







Identificación de hongos extraídos de tortillas de diferentes razas de maíz (*Zea mays* L.)

Identification of fungi extracted from tortillas from different corn races (*Zea mays* L.)

Fernando López-Morales^{1,2} 
Agustín Aragón-García^{1*} 
Betizabeth Cecilia Pérez-Torres¹ 
Gricelda Vásquez-Carrillo³ 
Dalia Castillo-Hernández⁴ 
Miguel Aragón Sánchez¹ 

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, EcoCampus Valsequillo, Instituto de Ciencias, Centro de Agroecología, Manejo Sostenible de Agroecosistemas, Edificio VAL1, Km 1.7, carretera a San Baltazar Tetela, CP. 72960. San Pedro Zacachimalpa, Puebla, México.

²Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Agrohídrica, Av. Universidad s/n, CP. 73965. San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México. Km. 13.5 Carretera Los Reyes-Texcoco, CP. 56250. Coatlinchan. Texcoco, Estado de México, México.

⁴Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal, Km 1.5, CP. 90700. Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala, México.

*Autor de correspondencia:
agustin.aragon@correo.buap.mx

Artículo científico

Recibido: 18 de agosto 2022

Aceptado: 22 de noviembre 2023

Como citar: López-Morales F, Aragón-García A, Pérez-Torres BC, Vásquez-Carrillo G, Castillo-Hernández D, Aragón Sánchez M (2023) Identificación de hongos extraídos de tortillas de diferentes razas de maíz (*Zea mays* L.). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(3): e3453. DOI: 10.19136/era.a10n3.3453

RESUMEN. El objetivo fue identificar las cepas, la cantidad y la diversidad de hongos presente en tortillas de 14 razas de maíz. Se determinó el peso del complejo de hongos (PCH) y la identificación de los hongos del mismo, así como características del grano (índice de flotación), nixtamal (humedad de nixtamal y humedad de masa) y tortilla (humedad de tortillo a las 24 y 48 h). A los datos se les realizó un análisis de varianza. Todas las variables presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Para el PCH los mayores promedios estadísticamente diferente fueron las razas Naltel de altura (0.69 g) y Arrocillos amarillo (0.68 g) por tortilla. La raza Chalqueño tuvo el mayor número de hongos en el complejo (*Aspergillus flavus*, *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus oryzae*, *Acremonium* sp. y *Alternaria* sp.); con diferencia del hongo *Penicillium* sp., la raza Cónico fue la segunda mejor, y en Pepitilla solo se identificó el hongo *Acremonium* sp. Para la humedad de nixtamal y de masa la raza Pepitilla obtuvo los mejores valores, con un 49.7 y 60.9%, respectivamente. Se tuvieron diferencias del 65.2% en el PCH entre las razas evaluadas, presentando el mayor y menor peso las razas Naltel de altura y Chalqueño, respectivamente.

Palabras clave: Calidad de tortilla, Chalqueño, complejo de hongos, *Penicillium*, *Zea mays*.

ABSTRACT. The objective was to identify the strains, quantity and diversity of fungi present in tortillas of 14 corn breeds. The weight of the fungal complex (PCH) was determined and the identification of its fungi and characteristics of the grain (flotation index), nixtamal (nixtamal moisture and dough moisture) and tortilla (tortilla moisture at 24 and 48 hours). An analysis of variance was performed on the data. All variables presented significant differences ($p \leq 0.05$). For the PCH the highest statistically different averages were the Naltel de altura breed (0.69 g) and Arrocillos amarillo breed (0.68 g) per tortilla. The Chalqueño breed had the highest number of mushrooms in the complex (*Aspergillus flavus*, *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus oryzae*, *Acremonium* sp. y *Alternaria* sp.) unlike the fungus *Penicillium* sp., the Conico breed was the second best and in Pepitilla only the *Acremonium* sp. fungus was identified. For the humidity of nixtamal and dough moisture, the Pepitilla breed obtained the best values with 49.7 and 60.9%, respectively. There were differences of 65.2% in the PCH between the races evaluated, with the highest and lowest weight being the tall Naltel and Chalqueño breeds, respectively.

Key words: Chalqueño, fungal complex, *Penicillium*, tortilla quality, *Zea mays*.

INTRODUCCIÓN

En México como en otros países de Centroamérica, la tortilla es un producto alimenticio derivado del maíz en todos los estratos sociales; es el alimento diario en la dieta de la población (Kato *et al.* 2009, Rivera *et al.* 2021). Al respecto, Figueroa *et al.* (2001) mencionan que el consumo por persona es de 120 kg, equivalente a 328 g diarios (nueve tortillas), elaboradas mediante el proceso tradicional (maíz-masa-tortilla), donde el maíz es cocido con hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$); proceso conocido como nixtamalización, que hace más disponibles los nutrientes, el cual se muele en un molino de piedra para obtener la masa, con la que se elabora la tortilla (González-Cortés *et al.* 2016). Siendo México el principal consumidor de tortilla del mundo, con más de 12 millones de toneladas al año (Imagen Agropecuaria 2020).

Se ha reportado que, la descomposición de la tortilla, en el interior de una bolsa de plástico con humedad y temperatura ambiental, produce un complejo de hongos (*Monilia* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus flavus*, *Mucor* sp., y *Rhizopus* sp.); el cual, se puede extraer al secar la tortilla a temperatura ambiente, y es efectivo para el control biológico de la hormiga arriera *Atta mexicana* Smith, 1858 (Hymenoptera: Formicidae) (Aragón *et al.* 2016). Se sabe que el desarrollo del complejo de hongos en la descomposición de la tortilla de maíz, es el resultado de la interacción entre el hongo, el hospedero y el ambiente (Aragón *et al.* 2016, Serratos *et al.* 2017). Al respecto, se conoce que estas cepas son adquiridas en la cosecha, almacenamiento, durante la preparación de la masa y en la elaboración de la tortilla (Serratos *et al.* 2017).

El maíz es de gran importancia para México por ser el centro de origen, domesticación y diversificación, y por su gran diversidad genética de razas, así como, por sus innumerables variedades (Kato *et al.* 2009). Al respecto, se reporta que existen alrededor de 59 razas de maíz (Sánchez *et al.* 2000), pero se estima la presencia de hasta 65 razas; lo cual representaría el 21.66% de la diversidad racial total del maíz (Serratos 2012, López-Morales *et al.* 2014). De acuerdo con Muñoz (2005), una raza es

un conjunto de variedades relativamente similares, adaptadas a una región ecológica. Al respecto, se reporta para el estado de Puebla una amplia diversidad de razas, debido a las condiciones edafoclimáticas y geográficas que han favorecido la diferenciación de las razas, las cuales se distribuyen a lo largo y ancho del estado (Hortelano *et al.* 2008).

En el 2019, en el estado de Puebla se sembraron 532 963 hectáreas de maíz para grano, lo cual representó el 56% de la superficie cultivada para la entidad, las cuales en su mayoría (91%), se establecieron bajo condiciones de temporal; las cuales produjeron un total de 1 026 623 t de grano de maíz, con rendimiento aproximado de $1.4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (SIAP 2021). Lo que hace suponer que casi en todo el estado se cultiva maíz nativo que pertenece a una raza representativa en cada nicho ecológico, por lo que se cuenta con una gran diversidad genética de razas, que de acuerdo con Serratos (2012), es de alrededor de 15 razas. A pesar de que el estado de Puebla cuenta con una diversidad de razas y variedades de maíz nativas o criollas, no hay trabajos que estudien el complejo de hongos desarrollados en la tortilla de diferentes razas de maíz. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue identificar las cepas, la cantidad y la diversidad de hongos presente en tortillas de 14 razas de maíz del estado de Puebla, así como, las características del grano (índice de flotación), nixtamal (humedad de nixtamal y humedad de masa) y tortilla (humedad de tortillo a las 24 y 48 h) en cada raza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Germoplasma evaluado

Se realizó una colecta de 14 razas de maíz, de noviembre a diciembre del 2020 en ocho municipios del estado de Puebla (Tabla 1). Las razas se identificaron de forma visual por el equipo experto del banco de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), ubicado en Coatlinchán-Texcoco, Estado de México. En cada raza de maíz, se muestrearon 10 mazorcas

Tabla 1. Ubicación de las 14 razas de maíz colectadas en el estado de Puebla (2020).

Raza	Municipio	Localidad	Altitud (m)	Color del grano
Arrocillo blanco	Zaragoza	San José Buenavista	2413	Blanco
Arrocillo amarillo	Zaragoza	San José Buenavista	2413	Amarillo
Naltel de altura	Chignahuapan	Tenextla	2282	Blanco
Tablilla de ocho	Chignahuapan	Tenextla	2426	Blanco
Ancho	Chignahuapan	Ixtlahuaca	2512	Blanco
Cónico	Chignahuapan	Ciénega larga	2619	Blanco
Chalqueño	San Pedro Cholula	San Agustín Calvario	2170	Blanco
Tuxpeño	Izúcar de Matamoros	San Juan Raboso	1280	Crema
Cacahuacintle	Ciudad Serdán	Jesús Nazareno	2650	Blanco
Elotes cónicos	Ciudad Serdán	Jesús Nazareno	2650	Azul
Celaya	San Salvador el Seco	Santa María Coatepec	2397	Crema
Coscomatepec	San Martín Texmelucan	San Cristóbal	2212	Blanco
Pepitilla	Huaquechula	Cacaloxochit	1622	Blanco
Bolita	Huaquechula	Huilulco	1622	Blanco

representativas y típicas (con características particulares) de las razas en cuestión. En el laboratorio de calidad de grano, masa y tortilla del INIFAP en el CE-VAMEX, se elaboraron tortillas de maíz de manera tradicional (maíz-masa-tortilla) (Salinas y Vázquez 2006) por cada una de las razas. Primero se obtuvo la nixtamalización (100 g de maíz, 100 mL de agua destilada y 1 g de óxido de calcio a 105 °C sin fuga de vapor), el cual facilita el desprendimiento del pericarpio (proceso previo para la obtención de masa, la cual se fracciona en forma de bola para ser prensada), para luego elaborar la tortilla, y exponer a cocción (Rodríguez *et al.* 2017).

Elaboración de la tortilla

Antes de la elaboración de tortilla se determinó el índice de flotación (IF) para conocer la dureza del grano (Vázquez *et al.* 2011), para luego determinar los tiempos de cocción del grano, los cuales dependiendo de la dureza determinar el tiempo de cocción de acuerdo con lo siguiente: de 88 a 100% de IF se consideran muy suaves por lo que recibieron 25 min de cocción; maíces con valores de 63 a 87% de IF se consideran como suaves recibiendo 30 min de cocción; maíces de 38 a 62% de IF se consideran intermedios por lo que tuvieron 35 min de cocción; maíces de 13 a 37% de IF se consideran duros por lo que tuvieron 40 min de cocción; y maíces de 0 a 12% de IF se consideran muy duros recibiendo 45 min de cocción. El proceso de nixtamalización se realizó con 100 g de maíz, 100 ml de agua destilada

y 1 g de óxido de calcio, todo se deposita en un vaso de precipitado de 200 ml, y se colocó en una parrilla a 105 °C sin fuga de vapor, con el tiempo de cocción establecido por el IF de cada raza de maíz, donde recircule el vapor de agua para evitar pérdidas. Se obtuvo la masa, pasando por un molino de piedra el nixtamal donde se obtuvieron cristales de 20 g de masa y cada cristal se colocó en una prensa metálica para obtener el disco de la tortilla de maíz, con lo que se tendrá ya listo un comal de metal a 105 °C para el cocimiento de las tortillas. Se determinó el porcentaje de la humedad del nixtamal (HN) y la masa (HM) por el método 44-15.02 de la AACC 2000. En el proceso de la elaboración de la tortilla, las tortillas tuvieron un diámetro promedio de 12 cm, en las tortillas frías se obtuvo la humedad de tortillas a las 24 y 48 h (HT24 y HT48). Con el texturómetro Brookfield® modelo CT3 (Middleboro, MA, USA), se determinó la fuerza requerida para romper la tortilla a las 24 y 48 h (FR24 y FR48), se reportó en gramos-fuerza (g_f), las tortillas frías se empacaron en bolsas de plástico con sellado ziploc®, y se almacenaron a 4 °C (López-Morales *et al.* 2021).

Obtención del complejo de hongos en la descomposición de las tortillas

De cada raza de maíz se tomaron 10 tortillas las cuales fueron sometidas a humedad relativa de $80 \pm 10\%$, y temperatura ambiente para su descomposición, en un espacio con condiciones de limpieza y desinfección, escasa ventilación y sin luz natural

directa para la producción del complejo (Aragón et al. 2016). El complejo de hongos fue cultivado en bolsas de plástico biodegradable de 33.5 x 20.5 cm, en las que se colocó una tortilla; para luego con un atomizador asperjar 1 mL de agua purificada, en ambas caras de la tortilla, y cerrar doblando la parte superior de la bolsa, para después colgarla en un tendedero de cuerda de rafia y mantenerlas a temperatura de 26 ± 2 °C en un cuarto cerrado y designado para este fin. Cada una de las 10 tortillas de cada raza se consideró una repetición.

Se registró la temperatura y humedad relativa cada seis horas durante el crecimiento del micelio del hongo que duro un mes y medio. Una vez desarrollado el complejo de hongos en cada tortilla, se retiraron de las bolsas, y se colocaron sobre papel filtro para su secado a temperatura ambiente. Seca la tortilla, se removió el micelio y las esporas con una brocha de una pulgada, el micelio obtenido se tamizó con un tamiz de 20 mm, se registró el peso del complejo de hongos (PCH) y se colocó en bolsas de plástico de 6 x 10 cm, para luego guardar en un lugar seco a temperatura ambiente hasta su uso (Aragón et al. 2016, Serratos et al. 2017).

Identificación de los hongos en la tortilla

La purificación del complejo de hongos consistió en el aislamiento de los hongos encontrados en las tortillas de cada una de las 14 razas de maíz, en el medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA, BIOXON®) en cajas Petri de 90 x 15 mm de SYM Laboratorios. En las esporas del complejo de hongos, se realizaron diluciones de 1:10 a 1:1 000 000, las cuales se sembraron con dos repeticiones, y se incubaron a 30 °C, y revisar cada tercer día, con la finalidad de obtener la concentración a la cual crecieron las colonias por unidades formadoras de colonias (UFC) de los respectivos géneros de hongos. Una vez conociendo la concentración óptima de las diluciones probadas se obtuvieron un promedio de 70 UFC/ml (en la dilución 1:1000), se seleccionaron las cepas para hacer resiembras de las respectivas colonias que crecieron aisladas, este proceso se repitió hasta obtener un cultivo puro de cada especie. Posteriormente, se realizó el microcultivo de

cada cepa, para lo cual se tomaron muestras directas de cada especie de hongo purificado, para después teñirlas con azul de algodón bajo la metodología de Bonifaz (2015), que consiste en poner en laminillas una gota de 30 μ L de azul de algodón y observar en el microscopio de fluorescencia OLYMPUS Bx5®, las características morfológicas para obtener la caracterización microscópica correspondiente. A las cepas purificadas, se les realizó un sembrado masivo para obtener la caracterización macroscópica e identificar cada uno de los hongos (Aragón et al. 2016, Serratos et al. 2017).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza por cada una de las variables reportadas bajo el diseño experimental completamente al azar, con su respectiva comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$); así mismo, se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson con todas las variables evaluadas. Todos los cálculos y pruebas estadísticas se realizarán con el programa estadístico SAS® versión 9.0 (SAS Institute 2002), con un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS

El análisis de varianza reveló diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el peso del complejo de hongos (PCH) y las variables de las características del grano, nixtamal y tortilla (Tabla 2). Estas diferencias entre los genotipos indican amplia diversidad de hongos asociados entre las 14 razas colectadas en el estado de Puebla.

Peso del complejo de hongos (PCH)

En PCH los promedios mayores estadísticamente fueron para las razas Naltel de altura (0.69 g) y Arrocillo amarillo (0.68 g), mientras que las razas Coscomatepec (0.31 g), Ancho (0.30 g), Bolita (0.26 g) y Charqueño (0.24 g) tuvieron el promedio más bajo estadísticamente. En tanto, entre los promedios intermedios estadísticos fueron para las razas Elotes cónicos (0.54 g el mayor valor) y Cónico (0.43 g el menor valor) de la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) del PCH

Tabla 2. Peso del hongo y características físicas de maíz nativo, colectado en el estado de Puebla (2020-2021).

Raza	PCH (g)	IF	HN (%)	HM (%)	HT24 (%)	HT48 (%)	FR24 (g _f)	FR48 (g _f)
Error estándar	0.067	5.892	0.374	0.424	0.436	0.736	16.941	16.997
Arrocillo blanco	0.43 ^{ab}	7.5 ^h	48.9 ^{ab}	59.9 ^b	40.8 ^{bc}	37.5 ^d	337 ^{ef}	262 ^f
Arrocillo amarillo	0.68 ^a	24.5 ^g	48.5 ^{ab}	59.8 ^{bc}	38.8 ^{def}	43.4 ^b	380 ^{cde}	449 ^{cde}
Naltel de altura	0.69 ^a	53.5 ^{de}	45.6 ^c	58.7 ^{def}	38.1 ^{efg}	35.4 ^{fg}	352 ^{def}	305 ^f
Tablilla de ocho	0.51 ^{ab}	45.0 ^{de}	45.0 ^c	51.5 ^j	34.9 ^j	31.3 ⁱ	530 ^{ab}	522 ^{abc}
Ancho	0.30 ^b	100.0 ^a	47.9 ^{ab}	58.7 ^{def}	37.6 ^{fgh}	36.4 ^{def}	461 ^{bc}	540 ^{ab}
Cónico	0.43 ^{ab}	89.0 ^{abc}	47.9 ^b	57.0 ^h	39.6 ^{cde}	36.2 ^{ef}	570 ^a	573 ^a
Chalqueño	0.24 ^b	43.0 ^{ef}	44.1 ^c	57.5 ^{gh}	35.6 ^{ij}	33.5 ^h	590 ^a	502 ^{abcde}
Tuxpeño	0.44 ^{ab}	56.0 ^d	49.2 ^{ab}	59.5 ^{bcd}	42.7 ^a	45.9 ^a	400 ^{cde}	451 ^{cde}
Cacahuacintle	0.47 ^{ab}	100.0 ^a	49.0 ^{ab}	55.9 ⁱ	39.8 ^{cd}	35.3 ^{fg}	266 ^f	399 ^e
Elotes cónicos	0.54 ^{ab}	100.0 ^a	49.6 ^{ab}	59.0 ^{cde}	40.0 ^{cd}	41.3 ^c	445 ^{bcd}	421 ^{de}
Celaya	0.49 ^{ab}	83.5 ^{bc}	48.9 ^{ab}	58.9 ^{cde}	39.8 ^{cd}	36.1 ^{ef}	400 ^{cde}	564 ^a
Coscomatepec	0.31 ^b	96.0 ^{ab}	47.9 ^b	57.9 ^{fg}	37.2 ^{ghi}	34.6 ^{gh}	455 ^{bc}	470 ^{bcd}
Pepitilla	0.52 ^{ab}	81.5 ^c	49.7 ^a	60.9 ^a	36.4 ^{hij}	40.1 ^c	454 ^{bcd}	472 ^{bcd}
Bolita	0.26 ^b	30.5 ^{fg}	44.2 ^c	58.5 ^{ef}	42.2 ^{ab}	36.9 ^{de}	460 ^{bc}	409 ^e
DMS	0.32	12.5	1.7	0.8	1.5	1.2	102.2	82.9

PCH = peso del complejo de hongo, IF = índice de flotación, HN = humedad de nixtamal, HM = humedad de masa, HT24 y HT48 = humedad de tortilla a las 24 y 48 horas, respectivamente; FR24 y FR48 = fuerza de rompimiento a las 24 y 48 horas, respectivamente. DMS = distancia mínima significativa. Medias con distinta letra en las columnas dentro de cada análisis son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

de tortilla (Tabla 2).

Características de calidad

De acuerdo con los índices de flotación los granos de las diferentes razas tuvieron diferente dureza de grano y tiempo de nixtamalización. La raza Arrocillo blanco tuvo granos muy duros y tiempo de nixtamalización de 45 minutos; mientras que las razas Arrocillo amarillo y Bolita tienen granos duros, con tiempo de nixtamalización de 40 minutos; en tanto, que las razas Naltel de altura, Tablilla de ocho, Chalqueño y Tuxpeño tuvieron grano de dureza intermedio, con tiempo de nixtamalización de 35 minutos. En lo que corresponde a las razas Celaya y Pepitilla tuvieron un grano suave, con tiempo de nixtamalización de 30 minutos, mientras que las razas Ancho, Cónico, Cacahuacintle, Elotes cónicos y Coscomatepec tuvieron grano muy suave, con tiempo de nixtamalización de 25 minutos. Al respecto, se sabe que, en granos duros (menor IF) tienen mayor cantidad de amilosa, lo que causa una descomposición más fácil y rápida que en granos suaves (mayor IF). Esto se vio reflejado en la raza Arrocillo blanco (con IF = 7.5, grano muy duro), que tuvo un promedio de PCH de 0.43 g por tortilla, mientras que la raza Ancho (con IF = 100, grano muy suave), tuvo un promedio de PCH 0.30 g por tortilla.

Para la humedad del nixtamal (HN), los valores extremos máximos y mínimos los tuvieron las razas Pepitilla (49.7%) y Chalqueño (44.1%); en tanto, que la mayor humedad de la masa (HM) la tuvieron las razas Pepitilla (60.9%) y Tablilla de ocho (51.5%); mientras que para la humedad de tortillas a las 24 y 48 horas (HT24 y HT48) los valores contrastantes los tuvieron las razas Tuxpeño (42.7 y 45.9%) y Tablilla de ocho (34.9 y 31.3%) a las 24 y 48 h, respectivamente.

Se encontraron correlaciones significativas entre la humedad del nixtamal con el IF ($r = 0.41^*$), también se detectaron correlaciones para la humedad de masa y humedad de nixtamal ($r = 0.46^{**}$), también para humedad de tortilla a las 24 h con humedad de masa ($r = 0.41^*$). Para la humedad de tortilla a las 48 h se detectaron correlaciones para humedad de nixtamal ($r = 0.58^{**}$), humedad de masa ($r = 0.67^{**}$), y humedad de tortilla a las 24 h ($r = 0.57^{**}$).

Para la fuerza de rompimiento a las 24 (FR24) y 48 (FR48) horas, los resultados indican que las razas de maíz con mayores valores para la FR24, fueron para Chalqueño (590 g_f) y Cónico (570 g_f), mientras que el menor valor lo tuvo la raza Cacahuacintle con 266 g_f. En tanto, para la FR48, los mayores valores fueron para la raza Cónico (573 g_f) y Celaya (564 g_f), mientras que la raza Arrocillo

blanco (262 g_f) y Naltel de altura (305 g_f), tuvieron los menores valores. La FR24 tuvo correlación con la FR48 ($r = 0.52^{**}$), y la FR48 se correlacionó con la IF ($r = 0.50^{**}$) y la HT ($r = -0.42^{**}$).

Hongos en las tortillas de maíz de las 14 razas

Los resultados indican que las razas Celaya y Coscomatepec comparten las mismas especies de hongos (*A. flavus* y *Acremonium* sp.), mientras que el resto de razas tuvieron diferentes combinaciones de dos o más hongos. En tanto que la raza Pepitilla solo tuvo el género *Acremonium* sp. (Tabla 3). El hongo *A. flavus* se encontró en la mayoría de las razas, excepto en Arrocillo amarillo, Naltel de altura, Ancho y Pepitilla. A pesar de que *Penicillium* sp. tiene una enorme capacidad para adaptarse, solo se presentó en las razas Arrocillo blanco y Chalqueño. La especie *Mucor circinelloides*, estuvo presente en las razas Arrocillo amarillo, Tablilla de ocho, Cónico, Cacahuacintle, Elotes cónicos y Bolita. Mientras que *Mucor* sp., solo se observó en la raza Chalqueño. El género *Chrysonilia* sp., se encontró en las razas Arrocillo amarillo, Ancho, Tuxpeño y Elotes cónicos. En tanto que *Rhizopus oryzae* y *Alternaria* sp., solo estuvieron presente en las razas Cónico y Chalqueño; mientras que *Paecilomyces lilacinum*, sólo se encontró en la raza Cacahuacintle.

DISCUSIÓN

Peso del complejo de hongos (PCH)

Los valores menores y mayores del PCH coinciden con los valores reportados por Aragón et al. (2016), pero las diferencias de valores encontrados se pueden deber a la diversidad genética de las razas de maíz evaluadas en el presente estudio. Hasta este momento, el promedio del PCH por tortilla, no se ha reportado para ninguna de las 65 razas identificadas en México. Además, se tienen pocos estudios que identifiquen las especies o géneros que se producen en el peso del complejo de hongos por razas, en el estado de Puebla solo se tiene el reporte de Serratos et al. (2017) quienes evaluaron el complejo de hongos en tortillas, sin identificar las razas de maíz de donde se obtuvo tal complejo, ni los hongos

pertenecientes a cada una de las razas.

Características de calidad

El índice de flotación (IF) es una medida indirecta de la dureza del grano, sirve para determinar el tiempo de cocción del nixtamal, por lo que a los granos más duros se les deja mayor tiempo de cocción, mientras que los más suaves menor tiempo, para estandarizar el proceso de nixtamalización (SE 2002). La de dureza de los granos de las diferentes razas es similar a los encontrados por Vázquez et al. (2010) en las mismas razas de maíz proveniente de los estados de México e Hidalgo.

De acuerdo con Salinas et al. (2003) y Vázquez-Carrillo et al. (2014) existe una relación estrecha entre los dos tipos de polisacáridos (amilosa y amilopectina) con los que cuenta la tortilla y el IF, ya que en granos contrastantes de IF disminuyen o aumentan los porcentajes de amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula que posee pocas ramificaciones con tendencia a retrogradar por lo que es considerada la principal causa de deterioro a corto plazo, que se ve reflejado en cambios de textura durante el almacenamiento, mientras que la amilopectina cuenta con demasiadas ramificaciones (Vázquez-Carrillo et al. 2014).

La HN se correlacionó con el IF lo que coincide con Vázquez et al. (2003) y con Guzmán-Maldonado et al. (2015), pero se difiere con Vázquez et al. (2010), quienes reportan para las razas Pepitilla y Chalqueño valores ligeramente superiores a las de este estudio. La diferencia se puede deber a que las colectas se realizaron en diferentes estados, con distinto tipo de clima, así como, un contraste entre las altitudes de las recolectas de tales razas. De acuerdo con los resultados de Vázquez et al. (1990), la HN y HM tuvieron valores similares en la raza Pepitilla; al respecto Antuna et al. (2008) y Vázquez et al. (2010), reportan promedios mayores en la misma raza, estas diferencias pueden deberse a las condiciones climáticas, edáficas y del genotipo colectado respecto a las del presente estudio. Para las variables HT24 y HT48 los valores encontrados se encuentran dentro de los valores reportados por Vázquez et al. (2010) y Guzmán-Maldonado et al. (2015) para tortillas elabo-

Tabla 3. Identificación de hongos aislados del complejo extraído en la tortilla de las catorce razas de maíz colectadas en el estado de Puebla (2020-2021).

Raza de maíz	Géneros y/o especies de hongos
Arrocillo blanco	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Penicillium</i> sp. y <i>Acremonium</i> sp.
Arrocillo amarillo	<i>Mucor circinelloides</i> , <i>Chrysonilia</i> sp. y <i>Acremonium</i> sp.
Naltel de altura	<i>Aspergillus fumigatus</i> y <i>Acremonium</i> sp.
Tablilla de ocho	<i>Aspergillus flavus</i> y <i>Mucor circinelloides</i> .
Ancho	<i>Aspergillus terreus</i> , <i>Chrysonilia</i> sp. y <i>Acremonium</i> sp.
Cónico	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Mucor circinelloides</i> , <i>Acremonium</i> sp., <i>Rhizopus oryzae</i> y <i>Alternaria</i> sp.
Chalqueño	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Mucor</i> sp., <i>Penicillium</i> sp., <i>Rhizopus oryzae</i> , <i>Acremonium</i> sp. y <i>Alternaria</i> sp.
Tuxpeño	<i>Aspergillus flavus</i> y <i>Chrysonilia</i> sp.
Cacahuacintle	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Mucor circinelloides</i> y <i>Paecilomyces lilacinum</i>
Elotes cónicos	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Mucor circinelloides</i> , <i>Chrysonilia</i> sp. y <i>Acremonium</i> sp.
Celaya	<i>Aspergillus flavus</i> y <i>Acremonium</i> sp.
Coscomatepec	<i>Aspergillus flavus</i> y <i>Acremonium</i> sp.
Pepitilla	<i>Acremonium</i> sp.
Bolita	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Mucor circinelloides</i> y <i>Rhizopus oryzae</i>

radas de la raza Tuxpeño.

Las diferencias estadísticas de rompimiento (FR24 y FR48) de tensión al corte de las tortillas coinciden con los reportado por Vázquez *et al.* (2010). Al respecto se entiende que una tortilla con mayor pericarpio retenido, menor HN y HT24, tiene mayor valor de FR24, ya que la tortilla es más rígida porque sus células se compactan y se endurecen, lo cual sucedió con la raza Chalqueño y Cónico; mientras que la raza Cacahuacintle tuvo el valor más bajo de FR24, lo que puede deberse a que fue uno de los granos más suaves (IF = 100), lo cual hizo que las tortillas tuvieran poca resistencia como lo indica Gaytán-Martínez *et al.* (2013). Valores contrarios fueron reportados por Vázquez *et al.* (2010) en las mismas razas de este estudio, lo cual se puede deber a las condiciones climáticas donde los autores colectaron (templado subhúmedo y semifrío subhúmedo con lluvias en verano), ya que se realizó en el estado de Hidalgo, mientras que el presente estudio en Puebla. La FR48 se correlacionó de forma negativa con la HT24, por lo que tortillas con reducida humedad a las 24 horas tienden a ser más rígidas como lo indica Vázquez-Carrillo *et al.* (2014).

Hongos encontrados en las tortillas de maíz de las 14 razas

En el género *Acremonium* la mayoría de especies son saprófitas, es decir, son los que se encargan de descomponer la materia orgánica y las colonias son de aspecto aterciopelado o polvoso cuando

son cultivos viejos, de color gris, rosado, anaranjado o blanco (López *et al.* 2012, Bonifaz 2015); este hongo estuvo presente en las razas Ancho, Cónico, Chalqueño, Elotes cónicos, Celaya, Coscomatepec y Pepitilla (fue el único hongo presente para esta raza). El hongo *A. flavus* es traslúcido y de crecimiento rápido, se ha encontrado en frutos secos, cereales, semillas como el maíz, legumbres, así como en quesos y carnes ahumadas; las colonias son filamentosas de color verde olivo o verde amarillento (Bonifaz 2015, Castillo *et al.* 2018); el hongo no estuvo presente en las razas: Arrocillo amarillo, Naltel de altura, Ancho y Pepitilla. En la raza Natel de altura se encontró *A. fumigatus*, que es un hongo filamentoso hialino, saprófito, sus colonias son de aspecto polvoso de color turquesa o verde oscuro (Castillo *et al.* 2018). Mientras que *A. terreus* solo se encontró en la raza Ancho, se encuentra en el suelo de todo el mundo, también en alimentos deteriorados produciendo toxinas, mientras que las colonias presentan un aspecto aterciopelado de color marrón (Nadumane *et al.* 2016, Posch *et al.* 2018).

Penicillium sp., tiene una distribución cosmopolita, se han aislado comúnmente en el suelo, plantas, textiles, polvo de casas, frutos, aire, entre otros. Se caracteriza por su color verde y blanco, así mismo, su aspecto es plano o polvoso, pero también aterciopelado (Bonifaz 2015, Castillo-Hernández *et al.* 2015). *Penicillium* sp. solo se presentó en las razas Arrocillo blanco y Chalqueño. El hongo *Mucor circinelloides* pertenece al orden de los muco-

rales, que se encuentran frecuentemente en el ambiente, suelo y sustratos orgánicos en descomposición; los hongos son de color blanco y se torna a color grisáceo, aspecto algodonosa o vellosa, sin pigmento (López *et al.* 2012, Arenas y Torres 2019). Este hongo estuvo presente en las razas Arrocillo amarillo, Tablilla de ocho, Cónico, Cacahuacintle, Elotes cónicos y Bolita. Mientras que en las razas Arrocillo amarillo, Ancho, Tuxpeño y Elotes cónicos, se encontró el género *Chrysonilia* sp., llamado moho rojo, que se ha aislado del pan y polvo, además de contar con una amplia distribución en el ambiente; las colonias son de aspecto vellosa o polvosas, presentando colores amarillo, rojo o anaranjado (López *et al.* 2012, Bonifaz 2015).

El hongo *Rhizopus oryzae* se encontró en las razas Cónico, Chalquecho y Bolita, el cual se considera un hongo fitopatógeno que presenta colonias blancas al inicio, posteriormente se torna a gris, tiene abundante micelio aéreo y esporangios negro, el hongo se ha reportado que ocasiona la pudrición de frutas y hortalizas en climas tropicales y semitropicales (López *et al.* 2012, Cruz-Lachica *et al.* 2017). Mientras *Alternaria* sp. es un hongo dematiáceo cosmopolita, el cual, es un fitopatógeno, la enfermedad obtenida por este hongo es conocida como "tizón"; daña hojas, tallos, tubérculos, frutos y semillas en plantas de interés agrícola, las colonias son de crecimiento rápido de color cafés, grises o negras que presentan una textura lanosa (Bonifaz 2015, Rodríguez-Guzmán *et al.* 2019), el hongo se encontró solo en las razas Cónico y Chalqueño. El hongo *P. lilacinum* se ha aislado de la materia orgánica o suelos agrícolas, principalmente en zonas tropicales y subtropicales, es considerado agente de control biológico contra nemátodos (fitoparásitos) e incluso se ha aislado en insectos como chinches y mosquita blanca; presentan colonias aterciopeladas de color violeta claro y de rápido crecimiento (López *et al.* 2012, Senthilkumar *et al.* 2020), este hongo solo estuvo presente en la raza Cacahuacintle.

En la Tabla 3 se presenta la diversidad de hongos que conforman el complejo de la tortilla, de las 14 razas de maíz. En comparación con el trabajo de Aragón *et al.* (2016), se superó el doble del número

de hongos encontrados en las tortillas, coincidiendo en los géneros y/o especies siguientes: *Penicillium purpurogenum*, *A. flavus*, *Monilia* sp., o *Chrysonilia* sp., *Mucor* sp., y *Rhizopus* sp.; siendo los géneros y/o especies nuevos los siguientes: *Acremonium* sp., *A. fumigatus*, *Alternaria* sp., *A. terreus* y *P. lilacinum*. La duplicación de hongos encontrados en el complejo de hongos puede deberse a la diversidad de razas de maíz colectada en todo el estado de Puebla. Estos dos últimos hongos, estuvieron presentes en una sola raza de tortilla, por lo que se puede inferir, con base en los resultados que la raza utilizada por Aragón *et al.* (2016), en mayor o menor medida fue Chalqueño, esto tuvo influencia por su cercanía que existe entre el municipio de San Pedro Cholula (de donde pertenece esta raza) y la ciudad de Puebla.

CONCLUSIONES

Se tuvieron diferencias del 65.2% en el peso de complejo de hongos (PCH) entre las razas evaluadas, presentando el mayor y menor peso las razas Naltet de altura y Chalqueño, respectivamente. La variabilidad en el PCH se relaciona con la diversidad genética de las razas de maíz evaluadas. La raza Chalqueño tuvo la mayor diversidad de hongos, los cuales fueron: *Aspergillus flavus*, *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus oryzae*, *Acremonium* sp. y *Alternaria* sp. Mientras que las razas Celaya y Coscomatepec tuvieron los hongos *Aspergillus flavus* y *Acremonium* sp., y en la raza Pepitilla solo se observó el hongo *Acremonium* sp. Para la humedad de nixtamal y humedad de masa la raza Pepitilla tuvo humedades del 49.7 y 60.9%, respectivamente; lo cual puede estar relacionado con la presencia de solo una especie de hongo (*Acremonium* spp.) en la tortilla. La mayor humedad de tortilla a las 24 y 48 horas, la tuvo la raza Tuxpeño, mientras que los menores valores los presentó Tablilla de 8, con solo la presencia del hongo *Aspergillus flavus*. Mientras que en las razas Cacahuacintle (solo se encontró el hongo *Paecilomyces lilacinum*) y Arrocillo blanca tuvieron el menor valor de fuerza de rompimiento a las 24 y 48 horas, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- AACC (2000) Approved Methods of the AACC. American Association of Cereal Chemists. 16th Edition. ACC The Association. Minnesota, United States. 1200p.
- Antuna GO, Rodríguez HSA, Arámbula VG, Palomo GA, Gutiérrez AE, Espinoza BA, Navarro OEF, Andrio EE. (2008) Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 23-27.
- Aragón GA, Pérez-Torres BC, Calderón-García G, Castillo-Hernández D, Aragón-Sánchez M, Juárez-Ramón D (2016) Uso del complejo de hongos de la tortilla de maíz (*Zea mays* L.) para el combate de la hormiga arriera *Atta mexicana* (Smith 1858). *Entomología Mexicana* 3: 153-158.
- Arenas R, Torres E (2019) *Micología médica ilustrada*. 6° Edición. McGraw-Hill. Madrid, España. 475p.
- Bonifaz TJA (2015) *Micología médica básica*. 5° Edición. McGraw Hill. Valencia, Venezuela. 725p.
- Castillo D, Sánchez RF, Espinosa TA, Larriba CG (2018) Importancia biotecnológica y medica del género *Aspergillus*. En: Sánchez AMPG, López RL, Vázquez, CC, Negrete AE (eds) *Modelos microbianos para la investigación básica y la biotecnología*. BUAP. Puebla, México. pp: 189-208.
- Castillo-Hernández D, Jara RJ, Aragón GA (2015) Aislamiento de hongos degradadores de celulosa. En: Espinosa TA, Vázquez CC, Sánchez AP, Pérez MC, Larriba CG (eds) *Temas selectos de microbiología médica y molecular*. BUAP. Puebla, México. pp: 67-91.
- Cruz-Lachica I, Márquez-Zequera I, García-Estrada RS, Carrillo-Fasio JA, León-Félix J, Allende-Molar R (2017) Identification of mucoralean fungi causing soft rot in papaya (*Carica papaya* L.) fruit in Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología* 35: 397-417.
- Figuroa JD, Acero MG, Vasco NL, Lozano A, Flores LM, González-Hernández J (2001) Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 51: 293-302.
- Gaytán-Martínez M, Figuroa-Cárdenas JD, Reyes-Vega ML, Morales-Sánchez E, Rincón-Sánchez F (2013) Selección de maíces criollos para su aplicación en la industria en base a su valor agregado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 339-346.
- González-Cortés N, Silos-Espino H, Estrada-Cabral JC, Chávez-Muñoz JA, Tejero-Jiménez L (2016) Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7: 669-680.
- Guzmán-Maldonado SH, Vázquez-Carrillo MG, Aguirre-Gómez JA, Serrano-Fujarte EL (2015) Contenido de ácidos grasos, compuestos fenólicos y calidad industrial de maíces nativos de Guanajuato. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38: 212-222.
- Hortelano SRR, Gil MA, Santacruz VA, Miranda CS, Córdova TL (2008) Diversidad morfológica de maíces nativos en el Valle de Puebla. *Agricultura Técnica en México* 34: 189-200.
- Imagen Agropecuaria (2020) México sigue rompiendo récord en importación de maíz amarillo. Imagen Agropecuaria. Ciudad de México. <http://imagenagropecuaria.com/2020/mexico-sigue-rompiendo-record-en-importacion-de-maiz-amarillo/>. Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2023.
- Kato YT, Mapes C, Mera L, Serratos J, Bye R (2009) Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. UNAM-CONABIO. Distrito Federal, México. 119p.
- López MR, Méndez TL J, Hernández HF, Castañón OR (2012) *Micología médica; procedimientos para el diagnóstico de laboratorio*. 2° Edición. Trillas. Ciudad de México, México. 200p.

- López-Morales F, Taboada-Gaytán OR, Gil-Muñoz A, López PA, Reyes-López D (2014) Morphological diversity of native maize in the humid tropics of Puebla, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17: 19-31.
- López-Morales F, Vázquez-Carrillo MG, García-Zavala JJ, Reyes-López D, Bonilla-Barrientos O, Esquivel-Esquivel G, García L, Hernández-Salinas G, Pérez-Jiménez G, Herrera-Pérez L, Molina-Galán JD (2021) Rendimiento y calidad del maíz tuxpeño V-520C adaptado con selección masal a Valles Altos, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44: 231-239.
- Muñoz OA (2005) Centli-Maíz. Prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico, Glosario Centli-Maíz. 2° Edición. Colegio de Postgraduados. Estado de México, México. 210p.
- Nadumane VK, Venkatachalam P, Gajaraj B (2016) *Aspergillus* applications in cancer research. In: Kumar GV (Ed) *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering, Aspergillus system properties and applications*. Elsevier. Cambridge MA, United States. pp: 243-255.
- Posch W, Blatzer M, Wilflingseder D, Lass-Flörl C (2018) *Aspergillus terreus*: Novel lessons learned on amphotericin B resistance. *Medical Mycology* 56: S73-S82. <https://doi.org/10.1093/mmy/myx119>.
- Rivera BE, Morales D, Gómez MG, Nevárez GV (2021) Consumo responsable de la tortilla de maíz, una herencia que debemos cuidar. *Temas de Ciencia y Tecnología* 25: 9-14.
- Rodríguez TJ, Chávez MC, Thomé H, Miranda G (2017) Elaboración y consumo de tortillas como patrimonio cultural de San Pedro del Rosal, México. *Región y Sociedad* 29: 155-179.
- Rodríguez-Guzmán CA, González-Estrada RR, Bautista-Baños S, Gutiérrez-Martínez P (2019) Efecto del quitosano en el control de *Alternaria* sp. en plantas de jitomate en invernadero. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 22: 1-7. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.161>.
- Salinas Y, Pérez P, Castillo J, Álvarez LA (2003) Relación de amilosa: amilopectina en el almidón de harina nixtamalizada de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26: 115-121.
- Salinas Y, Vázquez CG (2006) Metodologías de análisis de la calidad nixtamalero-tortillera en maíz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Estado de México. Folleto técnico núm. 23. México. 91p.
- Sánchez GJ, Goodman MM, Stuber CW (2000) Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. *Economic Botany* 54: 43-59.
- SAS Institute (2002) *User's Guide of SAS (Statistical Analysis System)*. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 550p.
- SE (2002) Norma mexicana para maíces destinados al proceso de nixtamalización, NMX-FF-034/1-2002-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano cereales maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado-especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía. http://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-FF-034-1-SCFI-2002_MAIZ_blanco.pdf. Fecha de consulta: 8 de diciembre de 2021.
- Senthilkumar M, Anandham R, Krishnamoorthy R (2020) *Paecilomyces*. In: Amaresan N, Senthil KM, Annapurna K, Kumar K, Sankaranarayanan A (Eds) *Beneficial microbes in agro-ecology bacteria and fungi*. Elsevier. California, United States. pp: 793-808.
- Serratos HJA (2012) El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Greenpeace. <http://p3raw.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2012/9/GPORIGENMAIZ%20final%20web.pdf>. Fecha de consulta: 20 de marzo de 2021.

- Serratos TC, Aragón GA, Pérez TBC, López OJF (2017) Alternativa Agroecológica para el Manejo de *Atta mexicana* en Puebla, México. *Southwestern Entomologist* 42: 261-273. <https://doi.org/10.3958/059.042.0123>.
- SIAP (2021) Cierre de la producción agrícola. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 5 de marzo de 2021.
- Vázquez MG, García LS, Salinas MY, Bergvinson DJ, Palacios RN (2011) Grain and tortilla quality in landraces and improved maize grown in the highlands of Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition* 66: 203-208. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0231-7>.
- Vázquez MG, Guzmán BL, Andrés JLG, Márquez FS (2003) Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26: 231-238.
- Vázquez MG, Márquez ARS, Márquez FS (1990) Evaluación física, química y tortillera del compuesto Pepitilla de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 13: 117-128.
- Vázquez MG, Pérez CJP, Hernández CJM, Marrufo DML, Martínez RE (2010) Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 49-56.
- Vázquez-Carrillo MG, Arellano-Vázquez JL, Santiago-Ramos D (2014) Rendimiento y calidad de grano y tortilla de maíces híbridos de Valles Altos de México crecidos en riego y temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38: 75-83.