

Estudios Sociales

Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional

Volumen 34, Número 63. Enero – Junio 2024

Revista Electrónica. ISSN: 2395-9169



Situación actual de la calidad microbiológica de las tortillas producidas en las zonas norte y centro de México

Current situation of the microbiological quality of tortillas produced in the northern and central areas of Mexico

DOI: <https://doi.org/10.24836/es.v34i63.1464>
e241464

Anaí Zavala-Franco*

<https://orcid.org/0000-0001-5912-2983>

Juan de Dios Figueroa-Cárdenas*

<https://orcid.org/0000-0002-3324-3936>

Alejandra Elizabeth Alcántara-Zavala*

<https://orcid.org/0000-0002-0966-4466>

Héctor Eduardo Martínez-Flores**

<https://orcid.org/0000-0002-0044-9399>

Alfonso Topete-Betancourt**

<https://orcid.org/0000-0002-2773-4720>

José Juan Véles-Medina*

<https://orcid.org/0009-0007-7032-2821>

Fecha de recepción: 29 de noviembre de 2023.

Fecha de aceptación: 25 de junio de 2024.

*Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN,
Unidad Querétaro, México.

**Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

Autora para correspondencia: Alejandra Elizabeth Alcántara-Zavala.

Libramiento Norponiente 2000, Real de Juriquilla, Querétaro,
Querétaro. 76230, México.

Dirección electrónica: alejandra.alcantara@cinvestav.mx

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.
Hermosillo, Sonora, México.



Resumen / Abstract

Objetivo: Evaluar la calidad microbiológica de las tortillas de maíz y las condiciones higiénicosanitarias bajo las cuales operan las tortillerías en las zonas centro y norte de México. **Metodología:** Se recolectaron muestras de tortilla de seis tortillerías de las ciudades de Pachuca, Hidalgo, Puebla, Puebla, Ciudad de México, Toluca, Estado de México, Querétaro, Querétaro, León, Guanajuato, San Juan de los Lagos, Jalisco y Guadalajara, Jalisco de la zona centro y las ciudades de Monterrey, Nuevo León, Delicias y Ciudad Juárez en Chihuahua, Chihuahua y Tijuana, Baja California Norte en la zona norte. Se cuantificaron coliformes totales (CT), bacterias mesófilas aerobias (BMA), hongos y levaduras (HYL) por triplicado. **Resultados:** El 13.7% de las tortillerías evaluadas en la zona centro no cumplieron con la calidad microbiológica establecida por la regulación mexicana en las tortillas que producen, detectando deficiencias en las prácticas de higiene durante la producción, manejo y almacenamiento de materias primas y del producto terminado (tortillas). En tortillas producidas en la zona norte no se detectaron CT y se observaron buenas prácticas de manufactura durante la cadena producción-comercialización. **Limitaciones:** No todos los productores de tortilla colaboraron para realizar el muestreo. **Conclusiones:** Los productores de tortilla en la zona centro requieren capacitación e implementación de buenas prácticas de manufactura en el proceso para mejorar la calidad microbiológica y evitar enfermedades al consumidor.

Objective: Evaluate the microbiological quality of corn tortillas and the hygienic-sanitary conditions in tortillerias in the central and northern areas of Mexico. **Methodology:** Tortilla samples were collected from six tortillerias in the cities of Pachuca, Hidalgo, Puebla, Puebla, Mexico City, Toluca, Estado de México, Querétaro, Querétaro, León, Guanajuato, San Juan de los Lagos, Jalisco and Guadalajara, Jalisco from the central area and from the cities of Monterrey N.L., Delicias and Ciudad Juárez in Chihuahua, Chihuahua, and Tijuana, Baja California Norte in the Northern area. Total coliforms (CT), aerobic mesophilic bacteria (AMB), mold and yeasts (M&Y) were quantified by triplicate. **Results:** 13.7% of the tortillerias evaluated in the central area did not meet the microbiological quality established by Mexican regulation in their tortillas, detecting deficiencies in hygiene practices during the production, handling and storage of raw materials and the product ended (tortillas). In tortillas produced in the northern zone, CT was not detected and *tortillerias* exhibited good manufacturing practices during the production-marketing chain. **Limitations:** Not all tortilla producers collaborate to carry out sampling. **Conclusions:** Tortilla producers in the central area need training and implementation of good manufacturing practices in their process to improve microbiological quality and avoid consumer illnesses.

Palabras clave: alimentación contemporánea; tortillas; calidad microbiológica; condiciones de procesamiento; coliformes totales; zonas centro y norte de México.

Key words: contemporary food; tortilla; microbiological quality; processing conditions; total coliforms; central and northern areas from Mexico.



Introducción

La tortilla de maíz es uno de los alimentos más tradicionales que se consume en México y constituye parte de la dieta básica de la población mexicana y centroamericana (Heredia et al., 2022). El origen e invención de las tortillas se les atribuye a las mujeres tlaxcaltecas cerca del año 1325 d.C. La palabra tortilla proviene del latín “torta pequeña” mientras que, en lengua náhuatl era llamada como tlaxcalli (tla: cosa, ixcalli: cocido) (Figueroa, 2022). En México, el consumo per cápita anual es de 85 kilogramos en zonas urbanas (Rooney y Serna, 2016), sin embargo, esos valores pueden diferir por la zona geográfica, llegan hasta 125 kilogramos anuales. La producción de tortilla de maíz asciende a 20 millones de kilogramos por día Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2022) en donde participan poco más de 120,000 tortillerías distribuidas a lo largo del país. Las tortillerías elaboran tortilla con base en tres principales insumos, harina de maíz nixtamalizado, masa de maíz nixtamalizado (nixtamal) y la mezcla (harina de maíz nixtamalizado con masa de maíz).

Las tortillas son una fuente de nutrientes, aportan el 38.8% de las proteínas, 45.2% de calorías, contienen minerales como calcio en 49.1%, hierro y zinc, además de fibra y vitaminas como la A, D, E y B12 (Figueroa et al., 2001; Serna et al., 2015). Mientras que, en la población más vulnerable, la tortilla de maíz aporta hasta el 50% de las proteínas de la ingesta diaria recomendada y el 70% del total de las calorías (Figueroa et al., 2001).

La calidad de las materias primas (harinas de maíz nixtamalizado), masa y de las tortillas de maíz es imperante por lo que se debe evaluar durante la cadena de producción-comercialización para garantizar la inocuidad y el valor nutrimental de las mismas, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-247-SSA1-2008) y Norma Mexicana (NMX-F-046-S-1980). Los parámetros de calidad para las tortillas de maíz están establecidos por la NOM-187-SSA1/SCF1-2002 y se relacionan con la calidad biológica, toxicológica y nutrimental de las tortillas. Sin embargo, tales parámetros, la mayoría de las veces, no se cumplen, debido a la ausencia del monitoreo por parte de las autoridades correspondientes, así como a la falta de capacitación y orientación del personal productor. Específicamente, los límites de calidad microbiológicos han sido el foco de atención y de gran interés en el sector gubernamental y en la industria de la masa y de la tortilla, debido a que su incumplimiento puede desencadenar efectos adversos en la salud de la población lo que ha puesto en revisión a la NOM-187 en el PROY-NOM-187-SSA1/SE-2021. Lo anterior ha derivado en que durante el proceso de transformación del maíz a tortilla existen maniobras y prácticas inadecuadas que propician la contaminación microbiana de materias primas, productos intermedios (la masa) y el producto terminado (las tortillas). Ello puede ocasionar que bacterias patógenas contaminen y provoquen problemas de salud pública (Gómez, Rangel, Cruz, Román y Castro, 2013).

El proceso de elaboración de tortillas en México no se encuentra estandarizado y tampoco industrializado en su totalidad, por lo que existe manipulación humana. El proceso de producción de tortillas consiste en la cocción alcalina de maíz con agua y cal (CaOH_2) para obtener maíz cocido (nixtamal), el cual, posteriormente, es lavado y molido para obtención de la masa. Haciendo uso de un moldeador, la masa es convertida en discos delgados y aplanados con diámetros de 160 mm a 250 mm y de espesor un milímetro a 2 milímetros, posteriormente son cortados. Las tortillas obtenidas se cuecen por ambos lados a una temperatura de aproximadamente 80°C por un tiempo de 20 a 40 segundos, después el producto



pasa a lo largo de una cinta transportadora de malla metálica para enfriarlo hasta una temperatura final de aproximadamente 50°C. El trabajador retira las tortillas de la cinta transportadora con las manos (probablemente sucias), sin utilizar guantes y las coloca en hieleras o las vende directamente al consumidor (Gómez et al., 2013).

Las distintas vías por las que pueden llegar los microorganismos a las tortillas son a través de las manos del trabajador, superficies sucias, trapos sucios, equipos y utensilios con inadecuado lavado y sanitizado, materias primas de mala calidad o caducadas, ambiente y agua (Srivastava, 2021). Cuando los microorganismos llegan a las tortillas su desarrollo y multiplicación son favorecidos por factores como actividad de agua (0.97), humedad (45%-50%), pH (4.8-12), contenido de carbohidratos propios del alimento (Fernández, 2008; Srivastava, 2021). Además, las condiciones de almacenamiento de materias primas, las temperaturas de procesamiento de la tortilla, así como la formulación son factores que afectan la calidad microbiológica final del producto (Rico, 2019). Con respecto a las buenas prácticas de manufactura (BPM), la NOM-251- SSA1-2009 establece los criterios de higiene en México para el procesamiento de alimentos, que se deben de cumplir y monitorear para asegurar la inocuidad de los mismos. Las BPM son definidas como los principios y prácticas básicas de higiene en la preparación, elaboración, manipulación, envasado, almacenamiento, transporte y distribución de alimentos para consumo humano (Rueda, 2018). Con la finalidad de garantizar y asegurar que los alimentos se fabriquen en condiciones sanitarias adecuadas y reducir riesgos potenciales de enfermedades transmitidas por alimentos, brindándole al consumidor bienestar y salud Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018). Por lo tanto, la calidad de los alimentos está alineada con preservar la salud pública, esto en función del cumplimiento de las características que ofrece un producto o servicio para satisfacer las necesidades de los consumidores Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2024). Así mismo, dicha calidad debe ser controlada (control de calidad) por parte de las autoridades gubernamentales correspondientes para garantizar que el consumidor adquiera un producto seguro, inocuo, sano y apto para su consumo. Por lo tanto, la deficiencia en las BPM durante el proceso de elaboración de tortillas, puede comprometer la calidad microbiológica y repuntar en enfermedades asociadas al consumo de este alimento, tal como el caso investigado por la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS, 2022) donde se reportó la venta de tortillas piratas. Al tema de la inocuidad de la tortilla poca relevancia y seriedad se le da, además que

esto no es vigilado de manera constante por las regulaciones sanitarias durante la cadena de producción-comercialización.

Los principales microorganismos que se desarrollan en las tortillas de maíz son bacterias, hongos y levaduras (Ibarra, 2019). Las bacterias pueden ser patógenas, es decir, que causan daño a la salud como *Salmonella* spp, *E. coli* y *Bacillus subtilis* que han sido aislados de tortillas (Gómez et al., 2013; Srivastava, 2021). Las bacterias pueden provocar enfermedades como gastroenteritis, diarreas graves e incluso la muerte. Mientras que los hongos pueden ocasionar intoxicaciones alimentarias y sintetizar micotoxinas que pueden llegar a ser cancerígenas (FAO, 2009). Los hongos aislados de las tortillas han sido especies provenientes de *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rizopus* y *Neurospora* (Srivastava, 2021).

Las especificaciones microbiológicas para tortilla están concentradas en la NOM-187SSA1/SE-2002, la cual establece como único indicador de control biológico a los coliformes totales (CT) con un límite máximo permitido de < 30 UFC/g o < 1.47 Log UFC/g. De acuerdo con Pierson y Smoot (2001) y Chapin, Nightingale, Worobo, Wiedmann y Strawn (2014) los microorganismos indicadores (MI) son un grupo de microorganismos que reflejan y advierten oportunamente sobre un manejo inadecuado, contaminación y deficiencia en las BPM durante la producción de alimentos, lo que puede aumentar el riesgo de bacterias patógenas. Estos MI comprenden a bacterias mesófilas aerobias (BMA), CT, hongos y levaduras. Por lo tanto, al comprar tortillas calientes y consumirlas después de dos a tres horas sin recalentarlas y sí llegaran a presentar bacterias patógenas, existe una probabilidad alta de contraer algún tipo de enfermedad gastrointestinal.

La tortilla de maíz es un alimento consumido por miles de personas en México, incluyendo la población vulnerable como lactantes desde un año, adultos mayores, personas inmunocomprometidas (mujeres embarazadas, personas con enfermedades crónicas degenerativas), por lo que es de gran necesidad monitorear y vigilar las condiciones sanitarias para su elaboración, para tomar acciones preventivas y correctivas. Poca información actualizada existe acerca de la calidad microbiológica de las tortillas y no se sabe con certeza las condiciones higiénico-sanitarias reales bajo las cuales se procesa el alimento tradicional de los mexicanos. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad microbiológica de las tortillas producidas en las zonas centro y norte de México con la finalidad de obtener un panorama actual de su calidad microbiológica y las condiciones higiénico-sanitarias de su elaboración.



Metodología

Muestreo

Se recolectaron muestras de tortillas frescas de establecimientos que elaboran tortillas con los siguientes insumos: harina de maíz nixtamalizado, masa de maíz nixtamalizado (nixtamal 100%) y la mezcla (harina de maíz nixtamalizado con nixtamal). Se muestrearon seis tortillerías por ciudad de cada una de las zonas norte y centro de México. Las ciudades de la zona centro correspondieron a Pachuca, Hidalgo, Puebla, Puebla, Ciudad de México, Toluca, Estado de México, Querétaro, Querétaro, León, Guanajuato, San Juan de los Lagos y Guadalajara en Jalisco, mientras que, en la zona norte fueron Monterrey, Nuevo León, Delicias y Ciudad Juárez en Chihuahua, Chihuahua y Tijuana, Baja California Norte. Las tortillas se recolectaron en bolsas estériles, fueron transportadas en hieleras a 4°C y, posteriormente analizadas a las 24 horas de su recolección. Se realizó una inspección visual de acuerdo con un checklist (elaborado con base en la NOM-251- SSA1-2009) en cada tortillería visitada, evaluando aspectos vinculados con las condiciones higiénico-sanitarias de operación. El checklist comprendía los siguientes puntos: verificación de uso de filtros de agua, limpieza y orden en las instalaciones, uso de cofia y cubrebocas, uso de guantes o bolsa al cobrar el dinero, tipo de insumo empleado en el establecimiento, tipo de distribución de tortilla (moto, camioneta, a granel), uso de mejoradores o conservadores, presencia de condensaciones y olores desagradables.

Análisis microbiológicos

Se cuantificaron bacterias mesófilas aerobias (BMA), coliformes totales (CT), hongos y levaduras (HYL) de acuerdo con las metodologías establecidas por las Normas Oficiales Mexicanas NOM-110-SSA1-1994, NOM-113-SSA1-1994, NOM-092-SSA1-1994, NOM-111-SSA1-1994. Se realizaron diluciones decimales (10^{-1} a 10^{-6}) en agua peptonada estéril al 0.1% p/v (Difco, Co., Tacuba, México) y un mililitro de muestra diluida se mezcló con 20 mL de agar cuenta estándar para

determinar las BMA (Difco, Dickinson, USA), agar rojo bilis violeta (Merck, Darmstad, Alemania) para los CT y agar papa dextrosa (Dibico, Co., México) para cuantificar HYL. La incubación se realizó a 37°C por 24 horas para los CT, las BMA fueron incubadas por 48 horas a 37°C, y para hongos y levaduras la incubación fue a 25°C por cinco días. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis y se realizó el ANOVA de una vía con nivel de significancia $p < 0.05$.

Resultados

Con base en los datos obtenidos de las tortillerías evaluadas en la zona centro de México, se detectó que el 67% de las tortillerías muestreadas emplean la mezcla (masa de maíz con harina de maíz nixtamalizado) para procesar tortillas, el 16% utiliza masa de maíz nixtamalizado (nixtamal 100%) y el 12% emplea harina de maíz nixtamalizado. Sin embargo, se encontraron tortillerías (el 7% de las evaluadas) que utilizaron harina de trigo para mezclarla con la masa de maíz nixtamalizado. Aunque este tipo de harina es usada con la finalidad de reducir costos y mejorar las características de las tortillas, según los productores, no es muy utilizada por la mayoría de los industriales.

En la zona centro de México la preferencia es elaborar tortillas con la mezcla masa de nixtamal-harina de maíz nixtamalizado ya que los consumidores tienen mayor aceptación por este tipo de tortilla, según información proporcionada por los productores. No obstante, un estudio realizado por Escobedo y Jaramillo (2019) reportaron que en el estado de Puebla los consumidores mostraron mayor aceptación sensorial por las tortillas elaboradas con masa de maíz nixtamalizado (nixtamal 100%). Por otro lado, en la zona norte de México se observó una tendencia diferente con respecto a la zona centro. Esto debido a que la principal materia prima en la zona norte para procesar tortillas es la harina de maíz nixtamalizado, siendo que el 50% de las tortillerías muestreadas la utilizaron,



mientras que el 46% de los establecimientos emplea la mezcla y solo el 4% procesa tortillas a base de nixtamal 100%. La ventaja del uso de harina de maíz nixtamalizado es la facilidad con la que se producen las tortillas, ahorrando energía y agua, no hay traslados del grano de maíz y se ahorra tiempo, aunque se sacrifica el aspecto, sabor y aroma característicos de la tortilla. En cambio, se mantiene en la mayoría de los casos, la calidad nutrimental pues las harinas son fortificadas con vitaminas y minerales (NMX-F-046-SCFI-1980).

Respecto a la calidad microbiológica de las tortillas evaluadas en la zona centro de México, específicamente en las tortillas elaboradas con harina de maíz nixtamalizado mostraron cantidades de CT dentro de norma (Figura 1). La presencia de conservadores en las harinas de maíz permite inhibir y controlar el desarrollo de microorganismos (Srivastava, 2021) y, sumado a esto, en la mayoría de los establecimientos se observó orden y limpieza (Figura 4). En cambio, en las tortillas que fueron procesadas con la mezcla masa de maíz (nixtamal) y adicionaron harina de trigo, se detectaron los niveles más altos de CT en comparación con todas las muestras evaluadas. Conteos de hasta 3.54 Log UFC/g de CT fueron obtenidos en estas muestras (Figura 1), valores que están fuera de lo permitido por la NOM-187 (permite < 1.47 Log UFC/g). Acciones comprometedoras a la inocuidad por contaminación cruzada pudo generar los altos conteos de CT, así como contaminaciones postproceso. En el establecimiento se observó que las harinas de trigo se encontraban en costales de rafia sin marca, almacenadas en zonas carentes de limpieza y orden, así como malos olores. Cabe mencionar que en uno de estos establecimientos se detectó el uso directo de agua de pozo para elaboración de la masa. El riesgo de utilizar agua de pozo, la cual no pasa por el proceso de cloración y filtración, conlleva a contaminar a los alimentos con bacterias que pueden ser patógenas (Ríos, Agudelo y Gutiérrez, 2017). El agua proveniente de estas fuentes puede contener elevados niveles de metales pesados como plomo, arsénico, mercurio, cadmio entre otros, que resultan ser peligrosos para la salud (Olmos y Octavio, 2022). Estas malas prácticas pudieron haber contribuido tener una deficiente calidad microbiológica en las tortillas elaboradas con la mezcla nixtamal y harina de trigo. Sin embargo, se requiere más investigación acerca de la calidad microbiológica de las harinas y del agua utilizada en las tortillerías, esto para verificar que cumplan con la calidad adecuada para su uso en el procesamiento de alimentos. De acuerdo con Félix, Campas y Meza (2005) la verificación sanitaria de los alimentos es determinante para reducir factores de riesgo que pueden comprometer

la salud del consumidor y así tener un control de qué variables y puntos críticos de control son necesarios monitorear e implementar.

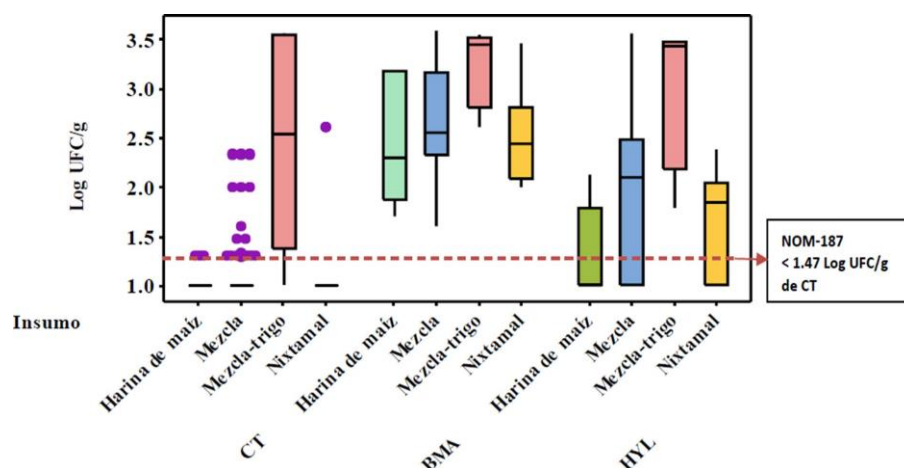


Figura 1. Contenido de coliformes totales (CT), bacterias mesófilas aerobias (BMA), hongos y levaduras (HYL) en tortillas de maíz elaboradas con harina de maíz, la mezcla, la mezcla-trigo y nixtamal en la zona centro de México.

Fuente: elaboración propia con datos de trabajo de campo 2022.

El contenido de CT en tortillas elaboradas con la mezcla nixtamal y harina de maíz también estuvieron fuera de norma, es decir, superaron el 1.47 Log UFC/g permitido (Figura 1). Resultados similares fueron reportados por Gómez et al. (2013) en tortillas recolectadas de la ciudad de Pachuca, encontrando altos niveles de CT y algunas bacterias como *Salmonella* y *E.coli*. El alcance de la presente investigación se limitó sólo a la determinación de MI, pero es necesario evaluar la presencia de patógenos y coliformes fecales para tener un panorama más completo de la calidad microbiológica.

En las tortillerías que procesaron tortillas con la mezcla (nixtamal y harina de maíz) se observaron deficiencias en las condiciones higiénico-sanitarias durante el procesamiento (Figura 4), lo que pudo influir en los elevados conteos de CT encontrados. La calidad microbiológica de las tortillas elaboradas con nixtamal, se encontró que no todas cumplieron con la calidad establecida por la regulación mexicana (Figura 1). Cuando se emplea solo el nixtamal se considera que las tortillas están susceptibles al deterioro y contaminación microbiana, incluso aunque



contengan cal, ya que ésta no garantiza por sí misma el control microbiano y las contaminaciones adyacentes al proceso y postproceso.

Sin embargo, este problema se puede contrarrestar implementando las BPM, manteniendo orden, limpieza, almacenando adecuadamente el maíz, y desde luego que los operadores utilicen masa elaborada del mismo día para procesar tortillas, debido a que la masa de días anteriores está agria y contienen elevado número y diversidad microbiana que altera la calidad final de las tortillas (Adolphson, Dunn, Jefferies y Steele, 2013). La práctica no solamente se recomienda para tortillerías que trabajan solo con nixtamal, sino para todas en general.

Por otra parte, el mayor contenido de BMA, hongos y levaduras se detectó en las muestras de tortillas elaboradas con la mezcla-trigo (nixtamal y harina de trigo) (Figura 1). Se considera que esto fue consecuencia de las condiciones de operación ya mencionadas. En cambio, las tortillas de nixtamal fueron las que mostraron menor contenido de BMA y HYL de todas las muestras evaluadas, seguido de las tortillas de harina de maíz y la mezcla. Sin embargo, todas las muestras revelaron niveles superiores a 1.5 Log UFC/g de hongos y mesófilos aerobios. Conteos menores de estos microorganismos fueron reportados por Cornejo, Hérnandez, Gutiérrez, Rojas y Rodríguez (2008) en tortillas de nixtamal (<1 Log UFC/g). Esto se puede explicar en función a las diferentes condiciones higiénicas y manejo del producto en cada uno de los establecimientos evaluados. Además, que las BMA, HYL son de amplia ubicuidad y pueden llegar a las tortillas por contaminación postproceso. Esto puede explicar la carga microbiana encontrada en tortillas de harina de maíz (3.18 Log UFC/g de BMA y 2.13 Log UFC/g de HYL (Figura 1). Recuentos elevados de BMA indican contaminación en materia prima, inadecuado almacenamiento del producto, así como condiciones ambientales poco higiénicas (Pierson y Smoot, 2001). Para cada situación en particular es necesario realizar un análisis y verificación más detallada de las maniobras que se realizan durante el proceso y manipulación de la tortilla. Aunque no existe una norma que regule la cantidad de BMA, hongos y levaduras es importante mantener adecuadas condiciones higiénico-sanitarias de operación y cuidar la calidad de las materias primas para lograr obtener una tortilla segura para el consumidor.

De acuerdo con Rico et al., (2019) la calidad del insumo o de las materias primas empleadas durante el procesamiento puede influir en la calidad final del producto. Lo señalado se corroboró con los análisis estadísticos realizados, de tal forma que cuando se aplicó la correlación de Spearman (Tabla 1) se obtuvo un valor positivo

($r_s = 0.26$) indicando que el tipo de insumo ejerció un efecto significativo en el contenido de CT (Figura 2), es decir en la calidad microbiológica del producto. Sin embargo, el valor de " r_s " obtenido estuvo en un rango de 0.26 - 0.50 lo cual implica una relación débil entre las variables evaluadas (Fanavos, 1988). No obstante, la calidad de las materias primas siempre se debe considerar, ya que forma parte de las BPM y del control de calidad necesario que debe ejercer cada actor participativo, es decir el productor y operadores involucrados en la fabricación de tortillas, para obtener un producto seguro para el consumidor (NOM-251-SSA1-2009).

Tabla 1.
Correlación del contenido de coliformes totales respecto al tipo de insumo utilizado para elaboración de tortillas de maíz en la zona centro de México.

Correlación Spearman rho		Correlación Pearson		
	r _s	p-valor	r _s	
Insumo	0.26	0.001	Insumo	0.26

Fuente: Elaboración propia con datos de trabajo de campo 2022.

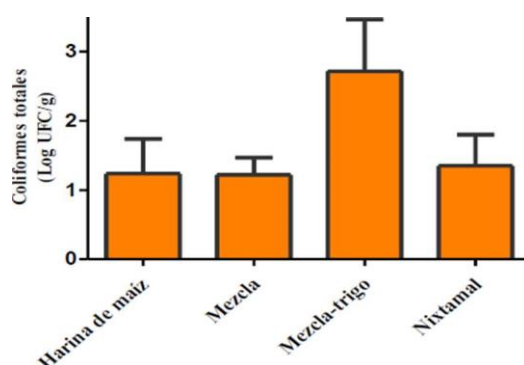


Figura 2. Efecto del tipo de insumo empleado para elaboración de tortillas de maíz en el contenido de coliformes totales de acuerdo con el ANOVA-una vía al 95% de confianza.

Fuente: elaboración propia con datos de trabajo de campo 2022.



Respecto a los análisis de varianza y de Kruskal- Wallis (Figura 2 y Tabla 2), se obtuvieron diferencias significativas en las muestras de tortillas que fueron elaboradas con la mezcla-harina de trigo con respecto al contenido de CT. Es decir, que la harina de trigo como ingrediente mostró un efecto significativo en la calidad microbiológica de las tortillas, de tal forma que dichas muestras fueron las que exhibieron los conteos más altos de CT de todas las tortillas evaluadas en la zona centro del país. Además, no cumplieron con la regulación sanitaria. En cambio, no se observó un efecto significativo en el contenido de CT en tortillas cuando se utilizaron los insumos harina de maíz, mezcla y nixtamal (Figura 2, Tabla 2). Se considera que las materias primas utilizadas para procesar alimentos son un punto crítico de control (PCC). Un PCC es una etapa del proceso en la cual se puede aplicar una acción encaminada a reducir, eliminar o prevenir peligros previamente identificados (Fernández, 2008).

Tabla 2.

Análisis de Kruskal-Wallis en el contenido de coliformes totales en función del tipo de insumo empleado para elaborar tortillas de maíz en la zona centro de México

Insumo	N	Mediana	Rango	z
Harina de maíz	21	1	78.8	-0.85
Mezcla	114	1	84	-1.26
Mezcla-harina de trigo	12	2.532	154.2	4.75
Nixtamal	27	1	79.4	-0.90
Overall	174		87.5	
H=22.89; DF= 3, P=0.00				
H=43.82; DF=3; P=0.00				

Fuente: elaboración con datos propios de trabajo de campo 2022.

La estabilidad microbiológica de las tortillas de maíz está asociada a su contenido de humedad y actividad de agua (Fernández, 2008). Valores de humedad entre 45%-50% y actividad de acuosa de 0.96-0.98 en tortillas son propicios para la multiplicación y desarrollo de los microorganismos, lo que conlleva a una reducida vida de anaquel y a una rápida descomposición, alterando la inocuidad y los

atributos sensoriales del producto (Martínez et al., 2004; Ibarra, 2019). En las muestras evaluadas los valores más altos de humedad se encontraron en tortillas elaboradas con el insumo mezcla-trigo, con valores de hasta 51% (Figura 3). Esto puede explicar el contenido tan elevado de MI encontrado en las tortillas elaboradas con mezcla-trigo (Figura 1).

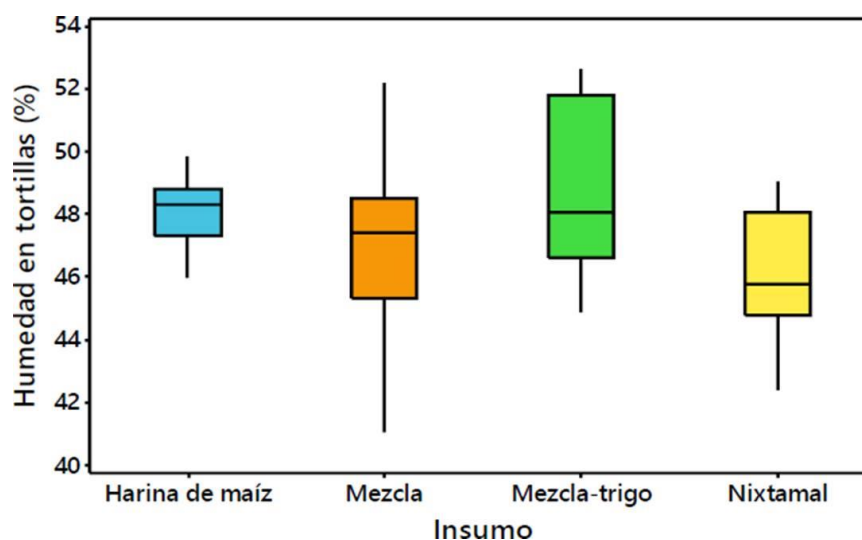


Figura 3. Contenido de humedad en tortillas de maíz elaboradas con distintos insumos de la zona centro de México.

Fuente: elaboración con datos propios de trabajo de campo 2022.

De acuerdo con Fernández, (2008) los microorganismos con capacidad para desarrollar a actividades de agua desde 0.60 hasta 0.85 son esencialmente hongos y levaduras. Cuando la actividad acuosa es menor a 0.85 en el alimento, se considera que la descomposición está ocasionada por hongos que, por bacterias, es por esta razón que la descomposición de alimentos ricos en carbohidratos y azúcares posean una reducida vida de anaquel. En las tortillas elaboradas con nixtamal, la mezcla y harina de maíz se obtuvieron valores desde 45% a 48% de humedad. Estos resultados son similares a los encontrados por Colin et al. (2020) en tortillas de maíz comerciales quienes reportaron valores de humedad en rangos de 45.9% a 48.1%. En general, los valores de humedad encontrados en las tortillas evaluadas superaron el 40 por ciento.

Según las investigaciones realizadas por Santiago, Figueroa, Véles, Mariscal, Reynoso, Ramos, Gaytán y Morales, (2015) y Topete, Santiago y Figueroa, (2020) indicaron que valores de humedad a partir de 40% en tortilla son recomendados para que el producto sea considerado de buena calidad. Aunque, las variaciones en este parámetro están sujetas a factores como variedad de maíz utilizada, condiciones durante el proceso de nixtamalización, condiciones ambientales, de procesamiento y empaque (Rendon, Agama, Osorio, Tovar y Bello, 2009).

Por otro lado, las condiciones higiénico-sanitarias evaluadas en las tortillerías de la zona centro se muestran en la Figura 4. Se detectó que el 61% de estos establecimientos no utilizan filtros de agua, el 49% mostraron orden y limpieza, en el 53% de las tortillerías los operadores no utilizan cofia ni cubre bocas y en el 56% (más de la mitad de las tortillerías muestreadas) el despachador no utiliza una bolsa o guante al cobrar el dinero (Figura 4). Como consecuencia esto se vio reflejado en la calidad microbiológica final de las tortillas. Además, también se detectó que el personal no utiliza la indumentaria adecuada tal como, calzado y ropa.

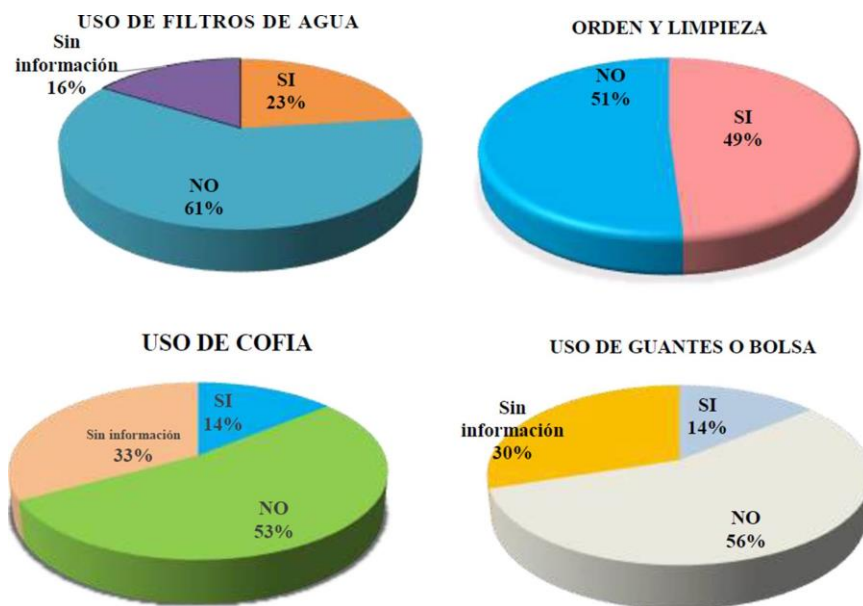


Figura 4. Condiciones de operación en las tortillerías muestreadas en la zona centro de México.
Fuente: elaboración propia con datos de trabajo de campo 2022.

Las manos son una de las vías de contaminación microbiana más peligrosas y frecuentes en los sitios de preparación de alimentos. Por lo que la ausencia o inadecuado lavado propician el ingreso de gérmenes patógenos a los alimentos. El uso de guantes de ninguna forma excluye al lavado escrupuloso y correcto de manos (Fernández, 2008).

En la zona norte de México, de las tortillerías evaluadas se detectó que el 48% utiliza harina de maíz nixtamalizado, mientras que el 4% emplea nixtamal y otro 48% utiliza la mezcla como insumos para elaborar tortillas. La calidad microbiológica de las muestras de tortillas evaluadas en esta región del país, superó las expectativas, debido a que en ninguna se detectaron coliformes totales (< 10 UFC/g) (Tabla 3). Estos resultados no son consistentes con la calidad microbiológica reportada por Gómez et al., (2013) en tortillas de maíz de la zona centro del país, pertenecientes al estado de Hidalgo, donde encontraron niveles fuera de norma de CT y aislaron bacterias patógenas como *Salmonella* spp y *E. coli*. Es muy contrastante la calidad microbiológica de ambas regiones, esto puede deberse a factores como cultura, forma de trabajo y organización, así como la exigencia y vigilancia de las autoridades sanitarias. La vigilancia sanitaria en la zona norte es más rigurosa que en la zona centro, de acuerdo con información proporcionada por los productores. Además, en tortillerías de la zona norte de México se observó que los operadores ejecutan las buenas prácticas de manufactura, mostraron orden y limpieza, utilizan cofias y cubrebocas, así como filtros de agua, por lo que el producto resultó con adecuada calidad microbiológica cumpliendo con los límites establecidos por la regulación mexicana.

El contenido de BMA, HYL no fue mayor a 2.5 Log UFC/g (Figura 5) en las tortillas elaboradas en zona norte con los tres tipos de insumos utilizados (harina de maíz, mezcla y nixtamal). En ninguna tortillería se detectó el uso de harina de trigo como en la zona centro. Al encontrar bajos niveles de mesófilos y hongos implica que los productores emplean materias primas o insumos de calidad óptima para el procesamiento del producto, mantienen condiciones de higiene durante el procesamiento y esto brinda seguridad al consumidor de adquirir un producto inocuo. En la zona centro, el contenido de hongos mostró valores parecidos en tortillas elaboradas con harina de maíz, mezcla y nixtamal, a los valores encontrados en tortillas elaboradas con los mismos insumos en la zona norte. Con respecto a los mesófilos, el contenido encontrado en tortillas de harina de maíz de la zona centro fue máximo de 3.2 Log UFC/g siendo mayor al obtenido en tortillas del mismo



Tabla 3.

Cuantificación de coliformes totales en tortillas de maíz recolectadas en la zona norte de México

Muestra	Insumo	Coliformes Totales
1-MTY	Harina de maíz	ND
2-MTY	Harina de maíz	ND
3-MTY	Harina de maíz	ND
4-MTY	Harina de maíz	ND
5-MTY	Harina de maíz	ND
6-MTY	Mezcla 50:50	ND
1-DL	Mezcla 70:30	ND
2-DL	Mezcla 80:20	ND
3-DL	Mezcla 70:30	ND
4-DL	Harina de maíz	ND
5-DL	Mezcla	ND
6-DL	Harina de maíz	ND
1-CdJ	Harina de maíz	ND
2-CdJ	Harina de maíz	ND
3-CdJ	Harina de maíz	ND
4-CdJ	Mezcla 30:70	ND
5-CdJ	Mezcla 70:30	ND
6-CdJ	Mezcla 50:50	ND
1-TJ	Harina de maíz	ND
2-TJ	Mezcla	ND
3-TJ	Mezcla	ND
4-TJ	Mezcla 60:40	ND
5-TJ	Nixtamal	ND
6-TJ	Harina de maíz	ND
7-TJ	Mezcla 50:50	ND
8-TJ	Harina de maíz	ND

ND: No Detectado (Límite de detección de la técnica < 10 UFC/g).

Número de muestra seguido por la ciudad donde MTY: Monterrey, DL, Delicias, Chihuahua, CdJ: Ciudad Juárez, Chihuahua, TJ-Tijuana.

Fuente: elaboración propia con datos de trabajo de campo 2023

insumo de la zona norte (2.3 Log UFC/g). Resultados más altos de BMA, HYL fueron reportados por Capparelli y Mata, (1975) en tortillas que fueron previamente recalentadas. Lo señalado revela que es imperante producir tortillas de calidad porque durante el almacenamiento a temperatura ambiente, principalmente, los microorganismos se multiplican rápidamente ocasionando deterioro del producto. La temperatura final de la tortilla (ya lista para su venta y consumo) estuvo en rangos desde 60°C a 65°C y la temperatura promedio fue de 44.8°C, esto en la zona norte del país.

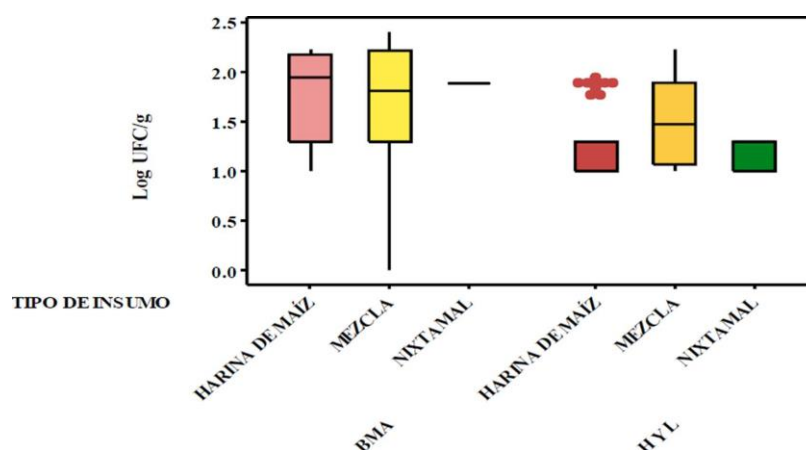


Figura 5. Contenido de bacterias mesófilas aerobias (BMA), hongos y levaduras (HYL) en tortillas de maíz elaboradas con harina de maíz, mezcla y nixtamal en la zona norte de México.
Fuente: elaboración propia con datos de trabajo de campo 2023

Con respecto al contenido de humedad de las tortillas de la zona norte, se encontraron valores en rangos desde 45% a 56% (Figura 6). Estos contenidos de humedad pueden deberse a la generación de condensación cuando las tortillas calientes son empaquetadas en papel kraft y, posteriormente, guardadas en las hieleras. Cabe mencionar que las hieleras se mantienen abiertas para enfriar el producto. Mientras que la humedad de las tortillas elaboradas con el nixtamal mostró valores de 48%. Ese valor es similar a lo reportado por Colín et al. (2020) en tortillas elaboradas con diferentes variedades de maíz, las cuales mostraron rangos de humedad desde 45% a 48%. De acuerdo con Hernández, Agama, Islas, Tovar, y Bello (2007) las tortillas pueden tener humedades en rangos que van desde 35% al 50%. Esto debido a las condiciones de procesamiento.

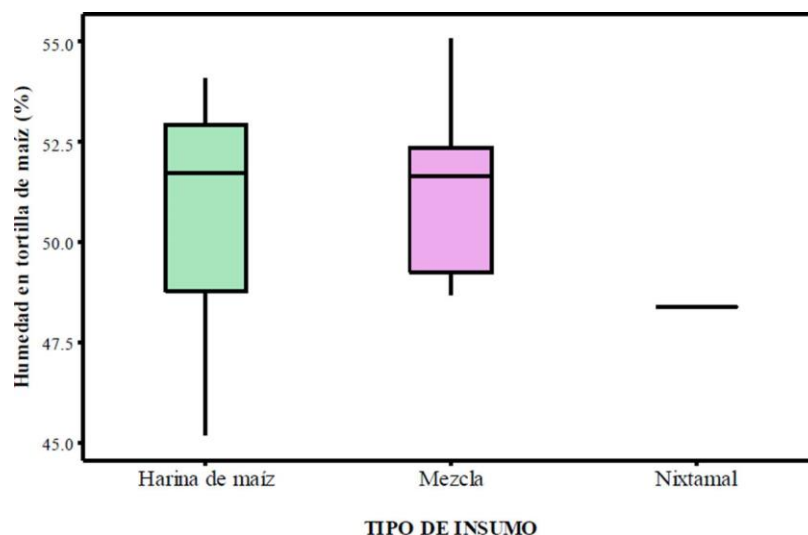


Figura 6. Contenido de humedad en tortillas de maíz elaboradas con diferentes insumos en la zona norte de México.

Fuente: Elaboración propia con datos de trabajo de campo 2023.

Los aspectos evaluados sobre buenas prácticas de manufactura en los establecimientos y la forma de manejo del producto se muestran condensados en la Figura 7. Las tortillas en la zona norte son distribuidas para su venta principalmente en forma de reparto (88%) y la venta en mostrador o a granel es del 12%. Para el reparto, las tortillas previamente son empacadas en papel kraft y colocadas en hieleras que posteriormente son distribuidas en camionetas. El 38% de los productores mencionaron que utilizan mejoradores o conservadores para adicionarlos a las tortillas y tengan mayor durabilidad, mientras que el 62% no los utiliza. A pesar de esto, todas las tortillerías evaluadas mostraron adecuada calidad microbiológica en su producto. El manejo de las tortillas en el interior de los establecimientos era cuidadosa y organizada, esto se corroboró al observar que, en la mayoría de las tortillerías, tienen destinadas a personas específicamente para la actividad de empaque de tortillas y otras que solo se encargan de la venta en mostrador.

En este último caso, se detectó que las personas que despachan las tortillas a los consumidores se lavan las manos y utilizaban gel antibacterial. Además, al cobrar el dinero el personal se colocaba guantes o una bolsa, esto se observó en el 62% de las tortillerías visitadas. Mientras que para los operadores que estaban dedicados al empaque, previamente se lavaban y desinfectaban las manos. Adicional a esto, el

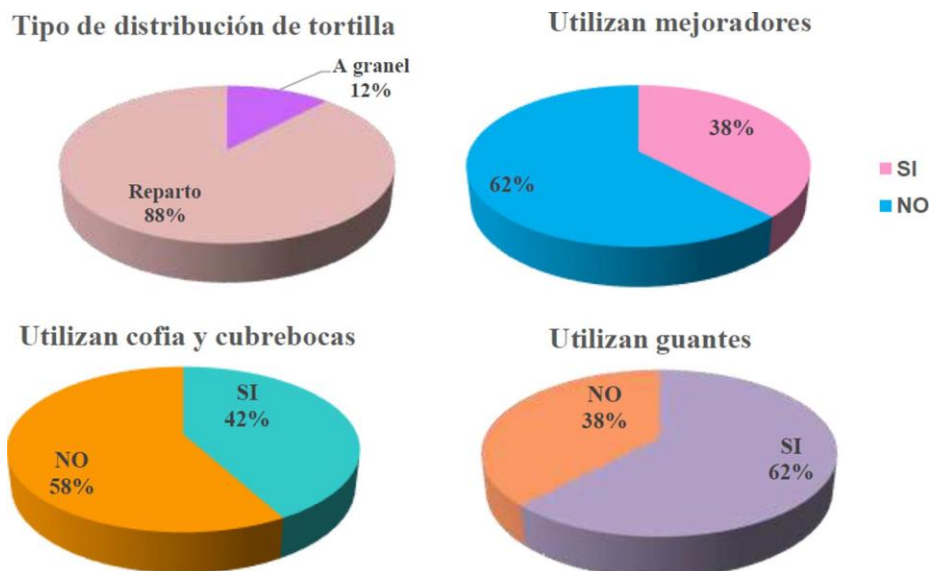


Figura 7. Condiciones de operación en las tortillerías muestreadas en la zona norte de México.
Fuente: elaboración propia con datos de trabajo de campo 2023.

uso de cofia y cubrebocas se observó en despachadores y empacadores, esto en un 42% de las tortillerías. Lo especificado no necesariamente está relacionado a encontrar bacterias patógenas y coliformes totales en tortillas, pero es una práctica relacionada con preservar la inocuidad. Por ejemplo, el uso de cubrebocas puede prevenir que las personas contaminen al toser o estornudar los alimentos, así como el uso de cofia previene contaminar con cabellos, que es algo indeseable de encontrar en una tortilla. Otro aspecto evaluado fue orden y limpieza, que fue tangible en el 85% de los establecimientos

Ello se vio reflejado por la adecuada distribución de áreas de proceso en el interior de las tortillerías, ya que se observaron áreas destinadas para almacenar las materias primas (las cuales estaban identificadas) y áreas para llevar a cabo el proceso de nixtamalización, y otra área donde se elabora la masa y tortilla. Es frecuente encontrar condensación en paredes y techos de tortillerías que procesan nixtamal, sin embargo, en las tortillerías de la zona norte esta sólo sucedía en el área destinada a realizar la nixtamalización, evitando humedecer y contaminar otros ingredientes. Ausencia de condensación se obtuvo en el 92% de las tortillerías evaluadas. De acuerdo con Fernández, (2008) cuando la humedad relativa en el ambiente es mayor al 55% dentro de los cuartos que almacenan diversos materiales por semanas o

meses, se favorecerá el desarrollo de hongos. Por lo tanto, se requerirá de ventilación para no rebasar el límite de humedad relativa. En el caso de las zonas costeras, donde la humedad relativa es muy alta, se recomienda la instalación de aire acondicionado o de equipo deshumecedor y desde luego debe evitarse el estancamiento de agua en el piso. No observaron plagas durante la visita a cada tortillería. La calidad del agua es determinante para obtener un producto microbiológicamente seguro, por lo cual, se encontró que el 77% de las tortillerías utilizan filtros de agua, mientras que el resto no lo usa. Por otro lado, aspectos como la presencia de malos olores fueron evaluados, esto debido al uso de coladeras, siendo que el 4% de las tortillerías mostraron olor a drenaje (Figura 8). Esto posiblemente vinculado a un inadecuado mantenimiento del mismo. Se debe mencionar que en todas las tortillerías evaluadas se encontró un baño (en condiciones de higiene adecuadas), el cual estaba situado algunas veces en el interior y otras fuera de los establecimientos (este gráfico no se muestra).

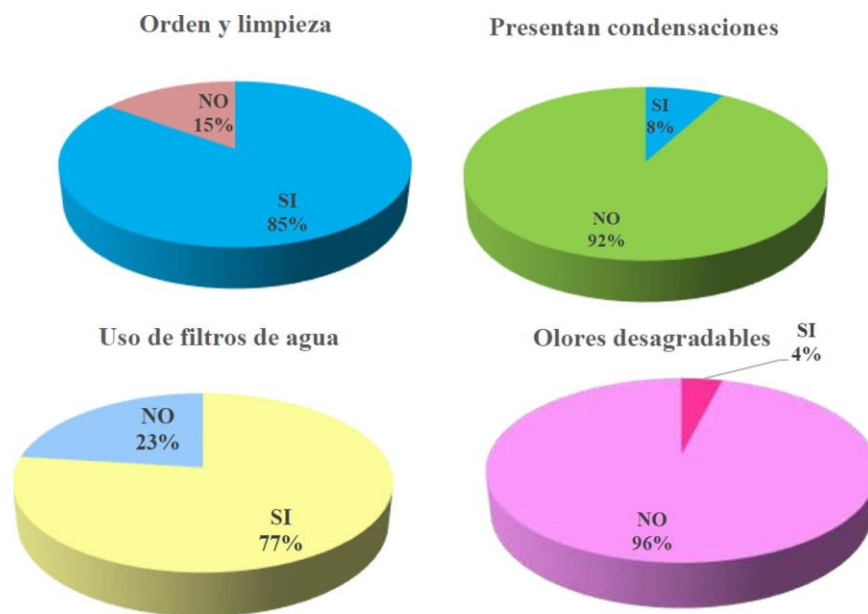


Figura 8. Condiciones de operación en las tortillerías muestreadas en la zona norte de México.
Fuente: elaboración propia con datos de trabajo de campo 2023.

Es necesario notar que existen condiciones en las que los humanos pueden aportar microorganismos patógenos a los alimentos y esto sucede cuando personal clínicamente enfermo está en contacto con la manipulación o procesamiento de productos alimentarios, así como las materias primas. Además, si el personal presenta abscesos en la piel, hepatitis A o salmonelosis (asintomáticos) y con antecedentes de enfermedad tifoidea no es recomendable la manipulación de alimentos y bebidas. (Fernández, 2008)

En general las tortillerías de la zona norte mostraron adecuadas condiciones de higiene y buenas prácticas y algunas acciones preventivas que se recomiendan a los productores de la tortilla para mejorar la calidad microbiológica del producto de acuerdo a las NOM-093-SSA1-1994, NOM-120-SSA1-1994, NOM-251-SSA1-2009, NOM-247-SSA1-2008 y así como sus complementarias, son las siguientes: destinar un área para colocar la materia prima y evitar que se contamine con otros productos, la calidad de las materias primas o insumos como la harina de maíz nixtamalizado, el maíz, agua y la cal deben cumplir con criterios de calidad para poder ser utilizadas en el procesamiento de tortillas.

El maíz es deseable que esté libre de hongos, micotoxinas y pesticidas, mientras que el agua debe ser potable (clorada) y utilizar filtros de agua, mientras que la cal para nixtamalizar debe ser de grado alimenticio y las harinas deben cumplir con las especificaciones establecidas por la NMXF-046-SCFI-1980. En el interior del establecimiento evitar condensación en techos y paredes (goteo de agua por vapor generado), limpiar y desinfectar con frecuencia los equipos, utensilios, pisos y paredes donde se realiza la producción de tortilla, los trabajadores deben tener buen aseo personal, cabello recogido, uñas recortadas y sin esmalte, evitar uso de accesorios y objetos que puedan caerse a materias primas, en la masa o en las tortillas.

Se sugiere, además, que el personal que despacha las tortillas utilice cofia, cubrebocas y guantes desechables o alguna bolsa de plástico para recibir el dinero (se detectó en la mayoría de los establecimientos que no usan nada). Se requieren establecer planes de acción e implementación de sistemas de calidad y del sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control, en cada tortillería para garantizar la calidad de las tortillas durante la transformación del maíz a tortilla y harina-tortilla. Esto es necesario para garantizar la inocuidad y colocar a la tortilla como un alimento seguro que se procesa de manera responsable, seria y capacitada.



Conclusiones

Los hallazgos de la investigación revelaron que el 13.8% de las tortillerías evaluadas en el centro del país exhibieron contenidos de coliformes totales superiores a 1.47 Log UFC/g. No cumplen con la NOM-187-SSA1/SCFI-2002. La situación es preocupante, sobre todo si se contempla que la tortilla es consumida por personas de rangos de edad muy amplios e incluso por individuos inmunocomprometidos. Se refleja así que es necesario implementar programas de capacitación para el personal operativo y productor en buenas prácticas de manufactura, para mejorar las condiciones sanitarias de su producción.

En la zona centro las condiciones higiénicas fueron pobres comparadas con las condiciones con las que se opera en la zona norte. Ello se evidenció al no detectar coliformes totales en las tortillas recolectadas de la zona norte del país. En las tortillerías se cumplió con las condiciones de higiene mínimas necesarias para la producción y venta del producto, lo que se reflejó en su calidad microbiológica. El contenido de BMA, hongos y levaduras fue menor en las muestras del norte que en las muestras del centro de México.

Existe poca información sobre la situación actual de la calidad microbiológica de las tortillas producidas en México. Este trabajo sugiere una mayor vinculación del sector productivo con la ciencia y las instituciones gubernamentales correspondientes, para monitorear y mejorar la calidad de la tortilla. De esta manera, se pretende garantizar la inocuidad de un alimento que es parte fundamental de la dieta de miles de mexicanos y que requiere de la atención necesaria para vigilar su calidad y ofertar al consumidor tortillas seguras.

Notas al pie:

FinanciamientoEl trabajo fue apoyado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología, Conahcyt-México. Número de proyecto 321304.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Marcela Gaytán Martínez, Verónica Flores Casamayor y Francisco García Salinas por el soporte técnico.

Referencias

- Adolphson, S., Dunn, L. M., Jefferies, K. L., y Steele, F. M. (2013). Isolation and characterization of the microflora of nixtamalized corn masa. *International Journal of Food Microbiology*, 165(3), 209-213, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.05.010>
- Capparelli, E. y Mata, L. (1975). Microflora of maize prepared as tortillas. *Applied Microbiology*. 29, 802-806, doi: <https://doi.org/10.1128/am.29.6.802-806.1975>
- Chapin, T. K., Nightingale, K. K., Worobo, R. W., Wiedmann, M. y Strawn, L. K. (2014). Geographical and meteorological factors associated with isolation of *Listeria* species in New York State produce production and natural environments. *Journal Food Protection*, 77, 1919-1928, doi: <https://doi.org/10.4315/0362028X.JFP-14-132>
- Colin, C. C., Virgen, J. J., Serrano, L. E., Martínez, M. A. y Astier, M. (2020). Comparison of nutritional properties and bioactive compounds between industrial and artisan fresh tortillas from maize landraces. *Current Research in Food Science*. 3, 189-194, doi: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.05.004>.
- Cornejo, M. A., Hernández, A. I., Gutiérrez, C. E., Rojas, M. A. y Rodríguez, M.E. (2008). Establecimiento del tiempo de cocción de granos de maíz variedad QPM H368C con parámetros fisicoquímicos. *Memorias del Tercer Congreso de Nixtamalización: del Maíz a la Tortilla*. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Escobedo, J. S., Jaramillo, J. L. (2019). Las preferencias de los consumidores por tortillas de maíz. El caso de Puebla, México. *Estudios Sociales, Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 29(53), 1-25, doi: <https://doi.org/10.24836/es.v29i53.627>
- Fanavos, C. (1988). *Probabilidad y Estadística Aplicaciones y Métodos*. México, D. F.: Editorial McGraw-Hill.
- FAO (2009). *Enfermedades transmitidas por alimentos y su impacto socioeconómico. Informe técnico sobre ingeniería agrícola y agroalimentaria, estudio de casos en Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua*. Recuperado de <https://www.fao.org/4/i0480s/i0480s.pdf>
- Félix, F. A., Campas, O. N. y Meza, M. M. (2005). Calidad Sanitaria de Alimentos disponibles al público de ciudad Obregón, Sonora México. *Revista de Salud pública y nutrición*, 6(3), 1-13. Recuperado de <https://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/view/149/131>
- Fernández, E. E. (2008). *Microbiología e inocuidad de los alimentos*. 2ª ed. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.



- Figuerola, J. D. (2022). *Desarrollo tecnológico de las máquinas tortilladoras automáticas*. Querétaro: Cinvestav.
- Figuerola, J. D., Acero, M. G., Vasco, N. L., Lozano, G. A., Flores, L. M. y González, H. J. (2001). Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(3), 1-11.
- Gómez, C. A., Rangel, V. E., Cruz, A. M., Román, A. D. y Castro, R. J. (2013). Presence of coliform bacteria, fecal coliforms, *Escherichia coli* and *Salmonella* on corn tortillas in Central Mexico. *Food Control*, 32, 31-34. doi: 10.1016/j.foodcont.2012.11035.
- Heredia, N. G., Santiaguin, A. J., Scheuren, S. M., Islas, R. A., Mozarro, M. A., García, S. G. y Ramírez, J. C. (2022). Suplementación de tortilla de maíz con harina de músculo de calamar gigante liofilizado: propiedades fisicoquímicas y estabilidad microbiológica durante el almacenamiento. *Biotechnia*, 23(2), 134-140, doi: <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i2.1420>.
- Hernández, U. P., Agama, A. E., Islas, J. J., Tovar, J. y Bello, L. A. (2007). Chemical composition and in vitro starch digestibility of pigmented corn tortilla. *Journal Science Food Agriculture*. 87(13), 2482-2487, doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3008>.
- Ibarra, A. P. (2019). *Evaluación de la actividad antimicrobiana de dos envases activos con aceite esencial de azahar (Citrus aurantium) en la vida de anaquel de la tortilla de maíz*. (Tesis de maestría). Centro en Alimentación y Desarrollo, A. C. Hermosillo, Sonora, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2022). *Producción de tortilla de maíz*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/692/variable/F3/V165?name=TORTILLA>
- Martínez, F. H., Gaytán, M. M., Figuerola, C. J., Martínez, B. F., Reyes, V. M. y Rodríguez, V. A. (2004). Effect of some preservatives on shelf-life of corn tortillas obtained from extruded masa. *Agrociencia* 38, 285-292.
- NMX-F-046-S-1980. (1980). *Harina de maíz nixtamalizado*. Recuperado de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4604143&fecha=13/01/1981#gsc.tab=0
- NOM-092-SSA1-1994 (1994). *Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa*. Recuperado de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4886029&fecha=12/12/1995#gsc.tab=0
- NOM-093-SSA1-1994 (1994). *Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos*. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4882432&fecha=04/10/1995#gsc.tab=0
- NOM-110-SSA1-1994 (1994). *Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico*. Recuperado de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69533.pdf>

- NOM-111-SSA1-1994 (1994). *Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos*. Recuperado de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4881226&fecha=13/09/1995#gsc.tab=0
- NOM-113-SSA1-1994 (1994). *Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa*. Recuperado de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69536.pdf>
- NOM-120-SSA1-1994 (1994). *Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad para el proceso de alimentos, bebidas no alcohólicas y alcohólicas*. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4880184&fecha=28/08/1995#gsc.tab=0
- NOM-187-SSA1/SCF1-2002 (2002). *Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba*. Recuperado de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691995&fecha=18/08/2003#gsc.tab=0
- NOM-247-SSA1-2008 (2008). *Productos y servicios. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones sanitarias y nutrimentales, Métodos de prueba*. Recuperado de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5100356&fecha=27/07/2009#gsc.tab=0
- NOM-251-SSA1-2009 (2009). *Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios*. Recuperado de <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3980/salud/salud.htm>
- Olmos, D. A., Octavio, A. P. (2022). Efectos sobre la salud por agua contaminada con metales pesados. *Herreriana*, 4(1), 43 - 47.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2024). *Sistemas de control alimentario*. Recuperado de <https://www.fao.org/food-safety/food-control-systems/es/>
- Pierson, M. y Smoot, L. (2001). *Indicator Microorganisms and Microbiological Criteria*. In: *Food Microbiology*. Fundamentals and Frontiers. 2nd ed. Estados Unidos: Doyle, M., Beuchat, L. & Montville, T. (Eds.) ASM Press.
- Rendon, V. R., Agama, A. E., Osorio, D. P., Tovar, J. y Bello, L. A. (2009). Proximal composition and in vitro starch digestibility in flaxseed-added corn tortilla. *Journal Science Food Agriculture*, 89(3), 537-541, doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3490>.
- Rico, E. (2019). *Tortilla mold spoilage: Assessment and prevention*. TIA Conference in Vegas, NV., USA. Research laboratories Inc.
- Ríos, T. S., Agudelo, R. M. y Gutiérrez, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247, doi: 10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08

- Rooney, L. W. y Serna, S. O. (2016). Tortillas. *Módulo de Referencia en Ciencia de los alimentos*. 90-96. Monterrey, México. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00124-4>.
- Rueda, C. A. (2018). *Buenas prácticas de manufactura. III Seminario internacional de inocuidad de alimentos*. Recuperado de <https://www.udla.edu.ec/wp-content/uploads/2019/02/Buenas-Pr%23U00e1cticas-deManufactura-Bpm-en-el-Procesamiento-de-Alimentos-Carlos-Alberto-Rueda.pdf>
- Santiago, R. D., Figueroa, J. D., Véles, J. J., Mariscal, R. M., Reynoso, C. R., Ramos, G. M., Gaytán, M. M. y Morales, S. E. (2015). Resistant starch formation in tortillas from an ecological nixtamalization process. *Cereal chemistry*, 92(2), 185-192, doi: <https://doi.org/10.1094/CCHEM-08-14-0170-R>
- Serna, S. O. (2015). *Nutrition and fortification of corn and wheat tortillas*, Vol.(núm.), doi: 10.1016/B978-1891127-88-5.50002-5.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018). *Productos inocuos: garantía de productos higiénicos, inofensivos, frescos y sanos*. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/articulos/productosinocuos-garantia-de-productos-higienicos-inofensivos-frescos-y-sanos?idiom=es/1000>
- Srivastava, A. (2021). *Tortilla mold spoilage: Causes and prevention*. Kemin industries, Inc. USA. KEMIN. Recuperado de <https://www.kemin.com/na/en-us/markets/food/bakery-snack/tortillas>
- Topete, B. A., Santiago, R. D. y Figueroa, J. D. (2020). Relaxation tests and textural properties of nixtamalized corn masa and their relationship with tortilla texture. *Food Bioscience*, 33, 100500, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100500>
- Universidad Autónoma de Sinaloa (2022). Consumo de tortillas “pirata” pone en riesgo la salud de la población. Recuperado de <https://dcs.uas.edu.mx/noticias/5102/consumo-de-tortillas-pirata-pone-en-riesgo-la-salud-de-la-poblacion>