

MICOTOXINAS EN LAS TORTILLAS DE HOGARES VULNERABLES DE ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

Irina Masaya, José Enriquez, Santiago Villanueva, Luis Torrebiarte*

Resumen

En el maíz que se vende para consumo humano en los mercados de Alta Verapaz se han encontrado micotoxinas. Este estudio tuvo como objetivo analizar el nivel de fumonisinas y aflatoxinas en el maíz y las tortillas consumidas en hogares con alta vulnerabilidad de Alta Verapaz. Se detectó mayor contaminación en tortillas que en maíz: el 73 % de las tortillas y el 8 % del maíz tenían fumonisinas (≥ 0.3 ppm) y el 49 % de las tortillas y el 33 % del maíz tenían aflatoxinas (≥ 4 ppb). La contaminación de fumonisinas fue similar entre maíz comprado y cultivado y la de aflatoxinas fue mayor en maíz comprado. La contaminación con ambas micotoxinas fue similar entre diferentes porcentajes de humedad (pero el 82 % del maíz tenía >14 % de humedad) y fue mayor en maíz almacenado en saco y en variedades

* Irina Masaya: licenciada en Biología por la Universidad del Valle de Guatemala; maestría en Salud Pública y Epidemiología por la Universidad Rafael Landívar de Guatemala (URL); catedrática y colaboradora de investigación en la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas y en el Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), URL. José Enriquez es licenciado en Ingeniería Agrícola por la URL. Santiago Villanueva es licenciado en Ingeniería en Industria de Alimentos por la URL. Luis Torrebiarte es licenciado en Medicina y Cirugía por la Universidad de San Carlos de Guatemala con posgrado en Psiquiatría por la Universidad Estatal de Nueva York, Siracusa.

blancas. Los altos niveles de micotoxinas encontrados en el maíz y las tortillas son una amenaza para la salud de las familias. Para prevenir la contaminación con micotoxinas, debe mejorarse el cultivo y el almacenaje del maíz cultivado y comprado. Además, es necesario estudiar si la mayor contaminación encontrada en las tortillas se debe a una contaminación cruzada durante el reposo y la molienda del nixtamal.

Palabras clave: contaminación, labio y paladar hendido, nixtamalización, producción y almacenamiento de maíz, riesgos para la salud humana.

Mycotoxins in tortillas in vulnerable households of Alta Verapaz, Guatemala

Abstract

Mycotoxins have been found in the corn sold in Alta Verapaz markets for human consumption. This study aimed to analyze the level of fumonisins and aflatoxins in corn and tortillas consumed in highly vulnerable households in Alta Verapaz. Higher contamination was detected in tortillas than in corn: 73 % of tortillas and 48 % of corn had fumonisins (≥ 0.3 ppm), and 49 % of tortillas and 33 % of corn had aflatoxins (≥ 4 ppb). Fumonisin contamination was similar between purchased and cultivated corn, and aflatoxin contamination was higher in purchased corn. Contamination with both mycotoxins was similar between different moisture percentages (but 82 % of the corn had >14 % moisture), and was higher in corn stored in bags and in white varieties. The high levels of mycotoxins found in corn and tortillas are a threat to the health of families. To prevent contamination with mycotoxins, the cultivation and storage of grown and purchased corn must be improved. In addition, it is necessary to study if the greater contamination found in the tortillas is due to cross-contamination during the rest and grinding of the nixtamal.

Key words: *contamination, cleft lip and palate, nixtamalization, corn production and storage, risks to human health.*

Introducción

Las fumonisinas y las aflatoxinas son metabolitos secundarios producidos por mohos (*Fusarium* y *Aspergillus*) que parasitan al maíz, en condiciones de alta humedad y de elevadas temperaturas¹. La contaminación del maíz con estas micotoxinas puede reducirse mejorando las técnicas de siembra, cultivo y almacenaje². La ingesta de micotoxinas al consumir maíz o alimentos contaminados derivados de este tiene consecuencias negativas para la salud humana. Las fumonisinas son posibles cancerígenas del esófago y del estómago y están asociadas a defectos del tubo neural y, posiblemente, a labio y paladar hendido³. Las aflatoxinas causan cáncer hepático, hacen sinergia con las fumonisinas y son inmunosupresoras, teratógenas y mutágenas. No obstante, la aparición de estos efectos depende tanto del grado de exposición y la toxicidad de las micotoxinas como de la edad y el estado nutricional de los individuos⁴.

Por la importancia de su impacto en la salud pública, se han establecido límites en la cantidad de micotoxinas que puede contener el maíz y las harinas de maíz para consumo humano y animal. Dependiendo del país, se ha fijado el nivel máximo permitido de fumonisinas (FB1 y FB2) entre 1 y 3 ppm y de aflatoxinas (AFB1) entre 1 y 20 ppb⁵. Con estos niveles, se espera que la ingesta de fumonisinas no supere los 2 µg/kg de peso corporal por día⁶ y que la ingesta de aflatoxinas se mantenga *tan baja como sea razonablemente*

-
- 1 Peraica *et al.*, «Efectos tóxicos de las micotoxinas en el ser humano», *Boletín de la Organización Mundial de la Salud: La Revista Internacional de Salud Pública* 2 (2000): 80-92, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/57586>
 - 2 Organización Mundial de la Salud/International Agency for Research on Cancer (OMS/IARC), *Mycotoxin Control in Low-and Middle-income Countries*, <https://doi.org/10.2514/6.2008-1946>
 - 3 Luisa Torres-Sánchez y Lizbeth López-Carrillo, «Consumo de fumonisinas y daños a la salud humana», *Salud Pública de México* 52 (2010): 461-67, <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/6999>
 - 4 Alberto Gimeno y María Ligia Martins, «Riesgos de micotoxicosis que algunas micotoxinas como contaminantes de los alimentos pueden provocar en humanos» (2005), https://www.adiaveter.com/ftp_public/articulo1791.pdf
 - 5 Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, *Reglamentos a nivel mundial para las micotoxinas en los alimentos y en las raciones*, <http://www.fao.org/3/y5499s/y5499s.pdf>
 - 6 Comisión del Codex Alimentarius, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organización Mundial de la Salud, Niveles máximos para el total de aflatoxinas en algunos cereales y productos a base de cereales, incluidos alimentos para lactantes y niños pequeños, y planes de nuestros asociados, marzo 2022, https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-15%252FWDs%252Fcf15_09s.pdf

practicable (adopción del principio Alara, por ser compuestos cancerígenos genotóxicos)⁷ o, por lo menos, menor a 0.11 o 0.19 ng/kg de peso corporal por día⁸. Sin embargo, la ingesta de micotoxinas también depende de la cantidad de maíz consumido, no solo de su nivel de contaminación.

En Guatemala, se han encontrado elevados niveles de micotoxinas en el maíz que se vende para consumo humano⁹. Por lo tanto, en poblaciones con alto consumo de maíz es posible que se rebase la ingesta diaria máxima tolerable. El objetivo de este estudio fue determinar el nivel de contaminación del maíz y de las tortillas en hogares con alta vulnerabilidad en Alta Verapaz y analizar los factores asociados a dicha contaminación.

Metodología

Este estudio observacional se realizó utilizando una muestra por conveniencia, conformada por 36 hogares de Alta Verapaz con niños con labio y paladar hendido nacidos en el 2018. Cada hogar se visitó cuatro veces durante un año (en mayo, agosto y diciembre de 2019 y marzo de 2020) y la comunicación y el consentimiento informado se realizó en el idioma maya de la familia.

En cada visita se hizo una entrevista, una inspección visual y cuatro pruebas de inmunocromatografía para la determinación cuantitativa de fumonisinas y aflatoxinas en maíz y tortillas (Fumonisin RQS ECO y RIDA®QUICK Aflatoxin RQS). De los 288 lotes de maíz y tortillas que se esperaban recolectar, se obtuvieron y analizaron 222. Se registraron variables, de

7 Comisión del Codex Alimentarius, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organización Mundial de la Salud, *Documento de debate sobre el establecimiento de niveles máximos para el total de aflatoxinas en cereales (trigo, maíz, sorgo y arroz), harina y alimentos a base de cereales para lactantes y niños pequeños, tema 17, CX/CF 19/13/15*, we test the small molecule flexible ligand docking program Glide on a set of 19 non- α -helical peptides and systematically improve pose prediction accuracy by enhancing Glide sampling for flexible polypeptides. In addition, scoring of the poses was improved by post-processing with physics-based implicit solvent MM-GBSA calculations. Using the best RMSD among the top 10 scoring poses as a metric, the success rate (RMSD \leq 2.0 Å for the interface backbone atoms [http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https %253A %252F %252Fworkspace.fao.org %252Fsites %252Fcodex %252FMeetings %252FCX-735-13 %252FWDs %252Fcf13_15s.pdf](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-13%252FWDs%252Fcf13_15s.pdf)

8 Gimeno y Martins, «Riesgos de micotoxicosis».

9 Torres *et al.*, «Human Health Implications from Co-exposure to Aflatoxins and Fumonisin in Maize-based Foods in Latin America: Guatemala as a Case Study» *World Mycotoxin Journal* 8, núm. 2 (2014): 143–59, <https://doi.org/10.3920/WMJ2014.1736>

forma transversal y longitudinal, sobre las características de los hogares, el maíz y su cultivo, las tortillas y su elaboración y la contaminación del maíz y de las tortillas consumidas.

Los datos recolectados se tabularon en una hoja de cálculo Microsoft Excel y se obtuvieron medidas de frecuencia y pruebas de chi-cuadrado para variables categóricas con el programa InfoStat/L¹⁰. Se utilizó un nivel de confianza de 95 % y un efecto de diseño de 1.0 que, con la muestra de 222 lotes de maíz y tortillas, permitió estimar parámetros categóricos con una precisión de 0.09 (para proporciones esperadas de 50 %).

Resultados

De los hogares estudiados, la mayoría cultiva maíz, una vez por año (31 %) y dos veces por año (50 %). Los hogares que cultivan una vez al año siembran entre marzo y mayo y se encuentran a más de 1000 msnm y los hogares que cultivan dos veces siembran entre abril y junio y entre septiembre y noviembre y se encuentran a menos de 1000 msnm ($p=0.0029$). Las siembras se hacen con semilla de la cosecha anterior, en asocio con uno o más cultivos (67 %) y sin doblar la planta antes de cosechar (82 %). Además, en el 69 % de los hogares se utilizan herbicidas y/o insecticidas al cultivar el maíz y en el 21 % insecticidas al almacenarlo dentro de la vivienda.

En los hogares en los que no se cultiva maíz y en los que se termina antes de la siguiente cosecha se compra maíz para el consumo familiar. Durante el año de estudio, el 54 % del maíz consumido fue cultivado y el 46 % comprado. Los hogares con dos siembras de maíz por año compraron menos maíz que los hogares que solo cultivaron una vez o no sembraron ($p<0.0001$). La mayoría del maíz comprado era blanco (90 %) y estaba almacenado en grano y en saco (94 %); mientras que entre el maíz cultivado había blanco (38 % puro y 23 % con colores) y amarillo (10 % puro y 28 % con colores) y la mayoría estaba almacenado en mazorca, tanto en troja como en tapanco (62 % y 20 %) ($p<0.0001$, $p<0.0001$). Del maíz almacenado, el 18 % tenía entre 11 y 13 % de humedad, el 56 % entre 14 y 16 % y el 27 % más de 17 %. La humedad del maíz, similar entre el

10 InfoStat, «InfoStat software estadístico (Versión libre InfoStat/L)», n.d., <https://www.infostat.com.ar/>

comprado y el cultivado, varió entre meses, siendo mayor en diciembre y menor en agosto ($p=0.0018$).

En los hogares estudiados, el nixtamal con el que se elaboran las tortillas se prepara cociendo el maíz ($M=45$ min) en agua con cal ($M=14$ g de cal/kg de maíz) y se deja reposar durante dos o tres días, generalmente sin tapar, manteniéndolo a una temperatura de 26 °C y un pH de 10 en promedio. Cada tiempo de comida, el nixtamal que se usará se lava con agua (eliminando el pericarpio desprendido), se muele en un molino comunal y se repasa en una piedra de moler casera. Con la masa obtenida, se preparan las tortillas en un comal.

En el cuadro 1 se describe la contaminación encontrada en el maíz y en las tortillas según diferentes características. La presencia de micotoxinas en tortillas fue mayor que en maíz ($p<0.0001$, $p=0.0353$), con una relación significativa entre la contaminación del maíz y la contaminación de las tortillas ($p=0.0173$, $p<0.0001$). Se detectaron fumonisinas (≥ 0.3 ppm) en 48 % del maíz y en 73 % de las tortillas y aflatoxinas (≥ 4 ppb) en 33 % del maíz y en el 49 % de las tortillas.

La contaminación con fumonisinas fue mayor en hogares con dos cultivos de maíz por año ($p=0.0358$), en maíz almacenado en saco ($p=0.0333$) y en maíz blanco con colores ($p=0.0087$) y fue similar entre maíz cultivado o comprado y entre meses. A su vez, la contaminación con aflatoxinas fue mayor en hogares sin cultivo de maíz ($p=0.0430$), en maíz comprado ($p=0.0011$), en maíz consumido en diciembre ($p=0.0172$), en maíz almacenado en saco ($p=0.0399$) y en maíz blanco ($p=0.0357$). No se encontró una relación significativa entre la humedad del maíz y el nivel de fumonisinas y aflatoxinas.

Cuadro 1. Fumonisinias y aflatoxinas en maíz y tortillas según características del maíz y de los hogares

Características	% maíz y tortillas								
	Fumonisinias ppm				Aflatoxinas ppb				
	<0.3	0.3-3	>3	total	<4	4-100	>100	total	
Tipo de lote									
maíz	52	40	8	100	67	22	11	100	
tortilla	27	70	3	100	*	51	37	12	100
maíz y tortillas	39	55	5	100		59	29	11	100
Cultivos en el hogar									
cero	47	47	6	100		44	31	25	100
uno por año	51	46	3	100		66	29	6	100
dos por año	30	63	7	100	*	60	30	10	100
Origen del maíz									
cultivo	43	52	5	100		68	27	5	100
compra	35	59	6	100		49	33	19	100
Mes de consumo									
marzo	19	73	8	100		69	23	8	100
mayo	47	50	3	100		69	26	4	100
agosto	48	49	3	100		57	33	10	100
diciembre	31	60	10	100		45	32	23	100
Humedad del maíz									
adecuada (11-13 %)	50	47	3	100		68	26	6	100
alta (14-16 %)	43	54	4	100		60	29	11	100
muy alta (≥17 %)	37	54	10	100		48	37	15	100
Tipo de almacenaje									
saco	31	62	7	100	*	49	34	17	100
troja	39	57	4	100		71	24	5	100
tapanco	50	42	8	100		63	33	4	100
colgado	90	10	-	100		80	20	-	100
cubeta -cajón -silo	50	50	-	100		50	25	25	100
Color del maíz									
blanco	36	58	6	100		53	30	17	100
blanco-colores	22	75	3	100	*	75	22	3	100
amarillo	33	58	8	100		75	25	-	100
amarillo-colores	65	30	5	100		63	35	3	100

Fuente: elaboración propia.

* contaminación significativamente mayor ($p < 0.05$).

Discusión

En los hogares estudiados, el porcentaje de tortillas con micotoxinas, en especial con fumonisinas, fue elevado. Estos niveles de contaminación, junto al alto consumo de tortillas (las madres consumen aproximadamente 584 g de tortillas por día), representan una amenaza para la salud de la familia, principalmente durante la gestación materna y el desarrollo de los niños. Como consecuencia de la nixtamalización, se esperaba menor contaminación en las tortillas que en el maíz¹¹. Sin embargo, el porcentaje de tortillas con micotoxinas fue mayor que el de maíz, posiblemente por un aumento de la solubilidad de las micotoxinas durante la nixtamalización o por una contaminación cruzada durante el reposo y la molienda del nixtamal.

Aunque en la mayoría de los hogares se cultiva maíz, la mitad del maíz que se consume anualmente proviene de la compra y la otra mitad del cultivo. Considerando que el maíz comprado tenía un nivel elevado de fumonisinas y de aflatoxinas y el maíz cultivado (recién cosechado y almacenado) un nivel alto de fumonisinas, es necesario implementar estrategias de cultivo y almacenaje que persigan reducir la contaminación tanto del maíz cultivado como del maíz comprado.

La contaminación no varió significativamente entre distintos niveles de humedad del maíz. Sin embargo, en general, el maíz tenía una humedad elevada, propicia para el crecimiento de mohos productores de micotoxinas. Por lo tanto, la humedad del maíz podría ser uno de los principales factores determinantes de la contaminación. Es importante resaltar que los distintos tipos de almacenaje, principalmente el almacenaje en saco, no aíslan al maíz de la alta humedad ambiental característica de Alta Verapaz.

Conclusiones

Los altos niveles de micotoxinas encontrados sugieren que, en repetidas ocasiones durante el año, las familias consumen tortillas contaminadas poniendo en riesgo su salud. Es necesario, por lo tanto, prevenir la contaminación del maíz, tanto del cultivado como del comprado, mejorando

11 Torres-Sánchez y López-Carrillo, «Consumo de fumonisinas y daños a la salud humana».

no solo su almacenamiento sino también su cultivo. Además, debe evaluarse si la elevada contaminación encontrada en las tortillas se debe a una contaminación cruzada durante el reposo y la molienda del nixtamal. Por último, se recomienda para estudios futuros estimar la contaminación de las tortillas, antes que la del maíz, para analizar si la ingesta de micotoxinas sobrepasa el nivel máximo tolerable.

Conflicto de intereses. En este estudio no existen conflictos de intereses.

Agradecimientos. La recolección de datos en los hogares se realizó gracias al acompañamiento y la traducción al *q'eqchi'* de Mayra Chen, Marta de la Cruz, Julio Sel y Zoila Tut de la Asociación Compañero para Cirugía.

Bibliografía

Comisión del Codex Alimentarius, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organización Mundial de la Salud. Documento de debate sobre el establecimiento de niveles máximos para el total de aflatoxinas en cereales (trigo, maíz, sorgo y arroz), harina y alimentos a base de cereales para lactantes y niños pequeños. Tema 17, CX/CF 19/13/15. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias, comité del codex sobre contaminantes de los alimentos, treceava reunión, 2019. http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-13%252FWDs%252Fcf13_15s.pdf

Niveles máximos para el total de aflatoxinas en algunos cereales y productos a base de cereales, incluidos alimentos para lactantes y niños pequeños, y planes de nuestros asociados, marzo de 2022, https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-15%252FWDs%252Fcf15_09s.pdf

Gimeno, Alberto y María Ligia Martins. «Riesgos de micotoxicosis que algunas micotoxinas como contaminantes de los alimentos pueden provocar en humanos». https://www.adiveter.com/ftp_public/articulo1791.pdf

InfoStat. «InfoStat software estadístico (Versión libre InfoStat/L)», n.d. <https://www.infostat.com.ar/>

Masaya, Irina. «Caracterización de fisuras labio palatinas registradas en Guatemala, de 2011 a 2016: análisis transversal en servicios públicos de salud y en organizaciones no lucrativas que realizan cirugías correctivas». Tesis de Maestría, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias de la Salud, 2019. <http://bibliod.url.edu.gt/Tesis/jeg/2019/09/05/Masaya-Elisa.pdf> Contenido de Tesis (PDF).

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Reglamentos a nivel mundial para las micotoxinas en los alimentos y en las raciones*. FAO: 2004. <http://www.fao.org/3/y5499s/y5499s.pdf>
- Organización Mundial de la Salud/International Agency for Research on Cancer (OMS/IARC). *Mycotoxin Control in Low-and Middle-income Countries*. OMS/IARC working group reports; 9, 2008. <https://doi.org/10.2514/6.2008-1946>
- Peraica, M.; B. Radic, A. Lucic y M. Pavlovic. «Efectos tóxicos de las micotoxinas en el ser humano». *Boletín de la Organización Mundial de la Salud: La Revista Internacional de Salud Pública* 2 (2000): 80-92. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/57586>
- Smith, Laura E., Andrew J. Prendergast, Paul C. Turner, Jean H. Humphrey y Rebecca J. Stoltzfus. «Aflatoxin Exposure During Pregnancy, Maternal Anemia, and Adverse Birth Outcomes». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 96, núm. 4 (5 de abril de 2017): 770-76. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.16-0730>
- Torres, O.; J. Matute, J. Gelineau-Van Waes, J. R. Maddox, S. G. Gregory, A. E. Ashley-Koch, J. L. Showker, K. A. Voss y R. T. Riley. «Human Health Implications from Co-exposure to Aflatoxins and Fumonisin in Maize-based Foods in Latin America: Guatemala as a Case Study». *World Mycotoxin Journal* 8, núm. 2 (2014): 143-59. <https://doi.org/10.3920/WMJ2014.1736>
- Torres-Sánchez, Luisa y Lizbeth López-Carrillo. «Consumo de fumonisinas y daños a la salud humana». *Salud Pública de México* 52 (2010): 461-67. <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/6999>