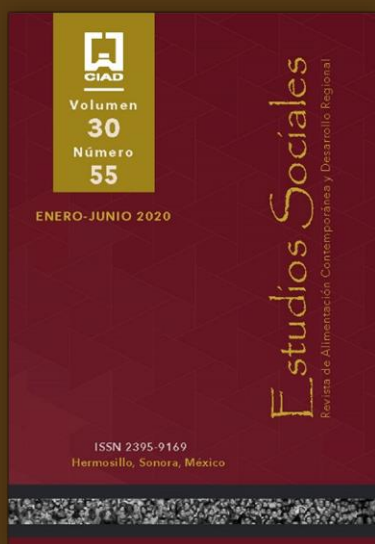


Estudios Sociales

Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional

Volumen 30, Número 55. Enero - Junio 2020

Revista Electrónica. ISSN: 2395-9169



Efecto del tamaño de partícula y del contenido de amilosa en la textura de tamales elaborados con mezclas de maíz (*Zea mays*), triticale (*X. Triticosecale Wittmack*) y arroz (*Oryza sativa*)

Effect of particle size and amylose content on tamales' texture elaborated with corn (*Zea mays*), triticale (*X. Triticosecale Wittmack*) and rice (*Oryza sativa*) blends.

DOI: [https://dx.doi.org/10.24836\(es.v30i55.890](https://dx.doi.org/10.24836(es.v30i55.890)

PII: e20890

Claudia Nayeli López-Tapia*

<https://orcid.org/0000-0002-4898-6388>

Aurelio Domínguez-López*

<https://orcid.org/0000-0002-2781-1597>

Mayra Díaz-Ramírez**

<https://orcid.org/0000-0002-6087-7053>

Adriana Villanueva-Carvajal***

<https://orcid.org/0000-0002-2429-4387>

Fecha de recepción: 11 de noviembre de 2019.

Fecha de envío a evaluación: 11 de febrero de 2020.

Fecha de aceptación: 25 de febrero de 2020.

*Universidad Autónoma del Estado de México.

** Universidad Autónoma Metropolitana.

***Autora de correspondencia.

Dirección: adrcarvajal@yahoo.com

Universidad Autónoma del Estado de México.

Campus Universitario El Cerrillo.

Facultad de Ciencias Agrícolas.

Km 15, Carr. Toluca-Ixtlahuaca, Entronque El Cerrillo.

Apdo. Postal 435, Toluca 50200, Estado de México, México.

Tel. y Fax: 52 (722) 296 5518.

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.

Hermosillo, Sonora, México.



Resumen / Abstract

Objetivo: En el presente trabajo se evaluó la sustitución parcial de harina de maíz nixtamalizado por harina de triticale y de arroz y su efecto sobre la textura de los tamales utilizando diez mezclas. **Metodología:** Se evaluó la dureza, adhesividad, cohesividad y gomosidad de los tamales, así como el tamaño de partícula y contenido de amilosa de las harinas utilizadas para elaborarlos. **Resultados:** Se observó que los tamales con mayor contenido de arroz tendían a ser más duros seguidos por los de maíz y triticale. A medida que en las mezclas se incrementaba el arroz la dureza del tamal era mayor, mientras que con el aumento de triticale la adhesividad aumentaba, el maíz produce tamales con dureza y adhesividad intermedios. En cuanto al tamaño de partícula de las harinas, la que presentó mayor tamaño fue la de triticale seguida por maíz y arroz; la harina de arroz contiene la mayor cantidad de amilosa, seguida por la de maíz y finalmente triticale. **Limitaciones:** Si bien el estudio muestra la posibilidad de elaborar tamales con otros granos y la influencia de estas mezclas sobre la textura del tamal, es necesario ahondar en el conocimiento sobre la relación existente entre los ingredientes que conforman la matriz particularmente la función de la fracción proteica. **Conclusiones:** La dureza de los tamales se debe a la contribución de los componentes unitarios derivado de las propiedades de cada harina. Las harinas con gránulos más pequeños y homogéneos producen tamales más duros, pero menos adhesivos. La relación amilosa-dureza indica la fuerte influencia de este componente sobre la textura del tamal.

Palabras clave: alimentación contemporánea; nixtamalización; mezcla de harinas; análisis de perfil de textura; productos cocidos al vapor.

Objective: The present study evaluated the partial substitution of nixtamalized corn flour with triticale and rice flour and the effect on tamales' texture using ten mixtures of these flours. **Methodology:** Hardness, adhesiveness, cohesiveness and gumminess were evaluated on tamales and particle size and amylose content were evaluated on the different flours used in their elaboration. **Results:** It was observed that rice tamales tend to be harder than corn and triticale tamales. As rice flour increased, hardness increased as well and with the increase of triticale, adhesiveness increased too. Corn flour produces tamales with intermediate hardness and adhesiveness. Regarding particle size, triticale flour was the biggest followed by corn and then rice flour. Rice had the highest amylose content followed by corn and finally triticale. **Limitations:** Although the study verifies the possibility of producing tamales with other cereals than corn and at the same time shows the influence of different cereal flours on the texture of tamales, it is necessary to deepen into the relation between the ingredients that built tamales matrix, particularly the protein fraction. **Conclusions:** Tamales' hardness is related to the contribution of each cereal content as an individual component. Smaller and more homogeneous particle size flours produce harder and more adhesive tamales. The relation amylose content-hardness shows a strong influence of this component on the texture of tamales.

Key words: contemporary food; nixtamalization; flour blends; texture profile analysis; steam baked products.



Introducción

La cocina mexicana ha destacado en el mundo por su rica variedad; es el maíz un ingrediente que forma parte de numerosos platillos, tanto en los tradicionales como en las nuevas propuestas culinarias (Gamboa, García y Tablante, 2012). En Latinoamérica, los productos tradicionales elaborados con maíz incluyen tortillas y tamales, comercializados en México y Centroamérica, arepas en Venezuela y Colombia, couscous en Brasil y polenta en Sudamérica (Rooney y Serna-Saldaivar, 2003). En México, el maíz es el eje de los platillos consumidos de forma cotidiana, el cual puede ser preparado de distintas maneras, hervido como mazorca tierna y madura, en productos derivados de la nixtamalización (tortillas y tamales), en bebidas tradicionales como el atole y el pozol, en botanas y en otro tipo de productos como el pinole (Mora-Escobedo, Osorio-Díaz, García-Rosas, Bello-Pérez y Hernández-Unzón, 2004; Paredes-López, Guevara y Bello-Pérez, 2009).

Entre los productos mencionados, se encuentran aquellos que se producen de manera muy focalizada en ciertas regiones de la república mexicana, mientras que otros se hallan distribuidos a nivel nacional, tal es el caso de la tortilla, la cual también representa el producto de mayor consumo. Otro producto distribuido a lo largo del territorio mexicano son los tamales, los cuales se están, íntimamente, ligados a la vida cotidiana, ya sea que se preparen para conmemorar una festividad cívico-religiosa o, simplemente, como un platillo que se consume a manera de comida rápida (Miranda-Osornio, 2011).

Figuerola-Cárdenas et al. (2016) definen al tamal como “una masa cocida y envuelta”, siendo el producto elaborado con masa o harina de maíz obtenida después de la nixtamalización del grano en una solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Hoyer, 2008). Otra característica interesante de la elaboración de los tamales es el uso de guisos y salsas, con estos se rellena la masa del tamal antes de su cocimiento, lo que hace de estos un platillo principal en algunas comidas. En cuanto a sus formas y tamaños, los tamales varían dependiendo de la localidad donde se producen. Pueden ser cilíndricos, triangulares, rectangulares o en bola. Sus medidas también varían, algunos van de tres a cinco centímetros de largo o se tienen aquellos que miden de 30-35 centímetros de largo. En lo que respecta a sus envolturas, los materiales más utilizados son las brácteas de maíz (*Zea mais*), hojas de plátano (*Musa paradisiaca*) y hoja santa (*Piper auritum*) (Gironella y De’Angeli, 2011; Staller, Tykot y Benz, 2010).

La demanda del tamal podría considerarse constante durante el año, aunque registra aumentos en ciertas épocas relacionadas con algunas festividades tradicionales como es el caso del día de la Candelaria y Día de Muertos, entre otros. Si bien el proceso es considerado tradicional y la producción artesanal, existen algunas empresas medianas y pequeñas que comercializan tamales en establecimientos con producción más controlada y constante. Incluso, grandes empresas han comenzado a comercializar tamales en empaques laminados incrementando la vida de anaquel de estos con la intención de llegar a más consumidores a través de cadenas de supermercados. A medida que el número de piezas producidas se incrementa es necesario hacer uso de la tecnología y de la optimización del proceso de producción. Este es un tema que no ha sido explorado, particularmente en el caso de los tamales, dado que es un platillo el cual, prácticamente, se consume recién elaborado y algunas veces se *recalienta*.

Si bien el ingrediente principal y tradicional para la preparación de tamales es el grano de maíz nixtamalizado, la variedad de granos cultivados y la inventiva popular ha ido modificando la receta de los tamales mezclando el maíz con otros granos con el fin de enriquecer el producto obtenido. Es por lo que Fray Bernardino de Sahagún ya reportaba el uso de otros granos en la elaboración de tamales como es el caso del amaranto. La mezcla de maíz con amaranto se moldeaba para obtener figuras que representaban deidades, por lo que los tamales obtenidos con esta mezcla se conocen como tamales sagrados (Villela, 2016). Otro grano utilizado para enriquecer y modificar la textura de los tamales es el arroz,



aunque, no existen reportes relacionados con el origen de este hecho, seguramente es una aportación mucho más reciente que el uso del amaranto. El uso de otros granos que modifiquen la textura, sabor e inclusive el aporte nutricional de este platillo es deseable y hace posible la adaptación e incorporación de alimentos tradicionales a la dieta actual.

Respecto del comportamiento de los componentes de la masa elaborada con maíz nixtamalizado, Figueroa-Cárdenas et al. (2016) evaluaron la formación de almidón resistente y complejos almidón-lípidos durante el procesamiento de estos productos, mientras que Mariscal-Moreno et al. (2017) evaluaron las características fisicoquímicas, las propiedades del almidón y el índice glicémico de tamales elaborados con maíz sometido a diferente tipo de nixtamalización. Pérez-Soto, Soto-Simental, Güemes-Vera, González-Montiel (2016) determinaron la aceptabilidad de tamales en función de la sustitución de manteca de cerdo por aceites vegetales y Rodríguez-Huezo et al. (2017) y reportaron las propiedades fisicoquímicas y la digestibilidad de proteínas sobre el efecto de la sustitución de grasa animal o vegetal.

En el presente documento se propuso el uso de triticale debido a que es un cultivo con gran tolerancia a condiciones ambientales desfavorables, además de ser rico en compuestos fenólicos, β -glucanos y arabinoxilanos (Amaya y Peña, 1991; Peña y Amaya, 1992), el cual no es apto para la elaboración de productos de panadería dado su bajo contenido de gluten, por lo que es una buena propuesta para enriquecer alimentos tradicionales, al mismo tiempo que se incentiva su cultivo y transformación agroindustrial. Por otro lado, se sugirió la incorporación de arroz debido a que se utiliza actualmente en la elaboración de tamales, de manera particular en los llamados *canarios* y algunos productores lo utilizan para modificar la textura de los tamales tradicionales.

Dado lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la sustitución de masa de maíz nixtamalizada con harina de triticale y/o arroz, el contenido de amilosa y el tamaño de partícula sobre las características de textura del tamal. Se utilizó un diseño de mezclas para determinar las formulaciones evaluadas (Cornell, 1990) a las que se les realizó un análisis de perfil de textura (TPA) reportando dureza, elasticidad, cohesividad y gomosidad. Por otro lado, se evaluó el efecto del tamaño de partícula y del contenido de amilosa con relación a estos mismos parámetros de textura.

Materiales y métodos

Materiales

Maíz (Blanco criollo), triticale (mezcla bicentenario y siglo XXI), arroz (var. Morelos) e hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) (J.T. Baker, 600 N Broad St., Phillipsburg, N.J), cloruro de sodio (NaCl) (marca comercial La Fina, Sales del Istmo, S. A. de C. V., Coatzacoalcos, Veracruz, México), manteca de cerdo (Frigoríficos y Rastro de Santa Ana S. A. de C. V. TIF 137 Carr. La Piedad, Pénjamo, Guanajuato) y polvo de hornear (Mondelez México S. de R. L. de C. V., Col. Tres Estrellas, México, D. F.). Para la envoltura se utilizaron brácteas de maíz deshidratadas, comercializadas y adquiridas en un mercado local (Toluca de Lerdo, Estado de México).

Métodos

Obtención de harina

Los procedimientos descritos se realizaron sobre el total de la harina que habría de utilizarse en todos los tratamientos y sus repeticiones para los diferentes granos evaluados.

Harina de maíz. La obtención de harina de maíz nixtamalizado siguió el procedimiento reportado por Cruz-Vázquez, Villanueva-Carvajal, Estrada-Campuzano y Dominguez-Lopez (2019) sin cambios, utilizando un molino marca Pulvex (Maquinaria para moliendas y mezclas, S. A. de C. V., Plutarco Elías Calles No. 290, Col. Los reyes Iztacalco C. P. 08620, CDMX).

Harina de triticale. Inicialmente, se molieron los granos de triticale en un molino de martillos marca Pulvex (Maquinaria para moliendas y mezclas, S. A. de C. V., Plutarco Elías Calles No. 290, Col. Los reyes Iztacalco C. P. 08620, CDMX) para ser incorporada a la harina de maíz, sin embargo, la masa resultaba pegajosa y muy difícil de manejar. Se realizó la nixtamalización de los granos de



triticale, tratamiento que permitió la obtención de masas manejables y no pegajosas, por lo que los granos de triticale se sometieron al mismo tratamiento propuesto por Cruz-Vázquez et al. (2019), variando únicamente el tiempo de secado (ocho horas).

Harina de arroz. Los granos de arroz se molieron en el mismo molino de martillos marca Pulvex (Maquinaria para moliendas y mezclas, S. A. de C. V., Plutarco Elías Calles No. 290, Col. Los reyes Iztacalco C. P. 08620, CDMX). No se realizó ningún tratamiento adicional a la molienda para la obtención de harina de arroz.

Determinación de tamaño de partícula

Las harinas obtenidas después de la nixtamalización (maíz y triticale) y molienda (maíz, triticale y arroz) se tamizaron para obtener la distribución del tamaño de partícula según el método reportado por Sahai, Buendia y Jackson, (2001) con algunas modificaciones en los tamaños de criba. En este ensayo se utilizaron cribas estándar con números ASTM E11 #20, #40, #60, #80 y #100 correspondientes a 850, 425, 250, 180 y 150 μm respectivamente. Se utilizó un tamizador Hynotec (WQS, Beijing, China). La determinación se realizó por triplicado.

Determinación del porcentaje de amilosa

El porcentaje de amilosa se determinó para las harinas de las mezclas unitarias y se realizaron los cálculos correspondientes para establecer la proporción de amilosa en las mezclas en función del porcentaje de cada grano por mezcla. El cálculo de amilosa se realizó según el método colorimétrico descrito previamente por Galicia et al. (2012) el cual propone la formación de un complejo colorido entre una solución de lugol y la amilosa presente en las muestras de cereal. La absorbancia se determinó a 620 nm mediante un espectrofotómetro Genesys 10 S UV-VIS (Thermo Spectronic. Thermo Fisher Scientific Inc. Waltham, MA, USA).

Elaboración de tamales

Los tamales se elaboraron siguiendo el procedimiento estandarizado y propuesto por Cruz-Vázquez et al. (2019), modificando únicamente la composición de la harina según el diseño experimental propuesto (Tabla 1) y descrito, posteriormente, en este documento. Para mezclar los ingredientes se utilizó una batidora Kitchen Aid Modelo Artisan (St. Joseph Michigan USA). La manteca se batió durante quince minutos, se incorporaron después el resto de los ingredientes y se mezclaron durante diez minutos. Una vez lista la mezcla (masa) se procedió al formado, colocando cien gramos de masa en las brácteas de maíz previamente remojadas en agua potable. Los tamales fueron sometidos a cocción en vaporera durante dos horas, acomodados de forma vertical en un solo nivel. Se sometieron a cocimiento 14 unidades experimentales (UE) por cada tratamiento en la misma vaporera. Se realizaron triplicados de cada tratamiento.

Tabla 1.
Composición de las mezclas de harinas para obtener las formulaciones evaluadas

Mezcla	Maíz nixtamalizado	Arroz	Triticale nixtamalizado
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	1/2	1/2	0
5	1/2	0	1/2
6	0	1/2	1/2
7	1/3	1/3	1/3
8	2/3	1/6	1/6
9	1/6	2/3	1/6
10	1/6	1/6	2/3

Fuente: elaboración propia según el diseño de mezclas. UE: Unidad experimental.



Determinación de textura

La textura de los tamales incluyó la determinación del Análisis del Perfil de Textura (TPA) utilizando un Texturómetro TA.XT. PLUS Texture Analyser (Stable Microsystems, Scarsdale NY, USA). Inmediatamente después de someterse al cocimiento en la vaporera, los tamales se enfriaron a temperatura ambiente por una hora y media. Se realizó el análisis de perfil de textura (TPA) utilizando una punta cilíndrica (25 mm diámetro), con dos ciclos de compresión y un descanso de cinco segundos entre ciclos con una velocidad de 1 mm/s y una penetración de 10 mm (30 %). Se determinaron los parámetros de dureza (N), adhesividad (mN), cohesividad (%) y gomosidad (N). Se realizaron tres repeticiones, cada una con 14 tamales (UE), por lo que en total se realizó el TPA 42 UE por cada tratamiento.

Diseño experimental

Las formulaciones evaluadas se determinaron mediante un diseño de mezclas, en concordancia con lo propuesto por Cornell (1990). En este tipo de diseños experimentales, las variables respuesta dependen de las proporciones de los ingredientes que componen la mezcla (en este caso, maíz, triticales y arroz) y no de la cantidad misma de la mezcla. De esta manera, las variables respuesta permitirán evaluar el potencial de cada uno de los cereales para obtener tamales con características semejantes a los que tradicionalmente se consumen en México. Para tal fin, el diseño experimental, estará compuesto por tres mezclas unitarias (UE 1 a 3), tres mezclas binarias (UE 4 a 6) y cuatro mezclas ternarias (UE 7 a 10). La harina de maíz nixtamalizado fue sustituida por harinas de triticales o de arroz de acuerdo con la serie de UE antes mencionada organizadas bajo un diseño de mezclas (Tabla 1).

Resultados y discusión

El modelo utilizado para explicar el efecto de la mezcla de los tres tipos de cereal en la textura de los tamales genera una ecuación con la cual es posible predecir el comportamiento de las variables evaluadas independientemente de la composición final de la mezcla. Este comportamiento teórico se compara con los valores reales observados. La pertinencia del modelo se evalúa evidenciando la significancia de los efectos. Estos resultados pueden observarse en la Tabla 2, donde se muestra el análisis de varianza del modelo de mezclas.

Tabla 2.

Análisis de varianza del modelo de mezclas. Grados de libertad (GL), suma de cuadrados (SC), porcentaje relativo de la SC (entre paréntesis), significancia para las propiedades de textura de tamales

Fuente	GL	Dureza	Cohesividad	Adhesividad	Gomosidad
Bloques	2	0.9 (0.1) ^{NS}	4.8 (0.2) ^{NS}	375.9 (0.4) ^{NS}	0.2 (0.1) ^{NS}
Lineal	2	1352.1 (93.9) ^{**}	1105.6 (45.6) ^{**}	64596.9 (71.2) ^{**}	134.0 (58.1) ^{**}
Cuadrático	3	52.4 (3.6) ^{**}	1116.2 (46.1) ^{**}	22082.8 (24.4) ^{**}	81.0 (35.1) ^{**}
Cúbico	1	0.5 (0.04) ^{NS}	28.0 (1.2) ^{NS}	82.4 (0.1) ^{NS}	3.6 (1.5) [*]
Error	21	34.8 (2.4)	169.1 (7.0)	3543.8 (3.9)	11.7 (5.1)
Total	29	1440.7 (100.0)	2423.7 (100.0)	90681.9 (100.0)	230.4 (100.0)

^{**} Significativo ($p \leq 0.01$).

^{*} Significativo ($0.01 < p \leq 0.05$).

NS: No significativo ($p > 0.05$).

Fuente: elaboración propia según datos del Análisis de Varianza del Modelo de Mezclas.



Los datos reportados en la Tabla 2 muestran que el efecto de bloques no fue significativo, lo que implica que la posición que ocupaban las unidades experimentales en la vaporera no tuvo influencia en su cocimiento y, en consecuencia, en sus propiedades evaluadas. Por otra parte, el efecto lineal y cuadrático de las mezclas sobre la textura de los tamales fue significativo, pero no el efecto cúbico, salvo en el caso de la gomosidad. La dureza de los tamales se debió, principalmente, a la contribución aditiva de los componentes unitarios de las mezclas, ya que el efecto lineal concentró 93.9 % de la SC total de esta variable. Los efectos sinérgicos o antagónicos debidos a las mezclas resultaron pequeños, aunque significativos, ya que el efecto cuadrático representa 3.6 % de esta SC.

La variabilidad observada en la cohesividad y en la adhesividad de los tamales se explica, principalmente, a través del efecto lineal y cuadrático. En este caso, los efectos sinérgicos o antagónicos debidos a las mezclas de los tres tipos de harina resultaron más elevados, ya que concentraron 46.1 % de la SC total y 24.4 % en el caso de la adhesividad. Finalmente, la gomosidad mostró un comportamiento similar a las dos variables anteriores, aunque con un pequeño, pero significativo, efecto cúbico que agrupa 1.3 % de la SC total. En general y para fines prácticos, la dureza de los tamales deriva del efecto aditivo (lineal) de las mezclas unitarias, mientras que la cohesividad, la adhesividad y la gomosidad de los tamales se explican por el efecto sinérgico o antagónico que imparten las mezclas binarias de cada uno de los tres tipos de harina.

Estos efectos se determinan cuantitativamente con los coeficientes β reportados en la Tabla 3 para cada una de las mezclas. Tomando en cuenta el valor numérico de los coeficientes unitarios, la dureza de los tamales aumenta y su cohesividad disminuye con el incremento de la harina de arroz en las mezclas, dado que los coeficientes β_2 son el mayor y el menor, respectivamente. De la misma manera, la adhesividad aumenta con el incremento de harina de triticales y la gomosidad aumenta con el incremento de harina de maíz en las mezclas.

Tabla 3.

Estimación de los parámetros y coeficientes de determinación para el modelo cúbico polinomial para la predicción de las respuestas de las propiedades de textura de tamales. (Valor promedio $\pm$ error estándar y su significancia)

Parámetro	β_i	Dureza	Cohesividad	Adhesividad	Gomosidad
A:Maíz	β_1	25.98 $\pm$ 0.71**	35.55 $\pm$ 1.67**	55.26 $\pm$ 7.15**	9.09 $\pm$ 0.42**
B:Arroz	β_2	34.67 $\pm$ 0.71**	7.02 $\pm$ 1.67**	35.60 $\pm$ 7.15**	2.23 $\pm$ 0.42**
C:Triticale	β_3	9.40 $\pm$ 0.71**	26.43 $\pm$ 1.67**	221.09 $\pm$ 7.15**	2.15 $\pm$ 0.42**
AB	β_{12}	-10.75 $\pm$ 3.25**	65.75 $\pm$ 7.68**	11.45 $\pm$ 32.95 ^{NS}	20.95 $\pm$ 2.10**
AC	β_{23}	2.66 $\pm$ 3.25 ^{NS}	-2.07 $\pm$ 7.68 ^{NS}	-353.34 $\pm$ 32.95**	0.07 $\pm$ 2.10 ^{NS}
BC	β_{13}	-14.94 $\pm$ 3.25**	55.35 $\pm$ 7.68**	-144.91 $\pm$ 32.95**	15.49 $\pm$ 2.10**
ABC	β_{123}	NS	NS	NS	-34.96 $\pm$ 13.84**
R ² (%)		97.55	91.87	96.00	93.36

Valor promedio $\pm$ error estándar (n=42) ** Significativo ($p \leq 0.01$). * Significativo ($0.01 < p \leq 0.05$).

NS: No significativo ($p > 0.05$). Fuente: elaboración propia de acuerdo con los resultados obtenidos de los parámetros del Modelo Cúbico Polinomial.

La Figura 1 es un ejemplo ilustrativo del efecto cuadrático de las mezclas de maíz y arroz sobre la cohesividad de los tamales. Se eligió esta mezcla porque es la que presentó una mayor concentración de la SC de los datos observados.

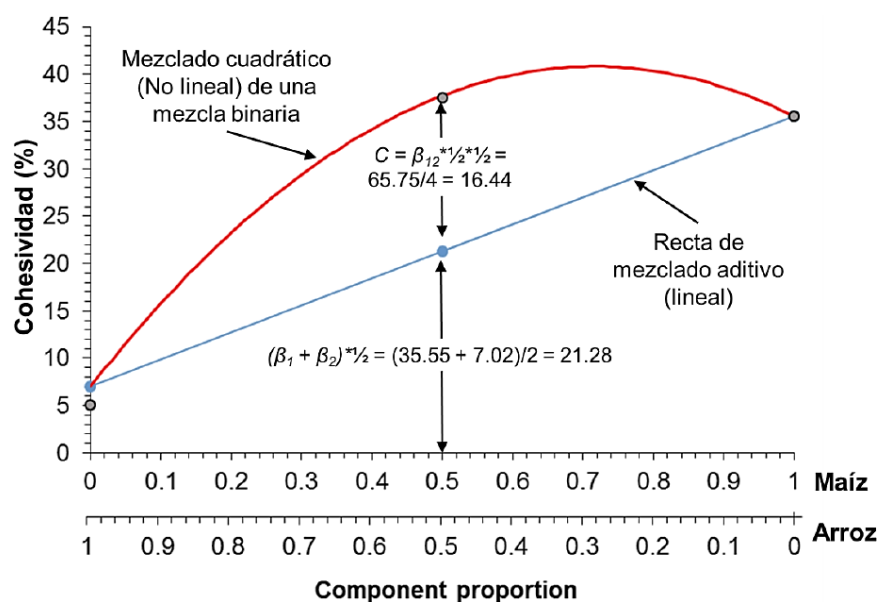


Figura 1. Mezcla no lineal de componentes 1 y 2 (maíz y arroz). En el modelo cuadrático $\beta_{12} = 4 * C$ (Los puntos azules representan los valores observados).

Fuente: elaboración propia con datos observados y estimados para comportamiento de cohesividad en masas de tamal.

De la figura anterior, se puede decir que una mezcla binaria aditiva compuesta de 50 partes de maíz y 50 partes de arroz debería producir en los tamales una cohesividad de alrededor de 21.28 unidades. Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos, la cohesividad observada en los tamales elaborados con esta mezcla fue significativamente mayor, muy cercana al valor aditivo más el efecto del contraste C , es decir 37.72 ($21.28 + 16.44$).

Las características observadas en función de la mezcla de los diferentes tipos de almidón reflejan un efecto diferente a la suma de los efectos individuales. Esto coincide con el trabajo reportado por Huang y Lai (2010) quienes, si bien realizaron estudios sobre fideos chinos, evaluaron mezclas de almidón de trigo, maíz y arroz, observando sus efectos en la textura. La combinación de diferentes especies genera un efecto combinado que no puede ser definido únicamente por la suma de los efectos individuales. En este sentido, la capacidad de retención de agua, gelatinización, retrogradación y sinéresis de cada uno de los componentes de las mezclas evaluadas se comportan de manera diferente al modelo propuesto.

Los valores promedio (observados) de las propiedades de textura de los tamales elaborados con las diferentes mezclas de harina de maíz, arroz y triticales se muestran en la Tabla 4. Los tamales elaborados únicamente con harina de arroz fueron los más duros, pero los menos cohesivos, adhesivos y gomosos. Por el contrario, los tamales obtenidos sólo a partir de harina de triticales presentaron la menor dureza, pero la mayor adhesividad. La mezcla unitaria de maíz produjo tamales con dureza y adhesividad intermedias, pero con alta gomosidad.

Tabla 4.
Propiedades de textura de los tamales evaluados influenciadas por las mezclas de cereales

Mezcla	Dureza (N)	Cohesividad (%)	Adhesividad (mN)	Gomosidad (N)
1 (Maíz)	26.13 ± 1.52	35.56 ± 1.23	51.84 ± 4.04	9.29 ± 0.87
2 (Arroz)	35.15 ± 1.32	5.11 ± 0.08	35.31 ± 1.91	1.79 ± 0.04
3 (Triticales)	9.10 ± 1.01	27.08 ± 1.72	227.07 ± 17.38	2.31 ± 0.37
4	28.50 ± 0.62	37.55 ± 0.44	47.52 ± 6.14	10.67 ± 0.33
5	18.44 ± 0.05	32.85 ± 1.04	55.34 ± 4.34	6.00 ± 0.20
6	18.71 ± 0.04	31.02 ± 1.42	100.75 ± 12.91	5.79 ± 0.28
7	21.76 ± 0.26	32.50 ± 1.98	56.69 ± 6.17	7.05 ± 0.34
8	22.35 ± 0.70	37.36 ± 0.45	42.67 ± 7.56	8.38 ± 0.24
9	24.23 ± 0.95	33.66 ± 1.67	40.82 ± 9.28	8.12 ± 0.57
10	15.05 ± 0.48	30.04 ± 0.19	84.35 ± 10.28	4.55 ± 0.16

Valor promedio ± desviación estándar (n=3).

Fuente: elaboración propia según los datos de los parámetros de textura para mezclas de harina en la elaboración de tamales.

En el mismo sentido, las propiedades de textura de los tamales elaborados con mezclas ternarias se representan en un espacio cartesiano con las representaciones gráficas mostradas en la Figura 2.

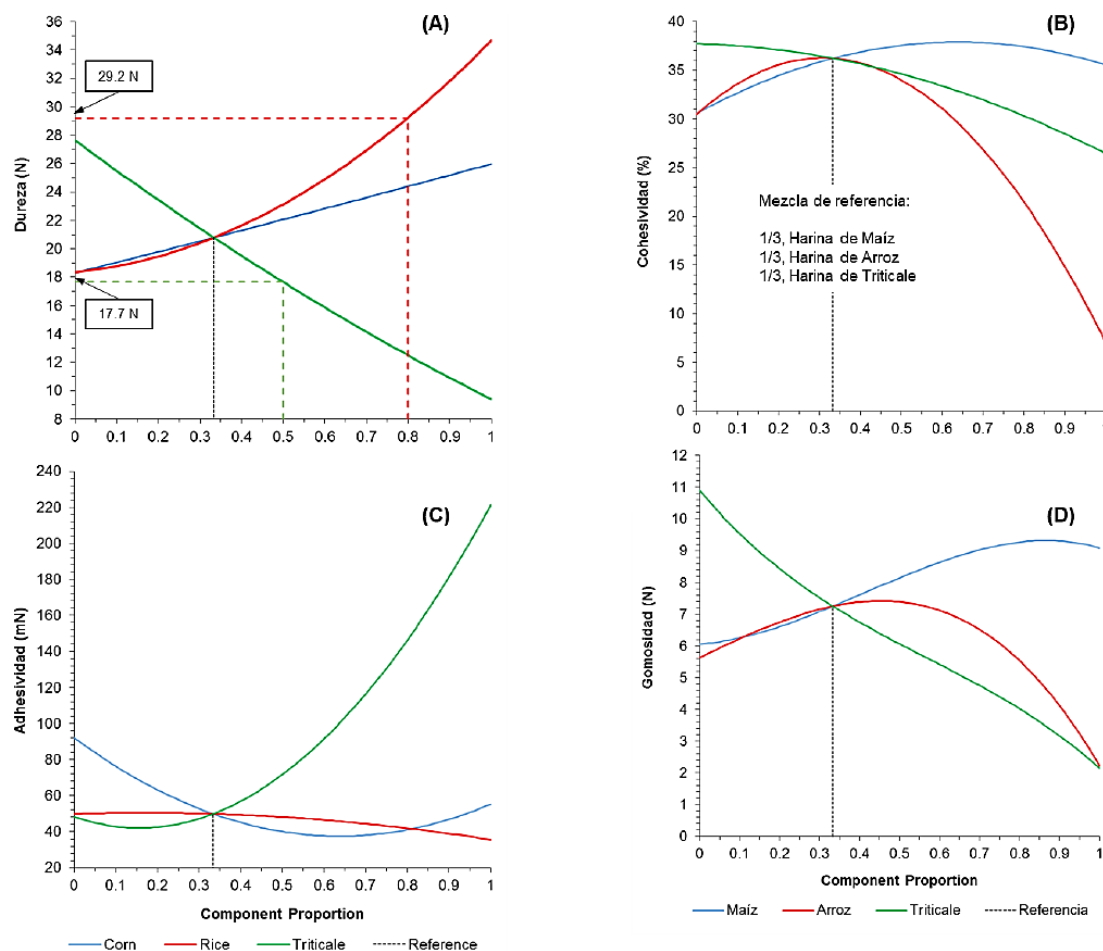


Figura 2. Gráficas del modelo polinomial cuadrático de los valores predictivos para Dureza (A), Cohesividad (B), Adhesividad (C) y Gomosidad (D) para mezclas de harina de Maíz, Arroz y Triticale.

Fuente: elaboración propia según los resultados obtenidos del modelo polinomial cuadrático.

Las funciones gráficas de la Figura 2 son las representaciones gráficas de los modelos cuyos coeficientes (estimadores de los parámetros) fueron reportados en la Tabla 4 y su interpretación es relativamente simple. Por ejemplo, siguiendo la línea que representa al triticale (verde) en la Figura 2 (A), una mezcla que contiene una proporción de 0.5 de harina de triticale contendrá 0.25 de harina de maíz y 0.25 de harina de arroz y producirá tamales con aproximadamente 17.7 N de

dureza. De la misma manera, siguiendo la línea roja, cuando la proporción de harina de arroz es de 0.8, la de maíz y de triticale serán de 0.1. La dureza de los tamales producidos con esta mezcla será de aproximadamente 29.2 N. Una estimación de la dureza o de las otras variables de textura de los tamales con cualquier otra combinación de harinas de estos cereales se puede obtener con los modelos cuadráticos cuyos estimadores de los parámetros se reportaron en la Tabla 3.

Partiendo de una mezcla de referencia compuesta por un tercio de cada una de las harinas de los tres cereales, a medida que se incrementa la proporción de cualquiera de ellas, las propiedades de los tamales se modifican significativamente. Así, el incremento de harina de arroz aumenta proporcionalmente la dureza de los tamales, disminuye su cohesividad y gomosidad; mientras que su adhesividad se mantiene aproximadamente constante.

En el caso de la harina de triticale resulta, aproximadamente, lo contrario, su incremento en la mezcla produce tamales con una significativa disminución en la dureza y gomosidad, pero con un incremento significativo en su adhesividad y un ligero aumento en la cohesividad. El aumento de harina de maíz en las mezclas produce tamales con una dureza intermedia entre el arroz y el triticale, con un ligero incremento en la cohesividad y un leve decremento en la adhesividad, pero con un aumento significativo de la gomosidad.

En este estudio se evaluó el tamaño promedio de partícula de las harinas, su dispersión y su contenido de amilosa para explicar los resultados obtenidos. La Tabla 5 muestra los valores promedio de estas variables en las mezclas unitarias una estimación en las mezclas binarias y ternarias.



Tabla 5.
*Tamaño medio de partícula y contenido de amilosa de las harinas y
mezclas utilizadas en la elaboración de tamales*

Mezcla	Tamaño medio de partícula (µm)	Dispersión de tamaño de partícula (µm)	Amilosa (g/100 g harina)
1 (Maíz nixtamalizado)	407.72	102.89	20.12
2 (Arroz)	261.01	36.55	22.11
3 (Triticale nixtamalizado)	415.67	220.45	14.50
4	334.37	69.72	21.11
5	411.70	161.67	17.31
6	338.34	128.50	18.30
7	361.47	119.96	18.91
8	384.60	111.43	19.52
9	311.24	78.25	20.51
10	388.57	170.20	16.70

Las características de las mezclas 4-10 fueron estimadas considerando los valores de las mezclas puras (1-3)

Valor promedio $\pm$ desviación estándar (n = 3).

Fuente: elaboración propia con los datos obtenidos del análisis de distribución de tamaño de partícula y contenido de amilosa para mezclas de harinas.

La textura de los tamales deriva de las propiedades de las harinas empleadas en su elaboración. De acuerdo con reportes recientes (Huang y Lai, 2010), el tamaño de los gránulos de almidón, la relación amilosa/amilopectina e inclusive el largo de la cadena de amilopectina, son determinantes en variables como el poder de hinchamiento de los gránulos y la fuerza a la compresión. Por otro lado, estos mismos autores indican que la amilosa forma complejos con los lípidos presentes, y en el caso de los tamales la concentración de lípidos es considerable. Dado lo anterior, este efecto puede modificar sustancialmente la textura de los tamales, específicamente la dureza, la cual aumenta con el aumento en la cantidad de amilosa, lo cual está relacionado con una disminución en la capacidad de retención de agua.

La adhesividad presenta el efecto contrario dado que esta propiedad disminuye cuando la concentración de amilosa aumenta. Este es el efecto que provoca el aumento en la proporción de arroz en las mezclas evaluadas durante el presente

estudio. Aunado a lo anterior, algunos polímeros que forman parte de la fibra dietética y el tamaño de partícula de las harinas influyen de manera determinante en el perfil de textura de estos productos dado que se sabe que mientras menor es el tamaño de partícula del almidón la capacidad de retención de agua disminuye, o lo que es lo mismo, aumenta la difusión de agua del gránulo hacia su superficie, incrementando la dureza del producto.

Partiendo de un análisis de regresión lineal entre las características de las harinas y la textura de los tamales, se encontraron las correlaciones significativas mostradas en la Figura 3 ($R^2 \geq 0.397$).

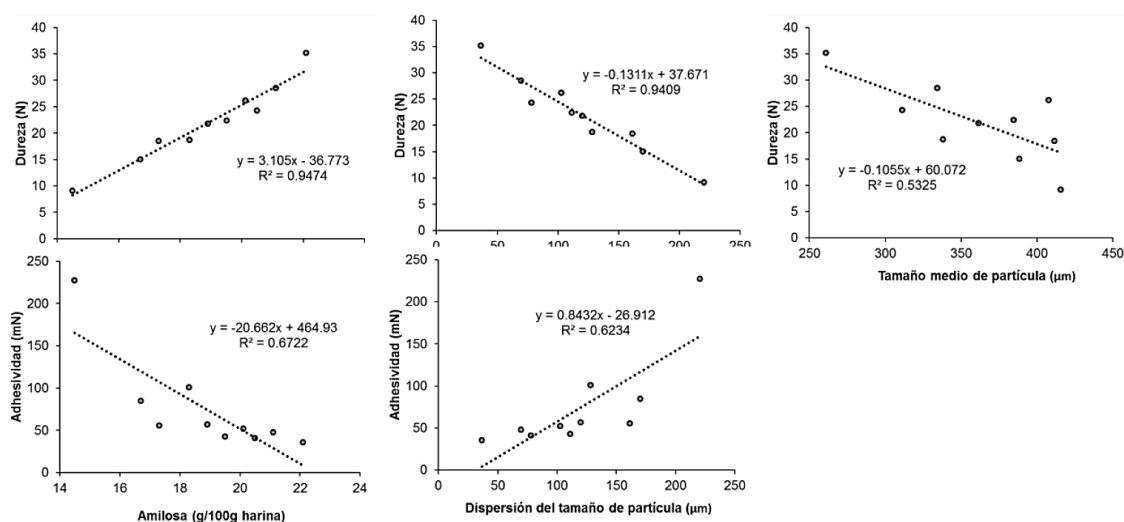


Figura 3. Correlación entre las propiedades de textura, tamaño de partícula y contenido de amilosa en tamales.

Fuente: elaboración propia con los datos obtenidos del análisis de correlaciones entre variables medidas.

Estas correlaciones sugieren que la dureza de los tamales aumenta significativamente con el incremento en el contenido de amilosa y disminuye con el incremento en el tamaño promedio de las partículas de la harina y con el aumento en la dispersión de este tamaño. De la misma manera, la adhesividad disminuye a medida que incrementa la amilosa, pero aumenta con la disminución de la dispersión del tamaño de las partículas de las harinas.



Estos resultados sugieren que harinas granulométricamente más homogéneas y compuestas por gránulos más pequeños producen tamales más duros, pero menos adhesivos y el alto valor del coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9474$) de la relación amilosa-dureza es un indicador de la fuerte influencia de este componente del almidón de la harina sobre la dureza de los tamales. Lo anterior coincide con lo expresado por Epstein, Morris y Huber (2002) quienes indican que el contenido de amilosa en el almidón contribuye de manera sustancial a la textura, en ese caso, los autores se refieren a fideos chinos, pero el efecto de la relación amilosa-dureza es comparable con lo reportado en el presente estudio.

Conclusiones

El presente estudio demostró la factibilidad de utilizar el modelo de mezclas para predecir las características de textura de tamales elaborados con diferentes proporciones de harina de maíz y triticales nixtamalizados y arroz.

Con el fin de incorporar triticales a las mezclas para la elaboración de tamales, es necesario que el grano se someta a un proceso de nixtamalización semejante al proceso realizado en los granos de maíz.

Por otro lado, el tamaño de partícula y la proporción de amilosa de las harinas son fundamentales para obtener los parámetros de textura deseados.

La mezcla de cereales provoca efectos que se explican por una relación sinérgica entre los componentes de la mezcla, es decir, no se obtienen resultados que son solamente la suma de las contribuciones de los cereales de forma unitaria.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt-México) (Número de subvención: 615778) y la Secretaría de Educación Pública (Proyecto número 511-6 / 17-7766).

Referencias

- Amaya, A. y Peña R. J. (1991). *Triticale industrial quality improvement at CIMMYT: past, present and future*. Estado de México, México: CIMMYT Staff Publications Collection.
- Cornell, J. A. (1990). *Experiments with mixtures. Designs, models and the analysis of mixture data*. San Francisco, CA. USA: John Wiley y Sons.
- Cruz-Vázquez, C., Villanueva-Carvajal, A., Estrada-Campuzano, G. y Dominguez-Lopez, A. (2019). Tamales texture properties as a function of corn endosperm type. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 16, 1-8. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2019.100153>
- Epstein, J., Morris, C. F. y Huber, K. C. (2002). Instrumental texture of white salted noodles prepared from recombinant inbred lines of wheat differing in the three granule bound starch synthase (Waxy) genes. *Journal of Cereal Science* 31, 51-63. DOI: <http://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0412>
- Figueroa-Cárdenas, J. D. et al. (2016). Effect of processing procedure on the formation of resistant starch in tamales. *Starch-Starke*. 68, 1-8. <http://doi.org/10.1002/star.201600091>
- Galicia, L. et al. (2012). *Protocolos de laboratorio 2012 CYMMIT*. Estado de México, México: CIMMYT 43-45. Recuperado de <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1349/97125.pdf>
- Gamboa, L., García, M. y Tablante, L. (2012). Evaluación nutricional y sensorial de arepas a base de harinas de maíz blanco (zea mays l.) yuca dulce (Manihot esculenta Crantz) enriquecidas con texturizado de proteína de soya (Glycine max). Saber. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 24(2), 185-190. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427739448008>
- Gironella De'Angeli, A., De'Angeli, G. (2011). *Larousse de la comida mexicana* (2011) México D. F.: Larousse ediciones.
- Hoyer, D. (2008). *Tamales*. Leyton, Estados Unidos: Gibbs Smith Publisher. Recuperado de <http://www.gibbs-smith.com>
- Huang, Y. C. y Hsi-Mei Lai, H. M. (2010). Noodle quality affected by different cereal starches. *Journal of Food Engineering* 97, 135-143. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.002>
- Mariscal-Moreno R. et al. (2017). Nixtamalization Process Affects Resistant Starch Formation and Glycemic Index of Tamales. *Journal of Food Science*, 82(5), 1110-1115. DOI: <http://doi.org/10.1111/1750-3841.13703>

- Miranda-Orsorio, A. (2011). Un tamal para el recreo. *Culinaria*, 2, 75-83. Recuperado de http://web.uaemex.mx/Culinaria/dos_ne/rec_01.pdf
- Mora-Escobedo R., Osorio-Díaz P., García-Rosas M. I., Bello-Pérez A. y Hernández-Unzón H. (2004). Changes in selected nutrients and microstructure of white starch quality maize and common maize during tortilla preparation and storage. *Food Science and Technology International*, 10, 79-87. DOI: <http://doi.org/10.1177/1082013204043885>
- Paredes-López O, Guevara, F. y Bello-Pérez, L. A. (2009). La Nixtamalización y el valor Nutritivo del Maíz. *Revista Ciencias, UNAM*, 92, 60-70. Recuperado de <http://revistaciencias.unam.mx/pt/41-revistas/revista-ciencias-92-93/205-la-nixtamalizacion-y-el-valor-nutritivo-del-maiz-05.html>
- Pérez-Soto, E., Soto-Simental, S. Güemes-Vera, N., González-Montiel, L. (2016). Aceptabilidad de tamales elaborados con diferentes sustitutos de manteca de cerdo. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 626-630. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/303520272_ACEPTABILIDAD_DE_TAMALES_ELABORADOS_CON_DIFERENTES_SUSTITUTOS
- Peña, R. J. y Amaya, A. (1992). Milling and breadmaking properties of wheat triticale grain blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 60, 483-487. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740600413>
- Rodríguez-Huezo, M. E. et al. (2017). Effect of Fat Type on Starch and Protein Digestibility of Traditional Tamales. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.201700286>
- Rooney, L. W., Serna-Saldivar, S. O. (2003). Food use of whole corn and dry-milled fractions. En P. J. White y L. A. Johnson (2003). *Corn: Chemistry and Technology*. 2ª ed. Inc. St. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 495-536.
- Sahai, D., Buendia, M. O y Jackson, D. S. (2001). Analytical Techniques for Understanding Nixtamalized Corn Flour: Particle Size and Functionality Relationships in a Masa Flour *Cereal Chemistry* 78(1), 14-18. DOI: <https://doi.org/10.1094/cchem.2001.78.1.14>
- Staller, E. J., Tykot, R. H., Benz, F. B. (2010). *Histories of Maize in Mesoamerica, Multidisciplinary Approaches*. Oxon, USA: Routledge.
- Villela, S. (2016). El *huauhtli* sagrado. Los tamales *tzoalli* entre los nahuas de Guerrero. *Arqueología Mexicana*, 148, 46-53. Recuperado de <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/el-huauhtli-sagrado-los-tamales-tzoalli-entre-los-nahuas-de-guerrero>