



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA**



**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES
MEDIOS AMBIENTE Y SALUD**

**Análisis de riesgos ambientales (micotoxinas) del sistema de
producción de maíz (*Zea mays*) en la comunidad de San Tadeo
Huiloapan, Tlaxcala**

Tesis presentada para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta:

Q.F.B. Julio César Pérez Pérez

Director de Tesis

D.C. Ricardo Munguía Pérez

Co-Director

D.C. Raúl Ávila Sosa Sánchez

Puebla Pue., Noviembre 2022

ÍNDICE GENERAL

Capítulo	Tema	Página
	Índice general	i
	Índice de tablas	iii
	Índice de figuras	iv
I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
II.i.	Preguntas de investigación	3
II.ii.	Preguntas secundarias (tópicas)	3
III.	OBJETIVO GENERAL	4
III.i.	Objetivos específicos	4
IV.	JUSTIFICACIÓN	4
V.	RELEVANCIA SOCIAL	5
VI.	VIABILIDAD	5
VII.	MARCO TEÓRICO	6
VII.i.	SALUD AMBIENTAL	6
VII.ii.	SUSTENTABILIDAD	7
VII.iii.	SISTEMAS DE PRODUCCIÓN	8
VII.iv.	SEGURIDAD ALIMENTARIA	10
VII.v.	PROBLEMAS AGRÍCOLAS	10
VII.vi.	MAÍZ	12
VII.vii.	HONGOS	12
VII.vii.i.	Micotoxinas	13
VII.vii.ii.	Micotoxicosis	14
VII.viii.	ESTUDIOS DE SUSTENTABILIDAD	15
VII.ix	ANÁLISIS DE RIESGOS	16
VIII.	HIPÓTESIS	17
IX.	METODOS Y PROCEDIMIENTOS	17
IX.i.	Tipo de estudio	17
IX.ii.	Muestra	17
IX.iii.	Materiales y Métodos	17
IX.iii.i.	Análisis del sistema de producción	19

IX.iii.ii.	Análisis MESMIS	21
IX.iii.iii.	Análisis de riesgos	21
IX.iii.iii.i.	Análisis microbiológico	22
IX.iii.iii.ii.	Ambiental y Salud Publica	26
IX.iii.iv.	Puntos críticos	28
X.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
X.i.	Sistemas de producción	29
X.ii.	Análisis MESMIS	32
X.iii.	Análisis de riesgos	34
X.iv.	Puntos críticos	43
XI.	CONCLUSIONES	45
XII.	SUGERENCIAS	46
XIII.	BIBLIOGRAFÍA	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Título	Página
1	Producción agrícola y porcentaje de cambio por producto (t) en Centroamérica, Sudamérica y el Caribe, (faostats, 2013)	9
2	Métodos y Referencias	18
3	Encuestas para el análisis al sistema de producción de maíz	19
4	Evaluación de cada atributo en el análisis MESMIS, Dayaletth et al., 2008	21
5	Encuesta análisis de riesgos ambiente y salud pública	27
6	Encuesta complementaria de riesgo ambiental y salud pública	28
7	Resultados de análisis microbiológico en las distintas muestras	35
8	Análisis microbiológico de superficies en el proceso de molienda	38
9	Resultados de aislamiento e identificación de hongos	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Diagrama de flujo del desarrollo del proyecto	18
2	Ubicación de la zona de estudio, Molino “Mi Querido Pueblito”, San Tadeo Huiloapan, Panotla Tlaxcala.	20
3	Tierra de cultivo de maíz	22
4	Zonas de recolección de muestras de suelo de cultivo	23
5	Zanja para la recolección de la muestra en la zona de estudio	23
6	Zonas de recolección para las muestras de maíz almacenado.	24
7	Análisis Microbiológico, muestreo de maíz y productos derivados para conteo de mohos y levaduras. a) zona de muestreo de grano de maíz; b) muestreo de maíz nixtamalizado; c) molino de maíz; d) muestras de maíz y derivados; e) diluciones y placas de cultivo; f) placas de crecimiento	25
8	Análisis microbiológico, conteo y aislamiento de mohos y levaduras. a) preparación de muestra; b) dilución de la muestra; c) placas de crecimiento	25
9	Análisis Microbiológico, muestreo ambiental. a) Tamiz; b) Aspirado; c) Diluciones	26
10	Sistema de producción de maíz	29
11	Respuesta de la encuesta aplicada para el estudio de caso	30
12	Formas de contaminación del maíz, 1) germinación; 2) contaminación a partir del estigma; 3) contaminación generada por el daño causado por la fauna	31
13	Mapa de regiones con potencial de producción	32
14	Diagrama de flujo de análisis MESMIS	33

15	Diagrama de contaminación del maíz (<i>Zea mays</i>)	34
16	Análisis microbiológico de maíz procesados	36
17	Molinos para la elaboración de harina de maíz (a) y harina para tamal (b)	37
18	Molino de grano de maíz nixtamalizado	37
19	Placa de conteo de mohos y levaduras del análisis de superficies del molino de harina para masa de tamal	39
20	Aislamiento de hongos	40
21	Método de microcultivo	41
22	<i>Aspergillus flavus</i> en Agar de diferenciación de <i>Aspergillus</i> .	43

Agradecimientos

A CONACYT por el apoyo brindado para el curso y desarrollo de la maestría.

Al ICUAP BUAP posgrado en ciencias ambientales por el conocimiento y espacio para el desarrollo de este proyecto.

A los doctores Ricardo Munguía Pérez y Raúl Ávila-Sosa Sánchez por el apoyo y dirección de este proyecto.

A los doctores Addi Rhode Navarro Cruz, Jorge Antonio Yañez Santos, María Teresa Zayas Pérez, Manuel Huerta Lara y Fabiola Avelino Flores por la revisión de la tesis.

I.INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria según la FAO existe cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana. Por lo tanto, se pueden visualizar dos niveles para poder alcanzar la seguridad alimentaria, Macroeconómico y Microsocial (Aguirre, 2014). Estos niveles dependen de diversos factores que van desde las políticas públicas hasta los hábitos de consumo.

En México al igual que en muchos países en el mundo los cereales son unas de las principales fuentes de alimentación, como es el caso del maíz. Sin embargo, la producción de cereales a nivel mundial no es suficiente para satisfacer las necesidades de alimentación, por lo cual el uso de pesticidas y fertilizantes para tratar de mejorar la producción agrícola y que esta logre cubrir las necesidades de la población es cada vez más común, pero esto puede tener repercusiones en la salud ambiental y pública (Bonilla y Singaña, 2019).

SAGARPA (2017) reporta que en México el maíz (*Zea mays*) presenta las variedades blanco y amarillo, en el caso del grano blanco representa el 84.43% de la producción de cereales y el amarillo apenas cubre el 24% de los requerimientos, lo que provoca que su acceso sea deficiente. La deficiencia en la disponibilidad del grano de maíz promueve problemas de distribución, almacenamiento y deficiencia en los sistemas de producción. Estos problemas conllevan a que el grano pueda contaminarse con microorganismos, lo que puede afectar la salud del consumidor (Espinoza *et al.*, 2007)

Dentro de los microorganismos que tiene la posibilidad de contaminar al grano de maíz se encuentran los hongos, que durante todo el proceso de producción pueden ocasionar contaminación. Algunos géneros fúngicos con especial relevancia son aquellos que tienen la capacidad de producir metabolitos secundarios denominados micotoxinas. Su consumo crónico puede producir la enfermedad llamada

micotoxicosis (Sirot *et al.*, 2013), la cual puede generar afectaciones en hígado y riñón y también condiciona al desarrollo de diversos tipos de cáncer.

Debido al riesgo que representan las micotoxinas se han tratado de desarrollar métodos que puedan inhibir la presencia de estos metabolitos indeseados en los alimentos, sin embargo, a pesar de las nuevas tecnologías aplicadas expertos de la OMS/FAO han descrito que la incidencia de las micotoxicosis puede disminuir con la aplicación de medidas preventivas y aplicación de un análisis de riesgos al sistema de producción (Requena y León, 2005).

De igual forma es importante tratar de asegurar la sustentabilidad dentro de los sistemas de producción, para ello se deben buscar marcos de referencia que permitan llevar a cabo un proceso de análisis y retroalimentación evitando así solo una calificación de si se es o no es sustentable, de esta manera asegurar que se pueda llegar a la meta de sustentabilidad propuesta (UNAM, 2022).

II.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante la producción de grano de maíz, existen puntos vulnerables que pueden provocar la contaminación por hongos. La mayoría de los hongos son considerados como organismos deterioradores de alimentos relacionados con pérdidas postcosecha. Además, algunos tienen la capacidad de producir metabolitos secundarios altamente tóxicos conocidos como micotoxinas. Estas pueden desarrollar múltiples afecciones a la salud humana denominadas micotoxicosis. Por lo anterior es de suma importancia analizar los riesgos implicados en la producción de maíz en la comunidad de San Tadeo Huiloapan Tlaxcala como estudio de caso, para conocer los parámetros considerados los puntos de control, y de esta manera proponer estrategias de reducción en el impacto de las micotoxicosis al medio ambiente y la salud pública.

II.i. Preguntas de investigación

¿Cuáles son los principales puntos de riesgos a considerar en la cadena de producción de maíz para reducir riesgos?

II.ii. Preguntas secundarias (tópicas)

- ✓ ¿El sistema de producción del grano de maíz en la comunidad de san Tadeo Huiloapan se puede considerar como sustentable?
- ✓ ¿Cómo afectan las condiciones de producción y almacenamiento del grano del maíz para el desarrollo de hongos?
- ✓ ¿Es posible tener puntos de control en el sistema de producción de grano del maíz en la comunidad de San Tadeo Huiloapan, para tratar de disminuir la contaminación del grano por hongos con potencial micotoxigénico?

III.OBJETIVO GENERAL

Analizar los principales riesgos ambientales (micotoxinas) en el sistema de producción de maíz (*Zea mays*) mediante la metodología MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad) en la comunidad de San Tadeo Huiloapan Tlaxcala (STHT)

III.i. Objetivos específicos

- ✓ Evaluar el sistema de producción de maíz en la comunidad de STHT
- ✓ Estimar la sustentabilidad en el sistema de producción de maíz en la comunidad de STHT, mediante la metodología MESMIS
- ✓ Analizar el riesgo de la presencia de micotoxinas/micotoxicosis en el sistema de producción de maíz en la comunidad de STHT
- ✓ Proponer los Puntos Críticos de Control (ambiental, microbiológico, salud pública) en el sistema de producción de maíz en la comunidad de STHT

IV. JUSTIFICACIÓN

El sistema de producción del maíz es de suma importancia en México, ya que forma parte de la base alimentaria de gran parte de la población. El consumo del grano se hace de manera directa a través de productos nixtamalizados, además de forma indirecta por la fabricación de piensos para ganado y productos industrializados como el almidón. Debido a lo anterior es importante realizar un análisis que permita visualizar los riesgos potenciales de la presencia de hongos productores de micotoxinas en la producción del maíz, para proponer puntos de control, y una propuesta tecnológica para reducir las complicaciones en la salud del humano y la seguridad alimentaria. De esta manera asegurar y aumentar el potencial de producción que tienen ciertas regiones del país como lo es la zona en la que se ubica el estado de Tlaxcala.

V.RELEVANCIA SOCIAL

El realizar el análisis de riesgos al sistema de producción del grano del maíz en la comunidad de San Tadeo Huiloapan Tlaxcala, que cabe mencionar se encuentra en una zona con alto potencial de producción, permitiría proponer puntos de control lo cual generaría un mayor control a lo largo de cada etapa para producir un grano de maíz que pueda cumplir con el objetivo de la seguridad alimentaria.

VI.VIABILIDAD

En este proyecto se realizó una recolección de datos para generar un análisis de riesgos y proponer puntos de control. Aunando a que se contó con la infraestructura y los recursos humanos para la asesoría técnica.

VII.MARCO TEÓRICO

VII.i. SALUD AMBIENTAL

Se puede percibir el término de salud ambiental en diferentes perspectivas, pero en todas existe la correlación del ser humano y el entorno. La mayoría de los conceptos siempre buscan establecer la relación entre salud y ambiente desde los puntos de higiene, desarrollo y protección. (Pérez *et al.*, 2011). Considerando el concepto que la Organización Mundial de la Salud puntualizó en Bulgaria en 1993 que describe a la salud ambiental como "disciplina que comprende aquellos aspectos de la salud humana, incluida la calidad de vida, que son determinados por factores ambientales físicos, químicos, biológicos, sociales y psicosociales. También se refiere a la teoría y práctica de evaluar, corregir, controlar y prevenir aquellos factores en el medio ambiente que pueden potencialmente afectar adversamente la salud de presentes y futuras generaciones".

En la civilización contemporánea es posible observar el desarrollo y avances de la tecnología, sin embargo, alrededor de este desarrollo existe la inquietud por el deterioro del ambiente. El problema del deterioro ambiental está profundamente relacionado con el vínculo que tienen los humanos con el entorno, y cómo se utilizan sus recursos. El factor demográfico, el consumo de los recursos naturales e industrializados, la infraestructura social, económica y la cultural son los factores que determinan ciertos procesos como la emisión de contaminantes, afectación del ambiente y la propia salud del ser humano (Almanza y Martínez, 2002).

Ya que la salud ambiental se puede considerar como un área de la ciencia en sí y no sólo como una parte multidisciplinaria, nos permite visualizar diferentes aspectos que están involucrados en sí mismos, dando lugar al estudio de sectores enteros; económico, desarrollo urbano, diferencias culturales, entre otros que pareciera que no tienen relación, (Rengifo, 2008). Dentro de estos sectores, la parte alimentaria es de especial importancia ya que permite visualizar el impacto en la relación

ambiente-salud, lo que permite mejorar la inocuidad alimentaria y de esta forma poder asegurar el suministro de y disponibilidad de recursos.

El concepto de desarrollo se asocia a la idea y percepción de sostenible, sustentable o sostenido, que surge como un nuevo panorama en los últimos años. Puede dar la idea de que es más una moda que se ha utilizado de manera indistinta, pero que se puede utilizar para referir a la mejoría en la calidad de vida, pero sin dañar el medio natural (Rivero *et al.*, 2005).

VII.ii. SUSTENTABILIDAD

En 1962 Rachel Carson en su libro “Primavera Silenciosa” detalla un futuro con un panorama víctima de la contaminación ambiental. En esos años ya eran palpables las consecuencias del uso indiscriminado del DDT. Por tal motivo, durante las décadas de 1960 y 1970, se puso en auge el movimiento ambientalista. Uno de los primeros avances en el tema se dio con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente Humano en Estocolmo, Suecia en el año 1972. Fue en esa conferencia en la que se acuñó el concepto conocido como sustentabilidad (Calvente, 2007).

A lo largo de los años 70 se publicaron diferentes obras las cuales ponían una preocupación en el medio ambiente. Todas con enfoques, premisas y persiguiendo objetivos diferentes lo cual permitió abrir más el panorama de la problemática ambiental. Este pensamiento continuó evolucionando, llegando a la cumbre de Río de Janeiro de 1992, y de manera general ha modificado los esfuerzos políticos e intelectuales con el fin de llevar a cabo el desarrollo económico tradicional tomando en cuenta el cuidado del medio ambiente (Lezama y Domínguez, 2006).

A lo largo de los últimos años es cada vez más común observar cómo se incorpora la parte ambiental en cualquier discusión sobre desarrollo, pero de igual forma parece cada vez más diversa la idea de sustentabilidad incluso llegando a ser dispar entre los enfoques utilizados. Para llegar a tener una definición de sustentabilidad la Comisión Mundial de Medio Ambiente y desarrollo (CMMAD, 1987) y la

Conferencia Mundial de Educación para el desarrollo sostenible promovida por UNESCO en 2009, definen a la sustentabilidad como “el desarrollo que debe asegurar y satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias”. Este concepto de desarrollo sostenible implica tener límites al uso de los recursos naturales y más importante aún la capacidad del medio ambiente para absorber los efectos de las actividades humanas (Gudynas, 2011).

VII.iii. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Los sistemas agrícolas según la FAO (2021) se definen como el conjunto de explotaciones agrícolas individuales a partir de recursos básicos, modelos empresariales, medios familiares de sustento y limitaciones en general similares, a los cuales pertenecen estrategias de desarrollo e intervenciones parecidas. Según el alcance que tenga, un sistema agrícola puede abarcar docenas o millones de familias.

Un sistema de producción puede entenderse como el conjunto conformado por la unidad de producción agrícola, los recursos biofísicos y económicos disponibles, al que la unidad tenga acceso, y como estos interactúan entre sí (Dixon *et al.*, 2001), por lo cual las unidades logran ser vistas como diferentes tipos de sistemas dependiendo de la perspectiva en que estas sean observadas.

En América Latina es posible apreciar un incremento de la agricultura durante las últimas décadas, según las cifras de la FAO. Este aumento en la producción agrícola ha propiciado importantes cambios en la geografía, y a su vez ha generado cambios en la ubicación, el sistema y los actores involucrados en ella (Postigo y Young, 2016). En la Tabla 1 se puede observar la producción agrícola y el porcentaje de cambio por producto en América Latina.

Tabla 1. Producción agrícola y porcentaje de cambio por producto (t) en Centroamérica, Sudamérica y el Caribe, (faostats, 2013)

	2000	2010	Porcentaje de cambio 2000-2010
Cultivos permanentes			
Cacao	462,036	585,700	26.8%
Café	4,295,485	9,926,325	14.7%
Palma africana	6,961,263	12,581,750	80.7%
Azúcar	538,680,158	921,506,411	71.1%
Cultivos semipermanentes			
Bananos	23,003,536	27,391,793	19.01%
Cultivos transitorios			
Maíz	76,215,480	117,317,651	53.9%
Soya	57,340,153	133,010,944	132.0%
Trigo	23,688,664	30,457,705	28.6%
Sorgo	11,292,951	13,679,565	21.1%
Arroz	6,377,376	5,827,806	-8.6%

El maíz es una de las especies con mayor impacto en la dieta humana (Comisión Nacional de Buenas Prácticas Agrícolas, 2008) y su uso se ha diversificado a la alimentación animal y producción de biocombustibles (Reyes, 1990; Ferraro, 2008).

En México la producción de maíz tuvo un incremento de 88% en el periodo de 1980-2010, fundamentalmente a causa del avance del mejoramiento genético de las semillas y las mejoras en los métodos de cultivo, el uso de fertilizantes sintéticos, agroquímicos y maquinaria, ya que la superficie sembrada sólo aumentó en un 3% (SIAP, 2012). Los métodos tradicionales realizan el uso intensivo de mano de obra y semilla criolla de cultivos previos, mientras que la agricultura moderna necesita de suministros de energía fósil para la producción, combustibles para la operación de maquinaria y energía eléctrica para la obtención de agua para el riego (Denoia y Montico, 2010), además de la energía consumida en la elaboración de fertilizantes

minerales, insecticidas y herbicidas. En general, los agrosistemas actuales requieren cantidades altas y crecientes de insumos (Denoia *et al.*, 2006), lo que implica elevados costos energéticos.

VII.iv. SEGURIDAD ALIMENTARIA

El término "Seguridad alimentaria" puede ser vago desde la perspectiva conceptual, pero conforme a la Cumbre Mundial de la Alimentación celebrada en 1996 en la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO), se explica que "existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana" (Urquía, 2014).

En México existe la presencia de problemas de seguridad alimentaria, se menciona que estos problemas están presentes en 1 de cada 3 hogares de forma moderada a severa. Lo que a nivel nacional representa la presencia de 41.6% de inseguridad alimentaria leve, 17.7% de inseguridad alimentaria moderada y 10.5% en seguridad alimentaria severa. Esto resulta en que aproximadamente 8,322,486 de hogares no se cuenta con alimentos suficientes para cubrir las necesidades alimenticias de todos los miembros de la familia (Mundo *et al.*, 2013).

De igual forma la sostenibilidad agrícola tiene una gran importancia ya que las técnicas aplicadas permiten tener sistemas de producción agrícola que repercuten de manera beneficiosa sobre el hombre y el balance ecológico, sin embargo, este tipo de producción está sujeta a diferentes condiciones tales como la fertilidad del suelo, la química y biología presente en la tierra de cultivo (Cerrato y Alarcón, 2001).

VII.v. PROBLEMAS AGRÍCOLAS

A nivel mundial se considera que la agricultura es una actividad relevante para la economía, ya que proporciona alimentos a sus habitantes y aporta numerosos

productos de exportación. En países como México, la agricultura tiene mayor impacto, ya que gran parte de la población reside en el campo y desarrolla labores agrícolas, independientemente de que sea o no su principal fuente de ingreso, además de beneficiar a la seguridad alimentaria, ya que gran parte de la producción es para autoconsumo (Salcedo y Guzmán, 2014).

En México el maíz (*Zea mays*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*) son los dos cultivos más importantes, ya que no solo representan una tradición productiva y de consumo, además cumplen con diversas funciones alimentarias y socioeconómicas. Esto debido a su uso como ingrediente principal en la dieta de la población mexicana. Sin embargo, al igual que otros productos agrícolas, presenta problemas debido a factores como la falta de apoyo económico, una infraestructura adecuada y problemas biológicos como la presencia de plagas (los Santo *et al.*, 2017).

En los últimos 20 años aumento el uso de agroquímicos, este incremento provoco un uso inadecuado, por el desconocimiento de los daños a la salud y de la falta de investigaciones sobre sus efectos. En algunos países de América Latina, se reportan entre 1,000 - 2,000 intoxicaciones anuales. En México en el año 2005 se presentaron 3902 (Hernández *et al.*, 2007).

Además de los problemas asociados a la falta de tecnología, apoyos económicos y el uso de agroquímicos, existe también un riesgo alto de contaminación de cultivos por micotoxinas, Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por hongos y se pueden encontrar de modo natural en un gran número de productos agrícolas, las cuales pueden consumirse de manera directa al ingerir el grano y sus variedades. De igual forma se consumen de forma secundaria cuando se usa como materia prima para la preparación de alimentos balanceados para animales. Son múltiples los factores que influyen para la contaminación por hongos productores de micotoxinas, por lo cual la contaminación puede suceder en cualquier momento (Requena *et al.*, 2005).

VII.vi. MAÍZ

Además de tener un fuerte sentido sociocultural, es el alimento básico en México, la forma tradicional de consumo es en tortilla. Sin embargo, su consumo se ha transformado en los últimos años por el cambio de la elaboración de tortilla a partir de nixtamal al uso de harinas, aunado a esto tenemos el crecimiento poblacional y el aumento del uso del grano de maíz para la fabricación de pienso para ganado (Trigo y Montenegro, 2002).

El maíz es de los cultivos con mayor importancia de México, desde la perspectiva alimentaria, económica, política y social. Se produce en dos ciclos agrícolas: primavera-verano y otoño-invierno, bajo condiciones de temporal y riego (SIAP, 2007). Desde el punto de vista económico, el maíz se siembra en más de 8 millones de hectáreas, lo que representa el 39 % de la superficie agrícola nacional y 63 % de la superficie sembrada con granos y oleaginosas; contribuye el 8 % del producto interno de la agricultura y es el cultivo que más fuerza de trabajo ocupa. Sin embargo, en 2006 se importaron 8 millones de toneladas de grano de maíz y 10 millones de toneladas en 2010, lo que pone a este alimento a la cabeza de las importaciones de productos agrícolas de México (Luna *et al.*, 2012).

En México se consumen 2 variedades de grano de maíz, el grano blanco y el grano amarillo, la producción de grano blanco se destina al consumo humano y teóricamente alcanza para abastecer el consumo, el grano amarillo se destina a uso pecuario pero la producción nacional solo alcanza a cubrir el 24% de las necesidades. Sin embargo, gran parte del territorio mexicano tiene condiciones adecuadas de producir grano de maíz, un ejemplo son los estados de Tamaulipas y Nuevo León que tienen zonas con alto potencial de producción (SAGARPA, 2017).

VII.vii. HONGOS

Los hongos son microorganismos que tienen gran capacidad de adaptación y síntesis bioquímica, así como un potencial enzimático importante. Sin embargo, algunas modificaciones producidas por estos microorganismos en los alimentos se

pueden traducir en alteraciones de las características físicas, nutricionales y sensoriales que derivan en pérdidas económicas, además de tener la capacidad de producir metabolitos secundarios (Cortes *et al.*, 2015).

Dentro de los principales conflictos a los que se enfrenta la sociedad cuando se habla de seguridad alimentaria, además de los temas de producción y distribución de los alimentos, se encuentra el gran problema que representan las pérdidas postcosecha ocasionadas por un manejo inadecuado y por organismos deterioradores. Un ejemplo muy común es la susceptibilidad de las frutas y hortalizas ante la contaminación y ataque ocasionado por hongos, esta contaminación se puede llevar a cabo a lo largo del sistema de producción (Trigos, Ramírez y Salinas, 2008).

En el caso de los granos y cereales pese a que teóricamente su bajo contenido de humedad y baja actividad de agua los hace menos susceptibles al ataque de hongos no los hace estar exentos de su presencia y ataque. Técnicamente todos los cultivos están en contacto con gran variedad de hongos a lo largo de los procesos de cultivo, cosecha, almacenamiento y distribución. Lo que ocasiona que todos los granos en algún punto puedan ser contaminados y afectados por hongos saprofitos y patógenos (Martínez *et al.*, 2014).

En el caso del maíz, al igual que otros granos, cuando se transportan o almacenan de forma inadecuada, por lo general condiciones anormales de temperatura, humedad y ventilación, son fácilmente contaminados por hongos entre los que destacan los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*. Tales contaminaciones suelen generar fuertes pérdidas económicas (Castaño, 1989).

VII.vii.i Micotoxinas

Las micotoxinas son metabolitos secundarios fúngicos capaces de desarrollar diversas alteraciones y cuadros patológicos en el hombre y los animales. Son moléculas relativamente pequeñas, y el mismo compuesto puede ser producido por hongos pertenecientes a diferentes géneros. En general, cuanto más compleja es

la ruta biosintética de la micotoxina, menor será el número de especies fúngicas capaces de elaborarla (Abarca *et al.*, 2000).

Estas constituyen un problema de ámbito mundial por su alta incidencia y prevalencia en los alimentos para humanos y animales. Las condiciones de colonización por hongos micotoxigénicos, así como su posterior producción de micotoxinas es el papel fundamental en las estrategias de vigilancia y control. Los diferentes mecanismos de acción de las micotoxinas constituyen un riesgo para la salud humana y animal, generando así un problema de salud pública (Duarte y Villamil, 2006).

VII.vii.ii Micotoxicosis

Las micotoxicosis se definen como intoxicaciones originadas por la ingesta de alimentos contaminados con micotoxinas, que pueden tener distintos cuadros clínicos y patológicos tanto en el ser humano como en los animales. La FAO estima que 25% del grano a nivel mundial está contaminado por micotoxinas. Se sabe que existen reportes de micotoxicosis desde la edad media (César, 2000).

Las micotoxicosis pueden ocasionar efectos que van de agudos a crónicos en distintos órganos, aparatos y/o sistemas. Dichos efectos pueden ser hepatotóxicos, nefrotóxicos, llegan a afectar la función respiratoria, el sistema nervioso central, e incluso tienen efectos carcinogénicos. Dentro de las micotoxinas con mayor efecto se encuentran las aflatoxinas, que son un grupo de metabolitos producidos por *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* y *Penicillium puberulum*, las cuales contaminan principalmente el grano contaminado en condiciones inadecuadas de humedad. Los efectos de las micotoxicosis dependerán de la dosis y del tiempo de consumo (Perusia y Rodríguez, 2001).

“Las micotoxicosis constituyen un problema que comienza en el campo y continúa durante el acopio y comercialización de los granos, cuya única solución es prevenir el crecimiento fúngico” (Carrillo, 2003).

VII.viii. ESTUDIOS DE SUSTENTABILIDAD

El desarrollo sustentable se planteó inicialmente como un problema relacionado con la capacidad de carga del medio ambiente y ha evolucionado hasta representar la desvinculación del desarrollo económico del uso de los recursos naturales como en el programa medioambiental de la Unión Europea. Sin embargo, hoy día se hace referencia también a otras sustentabilidades que deben acompañar a esa inicial en la cual el énfasis parecía estar dado hacia el mantenimiento y reproducción de la naturaleza, considerada en este contexto como un capital natural (Lezama y Domínguez, 2006).

La agricultura sustentable se refiere al manejo y conservación de los recursos naturales orientando a cambios tecnológicos e institucionales, para asegurar la satisfacción de las necesidades humanas en el presente de tal forma que continúe en las generaciones futuras (Bautista y Smit, 2012).

Las metodologías de evaluación emergieron como una de las herramientas más útiles para hacer operativo el concepto de sustentabilidad, pues han permitido esclarecer y reforzar los aspectos teóricos de la discusión sobre el tema, así como formular recomendaciones técnicas y de política para el diseño de sistemas más sustentables de manejo de recursos naturales (Neri *et al.*, 2013).

El Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), es una metodología para evaluar los sistemas de manejo de recursos naturales. Tiene como base, los sistemas de producción campesinos y es una herramienta en permanente construcción, ya que su estructura es flexible y adaptable a diferentes condiciones. Parte de un enfoque sistémico y multidimensional, en el que el sistema es evaluado en siete atributos o propiedades: productividad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad, equidad, autogestión y adaptabilidad (Astier, 2006).

VII.ix. ANÁLISIS DE RIESGOS

El desarrollo sustentable se ha convertido en un pilar de la globalización internacional, incorporando un gran número de disciplinas, entre las que se contemplan el análisis de riesgos y la gestión de la seguridad. Uno de los problemas más relevantes en nuestra actualidad son la contaminación, el cambio climático, la inseguridad social, y la inconsciente utilización de los recursos naturales, lo que conlleva de forma inherente al concepto de riesgo (De León, 2007).

Los análisis de riesgo son modelos cualitativos o cuantitativos que permiten evaluar la probabilidad y severidad de un peligro determinado presente en los alimentos, junto con sus efectos y consecuencias para la salud de los consumidores. Denominando riesgo a la probabilidad de que el consumo de un alimento cause efectos indebidos en la salud de los consumidores (González *et al.*, 2010).

El análisis de riesgos microbiológicos es un procedimiento que se desarrolla en la industria de alimentos el cual consta de tres componentes: evaluación de riesgos, gestión de riesgos, y comunicación de riesgos, cuyo objetivo es garantizar la protección de la salud pública. Con el fin de garantizar la inocuidad de los alimentos utiliza un diseño base de la implementación del Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (Sistema APPCC) (Cuello *et al.*, 2018).

La gran versatilidad del sistema APPCC permite su inclusión como parte integral en la legislación alimentaria de muchos países. La aplicación de la metodología APPCC como un mecanismo para ejercer un control eficiente de las etapas de manufactura y transformación de alimentos, en los distintos eslabones clave que conforman e integran la cadena agroalimentaria (Cartín-Rojas *et al.*, 2014).

VIII.HIPÓTESIS

La aplicación de un análisis de sustentabilidad y riesgos al sistema de producción de maíz (*Zea mays*) en la comunidad de San Tadeo Huiloapan Tlaxcala (STHT), permitirá proponer puntos críticos de control y una propuesta tecnológica con el fin de disminuir la probabilidad de aparición de hongos con potencial micotoxigénico.

IX. METODOS Y PROCEDIMIENTOS

IX.i. Tipo de estudio

Estudio de caso

IX.ii. Muestra

Tierra de cultivo de la zona de producción de maíz

Granos de maíz almacenado en el molino

Productos nixtamalizado y molido

IX.iii. Materiales y Métodos

Se usaron los materiales necesarios para realizar los análisis que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Métodos y Referencias

Determinación	Técnica	Referencia
Sistemas de producción	Análisis de los tipos de producción aplicados a la producción de maíz	Huerta y Col., 2021
Análisis MESMIS	Investigación en temas emergentes sobre sustentabilidad	UNAM, 2018
Puntos Críticos	Revisión de la cadena de producción	Sanchez y Col., 2014
Muestreo de cereales	Cereales almacenados en costales	NOM-188-SSA1-2002
Conteo de mohos y levaduras	Método para la cuenta de mohos y levaduras	NOM-111-SSA1-1994

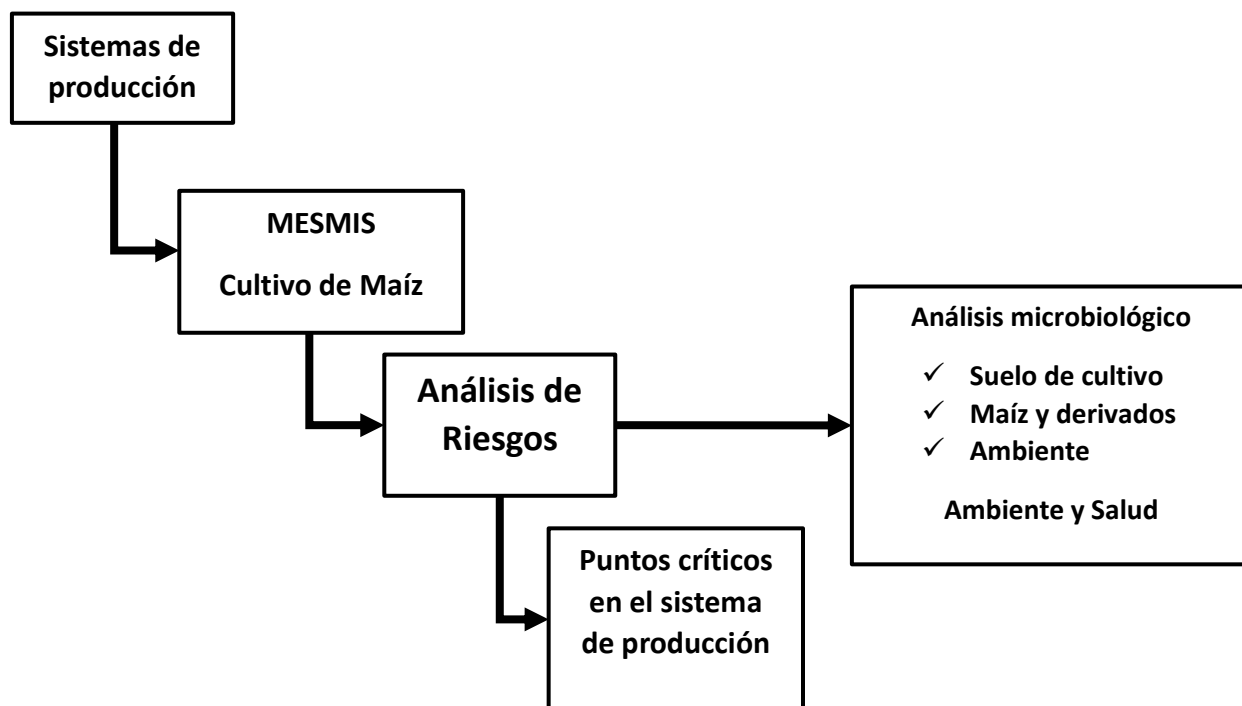


Figura 1. Diagrama de flujo del desarrollo del proyecto

IX.iii.i. Análisis del sistema de producción

Para el análisis al sistema de producción de maíz se realizó un estudio de caso iniciando con la aplicación de una encuesta (Tabla 3) con el objetivo de visualizar el estado del grano de maíz en el sitio de estudio, que se llevó a cabo en el Molino “Mi Querido Pueblito” ubicado en la comunidad de San Tadeo Huiloapan, perteneciente al municipio de Panotla Tlaxcala.

Tabla 3. Encuesta para el análisis al sistema de producción de maíz

FASE	PREGUNTA	RESPUESTA	
		SI	NO
RECEPCIÓN	El maíz es de producción local		
	El maíz es de cosecha “fresca”		
	El maíz es entregado en mazorca		
	El maíz se entrega en grano		
	El maíz se entrega en algún tipo de empaque		
	Qué tipo de empaque		
ALMACEN	Se almacena el maíz al aire libre		
	El grano de maíz está expuesto a humedad		
	Es posible que el grano de maíz este en contacto con animales (aves, roedores, domésticos, etc.)		
	Existe la presencia de hongos		
	Días aproximados de almacenamiento		
	VENTA	El maíz se vende en grano	
Se procesa el grano de maíz			
Qué tipo de proceso se realiza			
OBSERVACIONES:			

Como se muestra en la Figura 2 el municipio de Panotla se ubica en altiplano central mexicano 19°19' Norte; 98°16'Oeste, cuenta con un clima templado subhúmedo, con presencia de lluvias en verano. A este municipio pertenecen 19 comunidades con una población total de 28,357 habitantes, siendo la comunidad de San Tadeo Huiloapan la tercera comunidad más habitada con una población de 3,647 habitantes, en esta comunidad se ubica el molino "Mi Viejo Pueblito".

El molino mi viejo pueblito ocupa mayoritariamente el maíz para la elaboración de masa para tamal, con promedio de venta de 50 – 100 kg de masa al día. Los consumidores son locales y de los alrededores, lo cual genera que la venta de estos alimentos tenga presencia en la mayor parte de la zona centro del estado de Tlaxcala.

La comunidad de San Tadeo Huiloapan presenta una población en situación de pobreza del 40.2% y en pobreza extrema del 6.2%. lo que genera que gran parte del apoyo que se recibe no se destine de manera adecuada generando un rezago en varios factores incluyendo el agropecuario.

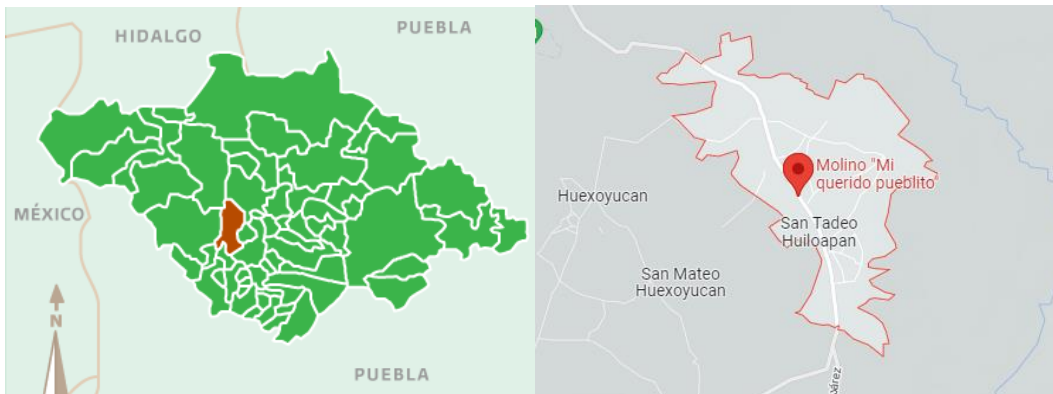


Figura 2. Ubicación de la zona de estudio, Molino "Mi Querido Pueblito", San Tadeo Huiloapan, Panotla Tlaxcala.

IX.iii.ii. Análisis MESMIS

Para determinar la sustentabilidad del sistema de producción de maíz se utilizó el análisis MESMIS, tomando como referencia los atributos de: Productividad, Estabilidad, Confiabilidad, Resiliencia, Adaptabilidad, Equidad y Autosuficiencia. Para poder determinar si el sistema de producción de maíz es sustentable (Tabla 4).

Tabla 4. Evaluación de cada atributo en el análisis MESMIS, Dayaleth et al., 2008

ATRIBUTOS	CRITERIOS DE DIAGNÓSTICO
Productividad	Eficacia y eficiencia productiva Rendimiento obtenido
Estabilidad Confiabilidad Resiliencia	Tendencia de los rendimientos, empleo de recursos renovables, diversidad biológica y económica Prevención de riesgos
Adaptabilidad	Opciones productivas Capacidad de cambio e innovación Procesos de capacitación
Equidad	Distribución de costes y beneficios Democracia en las tomas de decisiones Participación de organización
Autosuficiencia	Control de las relaciones con el exterior Nivel de organización Dependencia de recursos externos

IX.iii.iii. Análisis de riesgos

Para el análisis de riesgos se realizó un análisis microbiológico y se tomó en cuenta la parte ambiental y de salud pública, con el fin de determinar los puntos críticos de control.

IX.iii.iii.i. Análisis microbiológico

Para el análisis microbiológico se recolectaron muestras del suelo de cultivo de maíz para conocer la carga de hongos a los que puede estar expuesto el maíz durante su desarrollo y previo a la cosecha (Figura 3).



Figura 3. Tierra de cultivo de maíz. San Tadeo Huiloapan Tlaxcala 2022

Se tomaron muestras del suelo de cultivo (Figura 4) en base a la NOM-021-RECNAT-2000 para tratar de cubrir la mayor zona posible. Para la toma de muestra se realizó una pequeña zanja de 30 cm por lado simulando un cubo para poder tomar la muestra como se muestra en la Figura 5 (Quintero, 1993).



Figura 4. Zonas de recolección de muestras de suelo de cultivo. San Tadeo Huiloapan Tlaxcala 2022



Figura 5. Zanja para la recolección de la muestra en la zona de estudio, con profundidad de 30cm. San Tadeo Huiloapan Tlaxcala 2022

Se obtuvieron muestras de maíz del almacén del molino de acuerdo con la NOM-188-SSA1-2002 (Camacho, *et al.*, 2001), siguiendo el patrón que se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Zonas de recolección para las muestras de maíz almacenado. San Tadeo Huiloapan Tlaxcala 2022

El maíz recolectado, así como los subproductos derivados de los procesos de nixtamalización, molienda y mezclado, se analizaron para realizar la cuantificación de mohos y levaduras conforme a la que indica el proceso de la norma NOM-111-SSA1-1994 (Figura 7). Posteriormente se realizó el aislamiento e identificación de hongos como se aprecia en la Figura 8.

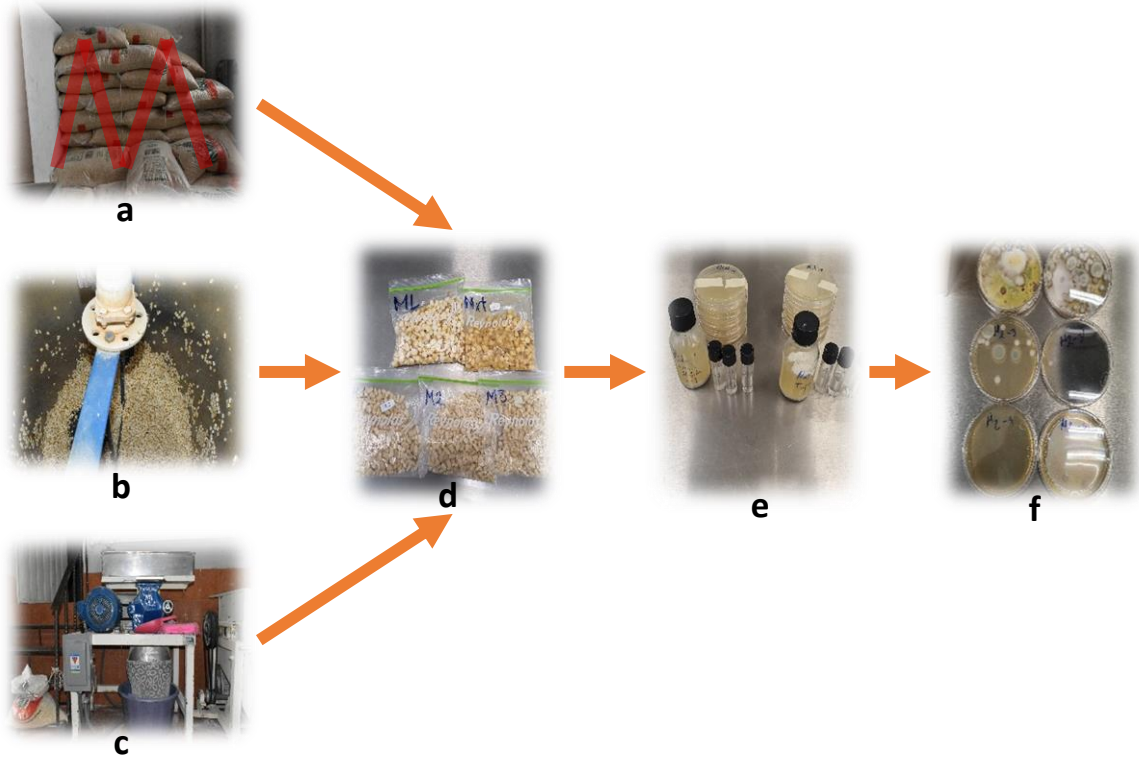


Figura 7. Análisis Microbiológico, muestreo de maíz y productos derivados para conteo de mohos y levaduras. a) zona de muestreo de grano de maíz; b) muestreo de maíz nixtamalizado; c) molino de maíz; d) muestras de maíz y derivados; e) diluciones y placas de cultivo; f) placas de crecimiento; San Tadeo Huiloapan Tlaxcala 2022

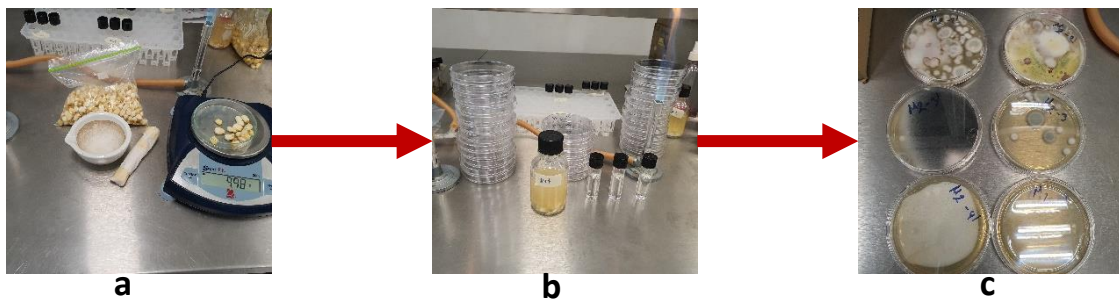


Figura 8. Análisis microbiológico, conteo y aislamiento de mohos y levaduras. a) preparación de muestra; b) dilución de la muestra; c) placas de crecimiento. Laboratorio micología CU BUAP 2022

Para el análisis ambiental del almacén se tomó una muestra del aire, la muestra de aire se tomó mediante papel filtro con ayuda de la succión de una aspiradora, el

papel filtro tiene un diámetro de 5.5 cm y un área de 23.75 cm². En la Figura 9 se observa el proceso de recolección de la muestra, utilizando un tamiz de acero inoxidable en el cual se colocó el papel filtro y se accionó la aspiradora por un lapso de 5 – 10 minutos, una vez recolectada la muestra se depositó el papel filtro en agua peptonada para obtener la dilución primaria.



Figura 9. Análisis Microbiológico, muestreo ambiental. a) Tamiz; b) Aspirado; c) Diluciones. Laboratorio micología CU BUAP 2022

IX.iii.iii.ii. Ambiental y Salud Publica

Se realizó una encuesta (Tabla 5) para el análisis de riesgos en el sistema de producción de maíz la cual permitió encontrar los puntos o condiciones propicias para el desarrollo de hongos que generan metabolitos secundarios con posibles efectos micotoxigénicos.

Se realizó una encuesta complementaria (Tabla 6) al encontrar valores altos en las respuestas afirmativas (si es el caso), que permitirá relacionar la aparición y frecuencias de ciertas afecciones con el consumo de maíz contaminado con hongos con potencial micotoxigénico.

Tabla 5. Encuesta análisis de riesgos ambiente y salud publica

Fase	Pregunta	Respuesta	
		Si(1 pto.)	No(0 pto.)
Cultivo	Se uso semilla obtenida de un cultivo anterior		
	Durante el cultivo se notaron etapas de sequia		
	Se presencio contaminación de hongos		
Cosecha	Durante la recolección, los granos se mezclaron con la tierra con cultivo		
	Se recolecto la semilla con cierto grado de humedad		
	Previo a almacenamiento se dejó airear		
Almacenamiento	Se almaceno en costales		
	Se almaceno el grano entero (mazorca)		
	El lugar de almacenamiento presenta humedad		
	El almacén de grano es un lugar improvisado		
	Se observo la presencia de hongos en algunos granos o mazorcas		
Consumo	El grano también se usa como pienso		
	El grano producido es para autoconsumo		
	Se comercializa de forma local		
Total			

Tabla 6. Encuesta complementaria de riesgo ambiental y salud pública

Preguntas	Si	No
Ha tenido infecciones estomacales recurrentes		
Ha presentado malestar gastrointestinal sin motivo aparente y de forma recurrente		
Hay presencia de enfermedades hepáticas y daño en órganos como riñón, bazo,		
Hay casos de cáncer		

IX.iii.iv. Puntos críticos

Para determinar los puntos críticos se consideró revisar los resultados del análisis microbiológico y los datos obtenidos de ambiental y salud pública, y a partir de estos realizar un análisis que nos permita determinar los puntos críticos del sistema de producción de maíz

X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

X.i. Sistemas de producción

A partir de la revisión bibliográfica realizada del sistema de producción de maíz (Figura 10), se encuentra como principal punto de riesgo para la contaminación por hongos el almacenamiento del maíz de una forma inadecuada.

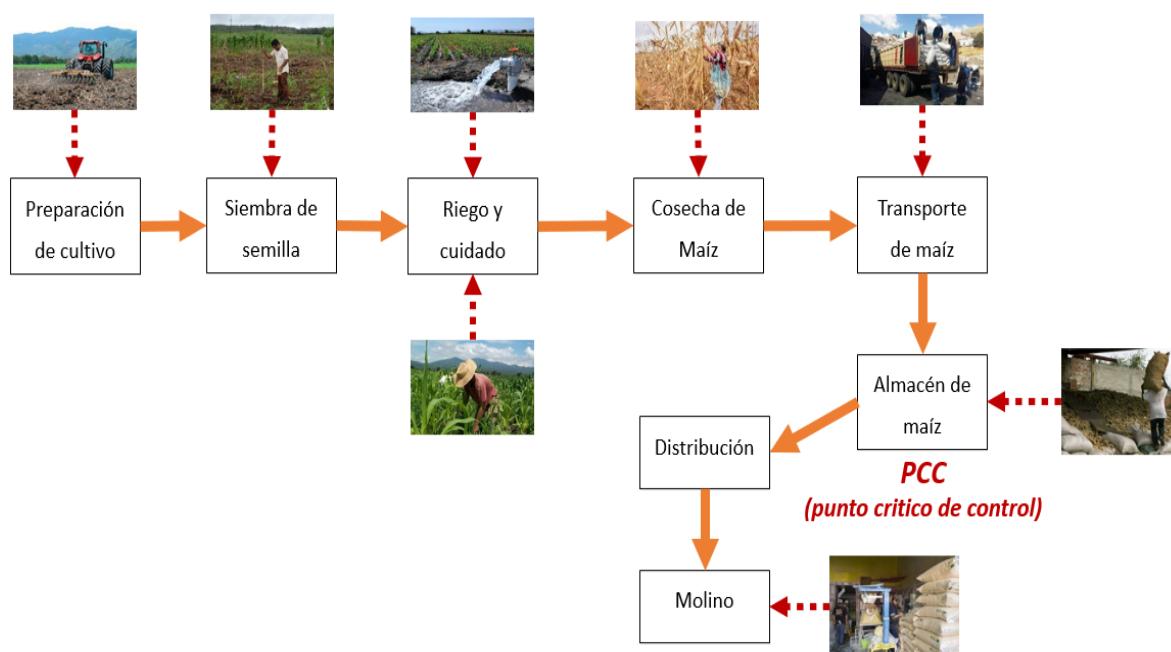


Figura 10. Sistema de producción de maíz. San Tadeo Huiloapan Tlaxcala 2022

Como menciona De la Torre *et al.* (2014), las condiciones ambientales presentes en el cultivo como épocas de sequía, tipo de riego, la presencia de fauna, así como el uso de agroquímicos tienen un impacto directo para la presencia de hongos y la contaminación en el almacenamiento. Como se aprecia en la Figura 11, la encuesta aplicada permite visualizar el impacto de un manejo y almacenamiento adecuado del grano de maíz en el molino “Mi querido pueblito”

Análisis de riesgos de la cadena de producción de maíz (*Zea mays*)

Molino

FASE	PREGUNTA	RESPUESTA	
		SI	NO
RECEPCIÓN	El maíz es de producción local		✓
	El maíz es de cosecha "fresca"	✓	
	El maíz es entregado en mazorca		✓
	El maíz se entrega en grano	✓	
	El maíz se entrega en algún tipo de empaque	✓	
	Qué tipo de empaque	Costales	
ALMACEN	Se almacena el maíz al aire libre		✓
	El grano de maíz está expuesto a humedad	✓	
	Es posible que el grano de maíz este en contacto con animales (aves, roedores, domésticos, etc.)	✓	
	Existe la presencia de hongos		✓
	Días aproximados de almacenamiento	40 días	
VENTA	El maíz se vende en grano		✓
	Se procesa el grano de maíz	✓	
	Que tipo de proceso se realiza	Nixtamalización	
OBSERVACIONES:			
Humedad por vapor de agua Se vende en masa preparada para tamal Para evitar la plaga de roedores se introdujo gatos domesticos			

Figura 11. Respuesta de la encuesta aplicada para el estudio de caso. San Tadeo Huiloapan Tlaxcala 2022

El desarrollo del hongo en el maíz (Figura 12) se puede generar a partir de la semilla contaminada en el almacenamiento por germinación o por contaminación a partir del suelo, usando como vía de entrada el estigma del maíz o el daño generado por la fauna y plagas propias del cultivo (Munkvold *et al.*, 1997).

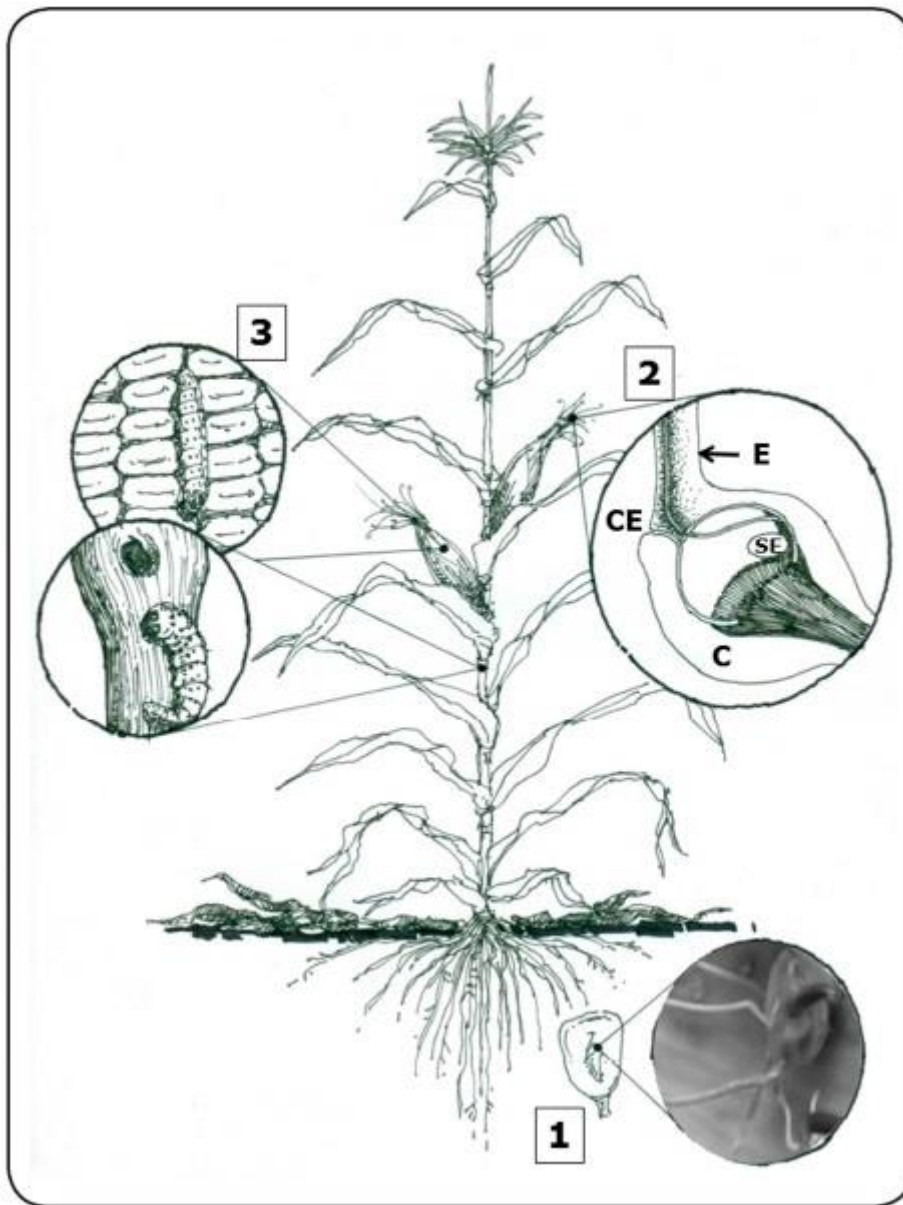


Figura 12. Formas de contaminación del maíz, 1) germinación; 2) contaminación a partir del estigma; 3) contaminación generada por el daño causado por la fauna

Cabe mencionar, como se aprecia en la Figura 13, que la comunidad de San Tadeo Huiloapan, se considera una región con potencial de producción de acuerdo con la planeación agrícola nacional 2017 – 2030. Por lo que se tiene que implementar mejores técnicas en la producción, aumentar el cuidado de plagas y erosión de los suelos, entre algunas otras políticas y apoyos para que la obtención de maíz sea mayor en esta zona.



Figura 13. Mapa de regiones con potencial de producción, se indica en rojo comunidad de San Tadeo Huiloapan-Tlaxcala

X.ii. Análisis MESMIS

A partir de la revisión del MESMIS se desarrolla el diagrama que se muestra en la Figura 14. Se puede apreciar la relación existente de los sectores involucrados como lo son los sectores económicos, de producción agrícola, así como el sector de consumo y tecnológico.

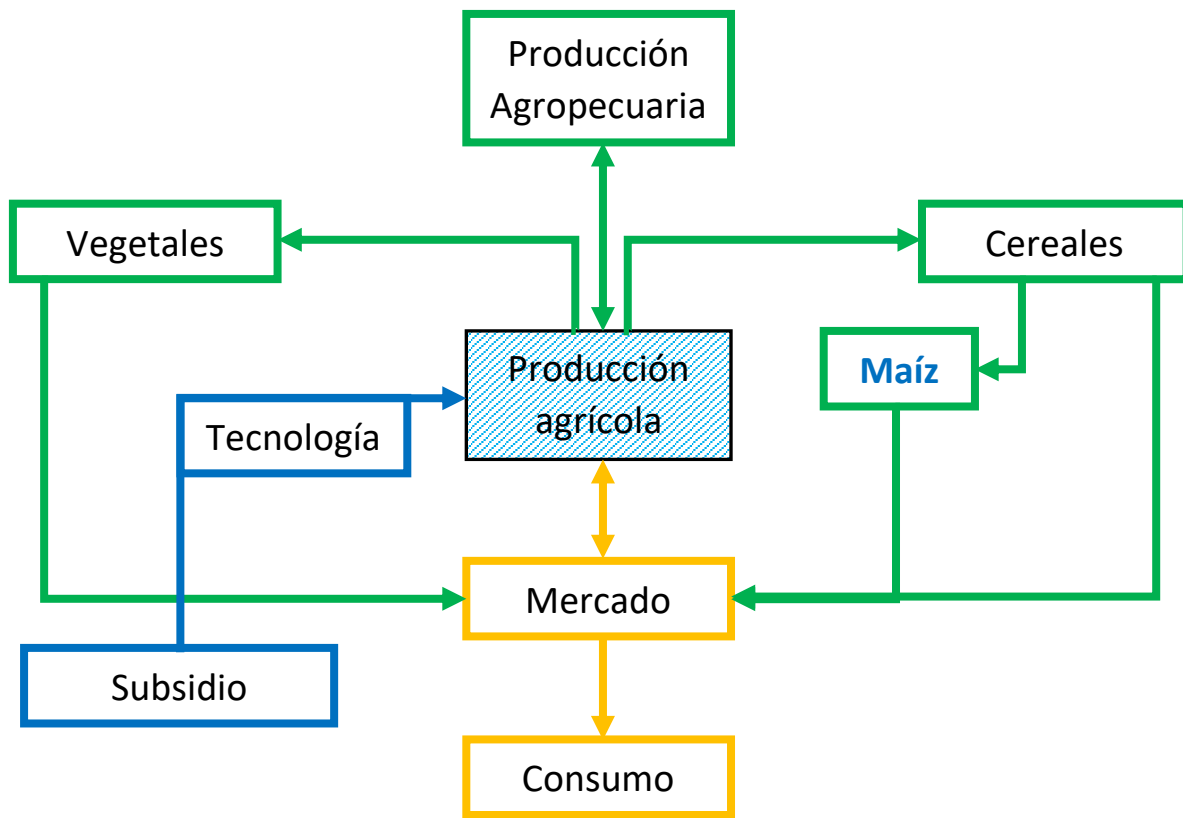


Figura 14. Diagrama de flujo de análisis MESMIS

Con base a lo reportado por Sánchez *et al.* (2014), tomando en cuenta como factores de revisión los puntos:

- 1) Nivel de seguridad alimentaria respecto al maíz
- 2) Relación beneficio/costo
- 3) Agrobiodiversidad
- 4) Capacitación e intercambio de conocimiento
- 5) Uso y transmisión de técnicas o prácticas tradicionales
- 6) Uso y adaptación de políticas de subsidios

El sistema de producción de maíz desarrollado en la comunidad de STHT no cuenta con adaptabilidad, equidad y autosuficiencia, y no se puede considerar sustentable.

En la Figura 15 se observa un diagrama que muestra cómo los hongos presentes en el maíz pueden contaminar y continuar el sistema de producción del maíz.

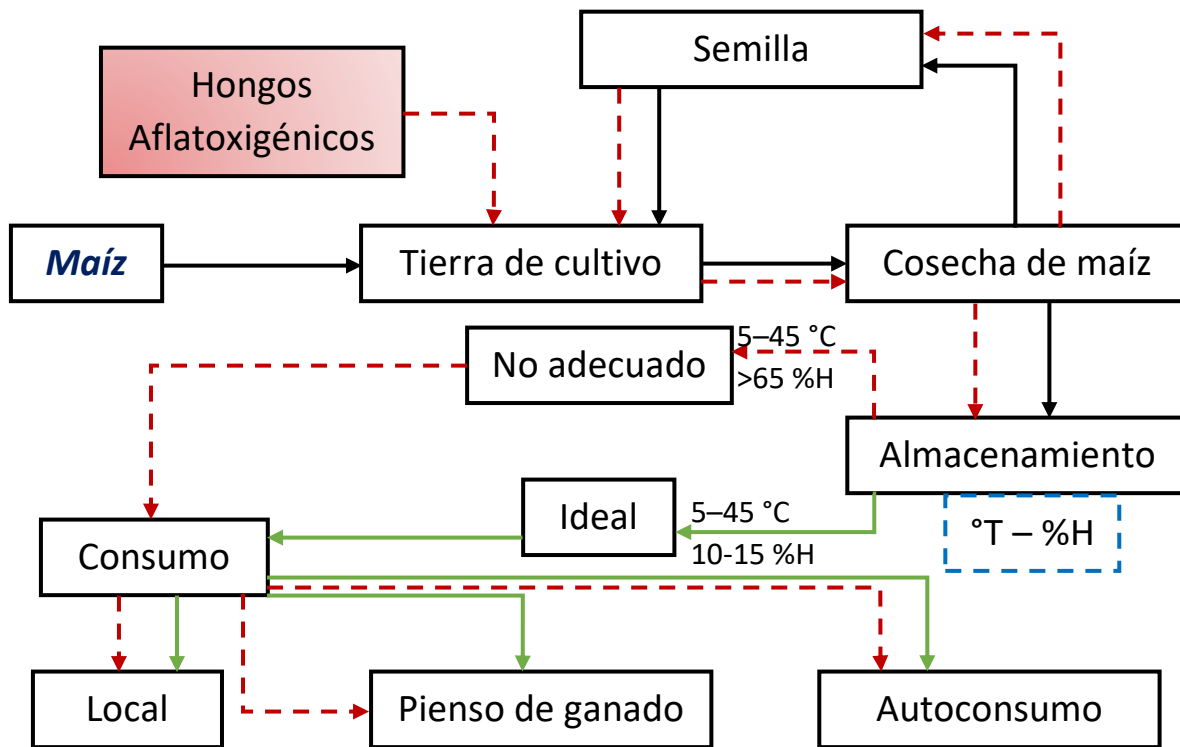


Figura 15. Diagrama de contaminación del maíz (*Zea mays*), identificación de los puntos y seguimiento de la contaminación desde el cultivo hasta el consumo.

X.iii. Análisis de riesgos

Del análisis microbiológico realizado a la tierra de cultivo, maíz y sus productos derivados, así como del ambiente en el que se almacena el grano se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 7. Se aprecia que la mayor concentración de hongos se encuentra en la tierra de cultivo y esta va descendiendo a un mínimo en el ambiente. Y en el caso del maíz nixtamalizado se reduce considerablemente la carga presente de hongos.

Tabla 7. Resultados de análisis microbiológico en las distintas muestras

Muestra	UFC
Suelo	6.28 ± 0.27 Log UFC / g
Maíz	4.45 ± 0.44 Log UFC / g
Maíz Molido	5.6 ± 0.24 Log UFC / g *3 ^{er} día
Nixtamal	<1 Log UFC / g
Nixtamal Lavado Molido	6.39 ± 0.01 Log UFC / g
Masa Tamal	6.39 ± 0.01 Log UFC / g
Ambiente	2.3 ± 0.2 Log UFC / cm ²

Como menciona Carvajal (2021), unos de los factores que pueden reducir la presencia de hongos y por lo tanto de micotoxinas en los productos a base de maíz es el proceso de nixtamalización debido a la aplicación de cal y calor. En los resultados obtenidos se aprecia que el proceso de nixtamalización que se lleva a cabo para la elaboración de harinas y masas favorece la reducción de hongos y por lo tanto se puede considerar como un método de control. Sin embargo, para el caso de la harina de maíz sin proceso de nixtamalización se observa un aumento en la presencia de hongos, lo que podría favorecer el consumo de micotoxinas ya que estos metabolitos no son eliminados, lo que podría conducir a un factor de riesgo.

Para los resultados obtenidos del análisis de harina y masa para la elaboración de tamal se aprecia que hay un incremento importante en la presencia de hongos y levaduras, lo que indica que existe un punto de contaminación en el proceso ya que la nixtamalización demostró que reduce la carga de hongos en el análisis de conteo de hongos, por lo cual se realizó un análisis microbiológico de los principales productos elaborador y comercializados en el molino (Figura 16).

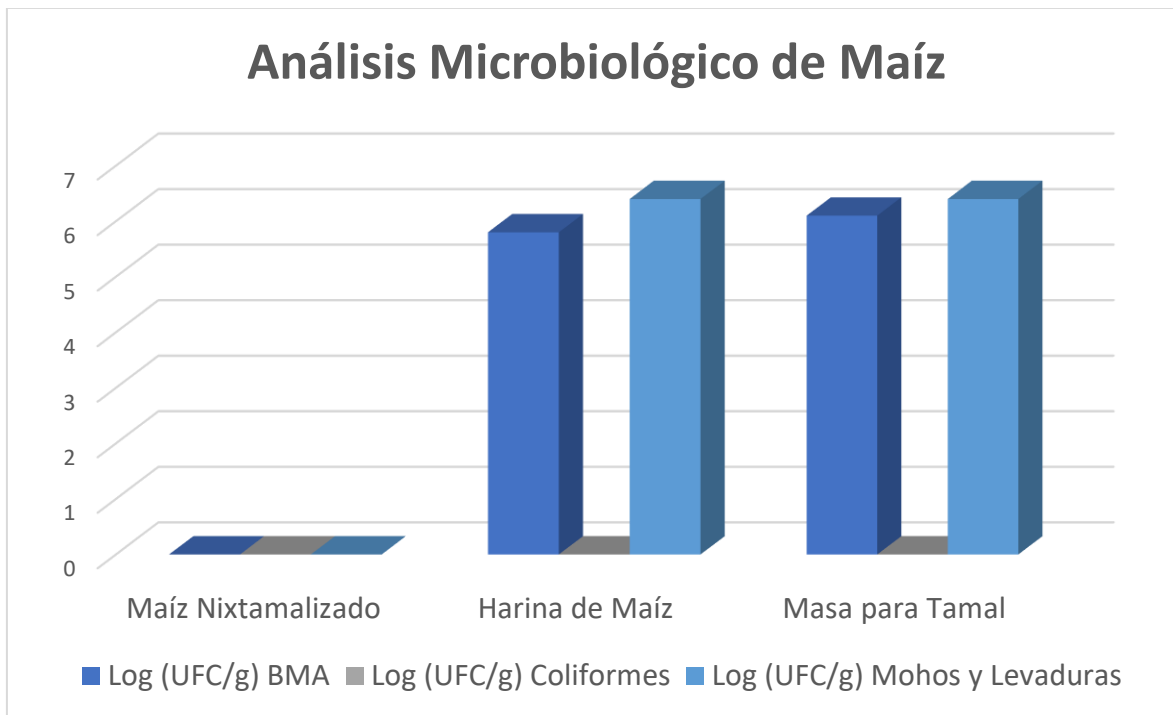


Figura 16. Análisis microbiológico de maíz procesados

Los resultados obtenidos del análisis microbiológico a los productos elaborados en el molino se muestran en la gráfica de la Figura 16, lo que corrobora que el proceso de nixtamalización reduce la carga presente de hongos en el maíz y que existe un proceso de contaminación cruzada en la elaboración de la harina de maíz sin nixtamalizar y harina de tamal.

La determinación del punto de contaminación de las harinas para la elaboración de masa de tamal, se realizó un análisis de superficies de los molinos tomando como referencia la NOM-092-SSA1-1994, NOM-111-SSA1-1994 y NOM-113-SSA1-1994. Lo anterior con el objetivo de realizar un análisis microbiológico completo y descartar contaminación cruzada.

Como se aprecia en la Figura 17 se tomaron muestras de superficie de los molinos que se usan para la elaboración de la harina, así como de la tela que se usa como tolva en la recolección de las harinas (Figura 18).

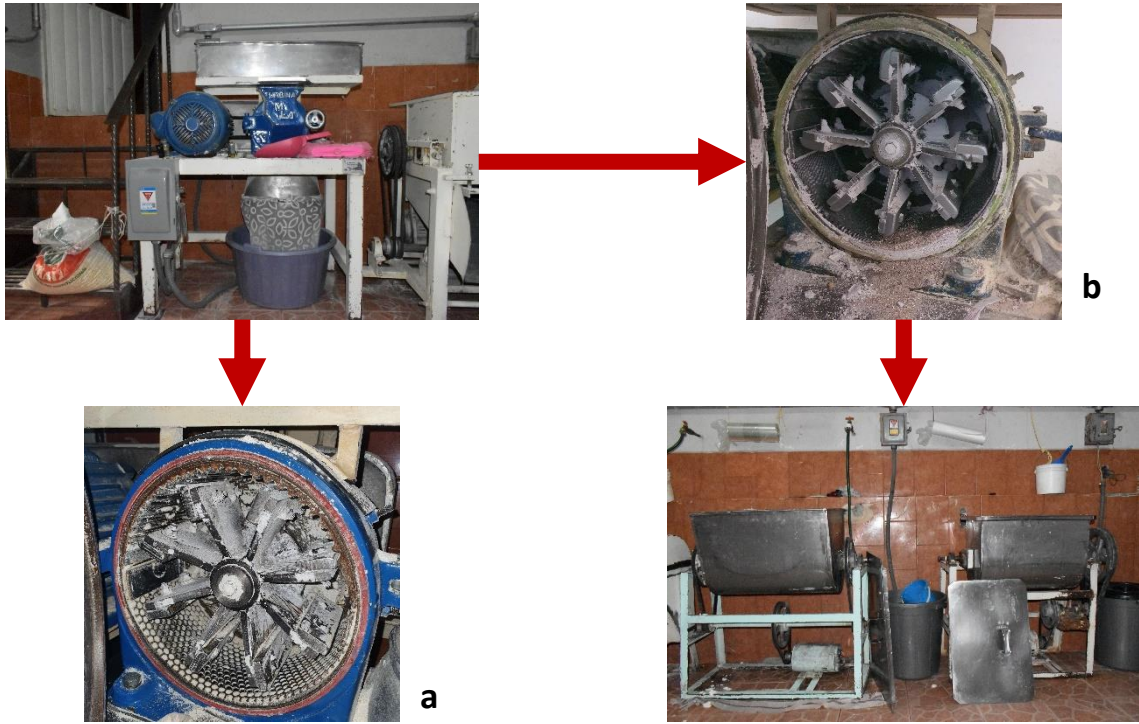


Figura 17. Molinos para la elaboración de harina de maíz (a) y harina para tamal (b). San Tadeo Huiloapan Tlaxcala 2022



Figura 18. Molino de grano de maíz nixtamalizado; en rojo tela usada como tolva. San Tadeo Huiloapan Tlaxcala 2022

Tabla 8. Análisis microbiológico de superficies en el proceso de molienda

MOLINO DE MAÍZ SIN NIXTAMALIZAR		
BMA (log UFC/cm ²)	Coliformes Totales (log UFC/cm ²)	Mohos & Levaduras (log UFC/cm ²)
3.93 ± 0.062	<1	3.66 ± 0.11
HONGOS		2 (54.6 %)
LEVADURAS		1.66 (45.4 %)
TELA DE MOLINO DE MAÍZ SIN NIXTAMALIZAR		
BMA (log UFC/cm ²)	Coliformes Totales (log UFC/cm ²)	Mohos & Levaduras (log UFC/cm ²)
6.11 ± 0.021	<1	4.43 ± 0.79
HONGOS		2.69 (60.7 %)
LEVADURAS		1.74 (39.3 %)
MOLINO DE HARINA DE TAMAL		
BMA (log UFC/cm ²)	Coliformes Totales (log UFC/cm ²)	Mohos & Levaduras (log UFC/cm ²)
6.02 ± 0.02	<1	5.87 ± 0.37
HONGOS		3.19 (54.3 %)
LEVADURAS		2.68 (45.7 %)
TELA DE MOLINO DE HARINA DE TAMAL		
BMA (log UFC/cm ²)	Coliformes Totales (log UFC/cm ²)	Mohos & Levaduras (log UFC/cm ²)
8.4 ± 0.009	<1	8.22 ± 0.04
HONGOS		3.75 (45.6 %)
LEVADURAS		4.47 (54.4 %)

Como se muestra en la Tabla 8 los resultados obtenidos descartan la presencia de bacterias coliformes lo que es un resultado favorable como lo marca la NOM-093-SSA1-1994. Sin embargo, como menciona Caro-Hernández y Tobar (2020) las cargas altas de BMA (Bacterias Mesófilas Aerobias) demuestra la falta de

sanitización adecuada del molino en conjunto con el uso de una tela de algodón a manera de tolva (Figura 16) para evitar la dispersión de la harina, esta favorece la acumulación de humedad y genera las condiciones adecuadas para el desarrollo de BMA.

Los resultados obtenidos para mohos y levaduras son similares a los reportados para BMA, lo que demuestra que debido a la inadecuada sanitización y la acumulación de humedad propician que la masa de tamal se contamine con hongos independiente a de la carga presente en el almacenamiento.

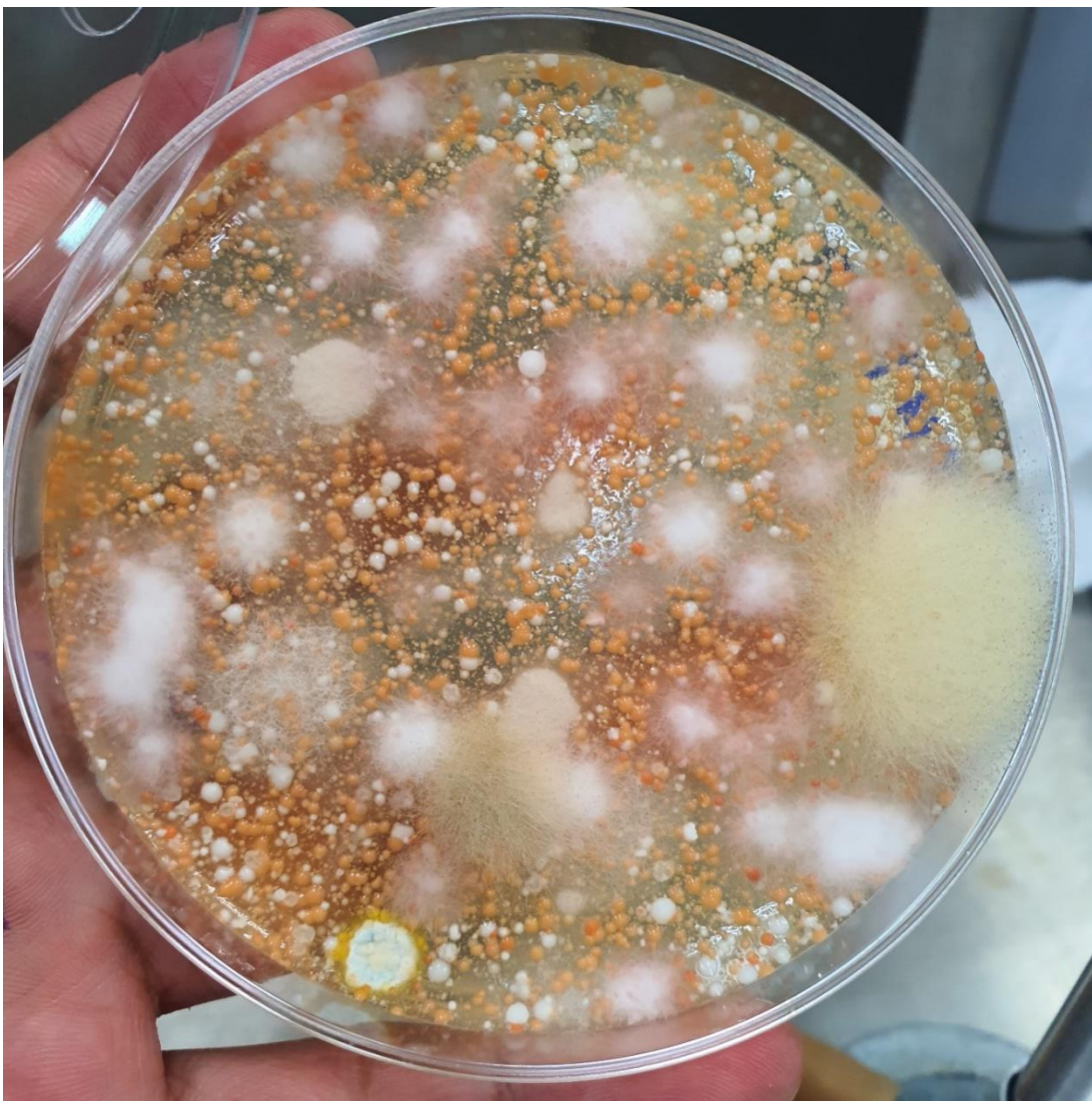


Figura 19. Placa de conteo de mohos y levaduras del análisis de superficies del molino de harina para masa de tamal. Laboratorio micología CU BUAP 2022

En la Figura 19 se aprecia la existencia de gran cantidad de mohos y levaduras en la superficie del molino, lo que finalmente termina contaminado la masa previamente nixtamalizada y en consecuencia no tenga una vida en anaquel prolongada, y pueda originar el consumo de estos microorganismos y sus metabolitos.

Una vez realizado el conteo de hongos se llevó a cabo el aislamiento y obtención de cultivos puros (Figura 20).

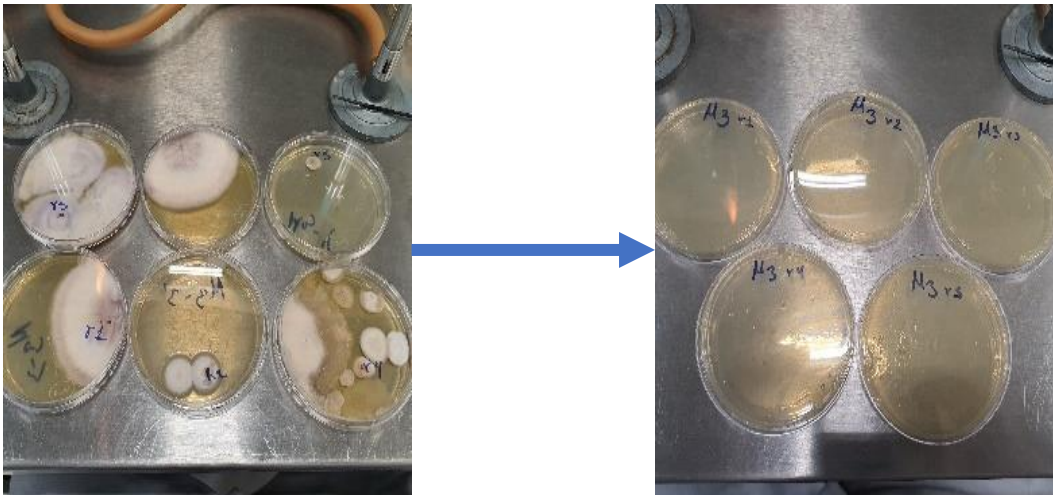


Figura 20. Aislamiento de hongos. Laboratorio micología CU BUAP 2022

Como se aprecia en la Figura 21 y como lo menciona Muñoz *et al.* (2015), para la identificación de los hongos aislados se realizó el método de microcultivo, a partir de las características presentes en los cultivos axénicos y la observación de las características morfológicas de los hongos fue posible identificar los géneros presentes en el aislamiento de suelo, maíz y derivados, además del ambiente.

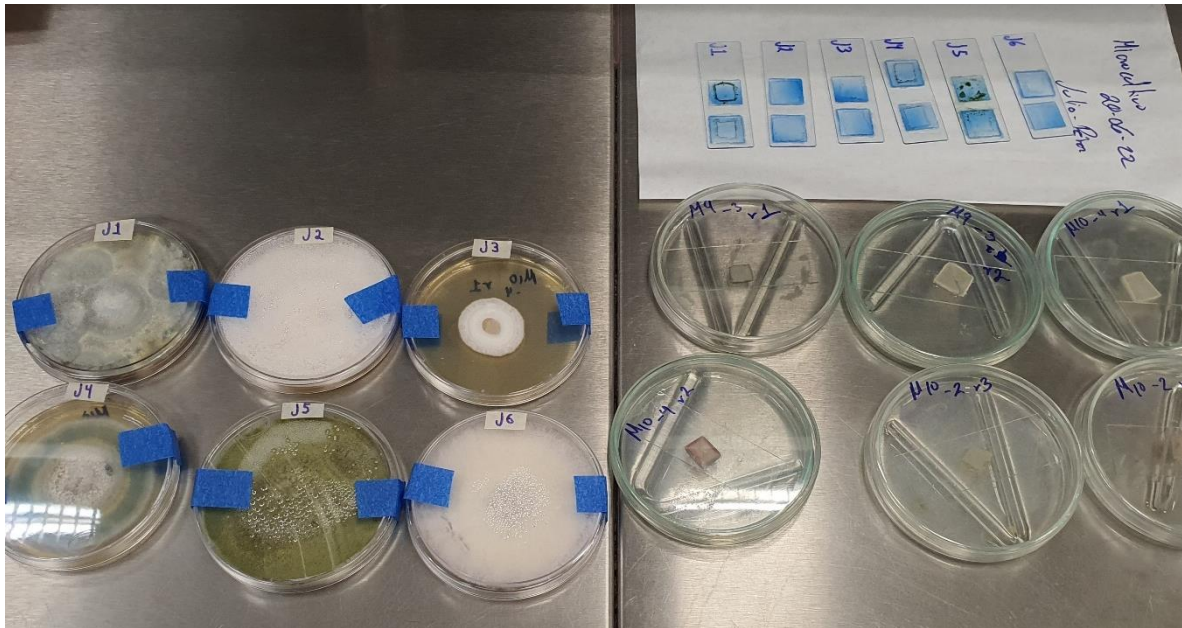


Figura 21. Método de microcultivo. Laboratorio micología CU BUAP 2022

Tabla 9. Resultados de aislamiento e identificación de hongos

	Suelo de cultivo	Maíz y derivados	Ambiente
<i>Mucor spp.</i>	37.5%		
<i>Rhizopus spp.</i>	12.5%		
<i>Trichoderma harzianun</i>	12.5%		
<i>Penicillium spp.</i>	25%	30%	100%
<i>Aspergillus flavus</i>	12.5%	10%	
<i>Aspergillus spp.</i>		10%	
<i>Fusarium spp</i>		20%	
<i>Candida albicans</i>		10%	
<i>Rhodotorula spp.</i>		20%	

En la Tabla 9 se aprecian los resultados obtenidos del aislamiento e identificación de hongos que se lograron recuperar de los muestreos realizados al suelo de cultivo, maíz y ambiente de almacenamiento.

Se obtuvo un total de 22 aislamientos de los cuales se identificaron 9 especies, que corresponden a 2 levaduras (22.3%) y 7 hongos filamentosos (77.7%). Respecto al suelo de cultivo se identificaron 5 hongos filamentosos más frecuentes son *Mucor spp.* (37.5%), seguido de *Penicillium spp.* (25%), los demás hongos aislados fueron *Rhizopus spp.*, *Trichoderma harzianun* y *Aspergillus flavus* (12.5% cada especie). En el maíz y sus derivados se identificaron 4 hongos filamentosos siendo el más frecuente *Penicillium spp.* (30%), seguido de *Fusarium spp.* (20%), además se identificaron *Aspergillus flavus* y *Aspergillus spp.* (10% cada uno), y 2 levaduras la más frecuente fue *Rhodotorula spp.* (20%) y *Candida albicans* (10%). En el ambiente de almacenamiento fue aislado el hongo filamentosos *Penicillium spp.* (100%)

El análisis permite visualizar que algunos hongos tienen la capacidad de persistir desde el suelo de cultivo hasta el almacenamiento como los son las especies *Penicillium* y *Aspergillus*, lo que podría considerarse un punto de riesgo y favorecer la presencia y desarrollo de hongos en el almacenamiento del grano de maíz, así como la producción de metabolitos secundarios micotoxigénicos.

Como se aprecia en la Figura 20 el crecimiento de *Aspergillus* en agar de diferenciación de *Aspergillus* permite visualizar que algunas cepas de *Aspergillus flavus* aislado del grano de maíz presenten potencial micotoxigénico, ya que la presencia de fluorescencia en el medio de cultivo es una prueba presuntiva de la capacidad del hongo de desarrollar micotoxinas, ya que como menciona Parra *et al.* (2018), el aislamiento de *Aspergillus* en las muestras no implica presencia de micotoxinas, ya que existen cepas no toxigénicas.

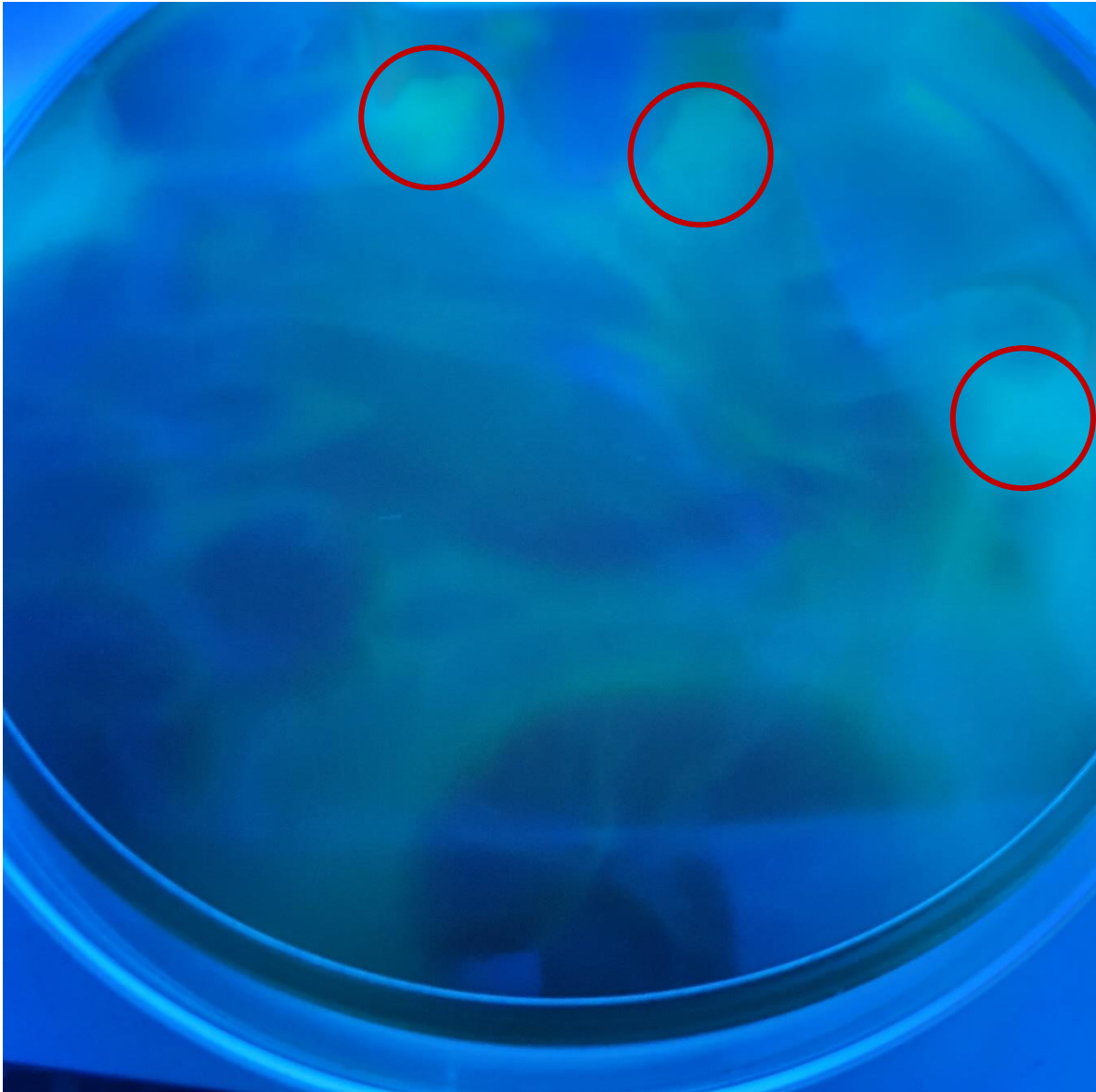


Figura 22. Aspergillus flavus en Agar de diferenciación de Aspergillus. En los círculos rojos se aprecian zonas de fluorescencia, como prueba presuntiva cualitativa de presencia de micotoxinas. Laboratorio micología CU BUAP 2022

X.iv. Puntos críticos

A partir de los análisis microbiológicos, los datos obtenidos del ambiente y salud pública, se considera que el punto crítico de control en el sistema de producción es el adecuado almacenamiento, ya que como menciona Martínez *et al* en el 2015 para un adecuado almacenamiento de maíz es necesario comprender los procesos

físicos y biológicos al interior del grano, además de buenas prácticas. Para obtener un almacenamiento adecuado se deben tomar en cuenta:

- Controlar la temperatura y la humedad del grano
- Mantener el grano libre de plagas, que puedan causar daño físico
- Usar bodegas secas, limpias y libres de plagas

XI. CONCLUSIONES

A partir de la revisión del MESMIS se concluye que debido a que el sistema de producción de maíz desarrollado en la comunidad de San Tadeo Huiloapan Tlaxcala (STHT) no cuenta con adaptabilidad, equidad y autosuficiencia, no se puede considerar sustentable, ya que gran parte de la producción depende de los apoyos federales y estos debido a la situación económica y social de la zona no son usados de manera adecuada lo que limita la producción. Sin embargo, es importante mencionar que la comunidad en la que se encuentra la zona de estudio cuenta con un potencial agrícola impórtate, lo que podría permitir la implementación de técnicas y programas adecuados para mejorar la producción del grano de maíz, ya que no es autosuficiente ni estable, lo que pone en riesgo la seguridad alimentaria.

El análisis microbiológico permitió mostrar que la nixtamalización permite reducir la presencia y desarrollo de hongos en los productos de maíz. Lo que genera que se pueda reducir el riesgo de consumo de micotoxinas y su efecto en el organismo, así como su impacto a la salud pública.

El análisis microbiológico en conjunto con la revisión al sistema de producción permitió mostrar que un almacenamiento adecuado permite controlar la presencia y desarrollo de hongos en los granos del maíz. Lo que genera un punto crítico de control en el sistema de producción y consumo de productos a base de maíz, y puede reducir el riesgo de consumir hongos con potencial micotoxigénico. Reduciendo el impacto a la salud pública.

XII. SUGERENCIAS

Realizar un análisis de la vida en anaquel que tienen los productos de maíz elaborados en el molino.

Realizar un análisis cualitativo y cuantitativo de la presencia de micotoxinas en productos a base de maíz.

Elaborar un POES para la sanitización de los molinos y las superficies con las que tienen contacto el maíz y los productos elaborados.

Modificar la presencia de tela en forma de tolva.

XIII.BIBLIOGRAFÍA

- 1) Abarca, M. L., Bragulat, M. R., Castellá, G., Accensi, F., & Cabañes, F. J. (2000). Hongos productores de micotoxinas emergentes. *Revista Iberoamericana de Micología*, 17(2), S63-S68.
- 2) Aguirre, P. (2004). Seguridad alimentaria. Una visión desde la antropología alimentaria. En *Desarrollo integral en la infancia: El futuro comprometido*. Córdoba.
- 3) Almanza, V. G., & Martínez, P. C. C. (2002). Salud ambiental, con un enfoque de desarrollo sustentable. *Revista salud pública y nutrición*, 3(3).
- 4) Astier, M. (2006). Medición de la sustentabilidad en sistemas agroecológicos. In VII Congreso SEAE Zaragoza, Ponencia (Vol. 3, pp. 1-7).
- 5) Ávila-Sosa, R., & López-Malo, A. (2008). Aplicación de sustancias antimicrobianas a películas y recubrimientos comestibles. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 2(2), 4-13.
- 6) Bautista, J. A., & Smit, M. A. (2012). Sustentabilidad y agricultura en la " región del mezcal" de Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(1), 5-20.
- 7) Bonilla Bolaños, A. G., & Singaña Tapia, D. A. (2019). La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), 70-83.
- 8) Calvente, A. (2007). El concepto moderno de sustentabilidad (pp. 1-3). UAISSDS-100-002). Buenos Aires.
- 9) Camacho, C., Alfonzo, B., Ortiz de Bertorelli, L., & De Venanzi, F. (2001). Estudio de la estabilidad de las características químicas, microbiológicas y sensoriales de mazorcas refrigeradas de híbridos de maíz super dulce. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(2), 180-186.
- 10) Caro-Hernández, P. A., & Tobar, J. A. (2020). Análisis microbiológico de superficies en contacto con alimentos. *Entramado*, 16(1), 240-249.
- 11) Carrillo, L. (2003). Los hongos de los alimentos y forrajes. Universidad Nacional de Salta, Argentina, 118.
- 12) Cartín-Rojas, A., Villarreal-Tello, A., & Morera, A. (2014). Implementación del análisis de riesgo en la industria alimentaria mediante la metodología AMEF: enfoque práctico y conceptual. *Revista de Medicina Veterinaria*, (27), 133-148.

- 13) Carvajal-Moreno, M. (2021). Mycotoxin challenges in maize production and possible control methods in the 21st century. *Journal of Cereal Science*, 103293.
- 14) Castaño, J. J. (1989). PROBLEMAS PATOLOGICOS DEL MAIZ ALMACENADO. Programa Cooperativo de Investigacion Agricola Para la Suregion Andian Prociandino, Ix Seminario Manejo de Enfermedades Y Plagas Del Maiz, 195.
- 15) Castro, M. C. (2000). La seguridad alimentaria de México en el año 2030. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 7(1).
- 16) Cerrato, R. F., & Alarcón, A. (2001). La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 8(2).
- 17) César, D. (2000). Micotoxicosis. Instituto Plan Agropecuario. Publicado en la *Revista del Plan Agropecuario, Uruguay*, 46, 50.
- 18) CORTES-CORTES, G., OCHOA-VELSCO, C., NAVARRO-CRUZ, A., AVILASOSA, R., VALLADARES-CARRANZA, B., BAÑUELOS-VALENZUELA, R., & VALLADARES-CARRANZA, B. (2015). Compuestos antimicrobianos de origen natural contra mohos de interés en los alimentos: Estado del arte. *Revista de Ciencias*, 1(1), 1-15.
- 19) Cuello Díaz, L. C., Cardozo, E. T., González, V. H., & Portillo Garay, L. B. (2018). Desarrollo de las fases del análisis del riesgo microbiológico para el caso de un brote de ETA.
- 20) Dayaeth, A., Torres-Alruiz, M. D., Albán, R., & Griffon, D. (2008). Indicadores de sustentabilidad en Agroecología. *Agroecología*. Consultado en: <http://agroecologiavenezuela.blogspot.com/2008/05/indicadores-de-sustentabilidad-en.html>, consultada el, 2.
- 21) De la Torre-Hernández, M. A., Sánchez-Rangel, D., Galeana-Sánchez, E., & Plasencia-de la Parra, J. (2014). Fumonisin-síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides*-maíz. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 17(1), 77-91.
- 22) De Leon, J. G. M. P. (2007). *Introducción al análisis de riesgos*. Editorial Limusa.

- 23) de Lourdes Robledo, M., Marín, S., & Ramos, A. J. (2001). Contaminación natural con micotoxinas en maíz forrajero y granos de café verde en el Estado de Nayarit (México). *Rev Iberoam Micol*, 18, 141-144.
- 24) Dey, D. K., Chang, S. N., & Kang, S. C. (2020). The inflammation response and risk associated with aflatoxin B1 contamination was minimized by insect peptide CopA3 treatment and act towards the beneficial health outcomes. *Environmental Pollution*, 268, 115713.
- 25) Dixon, J., Gulliver, A., Gibbon, D., & Hall, M. (2001). Sistemas de producción agropecuaria y pobreza: como mejorar los medios de subsistencia de los pequeños agricultores en un mundo cambiante. Compendio.
- 26) Duarte-Vogel, S., & Villamil-Jiménez, L. C. (2006). Micotoxinas en la salud pública. *Revista de Salud Pública*, 8, 129-135.
- 27) Espinoza, D. L., Badaoui, M. T. M., Vera, R., De Freitas, J., & Sangermano, A. (2007). Presencia de aflatoxinas y hongos aflatoxigénicos en maíz amarillo tipo duro clase I de la zona nororiental de Venezuela. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 19(1), 43-49.
- 28) FAO (8 de marzo del 2022), Análisis de los sistemas agrícolas, Sistemas de producción agropecuaria y pobreza. https://www.fao.org/farmingsystems/description_es.htm
- 29) González, L. J., Martínez, F. N., Rossi, L., Tornese, M., & Troncoso, A. (2010). Enfermedades transmitidas por los alimentos: Análisis del riesgo microbiológico. *Revista chilena de infectología*, 27(6), 513-524.
- 30) Gudynas, E. (2011). Desarrollo y sustentabilidad ambiental: diversidad de posturas, tensiones persistentes. *La Tierra no es muda: diálogos entre el desarrollo sostenible y el postdesarrollo*, 69-96.
- 31) Guevara, G. S. Z., Espinoza, J. A. M., Juárez, J. R., & Hernández, J. I. O. (2016). Análisis de la seguridad alimentaria en los hogares el municipio de Xochiapulco Puebla, México. *Estudios Sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 25(47), 67-85.
- 32) Hernández González, M. M., Jiménez Garcés, C., Jiménez Albarrán, F. R., & ARCEO GUZMÁN, M. E. (2007). Caracterización de las intoxicaciones agudas por

- plaguicidas: perfil ocupacional y conductas de uso de agroquímicos en una zona agrícola del Estado de México, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 23(4), 159-167.
- 33) Lezama, J. L., & Domínguez, J. (2006). Medio ambiente y sustentabilidad urbana. *Papeles de población*, 12(49), 153-176.
- 34) los Santos-Ramos, D., Romero-Rosales, T., & Bobadilla-Soto, E. E. (2017). Dinámica de la producción de maíz y frijol en México de 1980 a 2014. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 439-453.
- 35) Luna Mena, B. M., Hinojosa Rodríguez, M. A., Ayala Garay, Ó. J., Castillo González, F., & Mejía Contreras, J. A. (2012). Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(1), 1-7.
- 36) Martínez, M., Castañares, E., Dinolfo, M. I., Pacheco, W. G., Moreno, M. V., & Stenglein, S. A. (2014). Presencia de *Fusarium graminearum* en muestras de trigo destinado al consumo humano. *Revista argentina de microbiología*, 46(1), 41-44.
- 37) Martínez-Jiménez, A., García-Salazar, J. A., & Mora-Flores, J. S. (2015). Capacidad de almacenes y demanda de almacenamiento de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Chiapas, México. *Agrociencia*, 49(6), 669-702.
- 38) Mundo-Rosas, V., Shamah-Levy, T., & Rivera-Dommarco, J. A. (2013). Epidemiología de la inseguridad alimentaria en México. *salud pública de México*, 55, S206-S213.
- 39) Munkvold, G. P., McGee, D. C., & Carlton, W. M. (1997). Importance of different pathways for maize kernel infection by *Fusarium moniliforme*. *Phytopathology*, 87(2), 209-217.
- 40) Muñoz, D. J., Rodríguez, R., Mota, J. J., & Suarez, L. R. (2015). Aislamiento e identificación de hongos filamentosos en alimentos concentrados para mascotas domésticas (perros y gatos). *Revista Científica*, 25(6), 432-438.
- 41) Neri-Ramírez, E., Rubiños-Panta, J. E., Palacios-Velez, O. L., Oropeza-Mot, J. L., Flores-Magdaleno, H., & Ocampo-Fletes, I. (2013). Evaluación de la sustentabilidad del acuífero Cuautitlán-Pachuca mediante el uso de la Metodología MESMIS. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(2), 273-286.

- 42) NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- 43) NORMA Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
- 44) NORMA Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994, Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos.
- 45) NORMA Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.
- 46) NORMA Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.
- 47) Parra Lizarazu, C. D., Quiroga Selaez, G., Giménez Turba, A., & Flores Quisbert, E. (2018). Aflatoxina b1 de aspergillus spp generado en arroz, su detección y cuantificación por métodos fluorométricos y hplc. *Revista Boliviana de Química*, 35(5), 134-145.
- 48) Parzanese, M. (2013). *Tecnologías para la Industria Alimentaria: Ozono en alimentos* (No. H2720). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires (Argentina).
- 49) Pérez Jiménez, D., Diago Garrido, Y., Corona Miranda, B., Espinosa Díaz, R., & González Pérez, J. E. (2011). Enfoque actual de la salud ambiental. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 49(1), 84-092.
- 50) Perusia, O. R., & Rodríguez, R. (2001). Micotoxicosis. *Revista de investigaciones veterinarias del Perú*, 12(2), 87-116.
- 51) Postigo, J., & Young, K. (2016). *En Naturaleza y sociedad. Perspectivas socio-ecológicas sobre cambios globales en América Latina*. Lima: Desco, IEP e INTE-PUCP.
- 52) Quintero, R. (1993). Interpretación del análisis de suelo y recomendaciones de fertilizantes para la caña de azúcar. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). serie Técnica, (14).

- 53) Rengifo Cuéllar, H. (2008). Conceptualización de la salud ambiental: teoría y práctica (parte 1). *Revista Peruana de Medicina Experimental y salud pública*, 25(4), 403-409.
- 54) Requena, F., Saume, E., & León, A. (2005). Micotoxinas: Riesgos y prevención. *Zootecnia Tropical*, 23(4), 393-410.
- 55) Requena, F., Saume, E., & León, A. (2005). Micotoxinas: Riesgos y prevención. *Zootecnia tropical*, 23(4), 393-410.
- 56) Rivero, J. C. Á., González, J. A. D., & Naranjo, J. I. L. (2005). Agricultura orgánica vs agricultura moderna como factores en la salud pública. ¿Sustentabilidad?. *Horizonte sanitario*, 4(1), 28-40.
- 57) Romero-Martínez, M., Shamah-Levy, T., Vielma-Orozco, E., Heredia-Hernández, O., Mojica-Cuevas, J., Cuevas-Nasu, L., & Rivera-Dommarco, J. (2021). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19: metodología y perspectivas. *Salud publica de Mexico*, 61, 917-923.
- 58) SAGARPA, (14 de septiembre de 2017), Planeación Agrícola Nacional 2017 – 2030, maíz grano blanco y amarillo mexicano. <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813>
- 59) Salcedo, S., & Guzmán, L. (2014). Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: recomendaciones de política. Santiago: FAO.
- 60) Sánchez-Morales, P., Ocampo-Fletes, I., Parra-Inzunza, F., Sánchez-Escudero, J., María-Ramírez, A., & Argumedo-Macías, A. (2014). Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en la región de Huamantla, Tlaxcala, México. *Agroecología*, 9, 111-122.
- 61) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030: Palma de aceite mexicana.
- 62) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP (02 de mayo de 2016). *Svalbard: La Bóveda Global de Semillas*. Recuperado el 9 de enero del 2021: <https://www.gob.mx/siap/articulos/svalbard-la-boveda-global-de-semillas>

- 63) Sirot, V., Fremy, J. M., & Leblanc, J. C. (2013). Dietary exposure to mycotoxins and health risk assessment in the second French total diet study. *Food and Chemical Toxicology*, 52, 1-11.
- 64) Sofía, B., Cecilia, D., & Roberto, R. (2015). Evaluación de timol para el control antifúngico sobre películas de pintura. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 20, 699-704.
- 65) Trigo, Y. M., & Montenegro, J. L. (2002). El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. *Análisis económico*, 17(36), 281-303.
- 66) Trigos, Á., Ramírez, K., & Salinas, A. (2008). Presencia de hongos fitopatógenos en frutas y hortalizas y su relación en la seguridad alimentaria. *Revista mexicana de micología*, 28(SPE), 125-129.
- 67) UNAM (28 de febrero del 2022), El proyecto MESMIS, MESMIS. <http://www.mesmis.unam.mx/>
- 68) Urquía-Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud pública de México*, 56, s92-s98.
- 69) Wirth, A., Pacheco, F., Toma, N., Valiati, V., Tutikian, V., & Gomes, L. (2019). Análisis sobre el crecimiento de hongos en diferentes revestimientos aplicados a sistemas ligeros. *Revista ingeniería de construcción*, 34(1), 5-14.