

## Physicochemical characterization of corn masses (*Zea mays* L.) nixtamalized: case Córdoba, Veracruz, Mexico

## Caracterización fisicoquímica de masas de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado: caso Córdoba, Veracruz, México

López-Espíndola, Mirna<sup>1</sup>; Herrera-Corredor, José Andrés<sup>1</sup>; Balderas-López, Juan Manuel<sup>1</sup>; Argumedo-Macías, Adrián<sup>2</sup>; Hernández-Cázares, Aleida Selene<sup>1</sup>; Muñoz-Márquez Trujillo, Rafael Arturo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 94946. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Cholula, Puebla, México. C. P. 72760.

\*Autor para correspondencia: [arturom@colpos.mx](mailto:arturom@colpos.mx)

### ABSTRACT

**Objective:** To determine the physical and chemical characteristics of fresh corn masas (*Zea mays* L.) sampled in tortilla stores located in Córdoba, Veracruz, Mexico, using GIS technology to delimit the sampling area. The hypothesis was that fresh corn masas in a region have similar physicochemical characteristics.

**Design/methodology/approach:** The population density was used for sampling, taking as reference the centroids of the areas where the population density was 250 inhabitants ha<sup>-1</sup>. One kg of fresh corn dough was collected in 12 selected tortilla stores.

**Results:** Three subsamples of 333.3 g of the sampled mass of each tortilla were obtained and its pH, humidity, ash, water activity, color, particle distribution and texture profile were analyzed. A mean comparison was performed with the subsamples. The following intervals were obtained: pH from 8.63 to 11.20, water activity from 0.93 to 0.99, humidity from 55.76 to 62.37%, ashes from 1.05 to 2.35%, hardness from 7.62 to 18.71 N and color from L \* = 77.26 to 83.00, a \* = 0.13 to 1.55 and b \* = 19.56 to 27.00. Pearson's correlation between the yellow color of the masses with the pH and the percentage of ashes was statistically positive.

**Limitations on study/implications:** This it is information represents a specific region, so in order to have more representativeness of results, it should have a greater sampling coverage.

**Findings/conclusions:** The variability of the samples was high among tortilla stores, with different physicochemical characteristics.

**Keywords:** Corn masas, tortilla store, GIS, sampling.

### RESUMEN

**Objetivo:** Determinar las características físicas y químicas de las masas de maíz fresco (*Zea mays* L.) en tortillerías de Córdoba, Veracruz, México, utilizando tecnología SIG para delimitar el área de muestreo. La hipótesis es que las masas de maíz fresco en una región tienen características fisicoquímicas similares.

**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 2, febrero, 2020. pp: 9-14.

**Recibido:** septiembre, 2019. **Aceptado:** enero, 2020.

**Diseño/metodología/enfoque:** La densidad de población se utilizó para el muestreo, tomando como referencia los centroides de las áreas donde la densidad de población era de 250 habitantes ha<sup>-1</sup>. Se recolectó 1 kg de masa de maíz fresco en 12 tortillerías seleccionadas.

**Resultados:** Se obtuvieron tres submuestras de 333.3 g de la masa muestreada de cada tortilla y se analizaron su pH, humedad, cenizas, actividad del agua, color, distribución de partículas y perfil de textura. Se realizó una comparación de medias con las submuestras recolectadas. Se obtuvieron los siguientes intervalos: pH de 8.63 a 11.20, actividad de agua de 0.93 a 0.99, humedad de 55.76 a 62.37%, cenizas de 1.05 a 2.35%, dureza de 7.62 a 18.71 N y color de  $L^* = 77.26$  a 83.00,  $a^* = 0.13$  a 1.55 y  $b^* = 19.56$  a 27.00. La correlación de Pearson entre el color amarillo de las masas con el pH y el porcentaje de cenizas fue estadísticamente positiva.

**Limitaciones en el estudio/implicaciones:** La información presentada corresponde una región específica de Veracruz, por lo que, para tener una mayor representatividad de los resultados, debe tener una mayor cobertura de muestreo.

**Hallazgos/conclusiones:** La variabilidad de las muestras fue alta entre las tortillerías e indica que la preparación de masas no sigue un proceso estandarizado y esto puede impactar en el producto final.

**Palabras clave:** Masa de maíz, tortillerías, SIG, muestreo.

## INTRODUCCIÓN

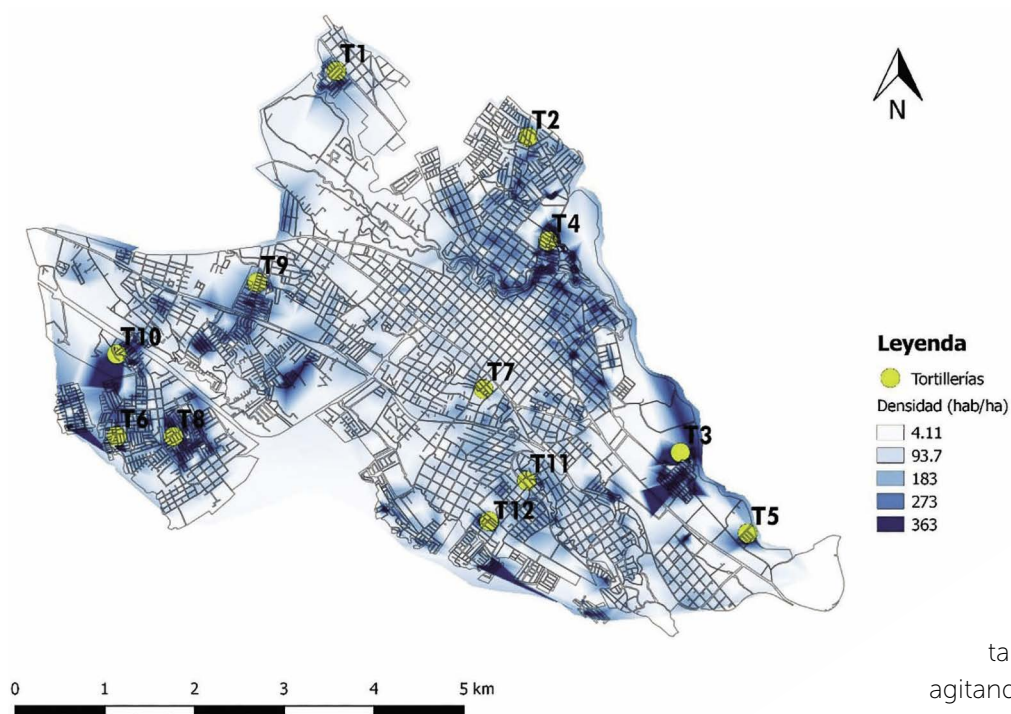
En México, la tortilla es la fuente principal de carbohidratos en la alimentación de la población; el consumo es de 7.4 millones de toneladas anuales (CEDRSSA, 2014). La tortilla proporciona 70 % de las calorías consumidas y 50 % del calcio recomendado para consumo diario (Trejo-González *et al.*, 1982; Sánchez-Tovar *et al.*, 2004). En 2014 el consumo anual per cápita fue 56.7 kg en las zonas rurales y 79.5 en las zonas urbanas (CEDRSSA, 2014). La tortilla se fabrica en tortillerías con masa fresca o preparada con harina de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado. Mediante herramientas geográficas como las técnicas disponibles para la exploración geográfica, con las herramientas SIG, es posible ubicar las zonas con mayor densidad poblacional y de esta manera seleccionar las tortillerías que distribuyen su producto en donde existen mayor número de consumidores, de esta manera las tortillerías que se muestren sean representativas y válidas para el estudio de las características de la masa que se utiliza para fabricar tortillas.

Para poder mejorar las características de la tortilla, es indispensable conocer los factores que afectan la calidad y propiedades fisicoquímicas de las masas para comparar el efecto de la modificación de una variable en la nixtamalización, o bien, la inclusión de otro ingrediente. Gasca-Mancera y Casas-Alencáster (2007) usaron masa fresca de maíz nixtamalizado (MFMN) y evaluaron el efecto en las propiedades texturales de la masa adicionando harina de maíz nixtamalizado (HMN); la masa de harina de maíz nixtamalizado (MHMN) fue más dura y resiliente y presentó mayor recuperación elástica instantánea comparada con la MFMN. Vázquez Carrillo *et al.* (2011)

evaluaron atributos sensoriales en tortillas muestreadas en una tortillería tradicional en Texcoco, Estado de México, tortillas recién elaboradas con una combinación de masa de nixtamal y harina nixtamalizada (TM-HN) o recién elaboradas con harina nixtamalizada (THN), y tortillas empacadas Milpa Real®. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten ubicar, en el marco de esta investigación, zonas de muestreo con mayor densidad poblacional a partir de información puntual georeferenciada sobre todo en países en vías de desarrollo (Kassié *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2012). Con ello es posible planificar el muestreo de tortillerías que se localizan en esas zonas con mayor densidad de población, para poder realizar la caracterización fisicoquímica de masas que utilizan dichos expendios. El objetivo de la investigación consistió en caracterizar fisicoquímicamente masas frescas de tortillerías seleccionadas de Córdoba, Veracruz, empleando la tecnología SIG para delimitar zona de muestreo. La hipótesis a probar fue que las características fisicoquímicas de las masas en la región son similares.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de masa (1 kg) se colectaron de 12 tortillerías seleccionadas de acuerdo con la densidad de población de la cabecera municipal de Córdoba, Veracruz, México (Figura 1). El criterio de muestreo de la tortillería fue que exhibiera una leyenda "100 % maíz", además de estar en la cabecera de Córdoba, Veracruz y dentro de las manchas con alta densidad poblacional, con base en la metodología de la herramienta SIG. Las masas se preservaron en una hielera hasta llegar al laboratorio de cereales del Colegio de



**Figura 1.** Mapa de densidad de Córdoba, Veracruz, derivado con datos de AGEBS y archivos vectoriales desarrollados por el INEGI. Se muestran las tortillerías seleccionadas para el estudio en las zonas de mayor densidad poblacional.

Postgraduados Campus Córdoba (1 h) y se codificaron como T1 hasta T12.

Para el método de muestreo de tortillerías se construyó una superficie a partir de datos puntuales de la información de áreas geoestadísticas básicas (AGEB) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y con ello se desarrolló un mapa de densidad de población. Utilizando metodologías SIG y QGIS 2.18 (QGIS Development Team, 2016), y con base en cartografía geoestadística urbana (INEGI, 2014), se determinó la densidad poblacional. Con ello se interpolaron los datos de densidad de población obtenidos, generando la Figura 1, en donde se aprecian las zonas donde se concentra la población en la ciudad y también las tortillerías muestreadas.

### Propiedades fisicoquímicas

Por otro lado, el contenido de humedad y cenizas se determinó por el método 44-15 y 08-10 de la AACC (2000), respectivamente. La medición de la actividad de agua ( $a_w$ ) se realizó con un medidor portátil Pawkit (Decagon Devices, Inc 2365 NE Hopkins Ct. Pullman, WA 99163 USA).

La determinación de color se realizó con un colorímetro R-400 (Konica Minolta, Williams Drive, Ramsey, NJ, 07446, EE.UU.) en la escala CIELAB midiendo los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  con un observador de  $2^\circ$  y un iluminante D65.

Para la distribución de tamaño de partícula de la masa se utilizó 1 g de muestra realizando una dilución con 90 mL agua destilada, con agitación constante por 20 min. La dilución se pasó por tamices de malla 40, 60, 100, 140 y 200 US. El tamizado se realizó manualmente agitando los tamices en forma rotatoria circular constante por 5 min. Las partículas retenidas en cada malla se deshidrataron a  $100^\circ\text{C}$  por 24 h. El resultado se presenta como porcentaje de partículas que pasaron por cada malla.

Para la determinación de textura de las masas se realizó un análisis de perfil de textura (TPA) con un texturómetro Shimadzu® modelo Ez-5 (Kyoto, Japón). La masa se dejó reposar hasta alcanzar  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . Se moldeó 50 g de la masa en un cilindro de plástico de 36 mm de diámetro y 30 mm de altura. El molde se lubricó internamente con aceite vegetal, se introdujo la masa y se compactó colocando una placa de metal con un peso de 5 kg durante 5 min. El exceso de masa se retiró del molde con una espátula de acero inoxidable, se retiró del molde y se dejó reposar 15 min. Las muestras se sometieron a dos ciclos de compresión con una deformación relativa aparente (DRA) del 30 % con un aditamento de platos a una velocidad de  $1 \text{ mm s}^{-1}$ .

Para determinar el pH, se diluyó 1 g de muestra en 90 mL de agua destilada. Se utilizó un potenciómetro Orion 3 - Star (Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts, EE.UU.).

### Análisis estadístico

Se siguió un diseño experimental completamente al azar donde la unidad experimental fue un lote de masa de cada tortillería. La masa se subdividió en tres proporciones iguales para obtener submuestras. Las medias se compararon con una prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Se

realizó un análisis de correlación de Pearson entre las variables medidas. El software estadístico utilizado fue R versión 3.4.1 (R Core Team, 2017) junto con el ambiente integrado de desarrollo (IDE: Integrated Development Environment) RStudio 1-0-143 (RStudio Team, 2017).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las 12 tortillerías donde se realizó el muestreo, mostraron mucha variabilidad en las características físico-químicas entre tortillerías y zonas de muestreo. Las características de las masas además de estar relacionadas con el procesamiento, se relacionan con la aceptabilidad del color de las tortillas por parte de los consumidores, ya que como se presenta en este trabajo, no existe una sola orientación a un color específico de masas en la región donde se realizó el muestreo.

El pH de las muestras se encontró en un rango de 8.63 a 11.20, las masas tuvieron un pH alcalino derivado del hidróxido de calcio utilizado en la nixtamalización (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Características proximales de las masas de maíz frescas.

Muestra	pH	Actividad de agua	Humedad (%)	Ceniza (%)
T1	10.64±0.04b	0.99±0.01a	57.79±0.20f	2.30±0.09a
T2	11.20±0.05a	0.99±0.01a	61.33±0.05c	2.35±0.01a
T3	8.63±0.03f	0.99±0.01a	55.76±0.06h	1.63±0.05bc
T4	9.21±0.14de	0.97±0.01bc	62.37±0.16b	1.54±0.16c
T5	9.61±0.08d	0.98±0.00ab	59.30±0.23d	1.73±0.05b
T6	9.14±0.11e	0.98±0.00ab	57.00±0.29g	1.62±0.00bc
T7	10.09±0.18c	0.96±0.01bc	59.75±0.11d	1.77±0.01b
T8	10.65±0.40b	0.95±0.01cd	58.45±0.15e	2.31±0.04a
T9	8.71±0.05f	0.96±0.01bc	60.88±0.34c	1.77±0.05b
T10	9.41±0.03de	0.93±0.02d	56.62±0.22g	1.34±0.02d
T11	9.44±0.08de	0.95±0.01cd	63.21±0.36a	1.05±0.02e
T12	9.52±0.08de	0.96±0.00bc	55.95±0.07h	1.32±0.05d

Valores promedio ± desviación estándar. Las medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey; p≤0.05).

Las muestras de masa mostraron diferencia significativa en todos los atributos evaluados (Cuadro 1 y 2). Bello-Pérez *et al.* (2002) mencionan que las condiciones del proceso de nixtamalización que utiliza cada tortillería varían en función de la variedad de maíz, temperatura de cocción, concentración de hidróxido de calcio empleado, tiempo de reposo, entre otras. La alcalinidad de la masa varía dependiendo el número de lavados del maíz nixtamalizado; los lavados intensivos repercuten en pobres cantidades de calcio (Zazueta *et al.*, 2002) y bajas cantidades de hidróxido de calcio en la masa. A mayor número de lavados el pH es menor ya que se retiran más partículas de hidróxido de calcio y es importante mantener un pH alcalino para que la masa y las tortillas no sean propensa al deterioro por el desarrollo de microorganismos (Martínez-Flores *et al.*, 2004).

La actividad de agua (aw) de las muestras osciló de 0.93 a 0.99, el porcentaje de humedad se encontró en un rango de 55.76 a 62.37 y el porcentaje de cenizas se halló de 1.05 a 2.35. El porcentaje alto de humedad y actividad de agua de las masas se debe a que durante el proceso de nixtamalización el maíz

**Cuadro 2.** Características de color y dureza de las masas de maíz frescas.

Muestra	Color <sup>†</sup>			Dureza (N)
	L*	a*	b*	
T1	77.26±1.33d	0.45±0.04cde	23.97±0.44bc	18.71±1.26a
T2	77.84±0.61cd	0.34±0.10de	27.00±0.24a	11.13±1.58ef
T3	80.24±0.43abcd	0.66±0.11bcde	19.56±0.88g	11.16±0.64def
T4	80.58±0.27abcd	0.52±0.08cde	21.75±0.32def	8.40±0.05g
T5	77.26±0.50d	1.55±0.39a	23.25±0.81bcd	11.42±1.38def
T6	83.00±0.86a	0.61±0.03bcde	21.21±0.50efg	14.08±0.99bc
T7	80.99±0.35abc	1.23±0.16ab	25.16±0.33ab	10.06±0.26efg
T8	82.23±1.75ab	0.13±0.11e	24.80±1.06b	12.62±0.27cde
T9	82.79±1.08a	0.28±0.19de	19.99±0.22fg	9.65±0.36fg
T10	78.82±2.74bcd	1.06±0.27abc	20.90±0.61efg	15.24±1.12b
T11	81.60±0.23ab	0.49±0.05cde	21.79±0.50def	7.62±0.22g
T12	81.11±1.74abc	0.89±0.48bcd	22.06±1.18cde	13.71±0.45bcd

Valores promedio ± desviación estándar. Las medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey; p≤0.05). <sup>†</sup>Parámetros de color: L\*=Luminosidad, a\*=escala de (-) verde a (+) rojo, b\*=escala de azul (-) a amarillo (+).



absorbe una gran cantidad de agua, además de la adición de agua durante la molienda húmeda, esto conlleva a tener mayor cantidad de rendimiento, pero impacta al proporcionar un ambiente óptimo para el desarrollo de microorganismos.

La luminosidad de las masas se encontró en un rango de 77.26 a 83.00, el índice  $a^*$  de 0.13 a 1.55 y el índice  $b^*$  entre 19.56 y 27.00 (Cuadro 2). El valor de  $b^*$  mostró que las masas muestreadas tuvieron tonalidades diversas, desde masas ligeramente blancas hasta masas muy amarillentas. Estas últimas mostraron mayor alcalinidad, por lo que se consideró que existe una relación entre el color de las masas y las partículas de cal que se conservan del proceso de nixtamalización cuando se lava el maíz pocas veces o bien que la masa haya sido adicionada voluntariamente con cal, ya que, el color amarillento aumentó en las masas con una correlación positiva respecto con los altos contenidos de cenizas y pH (Cuadro 3).

Las tortillerías ocasionalmente adicionan pequeñas cantidades de cal a la masa para extender su vida útil incrementando la alcalinidad de la masa. Esto resulta en masas amarillentas que se procesa en el transcurso del día sin presentar fermentación, ya que los microorganismos como mohos y levaduras deterioran las masas mediante cambios bioquímicos que repercuten en la acidificación, provocando la pronta descomposición de la masa o el producto que se elabore a partir de esta materia prima. Martínez-Flores *et al.* (2004) realizó estudios para extender la vida útil de las tortillas de masa extruida adicionando diferentes conservadores, uno de ellos fue el hidróxido de calcio, lo que provocó la reducción de la descomposición de las tortillas y disminuyó el crecimiento de microorganismos en comparación con tortillas control.

La dureza de las masas osciló de 7.62 a 18.71 N, propiedad importante de la masa para el procesamiento y elaboración de tortillas, pudiendo ocasionar problemas en la máquina tortilladora. Aun cuando la diferencia de dureza entre las masas es muy grande, se puede asumir que las máquinas tortilladoras tienen la capacidad de procesar la masa a pesar de las condiciones de textura que presenten. La masa es una mezcla de polímeros de almidón (amilosa y amilopectina) gelatinizados por el proceso de nixtamalización; si el maíz no tiene una cocción adecuada (insuficiente o excesiva) repercutirá en las características reológicas y de textura de la masa (Robles *et al.*, 1988), imposibilitando la producción de tortillas en máquina o artesanal (manualmente). Es importante que la masa contenga partículas inferiores a la malla 60 US ya que las partículas finas contribuyen a desarrollar mayor flexibilidad y cohesividad en una masa destinada a la producción de tortillas (Bedolla y Rooney, 1984).

Las principales características de las masas que presentaron correlación fueron pH con  $b^*$  (0.92),  $b^*$  con % cenizas (0.65), % cenizas con pH (0.71) y humedad con dureza (-0.69). Se observó que a mayor pH y mayor contenido de cenizas el color de las masas fue más amarillo ( $b^*$ ), así mismo, a mayor contenido de cenizas corresponde a un pH más alcalino. Las correlaciones entre pH, % cenizas y  $b^*$  se pueden justificar con el contenido de cal que se agrega durante la nixtamalización y que puede permanecer después del lavado del nixtamal. La correlación negativa entre humedad y dureza indica que, a mayor contenido de humedad, la masa es más suave y viceversa.

La granulometría (Figura 2) muestra que las masas pasaron en mayor porcentaje a través de la malla 200 US, lo que indica que hay mayor contenido de partículas

menores a 0.074 mm. Las masas no presentaron diferencia significativa en la distribución del tamaño de partículas, las variaciones del tamaño de partícula se deben al molino que utilizaron para procesar las masas. Las partículas que se retuvieron en la malla 60 US fueron las fracciones del pericarpio del maíz que quedaron después de la nixtamalización, pues la

**Cuadro 3.** Correlación entre las características fisicoquímicas de las masas<sup>‡</sup>.

Parámetros	‡Color			$a_w$	pH	Humedad (%)	Cenizas (%)	Dureza (N)	
	L*	$a^*$	$b^*$						
Color	L*	1							
	$a^*$	-0.41	1						
	$b^*$	-0.36	0.03	1					
	$a_w$	-0.35	-0.05	0.2	1				
	Ph	-0.39	-0.15	0.92	0.15	1			
	Humedad (%)	0.05	-0.23	0.26	-0.06	0.15	1		
	Cenizas (%)	-0.28	-0.33	0.65	0.47	0.71	-0.02	1	
	Dureza (N)	-0.32	0.04	0.08	0.08	0.3	-0.09	0.34	1

<sup>‡</sup>L\*=Luminosidad,  $a^*$ =escala de (-) verde a (+) rojo,  $b^*$ =escala de azul (-) a amarillo (+). <sup>‡</sup>Con base en el coeficiente de correlación de Pearson.

masa está constituida principalmente por gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, endospermo, lípidos y fracciones remanentes de pericarpio (Bello-Pérez *et al.*, 2002).

## CONCLUSIONES

Dada la ausencia de información oficial y sistematizada respecto al número y ubicación de tortillerías a nivel nacional y regional, el muestreo espacial es una alternativa viable dado que permitió identificar las zonas de muestreo en Córdoba, Veracruz, México, con base en los centros de consumo. Las masas presentaron una alta variabilidad en las características fisicoquímicas de luminosidad ( $L^*$ ), alcalinidad, pH y cenizas haciendo evidente la falta de estándares en la producción de masa en las tortillerías de la zona. Las correlaciones entre las variables  $b^*$ , pH y cenizas encontradas comprueban el impacto del uso de cal en la apariencia amarillenta de las masas para tortilla.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Colegio de Postgraduados Campus Córdoba.

## LITERATURA CITADA

AACC. American Association of Cereal Chemists. (2000). Approved Methods of the AACC. St. Paul: MN, USA.

Bedolla, S and Rooney, L. W. (1984). Characteristics of U.S. and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World* 29: 732-735.

Bello-Pérez, L. A., Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Núñez-Santiago, C. y Paredes-López, O. (2002). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia* 36: 319-328.

CEDRSSA. Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria. (2014). Distribución y producción de alimentos: el caso del complejo maíz-tortilla. México DF, México. 15 p.

Gasca-Mancera, J.C. y Casas-Alencáster, N.B. (2007). Adición de harina de maíz nixtamalizado a masa fresca de maíz nixtamalizado. Efecto en las propiedades texturales de masa y tortilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 6: 317-328.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2014). Cartografía geoestadística urbana, Cierre de los Censos Económicos. 11 de enero de 2017, de INEGI Sitio web: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825004441>

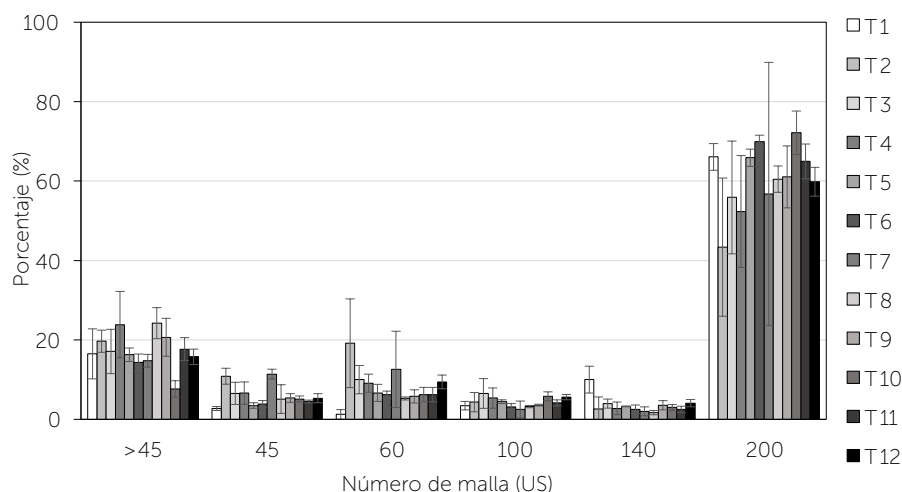


Figura 2. Distribución de partículas de masa de maíz para tortilla que pasaron en las diferentes mallas.

Kassié, D., Roudot, A., Dessay, N., Piermay, J.L., Salem, G. and Fournet, F. (2017). Development of a spatial sampling protocol using GIS to measure health disparities in Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, a medium-sized African city. *International Journal of Health Geographics* 16:14. doi: 10.1186/s12942-017-0087-7.

Martínez-Flores, H. E., Gaytán-Martínez, M., Figueroa-Cárdenas, J.D., Martínez-Bustos, F., Reyes-Vega, M.L. y Rodríguez-Vidal, A. (2004). Effect of some preservatives on shelf-life of corn tortillas obtained from extruded masa. *Agrociencia* 38: 285-292.

Robles, R. R., Murray, E.D. and Paredes-López, O. (1988). Physicochemical changes of maize starch during the lime-heat treatment for tortilla making. *International Journal of Food Science and Technology* 23: 91-98.

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

QGIS Development Team. GIS Geographic Information System. (2016). Open Source Geospatial Foundation Project. <http://www.qgis.org/>.

RStudio Team. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc. (2017). Boston, MA.

Sánchez-Tovar, S. A., Salazar-Zazueta, A., Mena-Iniesta, B., and Durán de Bazúa, C. (2004). Viscoamylographic studies on *Zea mays* [Mexican white Tuxpeño maize] partial gelatinization with calcium hydroxide. *Starch-Stärke* 56: 526-534.

Trejo-González, A., Feria-Morales, A., and Wild-Altamirano, C. (1982). The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation. *Advances in Chemistry* 198: 245-263.

Vázquez-Carrillo, M.A., Ávila-Urbe, G., Hernández-Montes, A, Castillo-Merino, J. y Angulo-Guerrero, O. (2011). Evaluación sensorial de tortillas de maíz recién elaboradas y empacadas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2:161-167

Wang, J. F., Stein, A., Gao, B.B., and Ge, Y. (2012). A review of spatial sampling. *Spatial Statistics* 2: 1-14.

Zazueta, C., G. Ramos, Fernández-Muñoz, J. L., Rodríguez, M.E., Acevedo-Hernández, G. and Pless, R.C. (2002). A radioisotopic study of the entry of calcium ion into the maize kernel during nixtamalization. *Cereal Chemistry* 79: 500-503.