró el análisis de varianza para un diseño experimental de mezclas, de cada una de las variables del TPA, tal como se presentó en el Cuadro 4. La metodología para ese tipo de análisis particular ha sido descrita a detalle por Montgomery (2009).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Tiempo de nixtamalización de las tres razas de maíz

En este trabajo se estableció la relación entre el tiempo de nixtamalización y la imbibición de agua de las tres razas de maíz, con el propósito de determinar el tiempo óptimo de este tratamiento. La Figura 11 muestra esta relación y el Cuadro 5, los respectivos modelos de regresión derivados. Como se puede observar en esta figura, la adsorción de agua por el grano de maíz es proporcional al tiempo de nixtamalización, es decir que a mayor tiempo de nixtamalización, mayor adsorción de agua. Las pendientes de las rectas de regresión derivadas (Cuadro 5) permiten definir la velocidad de adsorción de agua de los maíces durante el proceso de nixtamalización. Así, se observa que el maíz blanco adsorbió 0.332 g de agua (por cada 100 g de maíz) por cada minuto de cocción alcalina, le siguen el cacahuacintle y el palomero cuyas velocidades de adsorción fueron más rápidas y estadísticamente similares.

De acuerdo con Salinas-Moreno y Aguilar Modesto (2010) y con Rangel-Meza, *et al.* (2004) la nixtamalización permite una pregelatinización de los almidones, se elimina el exceso de pericarpio del grano y se hacen disponibles algunas vitaminas y aminoácidos esenciales. Además, según Figueroa-Cárdenas *et al.* (2013) en la elaboración de los tamales, esta etapa es indispensable y se lleva a cabo de manera tradicional. El tiempo de nixtamalización, a la temperatura de ebullición de una solución acuosa saturada de hidróxido de calcio, depende sobre todo de la dureza del grano y de su capacidad de adsorción de agua. Es posible, entonces, que debido a las diferencias de dureza entre los granos el comportamiento de nixtamalización haya sido diferente.

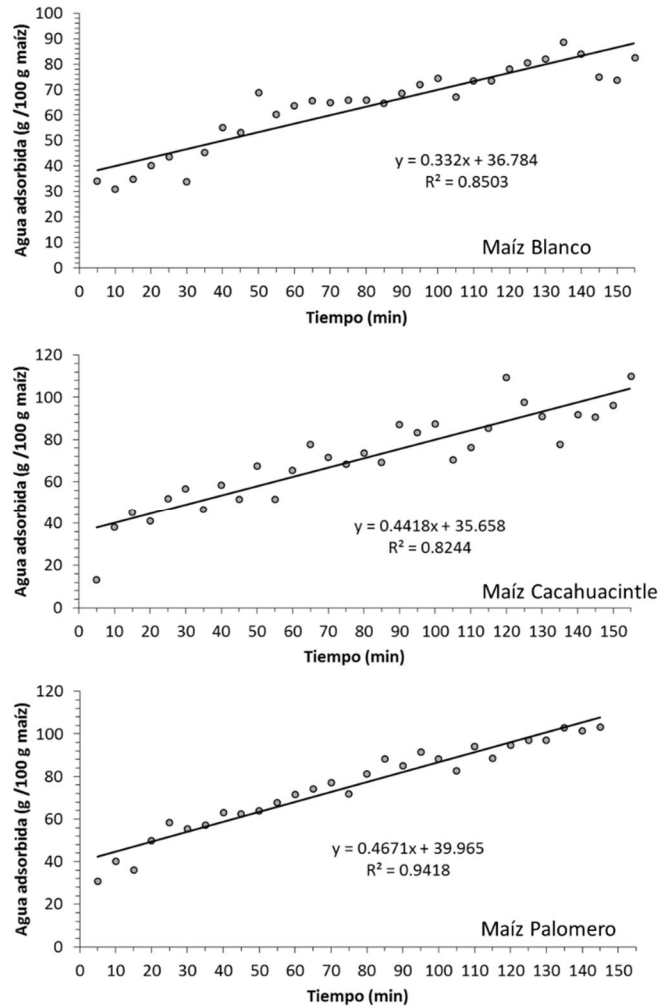


Figura 11. Valores observados y ecuaciones de regresión para la imbibición de las tres razas de maíz.

Cuadro 5. Ecuaciones de regresión para la imbibición de las tres razas de maíz.

| Raza de Maíz | Pendiente | Intersección | R ² | Tiempo* (min) |
|---------------|--------------------|---------------------|----------------|---------------|
| Blanco | 0.332 ^A | 36.784 ^B | 0.850 | 39.81 |
| Cacahuacintle | 0.442 ^B | 35.658 ^A | 0.824 | 32.46 |
| Palomero | 0.467 ^B | 39.965 ^C | 0.942 | 21.48 |

*Tiempo para lograr una imbibición de 50 g de H₂O /100 g de maíz.

La mayor velocidad de adsorción de agua de los maíces cacahuacintle y palomero se puede explicar de acuerdo con lo siguiente: Salinas-Moreno y Aguilar Modesto (2010), citando a diversos autores, reportaron que los maíces de endospermo suave se hidratan mejor que los duros durante la nixtamalización debido a que los gránulos de almidón son más fácilmente alcanzados por el agua, por tener menor cantidad de cuerpos de zeína circundándolos que aquéllos de endospermo duro. Estos autores mencionaron también que, en relación con su dureza, los maíces Blanco y Cacahuacintle se consideran como intermedio y suave-harinoso, respectivamente. Por su parte, Figueroa-Cárdenas *et al.* (2013) reportaron que los maíces, como el palomero, que es de tipo reventador, pertenecen al conjunto de razas Mestizas-Prehistóricas que se caracterizan por una alta dureza y cristalinidad y alta capacidad de adsorción de agua. Así, de acuerdo con estos autores, mientras que el cacahuacintle puede adsorber cerca de 1.19 g de agua/g de harina de maíz, el palomero puede retener hasta 1.45 g. En este sentido, el coeficiente de intersección de las ecuaciones de regresión del Cuadro 5 puede indicar esta propiedad del grano: a tiempo igual a cero (mejor dicho, en el momento que inicia la ebullición de la solución acuosa de hidróxido de Calcio), el maíz palomero ha adsorbido cerca de 40 g de agua/100 g de maíz, mientras que el cacahuacintle aproximadamente de 36 g.

Utilizando las ecuaciones del Cuadro 5 se determinó un tiempo óptimo de nixtamalización como aquél en el que la adsorción de agua haya sido de 50 g/100g de maíz. En el caso del maíz blanco, resultó de cerca de 40 min, en el cacahuacintle aproximadamente 32.5 min y el palomero, 21.5 min. El ejemplo numérico siguiente ilustra la obtención de este dato para el maíz blanco:

$$\text{Tiempo} = (50 - 36.784) / 0.332 = 39.81 \text{ min}$$

7.2. Cinéticas de secado del maíz nixtamalizado

De acuerdo con la metodología tradicional de elaboración de los tamales en el altiplano mexicano, una vez que el maíz se ha nixtamalizado, es necesario secar el grano con el fin de reservarlo para la futura elaboración de estos productos alimenticios o bien para formularlos adecuadamente. Esto sugiere la necesidad de estudiar este proceso a fin de proponer un tiempo óptimo de secado. La Figura 12 muestra las cinéticas de secado, por medio de una corriente de aire a 80 °C, de los maíces empleados en este estudio y el Cuadro 6 los modelos de regresión derivados de estas cinéticas.

Como se puede observar, a través del tiempo, el grano va perdiendo humedad de una manera lineal, con una velocidad o pendiente determinada, hasta un punto de quiebre en el que ésta disminuye significativamente. A partir de este momento, ocurre una nueva pérdida lineal de humedad, pero a una velocidad significativamente más baja. Esto se comprueba con el análisis de regresión, del cual se obtuvieron dos rectas que se intersectan en un punto.

De acuerdo con Geankoplis (2007), a la primera etapa de secado en donde la pendiente de la recta es mayor, se le conoce como período lineal de secado y la etapa siguiente, en donde la pendiente disminuye significativamente, se le conoce como período de velocidad decreciente de secado. En esta última etapa, el gasto de energía para continuar secando el producto es más elevado, en relación con la baja pérdida de humedad que se logra obtener. La intersección de las dos rectas representa la humedad crítica, a partir de la cual la pérdida subsiguiente va a ser muy lenta, y el tiempo crítico necesario para lograr a esta humedad. Este punto crítico, por lo tanto, representa el tiempo óptimo de secado y la humedad a la que se llega tras este tiempo a la temperatura elegida para deshidratar el producto alimenticio.

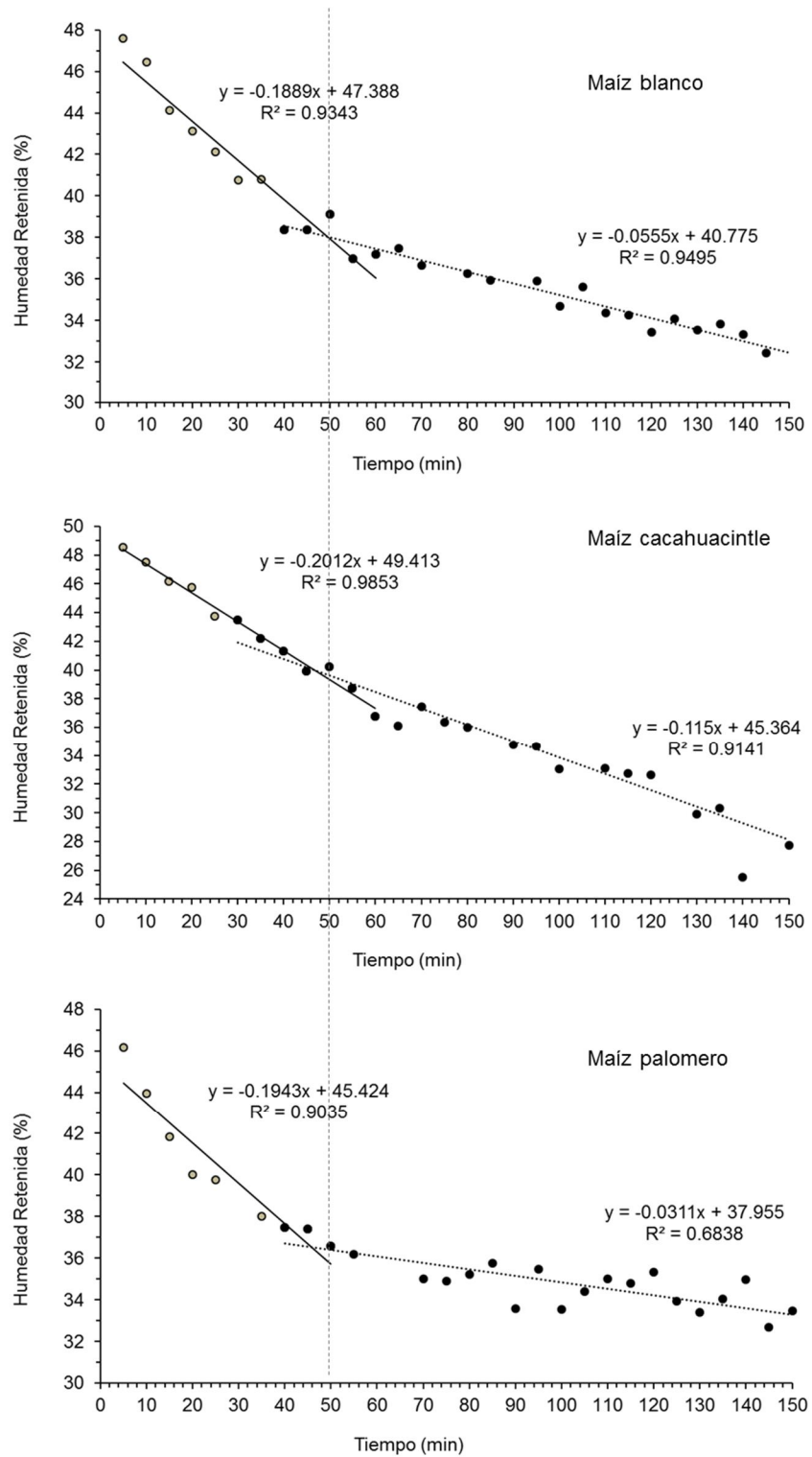


Figura 12. Cinéticas de secado de las tres razas de maíz nixtamalizado a con una corriente de aire a 80 °C.

Cuadro 6. Ecuaciones de regresión para la cinética de secado de las tres razas de maíz nixtamalizado.

| Coeficiente | Blanco | | Cacahuacintle | | Palomero | |
|----------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|
| | Período Lineal | Período Decreciente | Período Lineal | Período Decreciente | Período Lineal | Período Decreciente |
| Intersección | 47.388 | 40.755 | 49.413 | 45.364 | 45.424 | 37.955 |
| Pendiente | -0.189 | -0.056 | -0.201 | -0.115 | -0.194 | -0.031 |
| R ² | 0.934 | 0.950 | 0.985 | 0.914 | 0.904 | 68.380 |

El punto de intersección de las dos rectas de regresión de cada raza de maíz, que representa el tiempo y la humedad crítica se reporta en el Cuadro 7. En general, el tiempo de secado se aproximó a los 50 min y, de acuerdo con la diferencia mínima significativa (DMS) que fue de 4.1 min, no hubo diferencias significativas entre maíces. Las humedades críticas oscilaron entre 38 y 40 % y entre maíces tampoco hubo diferencias significativas puesto que la DMS fue de 2.2 %. En el ejemplo numérico siguiente se observa cómo se obtuvieron los datos del Cuadro 7 para el maíz blanco.

Cuadro 7. Tiempo y humedades críticos del secado de maíz nixtamalizado.

| Parámetros de secado | Raza de Maíz | | | DMS |
|----------------------|--------------|---------------|----------|-----|
| | Blanco | Cacahuacintle | Palomero | |
| Tiempo crítico (min) | 49.9 | 47.0 | 45.8 | 4.1 |
| Humedad crítica (%) | 38.00 | 39.96 | 40.10 | 2.2 |

En el punto de intersección, la humedad crítica del maíz blanco (HC_B) queda expresada por las dos siguientes ecuaciones (ver datos en el Cuadro 6):

$$HC_B = 47.388 - 0.189T_c$$

$$HC_B = 40.755 - 0.056T_c$$

Igualando estas dos ecuaciones se tiene que el tiempo crítico (T_c) es igual a:

$$47.388 - 0.189T_c = 40.755 - 0.056T_c$$

$$(47.388 - 40.755) / (0.189 - 0.056) = T_c$$

$$49.9 = T_c$$

7.3. Efecto de la proporción de las tres razas de maíz en las mezclas sobre las propiedades de textura de los tamales

En la Figura 13 se observa el perfil de textura típico de los tamales que fue obtenido en este trabajo. La probeta cilíndrica de 2.54 cm de diámetro que se utilizó para este análisis penetró en la masa de estos productos 10 mm en dos ocasiones, con un período de recuperación de 5 s entre cada ocasión. Como consecuencia, se obtuvieron dos picos positivos que constituyen la fuerza con la que la masa de los tamales se opone a la penetración del cilindro y dos picos negativos, relativamente pequeños, que representan la fuerza que impide que el cilindro salga de la masa. El pico 1 significa la dureza de los tamales, que en general se manifestó algunos segundos antes de que el cilindro comenzara la carrera de regreso después de haber penetrado 10 mm en la masa del tamal, y el pico 3 representa su adhesividad. El área bajo la curva de los picos 1 y 2 permitió calcular la cohesividad como una variable que significa cuánto se recupera el producto después de haber sido penetrado por primera vez. El perfil mostrado en la Figura 13 es el más común en los tamales elaborados con los diferentes maíces, lo que cambia según la proporción de cada uno de ellos son las alturas de los picos y el valor de las áreas.

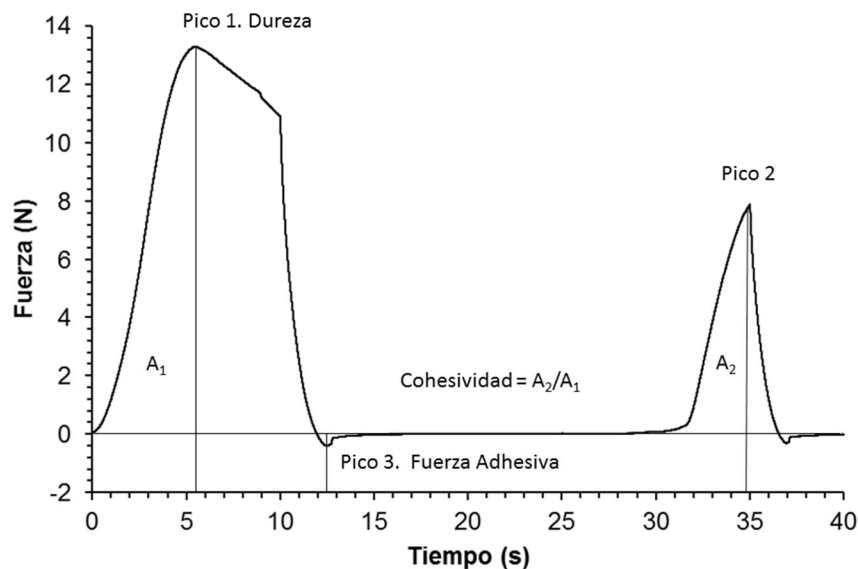


Figura 13. Perfil de textura típico de los tamales (Elaboración propia).

El Cuadro 8 muestra las variables fundamentales del perfil de textura de los tamales elaborados con las tres razas de maíz y el Cuadro 9, su respectiva desviación estándar. En cada fila se observa el valor promedio obtenido de dureza, adhesividad y cohesividad según la mezcla de maíces blanco, cacahuacintle y palomero.

Cuadro 8. Valores promedio de las variables del perfil de textura de tamales elaborados con diversas mezclas de maíces.

| B ¹ | Maíz | | Dureza | | Adhesividad | | Cohesividad | | Endurecimiento |
|----------------|-------|-------|--------|-------|-------------|------|-------------|------|----------------|
| | C | P | Fresco | Frío | Fresco | Frío | Fresco | Frío | |
| 100 | 0 | 0 | 19.60 | 25.21 | 0.06 | 0.08 | 0.72 | 0.69 | 5.61 |
| 0 | 100 | 0 | 12.61 | 17.02 | 0.25 | 0.26 | 1.01 | 0.88 | 4.41 |
| 0 | 0 | 100 | 12.31 | 17.52 | 0.11 | 0.20 | 0.74 | 0.81 | 5.20 |
| 50 | 50 | 0 | 7.56 | 15.44 | 0.19 | 0.19 | 0.96 | 0.78 | 7.88 |
| 50 | 0 | 50 | 12.60 | 12.63 | 0.12 | 0.21 | 0.78 | 0.77 | 0.03 |
| 0 | 50 | 50 | 10.70 | 16.87 | 0.18 | 0.16 | 0.83 | 1.05 | 6.17 |
| 33.33 | 33.33 | 33.33 | 10.63 | 19.95 | 0.19 | 0.26 | 0.86 | 0.88 | 9.32 |
| 66.67 | 16.67 | 16.67 | 16.71 | 21.71 | 0.06 | 0.06 | 0.74 | 0.67 | 5.01 |
| 16.67 | 66.67 | 16.67 | 9.05 | 13.52 | 0.24 | 0.27 | 0.92 | 1.05 | 4.47 |
| 16.67 | 16.67 | 66.67 | 14.38 | 25.96 | 0.08 | 0.11 | 0.75 | 0.59 | 11.59 |

¹. B: Blanco, C: Cacahuacintle, P: Palomero.

Cuadro 9. Desviación estándar de las variables del perfil de textura de tamales elaborados con diversas mezclas de maíces.

| B ¹ | Maíz | | Dureza | | Adhesividad | | Cohesividad | | Endurecimiento |
|----------------|-------|-------|--------|------|-------------|------|-------------|------|----------------|
| | C | P | Fresco | Frío | Fresco | Frío | Fresco | Frío | |
| 100 | 0 | 0 | 2.21 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.14 | 2.55 | 2.21 |
| 0 | 100 | 0 | 0.58 | 0.15 | 0.07 | 0.10 | 0.09 | 0.96 | 0.58 |
| 0 | 0 | 100 | 1.57 | 0.07 | 0.13 | 0.08 | 0.21 | 2.16 | 1.57 |
| 50 | 50 | 0 | 1.39 | 0.03 | 0.08 | 0.11 | 0.08 | 1.86 | 1.39 |
| 50 | 0 | 50 | 1.51 | 0.03 | 0.07 | 0.09 | 0.04 | 2.53 | 1.51 |
| 0 | 50 | 50 | 0.60 | 0.09 | 0.04 | 0.16 | 0.07 | 0.72 | 0.60 |
| 33.33 | 33.33 | 33.33 | 1.82 | 0.07 | 0.07 | 0.03 | 0.08 | 2.97 | 1.82 |
| 66.67 | 16.67 | 16.67 | 0.66 | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 0.07 | 1.10 | 0.66 |
| 16.67 | 66.67 | 16.67 | 0.69 | 0.06 | 0.04 | 0.16 | 0.15 | 1.61 | 0.69 |
| 16.67 | 16.67 | 66.67 | 0.86 | 0.02 | 0.05 | 0.07 | 0.14 | 2.75 | 0.86 |

¹. B: Blanco, C: Cacahuacintle, P: Palomero.

Los tamales obtenidos con las diferentes mezclas fueron analizados media hora después (fresco) así como 24 horas después de haber sido elaborados (frío) y la diferencia entre la dureza en fresco y en frío se consideró como el endurecimiento de este producto alimenticio. La dureza es la única variable dimensional del perfil de textura y sus valores están expresados en Newtons (N), por lo que el endurecimiento también está expresado en esta unidad de fuerza.

El análisis de los resultados mostrados en los Cuadros 8 y 9, es decir la verificación del efecto de las mezclas sobre el perfil de textura de los tamales, se definió con los coeficientes del modelo de mezclas que se reportaron en los Cuadro 10 y 11 y con el análisis de varianza reportado en el anexo 2 de este trabajo. El Cuadro 10 muestra la contribución de cada mezcla al perfil de textura de los tamales; así por ejemplo, los tamales elaborados solamente con maíz blanco presentaron en promedio una dureza en fresco de 20.30 N, mientras que en frío ésta aumentó a 25.44 N. En cambio, aquellos tamales que fueron elaborados únicamente con maíz cacahuacintle presentaron la menor dureza: 12.03 N recién elaborados y 15.38 N una vez que fueron almacenados durante 24 h.

Las mezclas binarias (sólo dos maíces) produjeron un efecto perjudicial en la dureza de los tamales. A manera de ejemplo, en el Cuadro 10 se puede ver que una mezcla formada por maíz blanco y cacahuacintle (en notación fraccionaria: 0.5 y 0.5, respectivamente, lo que significa 50% de cada uno de estos dos maíces en la mezcla) presenta en promedio 7.68 N de dureza:

$$D_{\text{binaria}} = 20.30x_b + 12.03x_c - 33.93x_b x_c$$

Donde $x_b = x_c = 0.5$, fracción de maíz blanco y cacahuacintle en la mezcla, respectivamente.

$$\text{Dureza} = 20.30*0.5 + 12.03*0.5 - 33.93* 0.5 *0.5 = 7.68 \text{ N.}$$

Esto significa que si en promedio la dureza que aporta el maíz blanco y cacahuacintle, como únicos componentes de la mezcla fue de 16.17 N, la mezcla de ambos maíces produce una disminución de esta variable de textura de 8.48 N, quedando en 7.68 N la dureza final de los tamales. En cambio, las mezclas ternarias (en donde se encuentran los tres maíces) produjeron un efecto altamente benéfico en la dureza, en el sentido de que el coeficiente fue de 84.62 N

Cuadro 10. Coeficientes del modelo de mezclas para la textura de tamales y coeficiente de determinación (R^2).

| Coeficiente | Dureza (N) | | Adhesividad | | Cohesividad | | Endurecimiento |
|-----------------|------------|----------|-------------|---------|-------------|---------|----------------|
| | Fresco | Frío | Fresco | Frío | Fresco | Frío | |
| A:Blanco | 20.30** | 25.44** | 0.04** | 0.05** | 0.71** | 0.68** | 5.14** |
| B:Cacahuacintle | 12.03** | 15.38** | 0.26** | 0.28** | 1.02** | 0.93** | 3.35** |
| C:Palomero | 12.76** | 19.48** | 0.10** | 0.18** | 0.73** | 0.75** | 6.72** |
| AB | -33.93** | -25.52** | 0.14NS | 0.10NS | 0.34NS | 0.07NS | 8.42** |
| AC | -11.14* | -30.53** | 0.11NS | 0.22NS | 0.15NS | -0.08NS | -19.39* |
| BC | -7.29NS | -0.93NS | -0.01NS | -0.26NS | -0.17NS | 0.78NS | 6.36NS |
| ABC | 84.62* | 212.12** | -0.18NS | 0.51NS | -0.94NS | -1.76NS | 127.49* |
| R^2 | 77.19 | 56.54 | 49.80 | 37.24 | 56.68 | 39.36 | 44.70 |

** : Significativo a un nivel de confianza igual o mayor a 99%.

* : Significativo a un nivel de confianza igual o mayor a 95%.

NS: No significativo.

Cuadro 11. Errores estándar del modelo de mezclas para la textura de tamales.

| Coeficiente | Dureza | | Adhesividad | | Cohesividad | | Endurecimiento |
|-----------------|--------|-------|-------------|------|-------------|------|----------------|
| | Fresco | Frío | Fresco | Frío | Fresco | Frío | |
| A:Blanco | 0.95 | 1.65 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.08 | 1.44 |
| B:Cacahuacintle | 0.95 | 1.65 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.08 | 1.44 |
| C:Palomero | 0.95 | 1.65 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.08 | 1.44 |
| AB | 4.78 | 8.29 | 0.18 | 0.21 | 0.24 | 0.38 | 7.24 |
| AC | 4.78 | 8.29 | 0.18 | 0.21 | 0.24 | 0.38 | 7.24 |
| BC | 4.78 | 8.29 | 0.18 | 0.21 | 0.24 | 0.38 | 7.24 |
| ABC | 31.50 | 54.67 | 1.18 | 1.38 | 1.60 | 2.53 | 47.71 |

Todas las mezclas, y particularmente las unitarias, produjeron un endurecimiento significativo de los tamales después de 24 h de reposo. Los tamales elaborados con maíz blanco produjeron el mayor endurecimiento, mientras que aquéllos elaborados con cacahuacintle obtuvieron el menor (5.61 y 4.41 N según el Cuadro 8, lo que representa 28 y 35%, respectivamente). La mezcla binaria blanco-cacahuacintle, así como la ternaria donde predomina el palomero produjo tamales que pueden llegar a endurecer hasta 100% de su valor de dureza inicial, mientras que las mezclas blanco-palomero redujeron esta variable. Esto se debe, posiblemente a fenómenos de

retrogradación de los almidones y a una deshidratación de los tamales en el medio refrigerado (Antuna-Grijalva *et al.*, 2008; Rangel-Meza *et al.*, 2004).

El efecto de las mezclas binarias y ternarias sobre la adhesividad y la cohesividad resultó no significativo. Esto quiere decir que cuando se agrega a uno de los tres maíces una fracción de cualquiera de los otros no se modificará significativamente el valor de estas variables de textura de los tamales obtenidos. En el Cuadro 10 se puede observar que el maíz cacahuacintle incrementa de manera significativa la adhesividad y cohesividad de los tamales puesto que los coeficientes, en el caso de los tamales frescos, fueron 0.04 y 0.71, 0.26 y 1.02, y 0.10 y 0.73, para los tamales elaborados con maíz blanco, cacahuacintle y palomero, respectivamente.

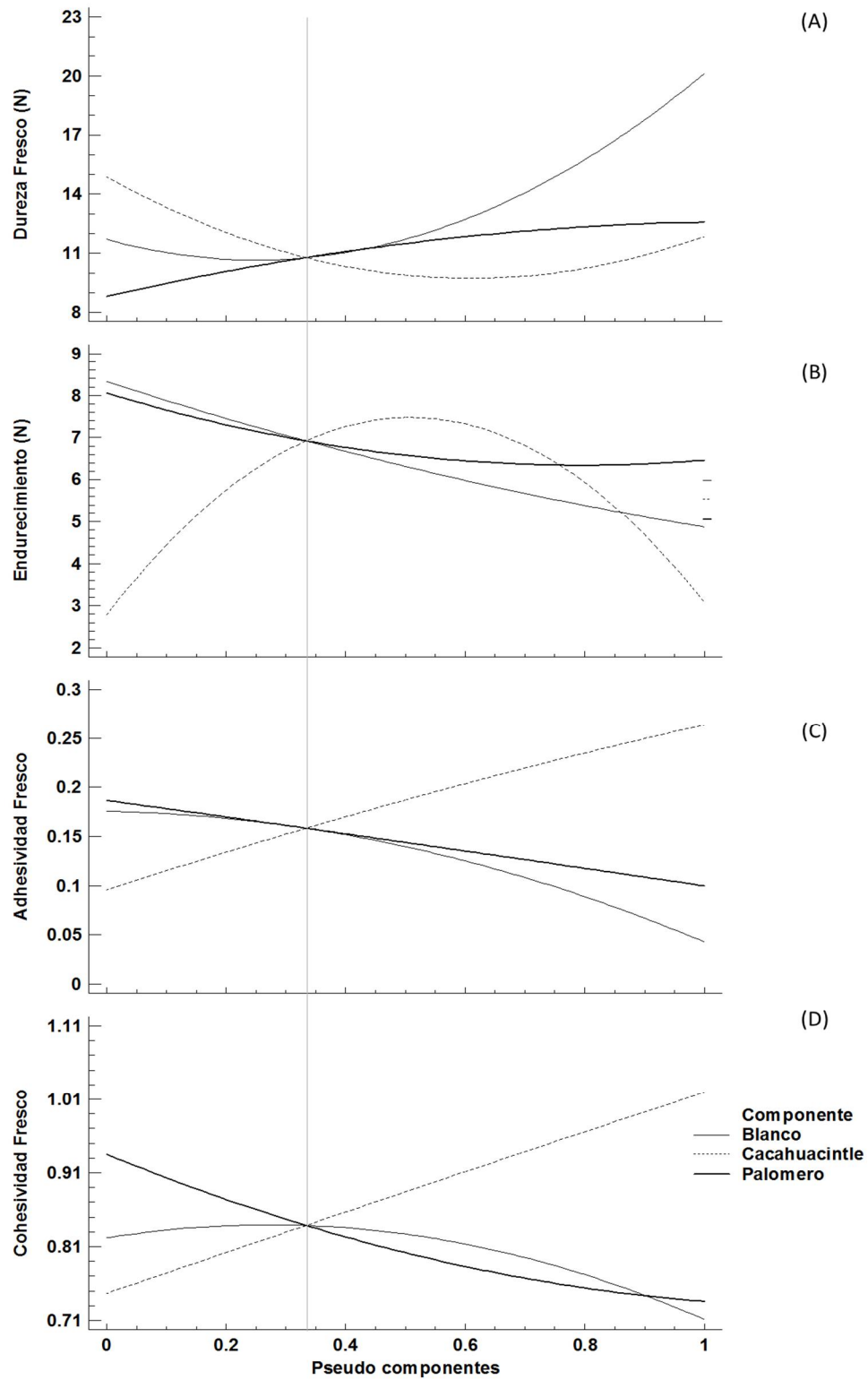


Figura 14. Efecto individual de las tres razas de maíz sobre el perfil de textura de los tamales.

7.4. Efecto de la proporción de almidón y sus componentes en las mezclas de maíz sobre las propiedades de textura de los tamales

La cuantificación del almidón y sus componentes, amilosa y amilopectina, de las tres razas de maíz permitió contrastar la hipótesis de trabajo según la cual la textura de los tamales depende de la cantidad de almidón de las mezclas de maíz así como de su proporción de amilosa y amilopectina. El Cuadro 12 muestra estos resultados, seguidos del contenido de grasa y humedad de cada maíz (los cuales tuvieron la utilidad para calcular el porcentaje de almidón y sus fracciones). Las curvas patrón necesarias para calcular el contenido de almidón y sus fracciones se reportaron en el Anexo 1. Además, el contenido de amilopectina se obtuvo por la diferencia entre el contenido de almidón menos el contenido de amilosa. Como se puede observar, el maíz cacahuacintle presentó el mayor contenido de almidón y de amilosa y las razas blanco y palomero, quizás por poseer un mismo nivel de cristalinidad, presentaron un valor ligeramente menor, aunque significativo, de estos componentes.

Cuadro 12. Humedad, extracto etéreo, almidón y su composición en las tres razas de maíz en g/100 g de maíz (valores promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar).

| Maíz | Humedad | Extracto etéreo | Almidón | Amilosa | Amilopectina |
|---------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|
| Blanco | 8.93 \pm 0.71 | 6.21 \pm 0.59 | 70.00 \pm 0.82 ^A | 20.02 \pm 0.30 ^A | 49.98 |
| Cacahuacintle | 9.66 \pm 0.97 | 6.23 \pm 1.37 | 74.30 \pm 9.80 ^B | 21.12 \pm 2.70 ^B | 53.18 |
| Palomero | 9.91 \pm 1.19 | 7.42 \pm 1.04 | 70.21 \pm 5.12 ^A | 19.96 \pm 1.24 ^A | 50.25 |

Mediante los datos del almidón reportados en el Cuadro 12 se obtuvieron las proporciones mostradas en el Cuadro 13, con el fin de contrastarlas con las propiedades de textura de los tamales. Este contraste se obtuvo a través de un análisis de regresión entre la concentración de almidón y sus componentes de cada mezcla y sus respectivas propiedades de textura promedio. Las rectas de regresión y sus respectivas ecuaciones se reportan en las Figuras 15 y 16.

Cuadro 13. Contenido y composición del almidón y propiedades de textura de las mezclas de maíz.

| Maíz | | | Amilosa | Amilo-pectina | Almidón | Textura (Fresco) | | |
|------|------|------|----------------|---------------|---------|------------------|-----------------|-------------|
| B | C | P | (g/100 g maíz) | | | Dureza (N) | Adhesividad (N) | Cohesividad |
| 0.25 | 0.50 | 0.25 | 20.56 | 51.65 | 72.20 | 11.08 | 0.18 | 0.87 |
| 0.00 | 1.00 | 0.00 | 21.12 | 53.18 | 74.30 | 12.03 | 0.26 | 1.02 |
| 0.00 | 0.00 | 1.00 | 19.96 | 50.25 | 70.21 | 12.76 | 0.10 | 0.73 |
| 0.50 | 0.50 | 0.00 | 20.57 | 51.58 | 72.15 | 7.68 | 0.19 | 0.95 |
| 0.50 | 0.00 | 0.50 | 19.99 | 50.11 | 70.10 | 13.74 | 0.10 | 0.76 |
| 0.00 | 0.50 | 0.50 | 20.54 | 51.71 | 72.25 | 10.57 | 0.18 | 0.83 |
| 0.33 | 0.33 | 0.33 | 20.37 | 51.13 | 71.49 | 12.34 | 0.15 | 0.82 |
| 0.67 | 0.17 | 0.17 | 20.20 | 50.56 | 70.76 | 14.02 | 0.11 | 0.80 |
| 0.17 | 0.67 | 0.17 | 20.75 | 52.16 | 72.91 | 10.21 | 0.21 | 0.92 |
| 0.17 | 0.17 | 0.67 | 20.17 | 50.70 | 70.86 | 12.47 | 0.13 | 0.77 |

I. B: Blanco, C: Cacahuacintle, P: Palomero.

De acuerdo con las Figuras 15 y 16, la dureza de los tamales no se explica por el contenido de almidón ni de amilosa en las mezclas. Aun cuando se observa un ligero decremento en esta propiedad de la textura con el incremento del contenido de amilosa y almidón, el coeficiente de determinación (R^2) de la recta de regresión resultó muy bajo y no significativo (alrededor de 27%). Estudios suplementarios son necesarios para determinar qué factores influyen en esta variable de textura. Por ejemplo, es posible que el tamaño de las partículas de la harina de maíz empleada para elaborar los tamales juegue un papel importante, es decir qué tan finamente se ha molido el grano nixtamalizado. Rangel-Meza *et al.* (2004) han avanzado en este aspecto, en el caso de las tortillas y Oates (1997), en el caso del pan con harina de trigo.

Por otro lado, la cantidad de almidón en la mezcla así como su contenido de amilosa provocan un efecto altamente significativo sobre la cohesividad y la adhesividad de los tamales. En todos los casos, el valor R^2 de las rectas de regresión resultó superior o igual a 88%, lo que sugiere que existe una relación lineal, directamente proporcional, entre el contenido de almidón y amilosa y la adhesividad y cohesividad de estos productos alimenticios. Esto significa, por ejemplo, que en el caso de la amilosa, por cada unidad de incremento de esta fracción del almidón se observó un aumento de 0.1484 N de la fuerza adhesiva de los tamales (Figura 15B) y un aumento de 0.2441 unidades de cohesividad.

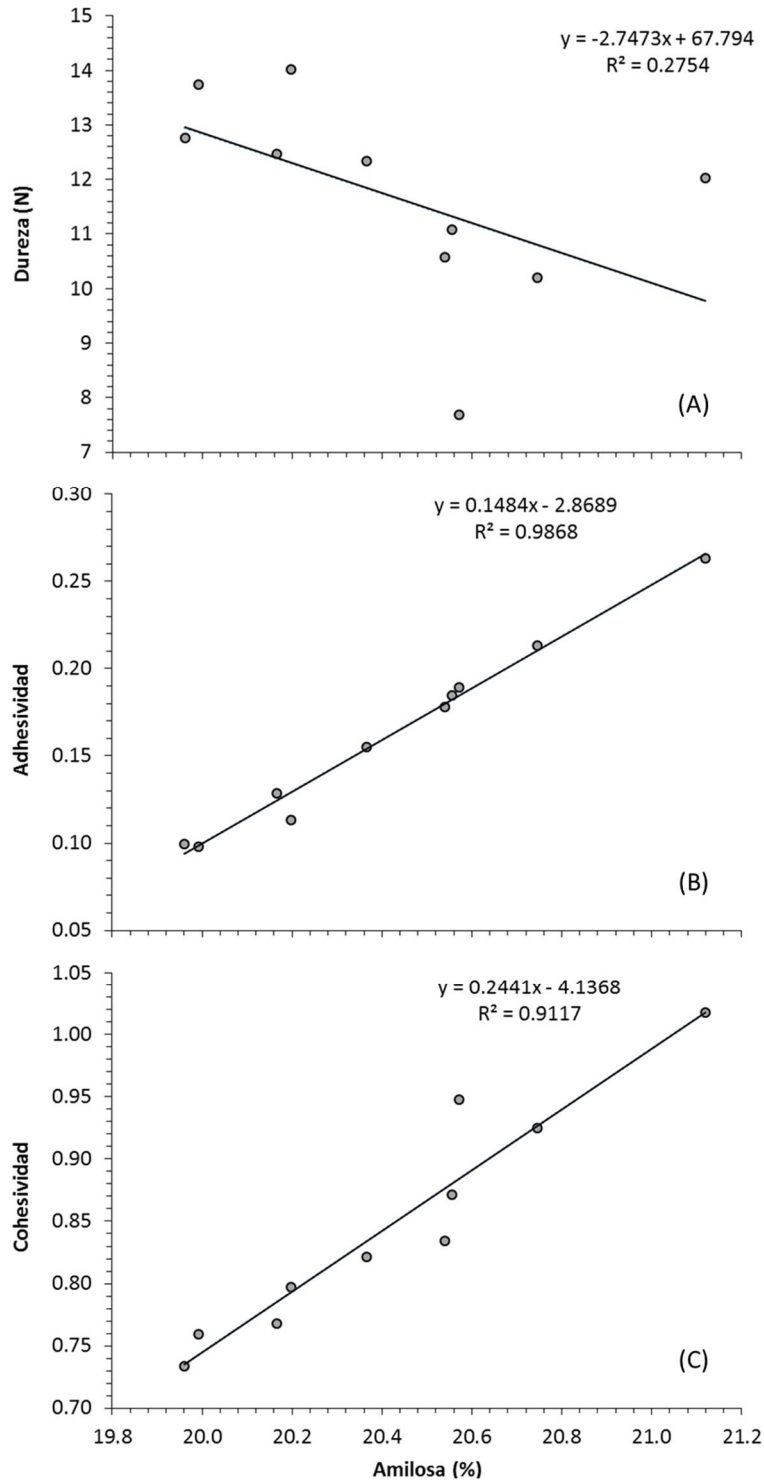


Figura 15. Efecto de la proporción de amilosa en las mezclas sobre las propiedades de textura de los tamales frescos.

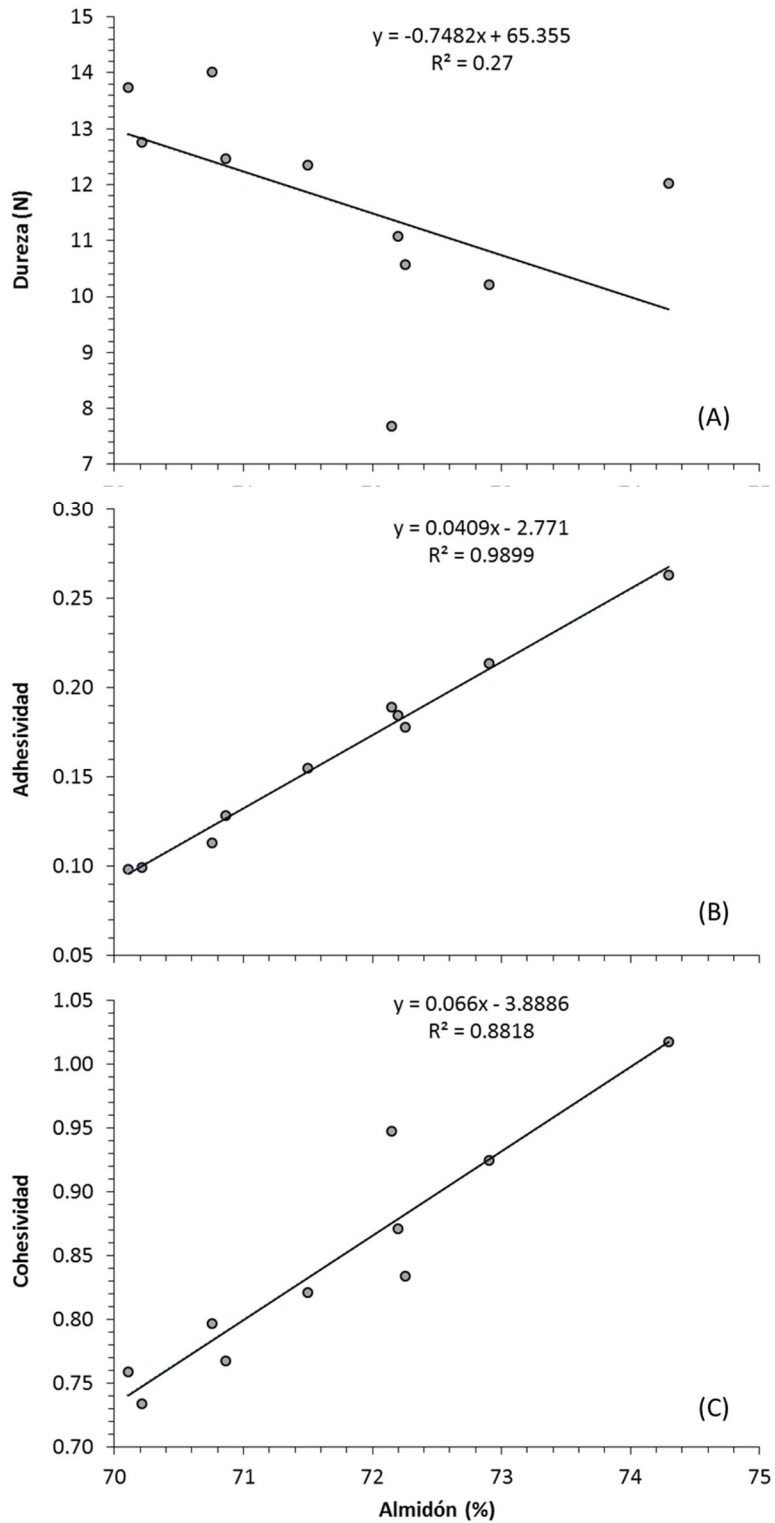


Figura 16. Efecto de la proporción de almidón en las mezclas sobre las propiedades de textura de los tamales frescos.

En el caso del almidón, su efecto sobre la adhesividad y cohesividad es menor (0.0409 y 0.0660, respectivamente), lo que sugiere que es la amilosa quien confiere estas propiedades de textura a los tamales.

VIII. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se evaluó el efecto de las razas de maíz blanco, cacahuacintle y palomero sobre el perfil de textura de tamales elaborados con diferentes mezclas de estos cereales. Asimismo se pretendió explicar la contribución del contenido de almidón, amilosa y amilopectina, de estos maíces, a las variaciones de dicho perfil de textura. Con base en los resultados de este trabajo, se concluye que el tiempo óptimo de nixtamalización fue de 40 min para el maíz blanco, de 32.5 min para el cacahuacintle y de 21.5 min para el palomero. El tiempo crítico de secado a 80° C de los nixtamales obtenidos fue de aproximadamente 50 min, con lo que se logró una humedad de entre 38 a 40%. El tiempo óptimo de nixtamalización y el tiempo crítico de secado permitieron obtener tamales con harinas de maíz nixtamalizadas estándar. Los tamales presentaron una dureza que va de los 7.5 a los 19.6 N y resultaron ligeramente adhesivos (0.06 a .24 N) y cohesivos (0.72 a 1.01). Todas las mezclas produjeron un endurecimiento significativo de los tamales después de 24 h de reposo. Mientras que el maíz blanco, de manera individual o mezclado, contribuye de manera significativa con la dureza de los tamales, el maíz cacahuacintle es el responsable de la adhesividad y de la cohesividad. La dureza de los tamales no se explicó por el porcentaje de almidón o sus fracciones en las mezclas de maíz. En cambio la cohesividad y la adhesividad resultaron directamente proporcionales a la concentración de almidón y de amilosa en tales mezclas.

XIX. BIBLIOGRAFÍA

1. Agama-Acevedo, E.; Ottenhof, M-A.; Farhat, I.A.; Paredes-López, O.; Ortiz-Cereceres, J.; Bello-Pérez, L.A. (2005). Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *Agrociencia*, 39, 419-429.
2. Antuna-Grijalva, O.; Rodríguez-Herrera, SA.; Arámbula-Villa, G.; Palomo-Gil, A.; Gutiérrez-Arías, E.; Espinosa-Banda, A.; Navarro-Orona, EF.; Andrio-Enríquez, E. (2008). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(3), 23-27.
3. Belitz, H.D.; Grosch, W. (1997). *Química de los Alimentos*. 2a Edición. Acribia España.
4. Bello-Pérez, L.A.; Paredes-López, O. (1999). El almidón lo conocemos pero no lo conocemos. *Ciencia*, 50:29-33.
5. Bernal, L.; Martínez, B.F. (2006). Una nueva visión de la degradación del almidón. *Revista del Centro de Investigación de la Universidad La Salle*, 7 (25), 77-90.
6. Bhattacharya, M.S.; Erazo-Castrejón, V.; Doehlert, D.C.; McMullen, M.S. (2002). Staling of bread as affected by waxy wheat flour blend. *Cereal Chemistry*, 79, 178-182.
7. Biliaderis, C.G. (1991). The structure and interactions of starch with food constituents. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 69, 60-78.
8. Buleon, A, Colonna, P, Planchot, V, y Balls, S. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 23, 85-112.
9. Centro de Vinculación con el Sector Productivo de la Universidad Nacional Autónoma de México. 2012. Tamalerías. Instituto Nacional de la Economía Social http://www.inaes.gob.mx/doctos/pdf/guia_empresa/tamalerias.pdf, 30-50.
10. Coe, S.D. (2004). *Las primeras cocinas de América*. Fondo de Cultura Económica. México. 373 pp.
11. CONABIO. (2011). Base de datos del proyecto global "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México" <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>, 1-25.
12. Cornell, J. A. (1990). *Experiments with mixtures. Designs, models and the analysis of mixture data*. 2nd Edition. John Wiley & Sons, Inc. USA.
13. Cowienson, A.J. (2005). Factors that affect the nutritional value of maize for broilers animal feed. *International Publisher of Science*, 119, 293-305.
14. De Baere, H. (1991). Starch policy in the european community. *Starch starke*, 51, 189-193.
15. Delville, J; Joly, C; Dole, P; Bliard, C. (2002). Solid state photocrosslinked starch bases films: a new of family of homogeneous modified starches. *Carbohydrate Polymers*, 49, 71-81.
16. Díaz-Ramírez, M; Calderón-Domínguez, G; Salgado-Cruz, M.P; Chanona-Pérez, J.J; Andraca-Adame, J.A; Ribotta P.D. (2016). Sponge cake microstructure, starch retrogradation and quality changes during frozen storage. *International Journal of Food Sciences and Technology*, 51, 1744-1753.
17. Figueroa Cárdenas, J.D.; Narváez González, D.E.; Mauricio Sánchez, A.; Suketoshi T.; Gaytán Martínez, M.; Véles Medina, J.J.; Rincón Sánchez, F.; Aragón Cuevas, F. (2013).

- Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36 (3-A): 305-314.
18. Figueroa-Cárdenas, J., Véles-Medina, J.J., Esquivel-Martínez, A.M., Mariscal-Moreno, R.M., Santiago-Ramos, D., Hernández-Estrada, Z.J. (2016). Effect of processing procedure on the formation of resistant starch in tamales. *Starch/Staerke*, 68 (11-12), 1121-1128.
 19. Flores-Verduzco, J.; Gomez-Cruz, M.A. 1987. Agroindustria: conceptualización y niveles de estudio. *In: La Agroindustria en México. Programa Integración Agricultura-Industria. Universidad Autónoma Chapingo. México. Pp: 2-12.*
 20. Galicia, L.; Miranda, A.; Gutiérrez, M.G.; Custodio, O.; Rosales, A.; Ruíz, N.; Surles, R.; Palacios, N. (2012). Protocolos de laboratorio. Laboratorio de calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal. CIMMYT. México, D.F.
 21. Geankoplis, C. (2007). *Proceso de transporte y principios de procesos de separación. 4ª Edición. Grupo Editorial Patria, México.*
 22. Goñi, I, García-Alonso, A; Saura-Calixto F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17, 427-437.
 23. Guzmán-Maldonado, H. (1992). Optimización de un procedimiento enzimático para la licuefacción y sacarificación del almidón mediante la metodología de superficie de respuesta; tesis de Maestría CIVESTAV-IPN Irapuato México.
 24. Harlan, J.R.; De Wet, M.J. (1971). Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon*, 20, 509-517.
 25. Mariscal-Moreno, R.M., de Dios Figueroa Cárdenas, J., Santiago-Ramos, D., Rayas-Duarte, P., Veles-Medina, J.J., Martínez-Flores, H.E. (2017). Nixtamalization Process Affects Resistant Starch Formation and Glycemic Index of Tamales. *Journal of Food Science*, 82 (5), 1110-1115.
 26. Mestres, C.; Colonna, P.; Buleon, A. (1988). Gelation and crystallisation of maize starch after pasting, drum-drying and extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 7,123-134.
 27. Miranda Osorio A. (2011). Un tamal para el recreo. *Revista virtual especializada en Gastronomía*. 2, 75-83.
 28. Mochizuki, Y. (2001). Texture Profile Analysis. *In: Compressive Measurement of Solids and Semi-Solids. Current Protocols in Food Analytical Chemistry H2.3.1-H2.3.7.*
 29. Montero-López, C.; Varela-Scherrer, C.M. (2017). Tamales for everyone! Deer and domestic dog consumption at Chinikihá banquets. *Anales de Antropología*, 51,183-191.
 30. Montgomery, D.C. (2009). *Design and analysis of Experiments, 7th Edition. John Wiley & Sons Inc. Hoboken New Jersey, USA.*
 31. Mua, J.P; Jackosn, D.S. (1997). Fine structure of corn amylose and amylopectin fractions with various molecular weights. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 3840-3847.
 32. Navarro-Hidalgo, V., Cabrera-Díaz, E., Zepeda, H., Mota De La Garza, L., Castillo, A., Torres-Vitela, R. (2005). Levels and enterotoxigenicity of *Clostridium perfringens* in Pozole, Tamales, and Birria. *Journal of Food Protection*, 68 (2), 331-335.
 33. Nielsen, S.S. (1998). *Food Analysis. Aspen Publishers, Inc. Gaitthersburg MA, USA.*
 34. Novo, S. (1967). *Cocina mexicana o historia gastronómica de la ciudad de México. Editorial Porrúa, México.*
 35. Oates C.G. (1997). Towards an understading of starch granule and hidrolisis. *Trends in Food Science and Technology*, 8, 375-382.

36. Oliva de Coll, J. (1977). Diccionario de la Lengua Náhuatl o Mexicana, Siglo Veintiuno Editores, S. A. México.
37. Perales, R.H.; Golicher, D. (2011). Modelos de distribución para las razas de maíz en México y propuesta de centros de diversidad. Informe técnico preparado para la CONABIO. ECOSUR. Chiapas. México. 108 p. Manuscrito. http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Informe%20completo_apendices.pdf
38. Pilcher, J.M. (2014). "Old stock" tamales and migrant tacos: Taste, authenticity, and the naturalization of Mexican food. *Social Research*, 81 (2), 441-462.
39. Rangel-Meza, E.; Muñóz, O.A.; Vázquez, C. G.; Cuevas, S. J.; Castillo, M. J.; Miranda, C. S. (2004). Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México. *Agrociencia* 38: 53-61.
40. Reyes, C.P. (1990). El maíz y su cultivo. México : A.G.T. Editor,S.A. Pp 26.
41. Rodríguez-Huezo, M.E., Flores-Silva, P., Garcia-Diaz, S., Meraz, M., Vernon-Carter, E.J., Alvarez-Ramirez, J. (2018). Effect of Fat Type on Starch and Protein Digestibility of Traditional Tamales. *Starch/Staerke*, Article in Press.
42. Ruelas, A.B. (2010). Brújula de compra. Candelaria el compromiso de los tamales. *Revista del Consumidor. Procuraduría Federal del Consumidor. México. Enero 2010.*
43. SAGARPA. (2018). Maíz blanco. In: Cosechando números del campo. <http://www.numerosdelcampo.sagarpa.gob.mx/publicnew/productosAgricolas/cargarPagina/4>
44. Salinas-Moreno, Y.; Aguilar-Modesto, L. (2010). Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2 (1), 5-11.
45. Salinas-Moreno, Y.; Pérez Herrera, P.; Castillo Merino J.; Álvarez Rivas, L.A. (2003). Relación de amilosa: amilopectina en el almidón de harina nixtamalizada de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26,115-121.
46. Steven, G.B. (1995). Recent views on the biosynthesis of the plant starch granule. *Glycosciences Glycotechnology*, 7 (37), 405-415.
47. Tang, H; Watanabe, K; y Mitsunaga. T. (2002). Characterization of storage starches from quinoa barley and adzuki seeds. *Carbohydrate Polymers*, 49, 13-22.
48. Taube, K.A. (1989). The Maize Tamale in Classic Maya Diet, Epigraphy, and Art. *American Antiquity*, 54, (1) 31-51.
49. Tester, R.F; Karkalas, I; Qi, J. (2004). Starch composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39, 151-165.
50. Thomas, D.J: y Atwell, W.A. (1999). Starch structure *In: Thomas D.J y Atwell W.A editors starches. Practical guide for the food industry. St Paul Minnesota USA. Eagan press and book*, 1-12 pp.
51. Vargas, Á.; Montaña, E. (2010). Cocina mexicana, Patrimonio Inmaterial de la Humanidad. Periódico *La Jornada*. México. In: <http://www.jornada.unam.mx/2010/11/17/politica/002n1pol>. 17 de noviembre de 2010.
52. Waniska, R.D.; Graybosch, R.A.; Adams, J.L. (2002). Effect of partial waxy wheat on processing and quality of wheat flour tortillas. *Cereal Chemistry*, 79(2):210-214.
53. Weber, C.W., Kohlhepp, E.A., Idouraine, A., Ochoa, L.J. (1993). Nutritional composition of tamales and corn and wheat tortillas. *Journal of Food Composition and Analysis*, 6 (4), 324-335.

ANEXOS

Anexo 1. Curvas patrón para el cálculo de almidón, amilosa y amilopectina en maíz

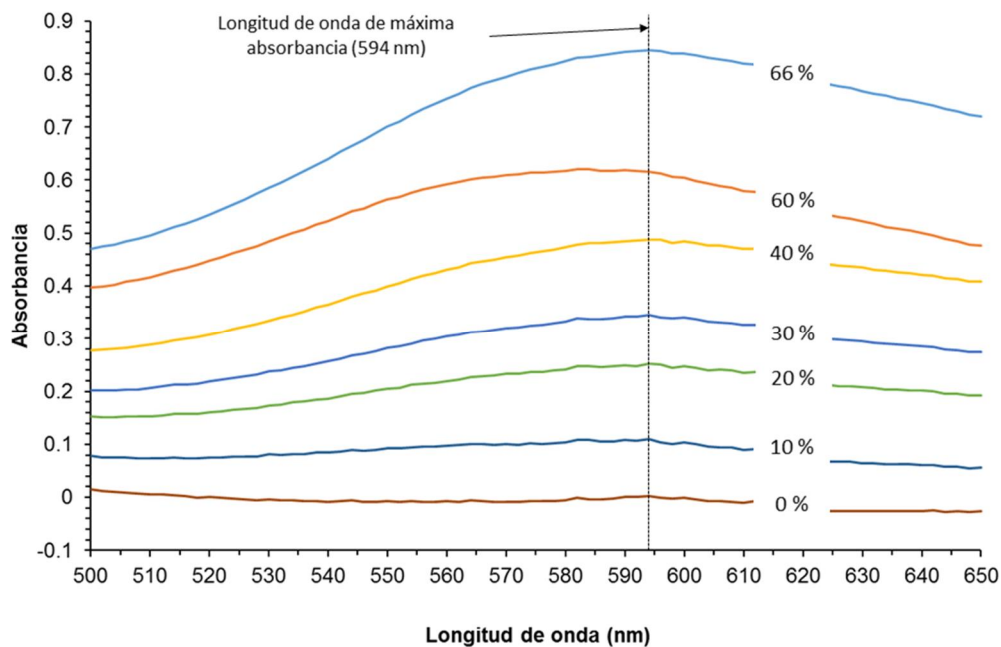


Figura 1.1. Espectros a longitudes de onda entre 500 y 650 nm de soluciones acuosas de amilosa a diferentes concentraciones.

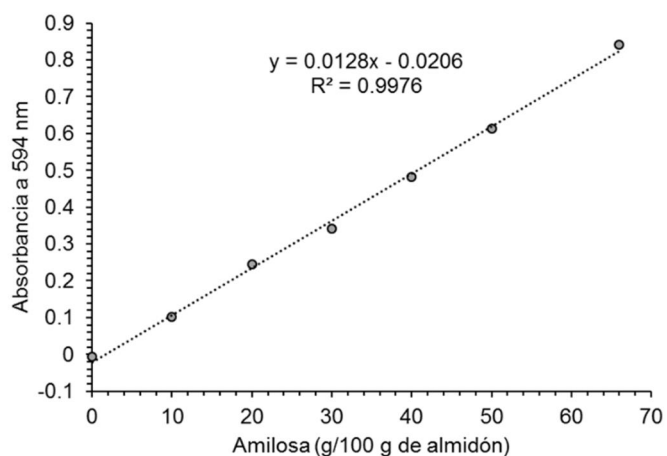


Figura 1.2. Curva patrón a una absorbancia de 594 nm para el cálculo de la concentración de amilosa en muestras de maíz.

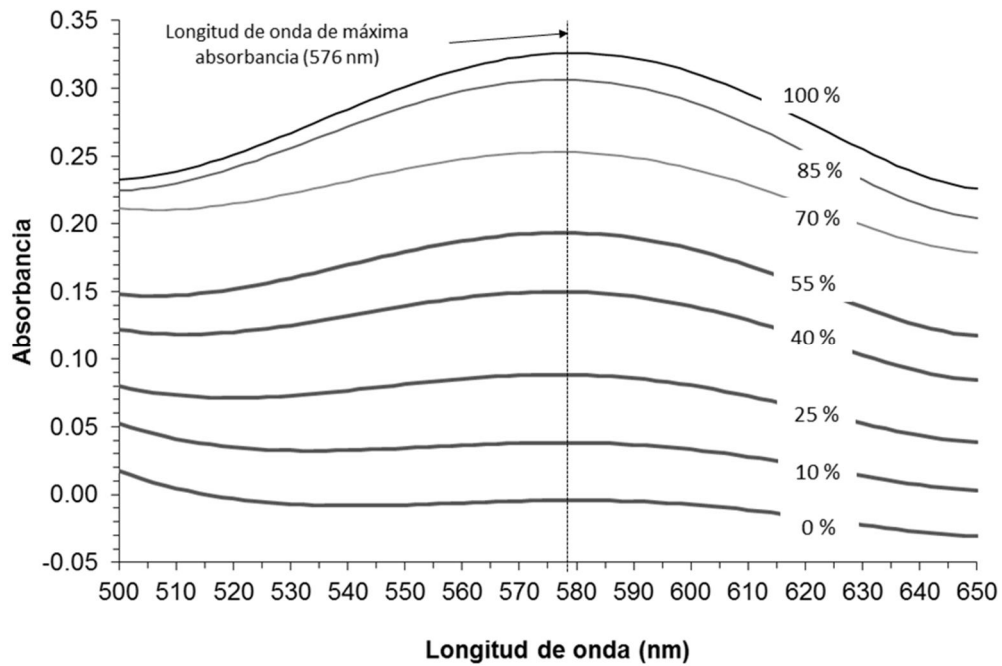


Figura 1.3. Espectros a longitudes de onda entre 500 y 650 nm de soluciones acuosas de almidón de maíz a diferentes concentraciones.

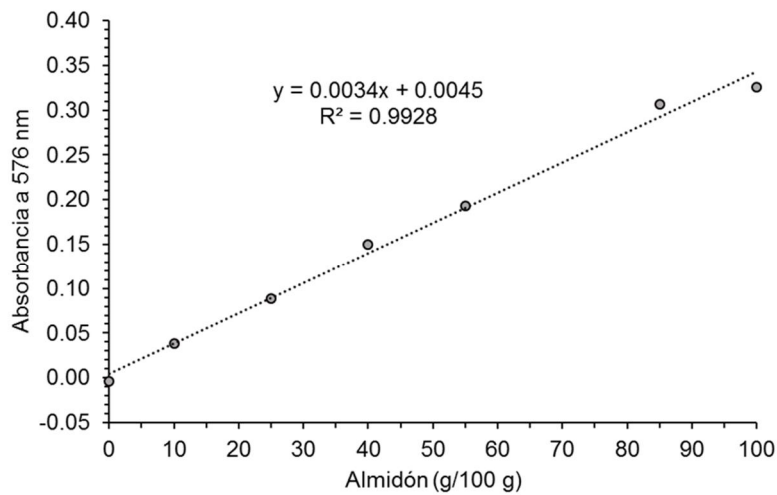


Figura 1.4. Curva patrón a una absorbancia de 576 nm para el cálculo de la concentración de almidón en muestras de maíz.

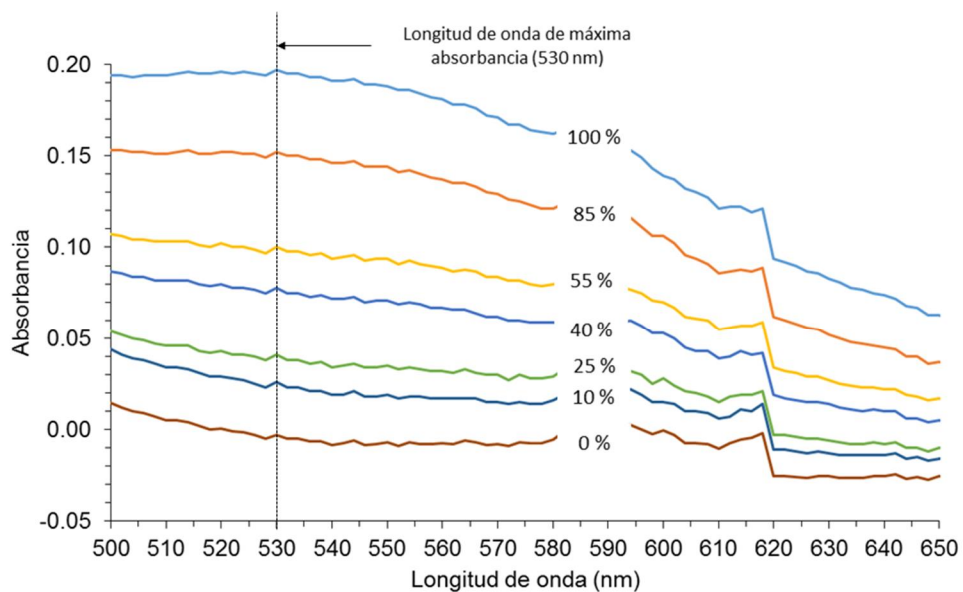


Figura 1.5. Espectros a longitudes de onda entre 500 y 650 nm de soluciones acuosas de amilopectina de maíz a diferentes concentraciones.

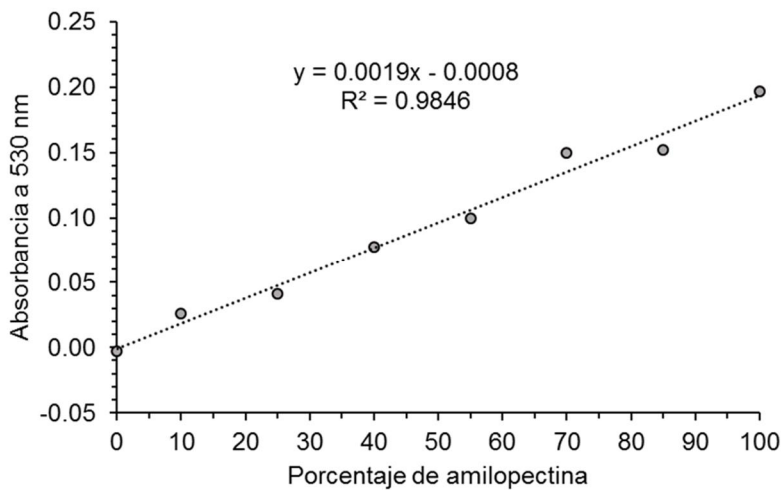


Figura 1.6. Curva patrón a una absorbancia de 530 nm para el cálculo de la concentración de amilopectina en muestras de maíz.

Anexo 2. Análisis de varianza de las variables del perfil de textura de los tamales

Siglas:

SC: Suma de Cuadrados

GL: Grados de libertad

CM: Cuadrados medios

F: Valor de F

P: Valor de p

ES: error estándar

R²: Coeficiente de determinación (%)

Cuadro 2.1. Análisis de varianza completo para la variable Dureza Fresco.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p | ES | R ² |
|---------------------|---------|----|---------|-------|--------|------|----------------|
| Efecto medio | 6364.09 | 1 | 6364.09 | | | | |
| Bloques | 3.14 | 3 | 1.05 | 0.07 | 0.9731 | | |
| Lineal | 186.29 | 2 | 93.15 | 9.97 | 0.0004 | 3.06 | 37.35 |
| Cuadrático | 174.25 | 3 | 58.08 | 12.54 | 0.0000 | 2.15 | 71.70 |
| Cúbico | 27.83 | 1 | 27.83 | 7.21 | 0.0117 | 1.96 | 77.19 |
| Error experimental | 115.71 | 30 | 3.86 | | | | |
| Total | 6871.31 | 40 | | | | | |

Análisis de varianza del modelo cúbico para la variable Dureza Fresco.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p |
|---------------------|--------|----|-------|-------|--------|
| Modelo Cúbico | 391.51 | 9 | 43.50 | 11.28 | 0.0000 |
| Error experimental | 115.71 | 30 | 3.86 | | |
| Total | 507.22 | 39 | | | |

Observaciones:

En el cuadro 2.1 se observa que para la variable Dureza en los tamales recién elaborados (Fresco) el efecto de bloques no fue significativo ($p > 0.05$). Además, los tres tipos de modelos son significativos ($p < 0.05$). Esto sugiere que las mezclas unitarias, binarias y ternarias afectan de

manera significativa a la Dureza de los tamales. En el Cuadro inferior se presenta el análisis de varianza específico del modelo cúbico.

Cuadro 2.2. Análisis de varianza completo para la variable Dureza Frío.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p | ES | R ² |
|---------------------|----------|----|----------|-------|--------|------|----------------|
| Efecto medio | 13811.90 | 1 | 13811.90 | | | | |
| Bloques | 17.43 | 3 | 5.81 | 0.27 | 0.8490 | | |
| Lineal | 137.97 | 2 | 68.98 | 3.63 | 0.0373 | 4.36 | 19.38 |
| Cuadrático | 123.10 | 3 | 41.03 | 2.43 | 0.0839 | 4.11 | 34.73 |
| Cúbico | 174.87 | 1 | 174.87 | 15.05 | 0.0005 | 3.41 | 56.54 |
| Error experimental | 348.51 | 30 | 11.62 | | | | |
| Total | 14613.70 | 40 | | | | | |

Análisis de varianza del modelo cúbico para la variable Dureza Fresco.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p |
|---------------------|--------|----|-------|------|--------|
| Modelo Cúbico | 453.37 | 9 | 50.37 | 4.34 | 0.0011 |
| Error experimental | 348.51 | 30 | 11.62 | | |
| Total | 801.87 | 39 | | | |

Observaciones:

En el cuadro 2.2 se observa que para la variable Dureza en los tamales reposados 24 horas (Fríos), el efecto de bloques no fue significativo ($p > 0.05$). Además, sólo los modelos lineal y cúbico fueron significativos ($p < 0.05$). Esto sugiere que únicamente las mezclas unitarias y ternarias afectan de manera significativa a la Dureza de los tamales. En el Cuadro inferior se presenta el análisis de varianza específico del modelo cúbico.

Cuadro 2.3. Análisis de varianza completo para la variable Endurecimiento.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p | ES | R ² |
|---------------------|---------|----|---------|------|--------|------|----------------|
| Efecto medio | 1424.94 | 1 | 1424.94 | | | | |
| Bloques | 23.41 | 3 | 7.80 | 0.62 | 0.6095 | | |
| Lineal | 6.06 | 2 | 3.03 | 0.23 | 0.7966 | 3.64 | 6.14 |
| Cuadrático | 121.86 | 3 | 40.62 | 3.83 | 0.0192 | 3.26 | 31.53 |
| Cúbico | 63.17 | 1 | 63.17 | 7.14 | 0.0121 | 2.97 | 44.70 |
| Error experimental | 265.37 | 30 | 8.85 | | | | |
| Total | 1904.81 | 40 | | | | | |

Análisis de varianza del modelo cúbico para la variable Endurecimiento.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p |
|---------------------|--------|----|-------|------|--------|
| Modelo Cúbico | 214.50 | 9 | 23.83 | 2.69 | 0.0200 |
| Error experimental | 265.37 | 30 | 8.85 | | |
| Total | 479.87 | 39 | | | |

Observaciones:

En el cuadro 2.3 se observa que para la variable Endurecimiento de los tamales, el efecto de bloques no fue significativo ($p > 0.05$). Además, solamente los modelos cuadrático y cúbico fueron significativos ($p < 0.05$). Esto sugiere que sólo las mezclas binarias y ternarias afectan de manera significativa al endurecimiento de los tamales. En el Cuadro inferior se presenta el análisis de varianza específico del modelo cúbico.

Cuadro 2.4. Análisis de varianza completo para la variable Adhesividad Fresco.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p | ES | R ² |
|---------------------|------|----|------|-------|--------|------|----------------|
| Efecto medio | 0.88 | 1 | 0.88 | | | | |
| Bloques | 0.01 | 3 | 0.00 | 0.41 | 0.7459 | | |
| Lineal | 0.15 | 2 | 0.07 | 14.63 | 0.0000 | 0.07 | 48.03 |
| Cuadrático | 0.01 | 3 | 0.00 | 0.36 | 0.7841 | 0.07 | 49.77 |
| Cúbico | 0.00 | 1 | 0.00 | 0.02 | 0.8787 | 0.07 | 49.81 |
| Error experimental | 0.16 | 30 | 0.01 | | | | |
| Total | 1.20 | 40 | | | | | |

Análisis de varianza del modelo cúbico para la variable Adhesividad Fresco.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p |
|---------------------|------|----|------|------|--------|
| Modelo Cúbico | 0.16 | 9 | 0.02 | 3.31 | 0.0065 |
| Error experimental | 0.16 | 30 | 0.01 | | |
| Total | 0.32 | 39 | | | |

Observaciones:

En el cuadro 2.4 se observa que para la variable Adhesividad en los tamales recién elaborados (Fresco), el efecto de bloques no fue significativo ($p > 0.05$). Además, solamente el modelo lineal resultó significativo ($p < 0.05$). Esto sugiere que únicamente las mezclas unitarias afectan de manera significativa a la adhesividad en fresco de los tamales. En el Cuadro inferior se presenta el análisis de varianza específico del modelo cúbico.

Cuadro 2.5. Análisis de varianza completo para la variable Adhesividad Frío.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p | ES | R ² |
|---------------------|------|----|------|------|--------|------|----------------|
| Efecto medio | 1.28 | 1 | 1.28 | | | | |
| Bloques | 0.01 | 3 | 0.00 | 0.38 | 0.7669 | | |
| Lineal | 0.09 | 2 | 0.05 | 6.32 | 0.0046 | 0.09 | 29.36 |
| Cuadrático | 0.03 | 3 | 0.01 | 1.25 | 0.3102 | 0.08 | 36.96 |
| Cúbico | 0.00 | 1 | 0.00 | 0.14 | 0.7157 | 0.09 | 37.24 |
| Error experimental | 0.22 | 30 | 0.01 | | | | |
| Total | 1.63 | 40 | | | | | |

Análisis de varianza del modelo cúbico para la variable Adhesividad Frío.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p |
|---------------------|------|----|------|------|--------|
| Modelo Cúbico | 0.13 | 9 | 0.01 | 1.98 | 0.0782 |
| Error experimental | 0.22 | 30 | 0.01 | | |
| Total | 0.35 | 39 | | | |

Observaciones:

En el cuadro 2.4 se observa que para la variable Adhesividad en los tamales reposados (Fríos), el efecto de bloques no fue significativo ($p > 0.05$). Además, solamente el modelo lineal resultó significativo ($p < 0.05$). Esto sugiere que únicamente las mezclas unitarias afectan de manera significativa a la adhesividad en frío de los tamales. En el Cuadro inferior se presenta el análisis de varianza específico del modelo cúbico.

Cuadro 2.6. Análisis de varianza completo para la variable Cohesividad Fresco.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p | ES | R ² |
|---------------------|-------|----|-------|-------|--------|------|----------------|
| Efecto medio | 27.65 | 1 | 27.65 | | | | |
| Bloques | 0.02 | 3 | 0.01 | 0.39 | 0.7613 | | |
| Lineal | 0.34 | 2 | 0.17 | 17.39 | 0.0000 | 0.10 | 52.12 |
| Cuadrático | 0.03 | 3 | 0.01 | 0.96 | 0.4258 | 0.10 | 56.18 |
| Cúbico | 0.00 | 1 | 0.00 | 0.35 | 0.5604 | 0.10 | 56.68 |
| Error experimental | 0.30 | 30 | 0.01 | | | | |
| Total | 28.33 | 40 | | | | | |

Análisis de varianza del modelo cúbico para la variable Cohesividad Fresco.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p |
|---------------------|------|----|------|------|--------|
| Modelo Cúbico | 0.39 | 9 | 0.04 | 4.36 | 0.0011 |
| Error experimental | 0.30 | 30 | 0.01 | | |
| Total | 0.69 | 39 | | | |

Observaciones:

En el cuadro 2.4 se observa que para la variable Cohesividad en los tamales recién elaborados (Fresco), el efecto de bloques no fue significativo ($p > 0.05$). Además, solamente el modelo lineal resultó significativo ($p < 0.05$). Esto sugiere que únicamente las mezclas unitarias afectan de manera significativa a la cohesividad en fresco de los tamales. En el Cuadro inferior se presenta el análisis de varianza específico del modelo cúbico.

Cuadro 2.7. Análisis de varianza completo para la variable Cohesividad Frío.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p | ES | R ² |
|---------------------|-------|----|-------|------|--------|------|----------------|
| Efecto medio | 26.69 | 1 | 26.69 | | | | |
| Bloques | 0.02 | 3 | 0.01 | 0.20 | 0.8946 | | |
| Lineal | 0.35 | 2 | 0.18 | 7.04 | 0.0028 | 0.16 | 30.44 |
| Cuadrático | 0.10 | 3 | 0.03 | 1.33 | 0.2817 | 0.16 | 38.39 |
| Cúbico | 0.01 | 1 | 0.01 | 0.48 | 0.4926 | 0.16 | 39.36 |
| Error experimental | 0.75 | 30 | 0.02 | | | | |
| Total | 27.93 | 40 | | | | | |

Análisis de varianza del modelo cúbico para la variable Cohesividad Frío.

| Fuente de variación | SC | GL | CM | F | p |
|---------------------|------|----|------|------|--------|
| Modelo Cúbico | 0.49 | 9 | 0.05 | 2.16 | 0.0547 |
| Error experimental | 0.75 | 30 | 0.02 | | |
| Total | 1.23 | 39 | | | |

Observaciones:

En el cuadro 2.4 se observa que para la variable Adhesividad en los tamales reposados durante 24 h (Frío), el efecto de bloques no fue significativo ($p > 0.05$). Además, solamente el modelo lineal resultó significativo ($p < 0.05$). Esto sugiere que únicamente las mezclas unitarias afectan de manera significativa a la cohesividad en frío de los tamales. En el Cuadro inferior se presenta el análisis de varianza específico del modelo cúbico.