



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO POR PELIGRO
QUÍMICO DE AFLATOXINAS EN EL ALMACENAMIENTO DE LAS COSECHAS DE MAÍZ
(ZEA MAYS) EN EL MUNICIPIO LA LIBERTAD DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN,
GUATEMALA**

Alberto Isaac Pineda Barillas

Asesorado por el MAI. Lic. Maynor Alfredo Ordoñez Gutiérrez

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO POR PELIGRO
QUÍMICO DE AFLATOXINAS EN EL ALMACENAMIENTO DE LAS COSECHAS DE MAÍZ
(ZEA MAYS) EN EL MUNICIPIO LA LIBERTAD DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN,
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALBERTO ISAAC PINEDA BARILLAS
ASESORADO POR EL MAI. LIC. MAYNOR ALFREDO ORDOÑEZ
GUTIÉRREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MAYO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO POR PELIGRO QUÍMICO DE AFLATOXINAS EN EL ALMACENAMIENTO DE LAS COSECHAS DE MAÍZ (ZEA MAYS) EN EL MUNICIPIO LA LIBERTAD DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 16 de octubre de 2021.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alberto Isaac Pineda Barillas', written in a cursive style.

Alberto Isaac Pineda Barillas



EEPFI-PP-0047-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
Williams G. Álvarez Mejía
Escuela De Ingenieria Quimica
Presente.

Estimado Ing. Álvarez

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO POR PELIGRO QUÍMICO DE AFLATOXINAS EN EL ALMACENAMIENTO DE LAS COSECHAS DE MAÍZ (ZEA MAYS) EN EL MUNICIPIO LA LIBERTAD DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN, GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Diseño de sistemas de inocuidad en lugares donde se preparen alimentos**, presentado por el estudiante **Alberto Isaac Pineda Barillas** carné número **200011434**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ciencia Y Tecnología De Los Alimentos.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

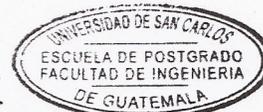
Atentamente,

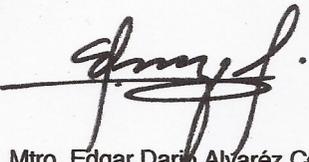
"Id y Enseñad a Todos"

Lic. Maynor A. Ordóñez Gutiérrez
QUIMICO
Colegiado No. 1281


Mtro. Maynor Alfredo Ordóñez Gutiérrez
Asesor(a)


Mtra. Hilda Piedra Palma Ramos
Coordinador(a) de Maestría




Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP.EIQ.0047.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Quimica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO POR PELIGRO QUÍMICO DE AFLATOXINAS EN EL ALMACENAMIENTO DE LAS COSECHAS DE MAÍZ (ZEA MAYS) EN EL MUNICIPIO LA LIBERTAD DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN, GUATEMALA** , presentado por el estudiante universitario **Alberto Isaac Pineda Barillas**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

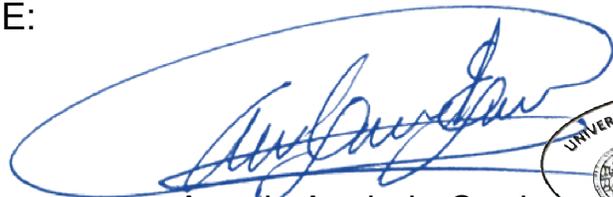
Ing. Williams G. Álvarez Mejía
Director
Escuela De Ingenieria Quimica

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.347.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO POR PELIGRO QUÍMICO DE AFLATOXINAS EN EL ALMACENAMIENTO DE LAS COSECHAS DE MAÍZ (ZEA MAYS) EN EL MUNICIPIO LA LIBERTAD DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN, GUATEMALA**, presentado por: **Alberto Isaac Pineda Barillas**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, mayo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Jesucristo

Por estar conmigo en mi camino como un amigo,
por su misericordia y ejemplo eterno.

Mi madre

Marta Gladys Barillas Fajardo, por ser padre y
madre y compartir conmigo el efimero paso en la
vida. Su ejemplo será siempre mi inspiración.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia en mi carrera, y por darme la oportunidad de desarrollarme de forma intelectual y profesional en la vida.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme ser partícipe de tan renombrada Facultad y por los conocimientos adquiridos.
Mi asesor	Por sus conocimientos y por ser un modelo de profesional para seguir.
MAGA-CUDEP	Por permitirme ser parte de la investigación del fenómeno analizado y de las propuestas de mitigación.
Mi revisor	Por motivarme a terminar el presente diseño de investigación y compartir su experiencia.
Mis hermanos	Jorge, Francisco y Héctor Pineda. Su apoyo no me ha faltado en la vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Generalidades del maíz (<i>Zea mays</i>).....	17
7.1.1. Taxonomía.....	17
7.1.2. Morfología.....	18
7.1.3. Composición química	19
7.1.4. Composición nutricional.....	20

7.1.5.	Codex alimentarius.....	22
7.1.6.	Regiones de cultivo en Guatemala.....	23
7.1.7.	Clasificación climática de Thornthwaite.....	24
7.2.	Etapas del proceso de producción, distribución y transformación	27
7.2.1.	Etapa de siembra	27
7.2.2.	Etapa de cosecha.....	27
7.2.3.	Etapa de cosecha.....	28
7.2.4.	Etapa de almacenamiento.....	28
7.2.5.	Etapa de distribución	28
7.2.6.	Etapa de transformación (nixtamalización y cocción).....	29
7.3.	Cambios bioquímicos	29
7.3.1.	Germinación	29
7.3.2.	Respiración del grano	30
7.4.	Curva de secado	30
7.5.	Agricultura de subsistencia en Guatemala	30
7.5.1.	Tipos de agricultura familiar	31
7.6.	Sistemas de almacenamiento de maíz.....	32
7.6.1.	Diseño acorde a Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)	32
7.6.2.	Buenas prácticas de almacenamiento.....	33
7.6.3.	Almacenamiento de granos en propiedades rurales	33
7.6.4.	Calificación de sistemas de almacenamiento.....	34
7.7.	Preparaciones alimenticias a partir de maíz (<i>Zea mays</i>).....	35
7.7.1.	Programa Mundial de Alimentos (PMA)	35
7.7.2.	Estadísticas de pérdida parcial o total de cosechas en Guatemala.....	36

7.7.3.	Impacto económico en Guatemala	36
7.8.	Aflatoxinas (AF)	37
7.8.1.	Aflatoxinas totales (B1, B2, G1, G2)	37
7.8.2.	Fumonisinias de la serie B	38
7.8.3.	Actividad tóxica en humanos y animales de crianza	40
7.8.4.	Otras micotoxinas de importancia.....	40
7.8.5.	Reducción de AF y F en granos de maíz (<i>Zea mays</i>).....	41
7.8.6.	Métodos de determinación de cantidad de aflatoxinas.....	42
7.8.7.	Caja azul del Programa Mundial de Alimentos (PMA)	44
7.9.	Análisis de peligros químicos por aflatoxinas en granos de maíz.....	44
7.9.1.	Principio 1: análisis de peligros.....	45
7.9.2.	Principio 2: puntos de control PC y puntos críticos de control PCC	45
7.9.3.	Principio 3: límites críticos	46
7.9.4.	Principio 4: monitoreo (vigilancia)	46
7.9.5.	Principio 5: acciones correctivas.....	46
7.9.6.	Principio 6: verificación	47
7.9.7.	Principio 7: documentación.....	48
7.10.	Marco normativo	48
7.10.1.	Nacional.....	48
7.10.2.	Internacional	49
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	51

9.	METODOLOGÍA	55
9.1.	Tipo de estudio.....	55
9.2.	Diseño de investigación	55
9.3.	Variables del estudio	55
9.4.	Fase 1: exploración bibliográfica	56
9.5.	Fase 2: calificación de los sistemas de almacenamiento	57
9.6.	Fase 3: calificación del diseño e instalación.....	64
9.7.	Fase 4: calificación de la operación	78
9.8.	Fase 5: calificación del desempeño.	85
9.9.	Fase 6: presentación y discusión de resultados.....	88
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS.....	89
10.1.	Herramientas de recolección.....	89
10.2.	Herramientas estadísticas.....	90
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	91
	REFERENCIAS	93
	APÉNDICES.....	97
	ANEXOS.....	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de producción de maíz a nivel municipal.....	24
2.	Mapa climático Guatemala SIG-MAGA.....	26
3.	Sistemas de almacenamiento FAO.....	33
4.	Estructura química de AF serie B.....	38
5.	Estructura química de las fumonisinas.....	39
6.	Diagrama producción, distribución y consumo de maíz.....	58
7.	Distribución de toma de muestra acorde a geometría.....	60
8.	Preguntas del árbol de decisión HACCP.....	63
9.	Analizador de CHE marca AMTAST modelo AMT155.....	79
10.	Ejemplo de informe de análisis de capacidad P_p	85
11.	Ejemplo de cromatograma de aflatoxinas en maíz.....	88

TABLAS

I.	Clasificación taxonómica del maíz.....	18
II.	Composición de las partes del grano de maíz.....	20
III.	Composición nutrición al del grano de maíz fresco.....	21
IV.	Especificaciones del maíz CODEX STAN 153-1985.....	22
V.	Producción de maíz blanco Guatemala.....	23
VI.	Clasificación climática Thornthwaite.....	25
VII.	Zonificación climática de Guatemala SIG-MAGA.....	25
VIII.	Tiempo seguro en días de almacenamiento FAO.....	34

IX.	Contenido de humedad para el almacenamiento adecuado de granos y cereales FAO	34
X.	Propiedades químicas de aflatoxinas	37
XI.	Propiedades químicas de fumonisinas	40
XII.	Descripción de variables.....	56
XIII.	Esquema de calificación y fases.....	57
XIV.	Criterios de selección de sistemas para muestreo	59
XV.	Criterio de muestreo para sacos.....	59
XVI.	Criterio de muestreo a granel	60
XVII.	Formato de análisis de peligros HACCP	61
XVIII.	Matriz de asignación factores de probabilidad y severidad	61
XIX.	Formato de análisis de probabilidad y severidad HACCP	62
XX.	Formato de árbol de decisión HACCP.....	62
XXI.	Formato de PCC HACCP	64
XXII.	Criterios protocolo DQ	65
XXIII.	Formato protocolo DQ	66
XXIV.	Criterios protocolo IQ.....	69
XXV.	Formato protocolo IQ-1.....	70
XXVI.	Características metrológicas analizador CHE AMT155.....	78
XXVII.	Criterios protocolo OQ	80
XXVIII.	Formato protocolo OQ-1.....	81
XXIX.	Formato protocolo OQ-2.....	84
XXX.	Micotoxinas cuantificables método ML-9001 AGQ Labs	86
XXXI.	Criterios protocolo PQ.	86
XXXII.	Formato protocolo PQ-1	87
XXXIII.	Recursos necesarios para la investigación.....	91
XXXIV.	Cronograma de la investigación	92

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
P_p	Capacidad de proceso a largo plazo
cm	Centímetro
\$	Dólar estadounidense
°	Grados
°C	Grados Celsius
g	Gramo
h	Hora
kcal	Kilocaloría
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
m	Metro
m³	Metro cúbico
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
mcg	Microgramo
µg	Microgramo notación científica
mg	Miligramo
ng	Nanogramo
nm	Nanómetro
ppb	Partes por billón
%	Porcentaje
m/m	Porcentaje masa / masa
Q	Quetzal
t	Tonelada

GLOSARIO

AOAC	Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (<i>Association of Official Analytical Chemists</i>).
CHE	Contenido de humedad de equilibrio.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
CUDEP	Centro Universitario de Petén.
DQ	Calificación del diseño (<i>design qualification</i>).
ECN	Comité Europeo de Normalización (<i>Comité Européen de Normalisation</i>).
ELISA	Ensayo por inmunoadsorción ligado a enzimas (<i>Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay</i>).
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
GC	Cromatografía de gases (<i>Gas Chromatography</i>).
HACCP	Análisis de peligros y puntos críticos de control.

HPLC	Cromatografía líquida de alta resolución (<i>High Performance Liquid Chromatography</i>).
IAS	Servicio de Acreditación Internacional (<i>International Accreditation Service</i>).
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas.
IQ	Calificación de la instalación (<i>installation qualification</i>).
INCAP	Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
INSIVUMEH	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
ISO	Organización internacional de estandarización (<i>International Organization for Standardization</i>).
JECFA	Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios.
LC/MS	Cromatográfica líquida acoplada a espectrometría de masas (<i>liquid chromatography / mass spectrometry</i>).
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

NACMCF	Comité Asesor Nacional sobre Criterios Microbiológicos para Alimentos (<i>National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods</i>).
OMS	Organización Mundial de la Salud.
OQ	Calificación de la operación (<i>operational qualification</i>).
PAFFEC	Programa de agricultura familiar para el fortalecimiento de la economía campesina del MAGA.
PC	Punto de control.
PCC	Punto de control crítico.
PMA	Programa Mundial de Alimentos.
POE	Procedimiento operativo estándar.
PQ	Calificación del desempeño (<i>performance qualification</i>).
SIG-MAGA	Sistema de Información Geográfica del MAGA.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca demostrar si los sistemas de almacenamiento para las cosechas de maíz de los agricultores del municipio La Libertad Petén Guatemala, son capaces de reducir o mitigar el riesgo asociado al peligro químico por aflatoxinas. Se calificarán cuatro sistemas; dos de agricultores, uno en un mercado comunal y uno de un gran almacenador. Se realizará un diagrama de proceso aplicando un HACCP a la etapa de almacenamiento y se elaborarán protocolos de calificación de diseño (DQ), instalación (IQ), operación (OQ) y desempeño (PQ) acorde con FAO.

El protocolo DQ corresponderá a la conceptualización del sistema de almacenamiento y el IQ se basará en la verificación física en sitio del sistema o la materialización del concepto de diseño. Para todos los sistemas estas calificaciones se realizarán una única vez. La OQ evaluará que las instalaciones operen bajo las especificaciones establecidas; se evaluará el sistema de control de plagas y el perfil de contenido de humedad de equilibrio del grano (CHE) del almacenamiento. En la PQ será evaluada la variable concentración de micotoxinas, realizando el muestreo del grano en el punto máximo del perfil CHE. Se utilizará cromatografía LC/MS para cuantificar micotoxinas.

La OQ y PQ serán evaluadas en dos condiciones psicrométricas; temporada de lluvias en octubre y temporada seca en abril. Se espera que los sistemas de almacenamiento y distribución cumplan con los niveles de aflatoxinas totales de las regulaciones y que las desviaciones encontradas en las etapas de calificación sean utilizadas para mejorar dichos sistemas garantizando así buenas prácticas de almacenamiento.

1. INTRODUCCIÓN

Después del secado de los granos de maíz, estos son almacenados y dependiendo de las condiciones climáticas y de infraestructura, existe el peligro químico por aflatoxinas. Si el riesgo de inocuidad por este peligro químico no se controla, reduce o mitiga, es posible que esté presente en los granos utilizados en las preparaciones alimenticias de las familias de los agricultores en la etapa de transformación y en los granos comercializados como excedentes de cosecha en la etapa de distribución. Se desconoce si las tecnologías de almacenamiento de los agricultores guatemaltecos en el municipio La Libertad del departamento de Petén en Guatemala, garantizan concentraciones de aflatoxinas que no representen un riesgo de inocuidad para sus familias y comunidades.

Esta investigación plantea aplicar el concepto de calificación utilizando protocolos que evalúen el diseño, instalación, operación y desempeño de cualquier sistema de almacenamiento de maíz, para así validar el nivel de cumplimiento de estos con respecto a las recomendaciones de la FAO y las normativas nacionales e internacionales. La relevancia de esta investigación se basa en la selección del municipio con mayor producción de maíz blanco y con condiciones psicrométricas ambientales que propician presencia de micotoxinas; otras investigaciones han sido realizadas en regiones no críticas, no ha incluido la correlación del contenido de humedad de equilibrio y el nivel de aflatoxinas y estas últimas se han cuantificado con metodologías analíticas diferentes a la LC/MS.

Con esta información se podrán tomar acciones preventivas o correctivas con el objetivo de aceptar o mitigar el riesgo asociado a los niveles cuantificados

de aflatoxinas. Adicional del reporte de aflatoxinas, se identificarán otras micotoxinas de importancia para el maíz, estas son ocratoxina, deoxinivalenol, zearalenona, fumonisinas y toxinas HT2 y T2 no reportadas en otras investigaciones, esta cuantificación sólo se realizará para el sistema del gran almacenador (donde se colectan lotes de varias cosechas de agricultores).

Se utilizará el método de observación y entrevista para recopilar la información de los criterios de los protocolos de calificación de diseño e instalación para cuatro sistemas de almacenamiento: dos de agricultores, uno en un mercado comunal y uno de un gran almacenador. Para todos los sistemas estas calificaciones se realizarán una única vez. En la calificación de la operación, se utilizará un termohigrómetro para medir la temperatura y humedad relativa ambiental y de almacenamiento. El contenido de humedad de equilibrio se medirá con un equipo de resistencia eléctrica. Se correlacionará el valor de la humedad del grano determinado durante la etapa de almacenamiento con la determinación de la cantidad de micotoxinas mediante LC/MS en un laboratorio acreditado ISO 17 025.

En el capítulo 1 se presentarán los antecedentes de la investigación, que resumen investigaciones previas sobre el tema. En el capítulo 2, se hará una exploración bibliográfica de los temas como base teórica de la aplicación propuesta. En el capítulo 3, se presentará el procedimiento para la calificación de los sistemas de almacenamiento de acuerdo con la FAO; en el capítulo 4 se presentará la metodología para la medición del contenido de humedad de equilibrio y la gestión de plagas. En el capítulo 5 se describirá el análisis de aflatoxinas. En el capítulo 6 se hará una presentación de los resultados más relevantes de la investigación y en el capítulo 7 se hará una discusión de estos. Por último, se presentarán las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

2. ANTECEDENTES

En Guatemala, se encontraron estudios acerca de la determinación de aflatoxinas en maíz (*Zea mays*) y la relación entre el consumo de maíz contaminado con aflatoxinas y problemas de salud. A continuación, las publicaciones más sobresalientes:

Salazar (2008), en su trabajo de graduación *Determinación de la presencia de aflatoxinas en granos de maíz (Zea mays) producidos en Petén y distribuidos en la Central de Mayoreo de la ciudad capital, y elaboración de un Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (APPCC)*, analizó los granos de maíz almacenados y distribuidos en la Central de Mayoreo (CENMA) de la ciudad capital. En la CENMA existen 4 locales de distribución de granos de maíz; dos de ellos provienen de Jutiapa, uno de Escuintla y uno de Petén. El estudio se realizó sobre muestras de granos de maíz provenientes de Petén con almacenamientos de más de dos semanas. Sus resultados con un intervalo de confianza del 90 % y un universo de 500 sacos, demostraron que los sacos que pueden presentar contaminación por aflatoxinas fuera del límite de 20 ppb, pueden estar dentro de un rango del 14.53 % al 42.61 %. Estableció como PCC las condiciones ambientales y las condiciones físicas de almacenamiento.

En su trabajo de graduación denominado *Relación entre el consumo de maíz contaminado con aflatoxinas y el retardo del crecimiento en niños. Estudio analítico realizado en el municipio de San Miguel Panán, Suchitepéquez, Argueta* (2016), realizó un estudio analítico de corte transversal, con una muestra de 67 niños y niñas de 6 a 15 meses de edad, se estudió la prevalencia de baja talla y baja talla severa, se analizó el maíz almacenado para consumo de los hogares

de los niños por el método ELISA y se evaluó el patrón del consumo de alimentos ricos en maíz de los niños y sus madres. El estudio utilizó un nivel de confianza del 95 %.

Argueta (2016), demostró que la frecuencia de aflatoxinas en el maíz de San Miguel Panán es del 36 %, mayor a la frecuencia encontrada en otros estudios; se encontró una media de 29.18 ppb y casi la totalidad de ellos tiene una exposición de 245.62 a 504.82 ng/kg día. Se evidenció que la exposición al consumo de maíz contaminado con aflatoxinas aumenta hasta 5 veces el riesgo para retardo del crecimiento (desnutrición crónica) en los niños estudiados. Dentro de sus recomendaciones al MSPAS, indicó que es necesario revisar las normas COGUANOR y los reglamentos municipales para tratar de reducir al mínimo los niveles permitidos para aflatoxina B1 en el maíz comercializado en Guatemala para consumo humano y animal.

En el trabajo de graduación *Determinación de aflatoxinas en maíz (Zea mays Vell) almacenado en tapancos diagnóstico en tres comunidades y servicios en 13 comunidades del municipio de Tacaná, del departamento de San Marcos, Guatemala, C.A.*, Díaz (2019), realizó mediciones del contenido de aflatoxinas en granos de maíz almacenados en estructuras tipo tapanco en las comunidades cantón Santa María, aldea el Rosario y cantón la Esperanza de aldea Tuicoche, con resultados máximos de aflatoxinas de 8,0 ppb, 7,7 ppb y 6,9 ppb, humedades relativas máximas de 77,92 % / 10,3 °C, 82,27 % / 12,3 °C y 84,06 % / 16,24 °C entre las 6:00 y 7:00 horas y de temperaturas máximas de almacenamiento con humedades relativas de 19,7 °C / 53,53 %, 28,21 °C / 40,57 %, 33,55 °C / 37, 2 % entre las 12:00 y 13:00 horas respectivamente.

Díaz (2019), demostró que las muestras se encontraron por debajo de 20 ppb, que corresponde al contenido máximo de aflatoxinas según la Norma

COGUANOR 34 047. Concluyó además, que era importante reconocer que el estudio realizado en Tacaná, un municipio que geográficamente está ubicado en una de las zonas más altas de Guatemala, no alcanza las temperaturas y humedades relativas ideales para el crecimiento de los hongos aflatoxigénicos (30 a 35 °C y 80 a 90 % HR), por lo que es posible que en otros municipios los niveles de aflatoxina estén más elevados y puedan generar problemas, tanto en la salud humana, como en las especies pecuarias de las familias y recomendó utilizar un método analítico de mayor sensibilidad al método portátil denominado “caja azul” del Programa Mundial de Alimentos (PMA).

En otros países se encontró documentación relacionada a datos de América Latina con mayor mercado de producción y consumo de maíz, ventajas y desventajas de los métodos analíticos actuales, así como determinaciones de aflatoxinas en mercados regionales y el efecto del proceso de transformación de los granos mediante nixtamalización. A continuación, se presentan las más destacadas:

Martínez, Vargas y Gómez (2013), documentaron los resultados de varios estudios sobre la incidencia, impactos en la salud, control y prevención de aflatoxinas en América Latina. Encontraron que la incidencia de aflatoxinas totales en maíz es del 33,1-56 % para México, del 8,23-15,52 % en Argentina, 82 % para Perú, 12,5 % Colombia y 28,57 % Guatemala. Evaluaron las ventajas y desventajas de métodos tradicionales y emergentes para el análisis de micotoxinas comparando métodos por HPLC, GC, ELISA y LC/MS; concluyeron que el método más empleado en los últimos 30 años ha sido HPLC, pero independientemente del método de análisis empleado, es crucial una adecuada recolección de la muestra y una correcta extracción y purificación de esta.

Acuña, Salinas y Valles (2014), publicaron en la revista *Rebiolest* un estudio sobre la *Determinación de aflatoxinas en productos derivados de cereales de consumo humano en Mercados de Trujillo (Perú)*. Determinaron que, en productos derivados de cereales de consumo humano, existen aflatoxinas en los mercados de la ciudad de Trujillo (Perú), utilizando el método instrumental ELISA con detector espectrofotométrico de longitud de onda de 450 nm, analizaron 47 muestras elegidas al azar de derivados de cereales correspondientes a harina de maíz, trigo y avena adquiridos en los mercados de la Hermelinda, Central, Zonal Palermo y Unión de la ciudad de Trujillo. Las aflatoxinas fueron extraídas con alcohol metílico.

Acuña *et al.*, (2014), detectaron la presencia de aflatoxinas sólo en dos muestras de harina de maíz (12,5 %), con niveles de 1,0 ppb y 1,2 ppb en las muestras de harina de maíz de los mercados la Unión y Central de la ciudad de Trujillo respectivamente; las muestras de avena y harina de trigo fueron negativas a la presencia de aflatoxinas. La presencia de aflatoxinas encontradas está por debajo de los niveles máximos permitidos de 20 ppb según FAO/OMS.

Mendoza (2021), en su estudio posdoctoral del *Efecto de la Nixtamalización en maíz contaminado con micotoxinas*, cuantificó fumonisinas de la serie B específicamente FB1, FB2, FB3 y FB4 y aflatoxinas de la serie B, encontrando reducciones máximas en la etapa de nixtamalización del 80 al 100 % y 94,5 % respectivamente. Los resultados de esta investigación evidenciaron que la reducción de micotoxinas es variable en los procesos de nixtamalización y depende de varios parámetros que no se limitan al tiempo de cocción, temperatura y pH. La solubilidad de las micotoxinas y la eliminación del pericarpio durante el reposo parecen estar directamente relacionadas con los niveles de contaminación encontrados en el producto final durante el proceso de nixtamalización.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las aflatoxinas son un grupo de compuestos químicos orgánicos no proteicos, producidos principalmente por algunos hongos de género *Aspergillus*; así como los metabolitos originados en el organismo de los animales que han consumido alimentos contaminados con aflatoxinas. Las aflatoxinas de mayor interés son las B1, B2, G1, G2 y la M1, que es el metabolito de la AFB1. Dentro del análisis de peligros en la industria alimenticia, se clasifican como peligro químico debido a que tienen actividad tóxica aguda sobre especies sensibles. La Unión Europea indica que los niveles máximos admisibles están establecidos entre 2 a 8 $\mu\text{g kg}^{-1}$ para AFB1 y de 4 a 15 $\mu\text{g kg}^{-1}$ para la sumatoria de las cuatro aflatoxinas (B1, B2, G1, G2); se desconoce si las tecnologías de almacenamiento de los agricultores guatemaltecos en el municipio La Libertad del departamento de Petén, garantizan concentraciones de aflatoxinas que no representan un riesgo de inocuidad para sus familias y comunidades.

El proceso de preparaciones alimenticias a partir de maíz incluye las siguientes etapas: siembra, recolección, secado, almacenamiento, distribución y transformación. Las tecnologías utilizadas en la etapa de almacenamiento en el medio rural por los agricultores de subsistencia han permanecido prácticamente sin evolucionar, lo que propicia continuar utilizando estructuras poco apropiadas que facilitan el deterioro de los granos. La mayoría de estas estructuras se caracterizan por estar mal diseñadas, sin los elementos que permitan proteger las cosechas de las plagas o de los efectos de las condiciones climáticas como la lluvia y el sol, que aceleran los procesos de transformación y deterioro y, en muchas ocasiones, se utilizan no sólo para el almacenamiento sino para otros fines, lo que hace más difícil la aplicación de prácticas para el control de plagas.

Los programas de control de plagas están enfocados a los aspectos de calidad para evitar el deterioro físico y la mitigación de los hongos denominados de campo (especies que contaminan los granos antes de la cosecha) que contribuyen al deterioro biológico de la cosecha. Adicionalmente al deterioro físico y biológico, las plagas pueden actuar como vectores de otras enfermedades. El problema del deterioro y pérdidas de las cosechas es de particular importancia para los agricultores de subsistencia, ya que su producción forma parte de los alimentos básicos que consume la familia durante todo el año. La parte no consumida la comercializan para adquirir otros productos que les son indispensables para su vida cotidiana. Este problema se amplifica en las regiones del país con humedad relativa y temperaturas ambientales elevadas.

En Guatemala existen zonas perhúmedas y húmedas según la clasificación climática de Thornthwaite con humedades relativas de 100 % y de 80 a 100 % respectivamente, estas regiones se ubican en la franja transversal del norte y boca costa acorde al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). Se ha reportado la presencia mundial de aflatoxinas en semillas de plantas cuyas zonas geográficas de vegetación se sitúan en clima tropical, donde están reunidas las condiciones óptimas de crecimiento de los hongos aflatoxigénicos, con 80 a 90 % de humedad relativa y temperatura de 30 a 35 °C. Adicionalmente a propiciar condiciones óptimas de crecimiento para este tipo de hongos, estas zonas también representan un reto para los agricultores en la etapa de secado de sus cosechas.

Otro de los aspectos que influye en la conservación de las cosechas lo constituye la poca importancia que se le da a la preservación de la calidad, especialmente por parte del productor y de quienes participan en los procesos de comercialización. Esta situación se ve incentivada por los bajos precios que recibe el agricultor por sus productos, lo que no le permite invertir para mejorar

sus estructuras o para adquirir equipos que le ayuden a preservar sus cosechas como equipos de determinación de humedad. No alcanzar condiciones de secado del grano hasta tener un contenido de humedad en equilibrio con una humedad relativa del 70 %, es uno de los problemas que experimentan los agricultores y usualmente se valen de conocimientos empíricos para determinar el momento adecuado de almacenamiento.

Las causas anteriores pueden conducir a la presencia de plagas y hongos de campo detectables visualmente en los granos, con la probabilidad de la pérdida parcial o total del almacenamiento de la cosecha siendo esta la consecuencia de mayor impacto desde el punto de vista de calidad y comercial debido a que los granos de mejor calidad tendrán mayor probabilidad de venderse a mejores precios. En algunos casos existen factores relacionados a la productividad; por ejemplo, cuando la producción sobrepasa la demanda, por lo general se presenta una deformación de los mercados y se requieren mayores cupos y tiempos de almacenamiento. El resultado es una disminución de los precios que reciben los agricultores por sus productos y la necesidad de almacenarlos por períodos de tiempo más largos aumentando el riesgo.

Adicional a la presencia de plagas y hongos de campos, la presencia de hongos de almacenamiento (hongos aflatoxigénicos desarrollados después de la cosecha), es la consecuencia de mayor importancia desde el punto de vista de inocuidad por los impactos a la salud humana y animal, donde el cuadro clínico incluye a corto plazo hígado graso y edema cerebral severo y a largo plazo se presentan efectos carcinogénicos, mutagénicos, teratogénicos, estrogénicos, inmunotóxicos, nefrotóxicos y neurotóxicos. Si el riesgo de inocuidad por este peligro químico no se controla, reduce o mitiga, es posible que esté presente en los granos utilizados en las preparaciones alimenticias de las familias de los

agricultores de subsistencia en la etapa de transformación y en los granos comercializados como excedentes de cosecha en la etapa de distribución.

Aunque métodos químicos como la nixtamalización y tratamientos térmicos como la cocción pueden reducir las concentraciones de aflatoxinas del 75 al 90 % y 24 % respectivamente, si las concentraciones al final de la etapa de almacenamiento son elevadas, los granos de maíz aún al recibir tratamientos de transformación posteriores pueden encontrarse con niveles no recomendados de aflatoxinas.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Son los sistemas de almacenamiento para las cosechas de maíz (*Zea mays*) de los agricultores en el municipio La Libertad del departamento de Petén en Guatemala, capaces de reducir o mitigar el riesgo asociado al peligro químico por aflatoxinas? Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Es el diseño de los sistemas de almacenamiento acorde a las recomendaciones de la FAO?
- ¿Son los programas o controles de plagas establecidos en los sistemas de almacenamiento adecuados?
- ¿Es adecuada el contenido de humedad de equilibrio de los granos de maíz en la etapa de almacenamiento?
- ¿Son los niveles de aflatoxinas en los granos de maíz almacenados en los sistemas estudiados aceptables acorde a los límites nacionales e internacionales antes de su transformación y consumo?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización del presente trabajo se justifica en la línea de investigación del diseño de sistemas de control de inocuidad en lugares donde se preparen alimentos de la Maestría en Ciencia y Tecnología de los Alimentos.

En Guatemala uno de los granos más importantes para los agricultores de subsistencia es el maíz (*Zea mays*). El grano es almacenado principalmente para consumo de la familia del agricultor y los excedentes son comercializados. Esta investigación aportará datos cuantitativos del nivel de aflatoxinas totales y otras micotoxinas presentes en los sistemas de almacenamiento en el municipio La Libertad de Petén, ubicado en una de las regiones con condiciones de humedad y temperatura ideales para el crecimiento de hongos aflatoxigénicos y con el mayor porcentaje de producción de maíz blanco en Guatemala.

La realización de esta investigación requerirá el desarrollo de protocolos para calificar el diseño, instalación, operación y desempeño de los sistemas de almacenamiento, así como de los programas de control de plagas establecidos en las comunidades estudiadas. Se realizarán mediciones psicométricas de los sistemas de almacenamiento y de las condiciones ambientales externas. Se correlacionará el valor de la humedad del grano determinado mediante resistencia eléctrica antes y durante la etapa de almacenamiento con la determinación de la cantidad de micotoxinas mediante LC/MS en un laboratorio certificado ISO 17 025.

Los datos obtenidos de los ensayos demostrarán si los sistemas actuales de almacenamiento para las cosechas de maíz de los agricultores de

subsistencia del estudio son capaces de reducir o mitigar el riesgo asociado al peligro químico por aflatoxinas, algo que puede beneficiar a los agricultores al ofrecer una validación o no de dichos sistemas. Con esta información se podrán tomar acciones preventivas o correctivas con el objetivo de aceptar o mitigar el riesgo asociado a los niveles cuantificados de aflatoxinas. La relevancia de esta investigación se basa en la selección del municipio con mayor producción de maíz blanco y con condiciones psicrométricas ambientales que propician presencia de micotoxinas; otras investigaciones han sido realizadas en regiones no críticas y con metodologías analíticas diferentes a la LC/MS. Adicional del reporte de aflatoxinas, se identificarán otras micotoxinas de importancia para el maíz, estas son ocratoxina, deoxinivalenol, zearalenona, fumonisinas y toxinas HT2 y T2.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Demostrar si los sistemas de almacenamiento para las cosechas de maíz de los agricultores en el municipio La Libertad, Petén, Guatemala, son capaces de reducir o mitigar el riesgo asociado al peligro químico por aflatoxinas.

5.2. Específicos

- Calificar los sistemas de almacenamiento de granos de maíz para verificar si cumplen con las recomendaciones de la FAO.
- Verificar que el sistema de gestión de plagas establecido en los sistemas de almacenamiento cumple con las características de diseño para el control operativo esperado.
- Determinar el contenido de humedad de equilibrio de los granos de maíz en la etapa de almacenamiento para comprobar la correcta aplicación de buenas prácticas de almacenamiento.
- Estimar los niveles de aflatoxinas de los granos de maíz en los sistemas de almacenamiento para validar si se encuentran dentro de los límites permitidos.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En Guatemala se han documentado estudios de niveles de aflatoxinas en regiones del occidente y suroccidente, pero estos se limitan a condiciones ambientales no propicias para el desarrollo de los hongos aflatoxigénicos y no se documentó la calificación de los sistemas de almacenamiento, así como su relación con la humedad del grano. Se investigarán sistemas de almacenamiento en el municipio La Libertad en Petén Guatemala, que posee condiciones ambientales propicias, calificando sus sistemas de almacenamiento y evaluando el nivel de humedad de granos y aflatoxinas, generando información para administrar el riesgo asociado a la presencia de aflatoxinas. Se contará con el acompañamiento del técnico asignado por la CUDEP-MAGA y con acceso a las comunidades del departamento de Petén.

Se elaborarán protocolos de calificación del diseño, instalación, operación y desempeño de los sistemas de almacenamiento de maíz (*Zea mays*), que incluirá las recomendaciones de la FAO para dos agricultores de subsistencia, un mercado comunal (donde usualmente comercializan el exceso de la cosecha estos agricultores) y un gran almacenador (donde se centralizan todas las cosechas de distintos agricultores, incluidos los de subsistencia) en la etapa de diseño e instalación; para la etapa de operación, se realizarán mediciones de las condiciones ambientales y humedad del grano durante la etapa de almacenamiento. La etapa del desempeño será evaluada mediante la determinación de cantidad de aflatoxinas totales por LC/MS.

La última etapa de la calificación proporcionará valores cuantitativos de aflatoxinas, que se utilizará para elaborar una matriz de riesgo por peligro

químico y se compararán con datos de reducción de aflatoxinas en etapas posteriores al almacenamiento de otros estudios validados. Se simulará la aplicación de dos etapas de tratamientos posteriores: químico (nixtamalización) y térmico (cocción), para verificar si los niveles de aflatoxinas encontrados pueden ser mitigados o reducidos en etapas posteriores y estos no representan un peligro para las familias o animales de crianza de los agricultores del estudio y así poder concluir si la etapa de almacenamiento es un punto crítico de control o un punto de control. Se trazará el contenido de aflatoxinas entre sistemas de almacenamiento hasta los grandes almacenadores; para ellos, adicional a la cuantificación de aflatoxinas se realizará un barrido completo de micotoxinas.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Generalidades del maíz (*Zea mays*)

El maíz es uno de los cultivos básicos más importantes y extendidos en todo el mundo. Es una de las principales fuentes de alimento de las personas en América y es una de las primeras plantas que se domesticaron y difundieron por todo el mundo. Es una planta monocotiledónea y pertenece a la familia de las *Poáceas*, de la tribu *Maydeas*; las especies del género *Tripsacum* son formas salvajes parientes del maíz de origen americano, pero sin valor económico (Sánchez y Pérez-Urria, 2014).

7.1.1. Taxonomía

En principio los taxónomos clasificaron los géneros *Zea* y *Euchlaena* como dos géneros separados; sin embargo, los estudios de Reeves y Mangelsdorf en 1942, los consideraron como un género único, basándose en la compatibilidad y los estudios citogenéticos entre estos dos grupos de plantas. Las variedades del maíz más importantes son:

- Maíz duro (*Zea mays indurata* Sturtev), declarada en el CODEX STAN 153-1985 (2019).
- Maíz dentado (*Zea mays indentata* Sturtev), declarada en el CODEX STAN 153-1985 (2019).
- Maíz reventón (*Zea mays everta* Sturtev).
- Maíz harinoso (*Zea mays amilacea* Sturtev).
- Maíz ceroso (*Zea mays ceratina* Kuleshov).

- Maíz dulce (*Zea mays saccharata Sturtev*) (Sánchez y Pérez-Urria, 2014).

La clasificación taxonómica del maíz es:

Tabla I. **Clasificación taxonómica del maíz**

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta Cronquist, Takhtajan y W.Zimmermann, 1966</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Poales Small 1903</i>
Familia	<i>Poaceae Barnhart</i>
Género	<i>Zea Linnaeus, 1753</i>

Fuente: Sánchez y Pérez-Urria (2014). *Maíz I (Zea mays)*.

7.1.2. **Morfología**

La planta del maíz es una monocotiledónea anual con una altura de 60 hasta 80 cm; es frondosa, con un sistema radicular fibroso y un sistema caulinar con pocos macollos. La inflorescencia femenina es denominada mazorca (elote o choclo) y es formada por las yemas laterales en la axila de las hojas de la parte superior de la planta, la mazorca está cubierta por hojas y esta posee la función de reserva. La inflorescencia masculina que es donde se producirán los granos de polen, se encuentra en la parte superior de la planta y está compuesta de una espiga central con algunas ramificaciones laterales.

El tallo es recto y sencillo pudiendo alcanzar alturas entre los 2 y 6 metros de altura; posee numerosos nudos y entrenudos. Las estructuras donde se

desarrolla el grano en un número variable de hileras de 12 a 16 produciendo entre 300 a 1,000 granos se denominan panojas; en total, el grano corresponde alrededor del 42 % del peso seco de la planta. Las inflorescencias unisexuales crecen siempre en lugares separados de la planta. Ambas inflorescencias en un principio presentan primordios de flores bisexuales, pero, en ambos casos, los primordios abortan y quedan sólo las inflorescencias femeninas y masculinas.

El fruto es indehiscente, cada grano se denomina cariósipide, no presentando latencia la semilla. El pericarpio está fundido con la testa de la semilla formando la pared del fruto. El fruto maduro consta de pared, embrión diploide y endosperma triploide. El pericarpio constituye alrededor del 5-6 % del peso total del grano, la aleurona en torno al 2-3 %, el embrión alrededor del 12-13 %, y el endospermo corresponde al 80-85 %. El resto lo constituye la piloriza que es una pequeña estructura cónica encargada junto con el pedicelo de unir el grano a la espiga (Sánchez y Pérez-Urria, 2014).

7.1.3. Composición química

La composición química básica del grano de maíz se refleja en la tabla II. El endospermo es básicamente almidón, pero también posee algunas proteínas y trazas de aceites. La mayoría de los aceites se encuentran contenidos en el germen, el cual presenta un elevado contenido proteico. Por otro lado, los azúcares se encuentran almacenados en su mayor parte en el germen (Sánchez y Pérez-Urria, 2014).

El almidón constituye hasta el 72-73 % del peso del grano de maíz con una fracción promedio de amilosa del 25-30 % y de amilopectina del 70-75 %. Otros hidratos de carbono presentes son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3 % del grano.

Tabla II. **Composición de las partes del grano de maíz**

Nutriente	Endospermo (%)	Embrión (germen) (%)	Pericarpio (%)	Escutelo (aleurona) (%)
Almidón	87,6	8,3	7,3	5,3
Grasas	0,8	33,2	1,0	3,8
Proteínas	8,0	18,4	3,7	9,1
Cenizas	0,3	10,5	0,8	1,6
Carbohidratos	0,6	10,8	0,3	1,6
Resto	2,7	18,8	86,9	78,6
Materia seca	83,0	11,0	5,2	0,8

Fuente: Sánchez y Pérez-Urria (2014). *Maíz I (Zea mays)*.

7.1.4. Composición nutricional

El aceite de maíz posee bajo nivel de ácidos saturados y se encuentran en el germen con un valor entre 3-18 %. Contiene 11 % de ácido palmítico y 2 % de ácido esteárico, un alto nivel de ácidos grasos poliinsaturados con 24 % de ácido linoleico y un 0,7 % de ácido linolénico. El fósforo y el potasio son los minerales en mayor concentración y contiene además dos vitaminas liposolubles, la vitamina E y A. La vitamina A se localiza en el endospermo y en pequeñas cantidades en el germen en forma de β -caroteno en una proporción en torno al 20 % del total de los carotenoides presentes en el grano. La vitamina E se localiza en el germen principalmente.

Las vitaminas hidrosolubles se encuentran en mayor abundancia en la capa de aleurona. Durante la maduración disminuye la cantidad de nitrógeno, fibra o ceniza, aumentando por otro lado la cantidad de almidón y de extracto etéreo. La diferencia más importante entre el maíz blanco y el maíz amarillo es

la presencia en el segundo de β -caroteno, α -caroteno, luteína/zeaxantina y vitamina A.

Tabla III. **Composición nutricional del grano de maíz fresco**

Nutriente	Unidades	Maíz blanco por 100 g	Maíz amarillo por 100 g
Agua	%	71,70	60,60
Energía	kcal	114	161
Proteína	g	3,10	3,60
Grasa total	g	0,70	1,40
Carbohidratos	g	23,80	33,50
Ceniza	g	0,70	0,90
Calcio	mg	24,0	16,0
Fósforo	mg	270,0	270,0
Hierro	mg	0,5	2,0
Tiamina	mg	0,17	0,18
Riboflavina	mg	0,01	0,08
Niacina	mg	2,0	2,90
Vitamina C	mg	8,0	11
Vitamina A	mcg	0	28
Monoinsaturados	g	0,34	0,44
poliinsaturados	g	0,54	0,69
Saturados	g	0,18	0,23
Colesterol	mg	0	0
Potasio	mg	270,0	270,0
Sodio	mg	15	15
Zinc	mg	0,45	0,45
Magnesio	mg	0	0
Vitamina B6	mg	0,06	0,06
Vitamina B12	mcg	0	0
Ácido fólico	mcg	46,0	46,0

Fuente: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá [INCAP] (1996). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica.*

7.1.5. Codex alimentarius

El CODEX STAN 153-1985 (2019) describe las especificaciones para el maíz de consumo humano en las presentaciones listo para ser utilizado, envasado o suelto comercializado directamente del envase al consumidor. La norma proporciona los requisitos para el maíz en grano entero desgranado de tipo dentado *Zea mays indentata L.* y para el maíz desgranado de grano duro *Zea mays indurata L.* o para sus híbridos, y se entiende por maíz a los granos desgranados de las especies indicadas anteriormente.

Tabla IV. **Especificaciones del maíz CODEX STAN 153-1985**

Factores	Especificación
De calidad generales	Inocuo y apropiado para el consumo humano.
	Exento de sabores, olores extraños, insectos, suciedad en cantidades que puedan representar un peligro para la salud.
De calidad específicos	Contenido de humedad 15,5 % m/m máximo.
	Exento de materias extrañas (compuestos orgánicos e inorgánicos).
	Impurezas de origen animal (incluidos insectos muertos) 0,1 % m/m máximo.
	Exento de semillas tóxicas o nocivas.
	Otras materias orgánicas extrañas 1,5 % m/m máximo.
	Materias inorgánicas extrañas (piedras, polvo, etc.) 0,5 % m/m máximo.
Contaminantes	Exento de metales pesados.
	Cumpliendo límites de residuos de plaguicidas.
	Cumpliendo límites máximos de micotoxinas.
Higiene	Código Internacional de Prácticas Recomendado - Principios generales de higiene de los alimentos CAC/RCP 1-1969, 2020.
Envasado	De diseño que proteja las cualidades higiénicas, nutritivas, tecnológicas y organolépticas del producto. Envase en sacos, limpios, resistentes y bien cosidos o sellados.
Etiquetado	El nombre del producto que deberá aparecer en la etiqueta será “maíz”.

Fuente: elaboración propia, empleando datos de CODEX STAN 153-1985.

7.1.6. Regiones de cultivo en Guatemala

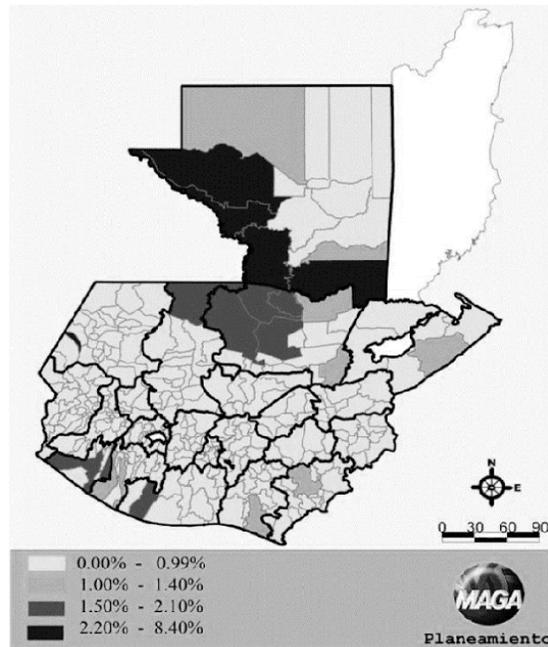
En el año 2017, se calculó una producción de maíz de 43 millones de quintales, de los cuales 38,7 millones corresponden a maíz blanco (MAGA, 2018). El último Censo Nacional Agropecuario del Instituto Nacional de Estadística (INE), 2002/2003, estimó las producciones a nivel departamental y municipal, indicando que Petén es el departamento que genera la mayor producción nacional de maíz blanco con 20,6 %, seguido por Alta Verapaz con 10.5 % y en tercer lugar Jutiapa con 8.1 %; estos tres departamentos producen más del 39 % del total nacional (MAGA, 2018).

Tabla V. **Producción de maíz blanco Guatemala**

Departamento	Municipio	Porcentaje (%)
Petén	La Libertad	8,4
	San Luis	4,3
	Sayaxché	3,5
	San Andrés	1,3
	Poptún	1,0
Alta Verapaz	San Pedro Carchá	2,1
	Chisec	1,9
	Cobán	1,5
	Panzós	1,1
	Fray Bartolomé de las Casas	1,0
Retalhuleu	San Andrés Villa Seca	2,1
	Retalhuleu	1,8
Quiché	Ixcán	2,1
Escuintla	Nueva Concepción	1,5
Jutiapa	Jutiapa	1,4
Izabal	Morales	1,2
Suchitepéquez	Santo Domingo	1,1
Santa Rosa	Chiquimulilla	1,1

Fuente: MAGA (2018). *Informe de situación de maíz blanco.*

Figura 1. **Mapa de producción de maíz a nivel municipal**



Fuente: MAGA (2018). *Informe de situación de maíz blanco*.

7.1.7. **Clasificación climática de Thornthwaite**

Guatemala debido a su altitud y relieve hacen que su territorio posea una rica hidrografía, variedad de climas y ecosistemas. Estudios realizados por el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del MAGA (SIG-MAGA), indican que las variables que definen el clima en el país son la temperatura, precipitación, evapotranspiración y la aridez climática (Franco, 2015).

Estas variables son empleadas para definir las regiones climáticas en el país por medio del sistema de clasificación de Charles Thornthwaite. En el año 1968, el INSIVUMEH clasificó el clima de Guatemala en 6 regiones climáticas

bajo el sistema de clasificación Thornthwaite; el sistema define índices de precipitación/evapotranspiración P/E y de temperatura/evapotranspiración T/E.

Tabla VI. **Clasificación climática Thornthwaite**

Provincia de humedad	Vegetación	Índice P/E y T/E1	Provincia de Temperatura
A muy húmedo	Bosque lluvioso	> 128	A' tropical
B húmedo	Bosque	64 – 127	B' mesotermal
C subhúmedo	Pradera	32 – 63	C' microtermal
D semiárido	Estepa	13 – 31	D' taiga
E árido	Desierto	< 16	E' tundra

Fuente: Franco (2015). *Elaboración de un mapa de clasificación climática para Guatemala.*

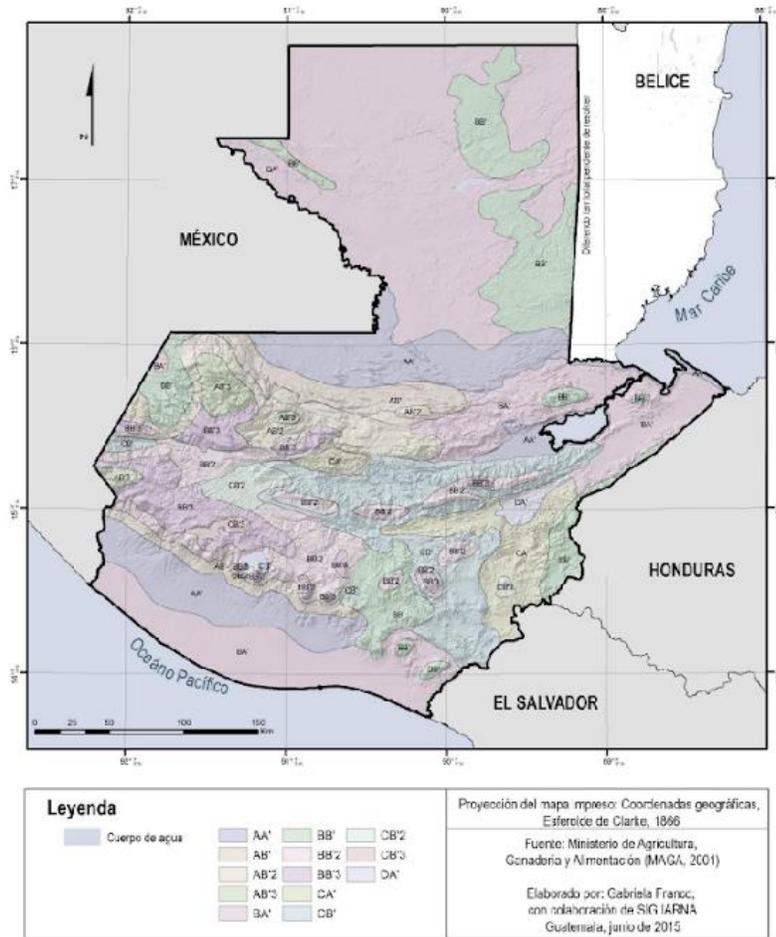
Posteriormente, en el año 2000 el SIG-MAGA revisó esta información estableciendo 13 zonas climáticas acorde a Thornthwaite (Franco, 2015).

Tabla VII. **Zonificación climática de Guatemala SIG-MAGA**

Símbolo	Jerarquía de humedad	Jerarquía de temperatura	Vegetación natural característica
AA'	Muy húmedo	Cálido	Selva
AB'	Muy húmedo	Semicálido	Selva
AB'2	Muy húmedo	Templado	Selva
AB'3	Muy húmedo	Semifrío	Selva
BA'	Húmedo	Cálido	Bosque
BB'	Húmedo	Semicálido	Bosque
BB'2	Húmedo	Templado	Bosque
BB'3	Húmedo	Semifrío	Bosque
CA'	Semiseco	Cálido	Pastizal
CB'	Semiseco	Semicálido	Pastizal
CB'2	Semiseco	Templado	Pastizal
CB'3	Semiseco	Semifrío	Pastizal
DA'	Seco	Cálido	Estepa

Fuente: Franco (2015). *Elaboración de un mapa de clasificación climática para Guatemala.*

Figura 2. **Mapa climático Guatemala SIG-MAGA**



Fuente: Franco (2015). *Elaboración de un mapa de clasificación climática para Guatemala.*

Acorde a esta clasificación, las zonas que representan las condiciones climáticas ideales para los hongos aflatoxigénicos son las zonas AA' y AB', ambas muy húmedas, cálidas y semicálidas respectivamente.

7.2. Etapas del proceso de producción, distribución y transformación

A continuación, se describen cada una de las etapas del proceso de producción, distribución y transformación del maíz blanco.

7.2.1. Etapa de siembra

En esta etapa la limpieza del terreno de siembra para el nuevo cultivo mediante la destrucción y/o eliminación de las cabezas o frutos de semillas de cultivos susceptibles de acumular AF, es la mejor práctica agrícola de control; adicionalmente, si se poseen los recursos contar con estudios de suelo y entorno pueden aportar datos de uso de la cantidad necesaria de fertilizantes, herbicidas e insecticidas.

Realizar una investigación de qué semillas resistentes a variedades de hongos micotoxigénicos existen en el mercado, puede ayudar al agricultor desde esta etapa. Otros factores que aportan en el control de hongos aflatoxigénicos en esta etapa son evitar la excesiva densidad de siembra y poseer un programa de rotación de cultivos.

7.2.2. Etapa de cosecha

La mejor práctica es recolectar los cultivos cuando estén completamente maduros, con la excepción de cambios estacionales no esperados donde se requerirá realizar la cosecha antes de que el cultivo llegue a su plena madurez para no exponerlo a calor extremo, lluvias o sequía.

7.2.3. Etapa de cosecha

Es un punto de control crítico realizar un secado correcto para evitar el crecimiento de hongos y posteriormente la producción de AF; así como evitar el apilamiento de la cosecha seca con cosechas de diferentes humedades. Si el secado se realiza mediante exposición solar, será necesario contar con sistemas que protejan a la cosecha contra la intemperie. Los niveles de humedad inocuos para garantizar de que los cultivos que estén listos para almacenarse minimicen el riesgo de mohos e insectos y que se sequen hasta alcanzar un contenido de humedad del grano en equilibrio con una humedad relativa ambiental del 70 %.

7.2.4. Etapa de almacenamiento

En esta etapa es crítico contar con sistemas que protejan a la cosecha seca contra la lluvia. Los programas de control de plagas poseen una importancia remarcable en esta etapa donde se deben aplicar las medidas adecuadas de saneamiento en las instalaciones. Estas instalaciones deben poseer sistemas de protección contra la lluvia, obstruir el acceso a insectos, roedores y aves. En el caso de almacenamiento mediante sacos, estos deben ser ubicados encima de tarimas o un medio de aislamiento impermeable entre los sacos y el suelo. La ventilación de los sistemas de almacenamiento deberá ser constante para asegurar el mantenimiento de las condiciones de aireación y temperatura.

7.2.5. Etapa de distribución

Si se han mantenido las condiciones de equilibrio de humedad del grano y se han tomado todas las medidas de control durante el almacenamiento, es necesario que en la etapa de distribución se conserven los mismos niveles de protección de la cosecha para minimizar el riesgo durante la distribución.

7.2.6. Etapa de transformación (nixtamalización y cocción)

La metodología de la nixtamalización es originaria de Mesoamérica (Mendoza, 2021). Este tratamiento químico consiste en una cocción en húmedo del grano de maíz utilizando hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$. El pericarpio es removido por la solución alcalina suavizando la estructura del endospermo, esto permite que concentraciones de iones calcio y agua se transfieran mediante difusión a la porción interna del almidón del grano; si existen concentraciones de aflatoxinas, en esta operación unitaria pueden solubilizarse parcialmente y contaminar el grano. Tradicionalmente los granos de maíz se dejan en reposo luego de la cocción en húmedo alcalina durante 24 horas, al finalizar este periodo, se les agrega agua en exceso con el objeto de eliminar residuos del pericarpio y el exceso de calcio.

7.3. Cambios bioquímicos

Los principales cambios bioquímicos que sufre el maíz post cosecha son la germinación y la respiración del grano.

7.3.1. Germinación

La germinación de los granos sucede en climas húmedos, que generan un aumento de la humedad del grano. La germinación temprana de los granos reduce su rendimiento en la cosecha, el rendimiento y calidad de la harina. El gránulo de almidón es atacado por una iso-enzima, la α -amilasa. La biosíntesis y secreción de α -amilasa involucra una hormona Giberelina GA3, que es producida por el embrión y dispara la producción de la enzima, así como otras enzimas hidrolíticas en la capa de aleurona. Durante la germinación el almidón es degradado a azúcares simples. La cantidad de azúcares producidos se refleja en

el grado de daño de los gránulos de almidón. La actividad de la α -amilasa, es dependiente de la temperatura, siendo 15.5 °C donde la enzima desarrolla su mayor actividad comparada a 20 °C.

7.3.2. Respiración del grano

Cuando el grano de cereal está seco, se reduce la respiración del grano. Contenidos de humedad del 14 %, producen aumento en la respiración hasta niveles críticos. Lo cual conlleva aumento de la temperatura del grano. El aumento de la temperatura se debe al proceso de germinación y al crecimiento de mohos tales como *Aspergillus* y *Penicilium*. La respiración del grano es afectada por la humedad, temperatura, tensión de oxígeno, aunque la humedad del grano es lo más relevante.

7.4. Curva de secado

El contenido de humedad que se considera seguro para granos es cuando alcanza el equilibrio con ambientes de 70 % de humedad relativa. El crecimiento microbiológico suele ocurrir a partir del 75 % de humedad relativa, lo cual deteriora aceleradamente el grano. La exposición del grano al ambiente genera un intercambio de humedad hasta alcanzar el equilibrio con el vapor de agua en la atmósfera. El contenido de humedad del grano está controlado por la humedad relativa del ambiente. Con humedad relativa del 80 %, el contenido de humedad se eleva exponencialmente.

7.5. Agricultura de subsistencia en Guatemala

La agricultura familiar está comprendida dentro de la economía campesina y según la FAO, representa más del 80 % de las explotaciones agrícolas en

América Latina y el Caribe; provee a nivel de cada país entre el 27 y 67 % del total de la producción alimentaria; y ocupa entre el 12 y el 67 % de la superficie agropecuaria, genera entre el 57 y el 77 % del empleo agrícola en la región (PAFFEC, 2017).

7.5.1. Tipos de agricultura familiar

El PAFEC, (2017) define tres tipos de agricultura familiar en Guatemala:

- Agricultura de infra subsistencia

Son las familias más vulnerables, en situación de pobreza extrema, generalmente sin tierra, no producen lo suficiente para el consumo de la familia y por eso son obligados a trabajos temporales fuera de su parcela, con alta migración del campo a la ciudad.

- Agricultura de subsistencia

Familias vulnerables, en situación de pobreza, con limitada posesión de tierras, producen para el autoconsumo y por necesidad de generar algún ingreso, intercambian o venden una pequeña parte de su producción localmente, y ejercen trabajos temporales para complementar sus necesidades básicas.

- Agricultura excedentaria

Dedica parte de la cosecha al autoconsumo y el excedente a la comercialización, contribuye prioritariamente a la disponibilidad nacional de alimentos y generación de ingresos; sin embargo, tienen limitado acceso a créditos, asistencia tecnológica e infraestructura productiva.

7.6. Sistemas de almacenamiento de maíz

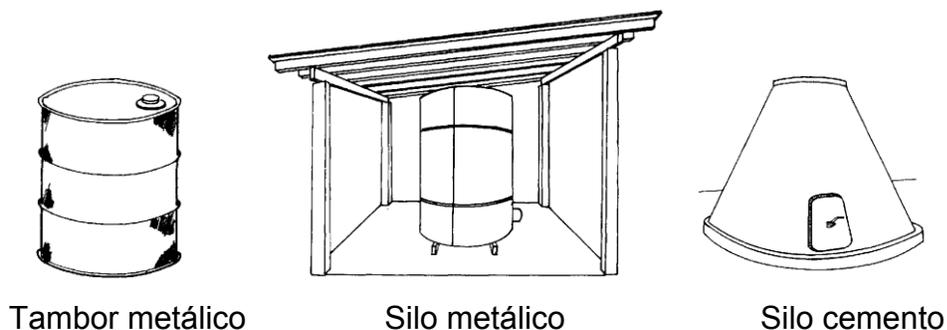
El almacenamiento de granos debe ser realizado acorde a los lineamientos establecidos por la FAO y las buenas prácticas de almacenamiento para el grano específico. Estos sistemas deben ser calificados para asegurar su correcto diseño, instalación, operación y desempeño en el ciclo de vida del sistema.

7.6.1. Diseño acorde a Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

Una forma común para el almacenamiento de granos a granel es en un tambor metálico, normalmente reutilizados con capacidad de 220 litros (130 a 180 kg) son fáciles de encontrar y son una buena alternativa para el almacenamiento de pequeñas cantidades de granos. En este recipiente los granos se conservan bien, por largo tiempo, posee bajo costo y buena duración si se le da un mantenimiento adecuado.

El silo metálico de baja capacidad se construye con láminas metálicas galvanizadas, ensambladas y soldadas en forma de cilindro. El silo se coloca sobre una tarima con una cubierta o techo para protegerlo del sol y la lluvia. Una variante es el silo de hierro-cemento, tiene forma de cono lo que permite almacenar muchos granos en una construcción relativamente pequeña. Las paredes poseen malla metálica para refuerzo, hierro de construcción y una mezcla de cemento y arena como recubrimiento.

Figura 3. **Sistemas de almacenamiento FAO**



Fuente: Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural*.

7.6.2. Buenas prácticas de almacenamiento

Se definen como las etapas de empaclado, almacenamiento, transporte y distribución donde se deben controlar variables como: humedad del grano < 12 %, actividad de agua < 0,7, temperatura de almacenamiento de 20 a 22 °C y adecuada ventilación con aire fresco para evitar el crecimiento de hongos aflatoxigénicos (Martínez, 2013).

7.6.3. Almacenamiento de granos en propiedades rurales

El tiempo de almacenamiento de los granos de maíz está correlacionado con su contenido de humedad y temperatura como se muestra en la tabla VIII. El contenido de humedad antes de ser almacenado para diferentes tipos de cereales, granos y leguminosas se presenta en la tabla IX.

Tabla VIII. **Tiempo seguro en días de almacenamiento FAO**

Temperatura del grano (°C)	Contenido de humedad (%)						
	14,0	15,5	17,0	18,5	20	21,5	23,0
10,0	256	128	64	32	16	8	4
15,5	128	64	32	16	8	4	2
21,1	64	32	16	8	4	2	1
26,6	32	16	8	4	2	1	0
32,2	16	8	4	2	1	0	0
37,8	8	4	2	1	0	0	0

Fuente: Arias (1193). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural.*

Tabla IX. **Contenido de humedad para el almacenamiento adecuado de granos y cereales FAO**

Grano / cereal	Contenido de humedad (%)
Maní	8
Arroz en cáscara	12
Avena	12
Cebada	13
Frijol	11
Maíz	13
Soja	11
Sorgo	12
Trigo	13
Café beneficiado	9-13

Fuente: Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural.*

7.6.4. **Calificación de sistemas de almacenamiento**

La calificación de los sistemas de almacenamiento se realiza mediante protocolos normalizados que evalúan el diseño, la instalación, la operación y el

desempeño. Cada formato del protocolo debe poseer los aspectos para evaluar y los criterios de aceptación basados en FAO.

7.7. Preparaciones alimenticias a partir de maíz (*Zea mays*)

Las dos principales preparaciones alimenticias en Guatemala a partir del maíz blanco son las tortillas y los tamales o tamalitos. Las tortillas son elaboradas a partir de masa nixtamalizada y se les aplica una cocción en seco durante 5 minutos a altas temperaturas 200-215 °C. En el caso de los tamales, estos son sometidos a una cocción en húmedo utilizando agua potable durante 30-40 minutos, alcanzado el punto de ebullición 100 °C (Dávila, 2016).

7.7.1. Programa Mundial de Alimentos (PMA)

El Programa Mundial de Alimentos (PMA) es una organización humanitaria que brinda asistencia alimentaria en emergencias y trabaja con las comunidades para mejorar la nutrición. La comunidad internacional se ha comprometido a terminar con el hambre, conseguir la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición para el 2030, una de cada nueve personas en el mundo sigue sin tener suficiente alimento. Los proyectos de desarrollo del PMA se enfocan en la nutrición, especialmente para las madres y los niños, lidiando con la desnutrición desde las etapas más tempranas mediante programas que se enfocan en los primeros 1 000 días, desde la concepción hasta el segundo cumpleaños del niño, y luego mediante comidas escolares.

7.7.2. Estadísticas de pérdida parcial o total de cosechas en Guatemala

Estacionalmente en Guatemala, las cosechas de maíz se ven disminuidas de mediados de marzo a mediados de agosto, pero la escasez se acentúa entre mayo y julio, periodo en el cual los mercados se abastecen con las reservas de maíz almacenado y de la producción que ingresa de México. En esta época, los hogares son más vulnerables a la inseguridad alimentaria por sus limitados recursos para comprar maíz, sumado a que, por la misma estacionalidad del cultivo, los precios se incrementan en junio, julio y agosto (MAGA, 2018).

7.7.3. Impacto económico en Guatemala

El maíz blanco se encuentra protegido para el mercado interno, el precio internacional no debería ser un factor de impacto directo; sin embargo, los precios del maíz amarillo pueden afectar al maíz blanco debido a que si se incrementan los precios del maíz amarillo existirá una mayor demanda de maíz blanco. El maíz amarillo es importado por Guatemala principalmente de Estados Unidos y México, y lo exporta en bajos volúmenes hacia El Salvador. La estimación del índice de suficiencia para el maíz blanco en Guatemala es del 96,51 % mientras que para el amarillo corresponde a 16,56 %, lo que significa que se requiere importar el 83,44 % para satisfacer la demanda nacional y esto explica la fluctuación de precios indicada en el párrafo anterior (MAGA, 2018).

En el caso del maíz blanco por el alto índice de suficiencia, Guatemala mantiene un equilibrio estable en términos de una relación disponibilidad/consumo, ya que los volúmenes disponibles abastecen casi la totalidad del mercado interno de maíz blanco; en este orden de ideas, cualquier

pérdida en las cosechas de maíz blanco impacta directamente al mercado nacional por la variación del mercado internacional de maíz amarillo.

7.8. Aflatoxinas (AF)

Las AF se producen cuando una colonia fúngica en su crecimiento exponencial alcanza la etapa final, se consideran metabolitos secundarios de hongos y poseen bajo peso molecular (Jáuregui, 2020); se producen mayoritariamente por hongos del género *Aspergillus*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Claviceps* y *Penicillium* (Mendoza, 2021).

7.8.1. Aflatoxinas totales (B1, B2, G1, G2)

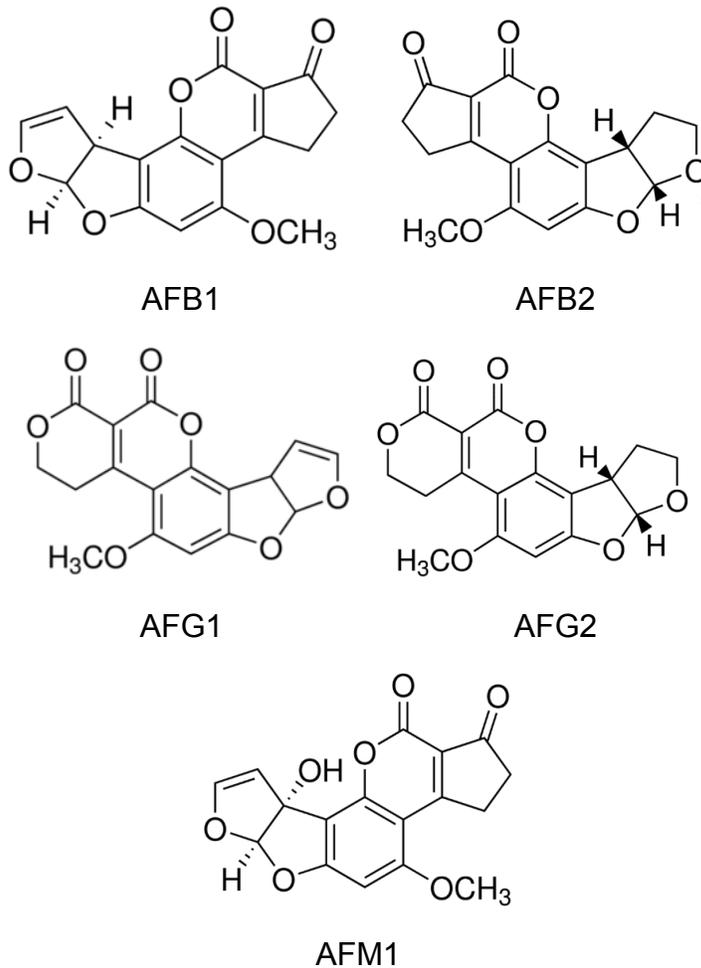
En el grupo de las AF están la serie B1, B2, G1 y G2, el grupo con mayor toxicidad es la serie B1. Todas son denominadas con la abreviatura AF y luego se indica la letra que corresponde a la serie en estudio; p. ej. AFB1.

Tabla X. **Propiedades químicas de aflatoxinas**

AF	Número de CAS:	Fórmula empírica	Peso molecular (g/mol)
B1	1162-65-8	C ₁₇ H ₁₂ O ₆	312,27
B2	7220-81-7	C ₁₇ H ₁₄ O ₆	314,29
G1	1165-39-5	C ₁₇ H ₁₂ O ₇	328,27
G2	7241-98-7	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	330,29
M1	6795-23-9	C ₁₇ H ₁₂ O ₇	328,27

Fuente: Sigma Aldrich (2021). *Aflatoxins*. Consultado el 31 de julio 2021. Recuperado de <https://www.sigmaaldrich.com/>.

Figura 4. Estructura química de AF serie B



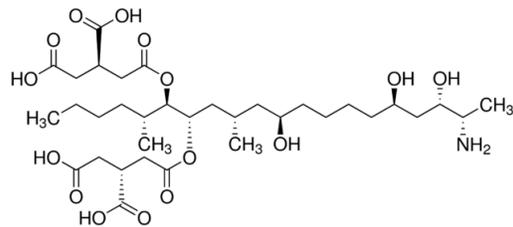
Fuente: Sigma Aldrich (2021). *Aflatoxins*. Consultado el 31 de julio 2021. Recuperado de <https://www.sigmaaldrich.com/>.

7.8.2. Fumonisin de la serie B

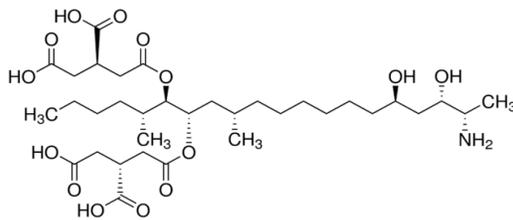
Son micotoxinas producidas por los hongos del género *Fusarium verticillioides* y *Fusarium proliferatum*. La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer por sus siglas en inglés IARC, ha clasificado a la FB1 como carcinógeno del grupo 2B, que significa que es potencialmente

carcinógena en seres humanos; generalmente están presentes en alimentos la serie B, específicamente las fumonisinas B1, B2, B3 y B4. Estas son termoestables a temperaturas de 100 a 120 °C, y son capaces de resistir tratamientos térmicos en el procesamiento y preparación de alimentos.

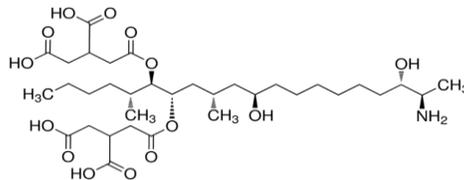
Figura 5. **Estructura química de las fumonisinas**



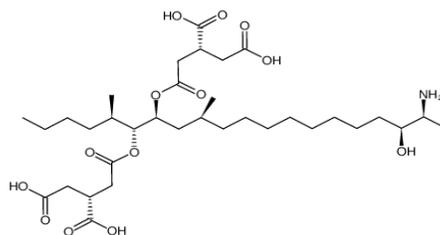
FB1



FB2



FB3



FB4

Fuente: Sigma Aldrich (2021). *Fumonisin*s. Consultado el 31 de julio 2021. Recuperado de <https://www.sigmaaldrich.com/>.

Tabla XI. **Propiedades químicas de fumonisinas**

F	Número de CAS:	Fórmula empírica	Peso molecular (g/mol)
B1	116355-83-0	C ₃₄ H ₅₉ NO ₁₅	721,83
B2	116355-84-1	C ₃₄ H ₅₉ NO ₁₄	705,83
B3	136379-59-4	C ₃₄ H ₅₉ NO ₁₄	705,83
B4	136379-60-7	C ₃₄ H ₅₉ NO ₁₃	689,83

Fuente: Sigma Aldrich (2021). *Fumonisinis*. Consultado el 31 de julio 2021. Recuperado de <https://www.sigmaaldrich.com/>.

7.8.3. Actividad tóxica en humanos y animales de crianza

Cuando un animal ingiere alimentos con concentraciones de AFB1, esta es biotransformada en el hígado por hidroxilación del carbono 4 a M1 (Jáuregui, 2020); el metabolito AFM1 es igual de tóxico que la AFB1, por lo que es de alto interés en el análisis de peligros químicos por consumo de carne o leche de animales de crianza.

El metabolito AFM1 posee clasificación 2B acorde a la IARC, debido a que es una sustancia carcinógena para humanos; por ende, puede generar intoxicaciones, diarreas, abortos, vómitos y hemorragias internas. El metabolito AFM1 puede ser causante de enfermedades crónicas si es acumulado en los organismos en el tiempo.

7.8.4. Otras micotoxinas de importancia

Entre otras micotoxinas de importancia para el maíz blanco diferentes a las aflatoxinas y fumonisinas se encuentran la ocratoxina, deoxinivalenol, zearalenona y las toxinas HT2 y T2.

7.8.5. Reducción de AF y F en granos de maíz (*Zea mays*)

- Tratamiento químico (nixtamalización)

Se ha postulado que el proceso de la nixtamalización logra reducir del 75 al 90 % del contenido de AF de los granos (Martínez, 2013). En la preparación de la tortilla, el maíz se trata con cal para realizar la nixtamalización, al producir la hidrólisis de la FB1, debido a la pérdida de las cadenas de ácido tricarbálico.

Estudios realizados en el INCAP en 2003, determinaron que el proceso utilizado por las comunidades mayas reduce las fumonisinas totales. Las tortillas preparadas por el proceso tradicional con maíz con un contenido de FB1, FB2 y FB3 y sus especies hidrolizadas, encontraron cantidades equimolares de FB1 y HFB1 (FB1 hidrolizadas) en las tortillas, pero las fumonisinas totales se redujeron en un 50 % durante el proceso. El agua de lavado contenía 11 % de la FB1 que estaba en el maíz sin cocer (Palencia *et al.*, 2003).

- Tratamiento térmico

Las temperaturas de descomposición de las AF van desde 237 °C a 306 °C. Aplicar tratamientos térmicos puede tener repercusiones en las propiedades organolépticas y nutricionales de las preparaciones alimenticias a base de maíz. Las cocciones en seco como el asado de tortillas de maíz pueden generar valores de reducción de micotoxinas en valores porcentuales que dependen de la temperatura y tiempos aplicados. Se han reportado valores de reducción de AF totales del 40 % al 70 % en extrusiones en caliente a 105 °C (Martínez, 2013).

7.8.6. Métodos de determinación de cantidad de aflatoxinas

La Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC) y el Comité Europeo de Normalización (ECS), han declarado métodos normalizados de análisis para diversas micotoxinas; estas metodologías han sido validadas por estudios interlaboratorios.

Existen alrededor de cuarenta metodologías validadas para análisis de micotoxinas pertenecientes a diferentes series químicas (Martínez, 2013). La mayoría de las metodologías utilizadas requieren métodos confiables de extracción y purificación. Estos pasos son vitales para un ensayo exitoso, porque del tiempo total de análisis son los pasos que consumen más tiempo y es alrededor de 2/3 del tiempo total. El solvente de extracción dependerá de la matriz biológica y de la estructura de la AF; las hidrófobas se extraen con solventes orgánicos como metanol, acetona, acetato de etilo, acetonitrilo, diclorometano y hexano o mezclas de ellos.

- GC

Una de las ventajas de la GC, es el análisis simultáneo de micotoxinas, la metodología posee buena sensibilidad y dependiendo del sistema cromatográfico en la mayoría de las ocasiones es automatizado con auto muestreador. La principal desventaja es que es un equipo costoso, se requiere calificación del analista que lo utiliza, requiere un sistema de gases grado analítico.

- HPLC

El método más utilizado para determinar cantidad de aflatoxinas es por medio de técnicas cromatográficas, como la HPLC combinada con un detector

de fluorescencia o con la UPLC (*Ultra Pressure Liquid Chromatography*), que utiliza menor consumo de solventes orgánicos y reduce los tiempos de determinación analítica (Martínez, 2013).

Es un procedimiento analítico basado en la separación, identificación y cuantificación de los constituyentes de una mezcla. Se fundamenta en los equilibrios de concentración de los compuestos presentes entre dos fases no miscibles. Una de las fases es llamada estacionaria contenida en una columna o fija en un soporte y la otra es llamada fase móvil y esta se desplaza a través de la fase estacionaria. La velocidad de elución de los analitos de interés presentes en la fase móvil dependerá de la solubilidad de éstos en la fase móvil y de la fuerza de interacción de dicho compuesto con la fase estacionaria.

- LC/MS

El LC/MS posee la ventaja de realizar análisis simultáneo de micotoxinas, tiene una buena sensibilidad y no requiere derivatización. La principal desventaja es que son equipos costosos, requiere calificación del analista que lo utiliza y la sensibilidad está relacionada con la técnica de ionización.

- Elisa

Una ventaja competitiva de esta técnica es la preparación simple de la muestra, generalmente el equipo no es costoso, posee alta sensibilidad, realiza análisis simultáneo de múltiples muestras, es posible el screening, pero tiene un uso limitado de solventes orgánicos. La principal desventaja es la posibilidad de reactividad cruzada con micotoxinas relacionadas, interferencia de matriz y dependiendo de la calificación del equipo, la validación de la metodología y las

buenas prácticas de laboratorio existe la posibilidad de falsos negativos/positivos, por lo que puede ser necesario una doble confirmación.

7.8.7. Caja azul del Programa Mundial de Alimentos (PMA)

Es una prueba rápida propuesta por el Programa Mundial de Alimentos (PMA) para analizar de forma cualitativa y cuantitativa la presencia de AF en granos. Está compuesta por una serie de instrumentos para el proceso de análisis e identificación de aflatoxinas (Díaz, 2019). Posee los siguientes componentes:

- Toma muestras
- Balanza digital
- Tamices – *Official USDA grain dockage sieves*
- Convertidor
- Medidor de humedad
- Prueba para ensayo de aflatoxina – *Reveal from Neogen*
- Molino, reloj, pipeta, puntas
- Metanol o etanol
- Copitas para muestras, probeta, filtros

7.9. Análisis de peligros químicos por aflatoxinas en granos de maíz

A continuación, se presentan los siete principios para realizar un análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) acorde a NACMCF.

7.9.1. Principio 1: análisis de peligros

Acorde al *National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods*, (1998), el propósito de este análisis es desarrollar una lista de peligros que son de tal significancia que tienen una probabilidad razonable de causar enfermedad o daño al consumidor si no son controlados efectivamente; solamente los peligros que tienen un riesgo significativo para la salud del consumidor deben ser incluidos en el plan HACCP. La aplicación de los principios 2 al 7 dependen de los resultados del análisis de peligros y estos se clasifican en peligros biológicos, físicos o químicos.

7.9.2. Principio 2: puntos de control PC y puntos críticos de control PCC

Un punto crítico de control (PCC) es la etapa en la cual puede ser aplicado un control y es esencial para prevenir o eliminar un peligro o reducirlo a un nivel aceptable (NACMCF, 1998). El equipo HACCP determina los PCC, basados en los resultados del análisis de peligros. Los peligros potenciales que deben ser abordados en el plan HACCP son los que fueron identificados como los que razonablemente, provocarán daño o enfermedad, si no son controlados efectivamente.

Puede haber varias etapas en el sistema de procesamiento donde se controlan peligros biológicos, físicos o químicos, hasta cierto punto; sin embargo, solamente existen algunas pocas etapas donde una pérdida del control resultará en la producción de un alimento potencialmente peligroso, estos son los PCC y se diferencian de los puntos de control (PC) que corresponden a cualquier paso en el cual pueden ser controlados factores biológicos, físicos o químicos.

7.9.3. Principio 3: límites críticos

Un límite crítico es un valor máximo o mínimo en el cual un parámetro biológico, químico o físico debe ser controlado en un PCC para prevenir, eliminar o reducir hasta un nivel aceptable la ocurrencia de un peligro en el alimento (NACMCF,1998). Los límites críticos establecen si el PCC está bajo control. El establecimiento de límites críticos debe basarse en parámetros determinados científicamente p. ej. asociaciones, datos publicados p. ej. artículos científicos, recomendación de expertos, datos experimentales o modelos matemáticos.

7.9.4. Principio 4: monitoreo (vigilancia)

El procedimiento de vigilancia es una secuencia planeada de observaciones o medidas para establecer si un PCC está bajo control y para generar un registro exacto para uso en la verificación. Puede además ser una lista de procedimientos y su frecuencia en la cual deben ser realizados para el seguimiento de cada uno de los PCC para asegurar el cumplimiento con los límites críticos.

En el procedimiento de vigilancia debe definirse claramente: ¿Qué se medirá?, ¿Cómo será medido?, la frecuencia máxima entre observaciones o mediciones y el personal responsable de la medición. El registro continuo asegura que los PCC están dentro de los límites críticos y el muestreo por atributos provee garantía dentro de los límites estadísticos.

7.9.5. Principio 5: acciones correctivas

Son un procedimiento para aplicar cuando sucede una desviación o las acciones que hay que adoptar cuando los resultados de la vigilancia en los PCC

indican pérdida en el control del proceso (NACMCF, 1998). La acción correctiva debe ser planeada y debe existir una acción correctiva para cada PCC. De estas acciones pueden resultar las siguientes tomas de decisiones: ajustar el proceso de manera automática o manualmente, detener la línea de producción o la corrección inmediata primero y luego solución de las causas a largo plazo. Deben existir registros de las desviaciones: fecha, producto, cantidad, desviación, responsable, destino o disposición final.

7.9.6. Principio 6: verificación

La verificación comprende aquellas actividades, diferentes al monitoreo, que determinan la validez del plan HACCP y si el sistema está operando de acuerdo con lo planeado (NACMCF, 1998). Posee dos áreas la validación y la verificación, la verificación es la acción de comprobar o examinar la verdad mientras que la validación es un elemento de verificación enfocado en coleccionar y evaluar información científica y técnica para determinar si el plan HACCP, cuando se implementa adecuadamente, controlará los peligros de una manera efectiva.

El objetivo primario de la validación es hacer una revisión y evaluación general del plan HACCP, para determinar si va a funcionar. La validación inicial se realiza después del desarrollo del plan y posteriormente en una manera periódica; las revalidaciones o reevaluación.

Los objetivos de la validación inicial son asegurarse de que el plan HACCP está controlando los peligros asociados con los ingredientes, procesos y producto y verificar que el plan puede ser implementado como se ha planeado (*The Food Processors Institute*, 1999).

7.9.7. Principio 7: documentación

Los registros son la única referencia disponible para rastrear la historia del producto. Pueden ser utilizados como herramienta de alerta de problemas potenciales antes que ocurran (tendencias). Son la evidencia que se han aplicado correctamente los procedimientos. Se deben implementar procedimientos operativos estándar (POES) que indiquen las actividades y frecuencia de documentación en los registros. La revisión de los registros debe ser por una persona entrenada dentro del sistema y los registros se deben resguardar durante la vida útil del producto.

7.10. Marco normativo

A continuación, se presentan las normas de mayor relevancia en Guatemala e internacionales.

7.10.1. Nacional

En Guatemala existen dos normas relativas al maíz y a las AF; la Norma Guatemalteca obligatoria 34 047 “Maíz en grano - maíz elaborado” de la Comisión Guatemalteca de Normas, Ministerio de Economía, publicada en el Diario Oficial de fecha 5 de Julio del 1982 y la Norma Guatemalteca Obligatoria 34 052 “Granos Comerciales y Otros Alimentos”, aprobada según Acuerdo Gubernativo Número 226-92 de fecha 26 de marzo de 1992, de la Presidencia de la República de Guatemala (Dávila, 2016).

La COGUANOR 34 047, define el maíz bruto como el maíz que consiste en el 50 % en masa o más de granos enteros de maíz desgranado y que no contiene más de 10 % en masa de otros granos. El maíz elaborado es el maíz en

grano obtenido a partir del maíz en bruto, después de someterlo a proceso de limpieza, desinfección y eventual secamiento y que cumple con los requerimientos de la presente norma.

La COGUANOR 34 052, tiene por objeto determinar la cantidad de aflatoxinas en granos comerciales y otros alimentos a través de la aplicación del método Romer, el cual permite detectar los siguientes niveles de aflatoxinas:

- > 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de aflatoxinas totales, en almendras;
- > 2 - 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de aflatoxinas totales, en maíz blanco y amarillo, harina de maní; harina de algodón, maní, mantequilla de maní y nueces de pistacho; y
- > 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de aflatoxinas totales en alimentos mezclados.

7.10.2. Internacional

- Unión Europea
- La Unión Europea ha legislado las AF en productos alimenticios para consumo humano y los niveles máximos admisibles son de 2 a 8 $\mu\text{g kg}^{-1}$ AFB1 y de 4 a 15 $\mu\text{g kg}^{-1}$ para la sumatoria de las AF B1, B2, G1 y G2 (Martínez, 2013). Los intervalos varían dependiendo del tipo de alimento; por ejemplo, si son cereales, frutos secos, maní, frutos de cáscara, entre otros.FAO/OMS

El Codex Alimentarius en 2012, estableció una concentración de 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de AF totales en higos secos de la especialidad “listos para el consumo” (Martínez, 2013). El contenido máximo se basó en los resultados de un trabajo realizado por un Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios

(JECFA); en la reunión número 68 sobre el impacto de la exposición y el riesgo para la salud de diferentes contenidos máximos hipotéticos de aflatoxinas en las almendras, las nueces de Brasil, las avellanas, los pistachos y los higos secos. Demostraron que mediante la aplicación de buenas prácticas de almacenamiento y distribución es posible cumplir con un contenido total de $10 \mu\text{g kg}^{-1}$ de AF.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades del maíz (*Zea mays*)

1.1.1. Taxonomía

1.1.2. Morfología

1.1.3. Composición química

1.1.4. Composición nutricional

1.1.5. Codex alimentarius

1.1.6. Regiones de cultivo en Guatemala

1.1.7. Clasificación climática de *Thorntwaite*

1.2. Etapas del proceso de producción, distribución y transformación

1.2.1. Etapa de siembra

1.2.2. Etapa de cosecha

1.2.3. Etapa de secado

1.2.4. Etapa de almacenamiento

- 1.2.5. Etapa de distribución
- 1.2.6. Etapa de transformación (nixtamalización y cocción)
- 1.3. Cambios bioquímicos
 - 1.3.1. Germinación
 - 1.3.2. Respiración del grano
- 1.4. Curva de secado
- 1.5. Agricultura de subsistencia en Guatemala
 - 1.5.1. Tipos de agricultura familiar
- 1.6. Sistema de almacenamiento
 - 1.6.1. Diseño acorde a Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)
 - 1.6.2. Buenas prácticas de almacenamiento
 - 1.6.3. Almacenamiento de granos en propiedades rurales
 - 1.6.4. Calificación de sistemas de almacenamiento
- 1.7. Preparaciones alimenticias
 - 1.7.1. Programa mundial de alimentos (PMA)
 - 1.7.2. Estadísticas de pérdida parcial o total de cosechas en Guatemala
 - 1.7.3. Impacto económico en Guatemala
- 1.8. Aflatoxinas (AF)
 - 1.8.1. Aflatoxinas totales (B1, B2, G1, G2)
 - 1.8.2. Fumonisinias de la serie B
 - 1.8.3. Actividad tóxica en humanos y animales de crianza
 - 1.8.4. Otras micotoxinas de importancia
 - 1.8.5. Reducción de AF y F en granos de maíz (*Zea Mays*)
 - 1.8.6. Métodos de determinación de cantidad de aflatoxinas
 - 1.8.7. Caja azul del Programa Mundial de Alimentos (PMA)
- 1.9. Análisis de peligros químicos por aflatoxinas
 - 1.9.1. Principio 1: análisis de peligros

- 1.9.2. Principio 2: puntos de control PC y puntos críticos de control PCC
 - 1.9.3. Principio 3: límites críticos
 - 1.9.4. Principio 4: monitoreo (vigilancia)
 - 1.9.5. Principio 5: acciones correctivas
 - 1.9.6. Principio 6: verificación
 - 1.9.7. Principio 7: documentación
- 1.10. Marco normativo
 - 1.10.1. Nacional
 - 1.10.2. Internacional
- 2. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ACUERDO CON FAO
 - 2.1. Diagrama de proceso
 - 2.2. Análisis de peligros y puntos críticos de control
 - 2.3. Esquema de calificación y fases
 - 2.4. Calificación del diseño y la instalación
- 3. CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO Y GESTIÓN DE PLAGAS
 - 3.1. Calificación de la operación
 - 3.2. Determinación del contenido de humedad de equilibrio
 - 3.3. Análisis de la capacidad del sistema de almacenamiento
 - 3.4. Gestión de plagas
- 4. ANÁLISIS DE AFLATOXINAS
 - 4.1. Calificación del desempeño
 - 4.2. Determinación de cantidad de aflatoxinas LC/MS
 - 4.3. Barrido de micotoxinas LC/MS
- 5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 5.1. Análisis HACCP
- 5.2. Informes de calificación

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

Se realizará un estudio de tipo cuantitativo descriptivo, ya que se tomarán datos a pequeña escala de maíz blanco almacenado en cuatro instalaciones distintas del municipio La Libertad en Petén, Guatemala.

9.2. Diseño de investigación

Se realizará un diseño de tipo experimental transeccional descriptivo, ya que se hará una toma de datos en un único momento cuando se realice la calificación de los sistemas de almacenamiento. Estas muestras serán probabilísticas para la determinación de contenido de humedad de equilibrio y no probabilísticas para la determinación de aflatoxinas.

9.3. Variables del estudio

En la tabla XII se presenta la descripción de las variables que serán evaluadas en el presente estudio.

Tabla XII. Descripción de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional
Temperatura de almacenamiento	Propiedad que determina si un sistema se encuentra o no en equilibrio térmico con otros sistemas. Se declara en una escala relativa p. ej. Celsius °C y se puede expresar en términos de la entropía y el calor del sistema.	$T = \frac{dQ_{rev}}{dS}$
Humedad relativa de almacenamiento	En una mezcla de aire y agua se define como la relación de la presión parcial de vapor de agua p_{H_2O} en la mezcla a la presión de vapor de equilibrio del agua $p^*_{H_2O}$ sobre una superficie plana de agua pura a una temperatura dada.	$\%HR = \frac{p_{H_2O}}{p^*_{H_2O}} \times 100\%$
Contenido de humedad de equilibrio (CHE)	Contenido de humedad en el que la presión de vapor interna del grano $p_{H_2O_{grano}}$ se encuentra en equilibrio con la presión de vapor del aire intergranario $p^*_{H_2O_{aire\ ig}}$.	$CHE = \frac{p_{H_2O_{grano}}}{p^*_{H_2O_{aire\ ig}}} \times 100\%$
Concentración de micotoxinas	Concentración de micotoxinas en µg por cada kg de maíz blanco.	$ppb = \frac{\mu g}{kg}$

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fase 1: exploración bibliográfica

Se hará una exploración acerca de los conceptos generales del maíz blanco (*Zea mays*), su taxonomía, morfología, composición química y nutricional, regiones de cultivo en Guatemala y las variedades del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas [ICTA] de semillas híbridas y certificadas cultivadas a la altitud en metros sobre el nivel del mar del municipio La Libertad en Petén.

Se investigarán los criterios recomendados por la FAO para la etapa de almacenamiento de granos en el proceso de producción, distribución y consumo de maíz blanco. Se investigará el fenómeno dieléctrico para la determinación del contenido de humedad de equilibrio (CHE) en los granos. Se abordará la teoría de cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas, como técnica instrumental para la determinación de micotoxinas. Finalmente se investigará el

marco normativo y regulatorio de Guatemala e internacional FAO/OMS y la Unión Europea.

9.5. Fase 2: calificación de los sistemas de almacenamiento

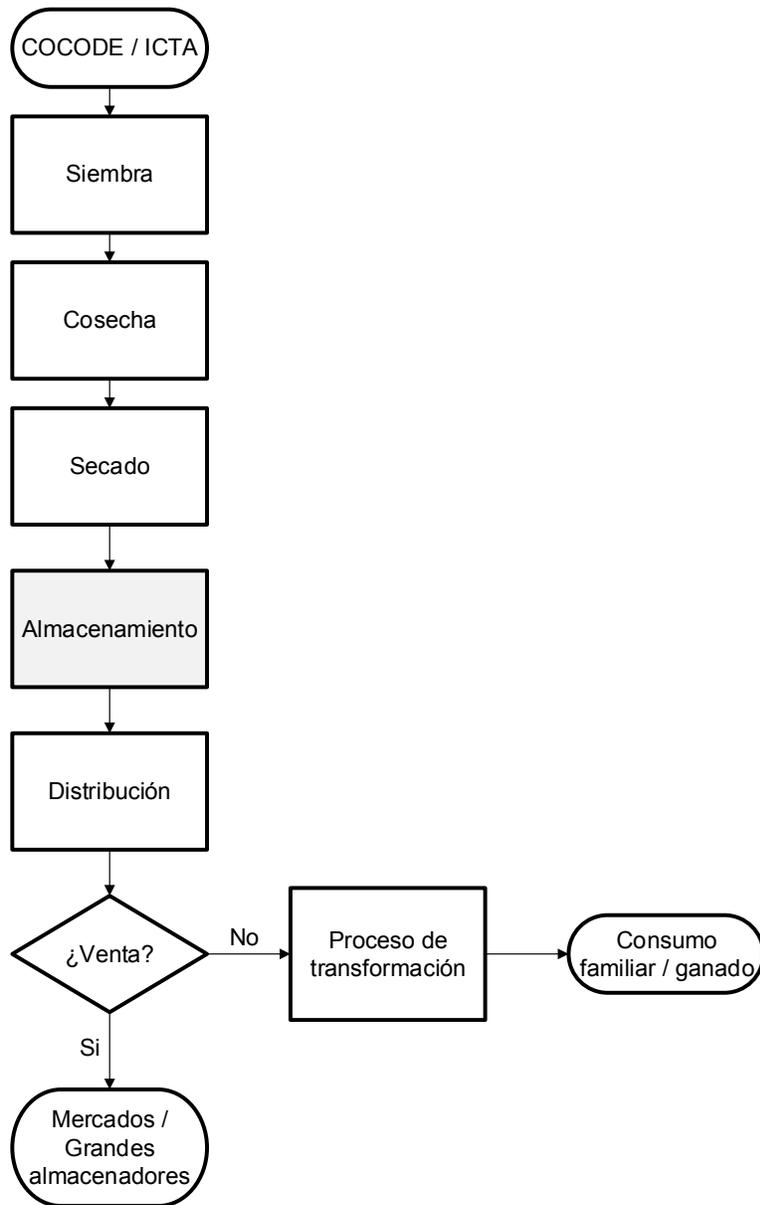
Se realizará un diagrama de proceso con las etapas del proceso de producción, distribución y consumo. Se aplicará un HACCP a la etapa de almacenamiento y se elaborarán protocolos de calificación del diseño, instalación, operación y desempeño de los sistemas utilizados en esta etapa del proceso.

Tabla XIII. Esquema de calificación y fases

Calificación	Fase	Objetivo específico relacionado
DQ e IQ	3	1. Calificar los sistemas de almacenamiento de granos de maíz para verificar si cumplen con las recomendaciones de la FAO.
OQ	4	2. Verificar que el sistema de gestión de plagas establecido en los sistemas de almacenamiento cumple con las características de diseño para el control operativo esperado. 3. Determinar el contenido de humedad de equilibrio de los granos de maíz en la etapa de almacenamiento para comprobar la correcta aplicación de buenas prácticas de almacenamiento.
PQ	5	4. Estimar los niveles de aflatoxinas de los granos de maíz en los sistemas de almacenamiento para validar si se encuentran dentro de los límites permitidos.

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Diagrama producción, distribución y consumo de maíz



Fuente: elaboración propia, utilizando Visio.

Tabla XIV. **Criterios de selección de sistemas para muestreo**

Muestra / sistema	Sistema de almacenamiento	Descripción del sistema de almacenamiento
1	Agricultor de subsistencia	En sacos o barriles de acero
2	Agricultor de subsistencia	En tapancos, trojes o silos de metal / cemento
3	Grandes almacenadores	En silos
4	Mercado comunal	En sacos

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Criterio de muestreo para sacos**

Lote (sacos)	Muestreo (sacos)	Lote (sacos)	Muestreo (sacos)	Lote (sacos)	Muestreo (sacos)
<10	10	442 - 484	22	1 157 - 1 225	35
10 - 100	10	485 - 529	23	1 226 - 1 296	36
101 - 121	11	530 - 576	24	1 370 - 1 444	38
122 - 144	12	577 - 625	25	1 522 - 1 600	40
145 - 169	13	626 - 676	26	1 682 - 1 764	42
170 - 196	14	677 - 729	27	1 850 - 1 936	44
197 - 225	15	730 - 784	28	1 937 - 2 025	45
226 - 256	16	785 - 841	29	2 026 - 2 126	46
257 - 289	17	842 - 900	30	2 210 - 2 304	48
290 - 324	18	901 - 961	31	2 402 - 2 500	50
325 - 361	19	962 - 1 024	32	2 602 - 2 704	52
362 - 400	20	1 025 - 1 089	33	2 810 - 2 916	54
401 - 441	21	1 090 - 1 156	34	2 917 - 3 000	55

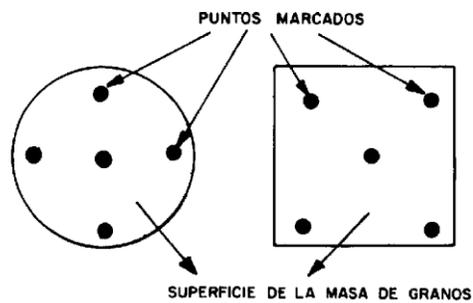
Fuente: Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural.*

Tabla XVI. Criterio de muestreo a granel

Lote estático (t)	Puntos de muestreo	Lote dinámico (t)	Puntos de muestreo
<15	5	10	20
15 - 30	8	50	22
>30	11	100	25
		100	25 x 100t

Fuente: Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural.*

Figura 7. Distribución de toma de muestra acorde a geometría



Fuente: Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural.*

Tabla XVII. **Formato de análisis de peligros HACCP**

(1) Ingrediente / Etapa del Proceso	(2) Identificación de peligros potenciales, controlados o incrementados en esta etapa		(3) Es significativo algún peligro (Si/No)	(4) Justifique su decisión para la columna 3	(5) Que medidas pueden ser aplicadas para prevenir el peligro significativo
Etapa almacenamiento (caso 1)	Biológico				
	Químico				
	Físico				
Etapa almacenamiento (caso 2)	Biológico				
	Químico				
	Físico				
Etapa almacenamiento (caso 3)	Biológico				
	Químico				
	Físico				
Etapa almacenamiento (caso 4)	Biológico				
	Químico				
	Físico				

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC] (2021). *Apuntes del curso de inocuidad de alimentos MCTA 103, Facultad de Ingeniería.*

Tabla XVIII. **Matriz de asignación factores de probabilidad y severidad**

Severidad				
Alta	No incluir	Evaluar	Incluir	Incluir
Media	No incluir	No incluir	Evaluar	Incluir
Baja	No incluir	No incluir	No incluir	No incluir
	Remota (1)	Baja	Media	Alta
	Probabilidad de ocurrencia			

Fuente: USAC (2021). *Apuntes del curso de inocuidad de alimentos MCTA 103, Facultad de Ingeniería.*

Tabla XIX. Formato de análisis de probabilidad y severidad HACCP

(1) Ingrediente / Etapa del Proceso	Microorganismo / Alérgeno / Contaminante	Probabilidad (P)	P	Severidad (S)	S	PxS Criterio ≥ 6 pasa a árbol de decisión
Etapa almacenamiento (caso 1)						
Etapa almacenamiento (caso 2)						
Etapa almacenamiento (caso 3)						
Etapa almacenamiento (caso 4)						

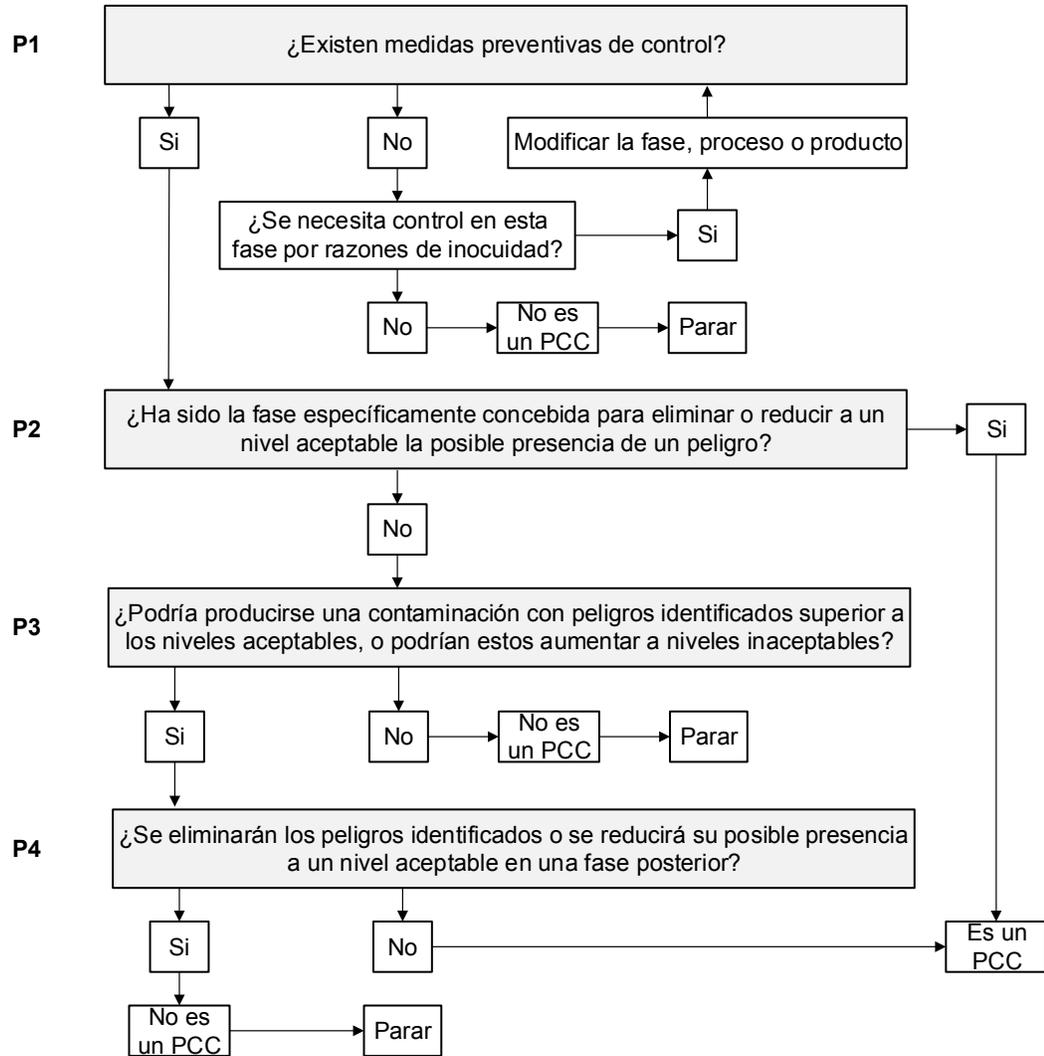
Fuente: USAC (2021). *Apuntes del curso de inocuidad de alimentos MCTA 103, Facultad de Ingeniería.*

Tabla XX. Formato de árbol de decisión HACCP

(1) Ingrediente / Etapa del Proceso	(2) identificación de peligros potenciales, controlados o incrementados en esta etapa		P1 (Si/No)	P2 (Si/No)	P3 (Si/No)	P4 (Si/No)	(6) Es esta etapa un Punto Crítico de Control (Si/No)
Etapa almacenamiento (caso 1)							
Etapa almacenamiento (caso 2)							
Etapa almacenamiento (caso 3)							
Etapa almacenamiento (caso 4)							

Fuente: USAC (2021). *Apuntes del curso de inocuidad de alimentos MCTA 103, Facultad de Ingeniería.*

Figura 8. Preguntas del árbol de decisión HACCP



Fuente: USAC (2021). *Apuntes del curso de inocuidad de alimentos MCTA 103, Facultad de Ingeniería.*

Tabla XXI. **Formato de PCC HACCP**

(1) Ingrediente / Etapa del Proceso	(2) Identificación de peligros potenciales, controlados o incrementados en esta etapa		Microorga nismo / Alérgeno / Contamin ante	(6) Es esta etapa un PCC (Si/No)	Límites críticos	Procedimiento de vigilancia		
						¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Quién es el responsable?
Etapa almacenamiento (caso 1)								
Etapa almacenamiento (caso 1)								
Etapa almacenamiento (caso 1)								
Etapa almacenamiento (caso 1)								

Fuente: USAC (2021). *Apuntes del curso de inocuidad de alimentos MCTA 103, Facultad de Ingeniería.*

9.6. Fase 3: calificación del diseño e instalación

Se aplicarán los protocolos DQ e IQ validando cada uno de los criterios de calificación establecidos por la FAO. En caso de encontrarse desviaciones éstas serán anotadas y declaradas en el informe de calificación DQ e IQ. El acompañamiento de campo será con el técnico de campo asignado por el DISAM-MAGA en el departamento de Petén, municipio La Libertad. El DQ corresponderá a la conceptualización del sistema de almacenamiento y el IQ se basará en la verificación física en sitio del sistema o la materialización del concepto de diseño.

Se aplicará el concepto de *quality by design* (QbD), donde los criterios del protocolo DQ se basan en verificaciones de aspectos a considerar para diseñar el sistema de almacenamiento para cumplir con las especificaciones de calidad; es decir, la calidad del grano se diseña, no se obtiene.

Tabla XXII. **Criterios protocolo DQ**

Calificación del diseño del sistema de almacenamiento	
Formato DQ	Criterio de Aceptación
1	<p>Diseño conceptual basado en la calidad final</p> <p>¿Existe evidencia física, empírica o documental que la consideración de los siguientes factores en el diseño del sistema de almacenamiento para garantizar la calidad de los granos en las etapas previas al almacenamiento?:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Condiciones climáticas durante el período de maduración de la semilla b. Grado de maduración en el momento de la cosecha c. Daños mecánicos d. Impurezas e. Humedad f. Temperatura g. Microorganismos h. Insectos i. Roedores

Fuente: Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural*.

Tabla XXIII. Formato protocolo DQ

PROTOCOLO DQ - 1 Diseño conceptual del sistema de almacenamiento basado en la calidad final			
a	Período de maduración de la semilla	Cumple (Si/No)	Observación
1	<p>En la etapa en que la semilla está acumulando rápidamente materia seca en el campo, antes de ser cosechada; ¿Se ha diseñado el proceso de maduración para mantener la humedad en el suelo en cantidades adecuadas inclusive durante periodos de sequía?</p> <p><i>Relación con la etapa de almacenamiento: un período de sequía genera una semilla más liviana con menor contenido de materia seca y por lo tanto tendrían menor potencial para el almacenamiento.</i></p>		
2	<p>En la etapa en que la semilla alcanza su máximo contenido de materia seca; ¿Se ha diseñado el proceso con medidas durante periodos de intensas lluvias?</p> <p><i>Relación con la etapa de almacenamiento: en este caso la semilla se deshidrata rápidamente para entrar en equilibrio con la humedad relativa del aire, si durante esta etapa llueve mucho, la deshidratación será lenta y el contenido de humedad permanece elevado por un período mayor, lo que propicia que las semillas se deterioren con rapidez.</i></p>		
b	Grado de maduración en el momento de la cosecha		
3	<p>El sistema de recolección; ¿se ha diseñado para no recolectar granos antes o después del punto de madurez fisiológica?</p> <p><i>Relación con la etapa de almacenamiento: son semillas con menor potencial de almacenamiento.</i></p>		
c	Daño mecánico		
4	<p>¿Se ha diseñado la etapa de cosecha con equipos o procedimientos que dañan mecánicamente los granos en porcentajes menores al 1% o que pueden eliminarlos?</p> <p>En la cosechadora Durante el beneficio Durante la puesta en almacenamiento Durante el transporte hacia el almacenamiento</p>		

Continuación tabla XXIII.

	<i>Relación con la etapa de almacenamiento: los granos dañados se deterioran con gran facilidad y se convierten en focos que afectan a los granos sanos.</i>		
Realizado por:		Revisado Por:	
Fecha:		Fecha:	

PROTOCOLO DQ - 1 Diseño conceptual del sistema de almacenamiento basado en la calidad final			
d	Impurezas	Cumple (Si/No)	Observación
5	<p>¿Se ha diseñado un procedimiento de verificación de impurezas previo al almacenamiento para garantizar que el espacio intergranular está exento de impurezas y materias extrañas?</p> <p><i>Relación con la etapa de almacenamiento: Las materias extrañas impurezas, bajo las mismas condiciones de humedad relativa y temperatura del aire, presentan contenidos de humedad más altos que el producto.</i></p>		
e	Humedad		
6	<p>En la etapa de secado previo al almacenamiento; ¿Se ha diseñado un proceso que garantice un contenido de humedad igual o menor a 15,5%?</p> <p><i>Relación con la etapa de almacenamiento: principal factor que influye en la calidad del producto almacenado.</i></p>		
f	Temperatura		
7	<p>El sistema de almacenamiento; ¿se ha diseñado para garantizar temperaturas bajas o equivalentes a las temperaturas ambientales?</p> <p><i>Relación con la etapa de almacenamiento: los granos almacenados tienen menor posibilidad de deterioro cuando están fríos. Las bajas temperaturas pueden compensar los efectos de un alto contenido de humedad y evitar el desarrollo de microorganismos, insectos y ácaros que atacan los granos almacenados.</i></p>		

Continuación tabla XXIII.

Realizado por:		Revisado Por:	
Fecha:		Fecha:	

PROTOCOLO DQ - 1 Diseño conceptual del sistema de almacenamiento basado en la calidad final			
g	Microorganismos	Cumple (Si/No)	Observación
8	<p>El sistema de riego y protección de la cosecha; ¿Se ha diseñado de tal forma que garantice CHE igual o menores al 75% para evitar la contaminación con hongos de campo?</p> <p><i>Relación con la etapa de almacenamiento: estos hongos necesitan para su desarrollo un alto contenido de humedad, es decir, granos en equilibrio con una humedad relativa de entre el 90 y el 100 %.</i></p>		
9	<p>El sistema de almacenamiento; ¿Se ha diseñado de tal forma que garantice CHE igual o menores al 70% para evitar la contaminación con hongos de almacenamiento?</p> <p><i>Relación con la etapa de almacenamiento: los hongos que proliferan con mayor frecuencia en los granos almacenados son algunas especies de los géneros Aspergillus y Penicillium.</i></p>		
h	Insectos		
10	<p>¿Se ha diseñado un procedimiento para evitar los daños causados por la infestación de campo al cosechar la semilla tan pronto esté madura y someterla a un secado y fumigación oportuna?</p> <p><i>Relación con la etapa de almacenamiento: Si la población de insectos crece en forma desmesurada, además de reducir la calidad del grano, se produce un incremento de la temperatura y humedad de los granos, un aumento del contenido de bióxido de carbono y una reducción del contenido de oxígeno del medio ambiente.</i></p>		
i	Roedores		
11	<p>¿Se ha diseñado el sistema de almacenamiento para evitar el ingreso de roedores mediante barreras físicas y estaciones de captura?</p> <p><i>Relación con la etapa de almacenamiento: Los productos almacenados, contaminados por deposiciones, orina y parásitos de los roedores son focos de contaminación para quienes los manejan o consumen.</i></p>		

Continuación tabla XXIII.

Realizado por:		Revisado Por:	
Fecha:		Fecha:	

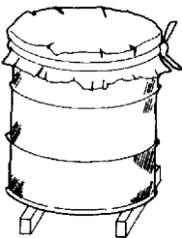
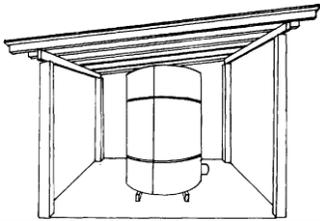
Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural.*

Tabla XXIV. **Criterios protocolo IQ**

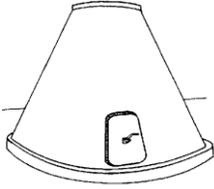
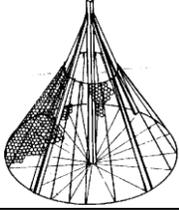
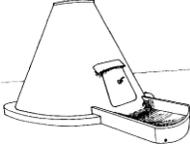
Calificación de la instalación del sistema de almacenamiento	
Formato IQ	Criterio de Aceptación
1	<p>Diseño conceptual basado en la calidad final</p> <p>¿Existe evidencia física y documental que cada uno de los siguientes sistemas de almacenamiento ha sido instalado acorde a las recomendaciones de la FAO u organizaciones equivalentes del manejo post cosecha?:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Tambor metálico b. Silo metálico de baja capacidad c. Silo de hierro-cemento d. Silo suelo-cemento e. Troje de tablas f. Silo de albañilería g. Silo metálico h. Almacén general

Fuente: Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural.*

Tabla XXV. Formato protocolo IQ-1

PROTOCOLO IQ-1 Tambor metálico			
a	Vista lateral de un tambor metálico	Cumple (Si/No)	Observación
			
No.	Criterio por evaluar en sitio	Cumple (Si/No)	Observación
1	¿El tambor ha sido limpiado y secado al momento de su instalación y si poseía agujeros han sido tapados con cera de abeja, parafina o con soldadura de estaño?		
2	¿Se ha fabricado la cobertura del tambor utilizando un pedazo de plástico de un 1 m de diámetro y con una tira de cámara de neumático de 3 m de largo?		
3	¿El tambor metálico se ha instalado sobre dos trozos de madera en un sitio protegido del sol y de la lluvia para evitar la oxidación de éste?		
b	Vista lateral de un silo metálico de baja capacidad	Cumple (Si/No)	Observación
			
No.	Criterio por evaluar en sitio	Cumple (Si/No)	Observación
1	¿Se ha construido con láminas o chapas metálicas galvanizadas, ensambladas y soldadas en forma de cilindro?		
2	¿Se ha instalado sobre una tarima en un área cubierta, protegido del sol y la lluvia?		
3	¿Se ha instalado el cobertizo de madera con paja o tejas?		
4	¿Posee boca de carga y de descarga?		
5	Si el tambor original poseía raspones, ¿se ha pintado nuevamente?		
Realizado por:		Revisado Por:	
Fecha:		Fecha:	

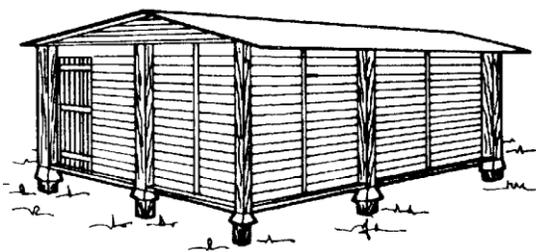
Continuación tabla XXV.

PROTOCOLO IQ-1 Silo de hierro-cemento			
c	Vista lateral de un silo de hierro-cemento	Cumple (Si/No)	Observación
			
No.	Criterio por evaluar en sitio	Cumple (Si/No)	Observación
1	El silo, ¿posee una capacidad para almacenar de 2,5 a 7,5 m ³ de granos?		
2	¿El lugar de construcción del silo se encuentra en un terreno alto y libre de inundaciones?		
3	La capa freática está a más de 1 m de profundidad durante la época de lluvias; esto es, que al excavar el terreno no se encuentre agua superficialmente.		
4	¿Se ha instalado el contrapiso revistiendo todo el fondo de la base con una capa de 10 cm de tierra-cemento compactado?		
5	¿Los muros se han instalado sobre postes de madera y una malla metálica de soporte?		
			
6	¿Se ha instalado un muro con una mezcla de una parte de cemento y dos partes de arena aplicada sobre la malla metálica?		
7	¿La estructura de madera se ha retirado al finalizar el secado de los muros?		
8	¿Posee puerta de descarga con protección para la lluvia y una tolva para la descarga?		
			
Realizado por:		Revisado Por:	
Fecha:		Fecha:	

Continuación tabla XXV.

PROTOCOLO IQ-1 Silo suelo-cemento						
d	Vista aérea de un silo de albañilería			Cumple (Si/No)	Observación	
No.	Criterio por evaluar en sitio			Cumple (Si/No)	Observación	
1	¿Las dimensiones del silo corresponden a la cantidad de producto que va a ser almacenado?					
	Capacidad (sacos de 60 kg)	Diámetro interno del silo (m)	Altura de la pared (m)	Capacidad del silo (m ³)		
	78	2,0	2,0	6,3		
	122 176	2,5 3,0	2,0 2,0	9,8 14,1		
2	¿El lugar de construcción del silo se encuentra en un terreno alto y libre de inundaciones?					
3	La capa freática está a más de 1 m de profundidad durante la época de lluvias; esto es, que al excavar el terreno no se encuentre agua superficialmente.					
4	¿El techo fue construido de paja o teja para protegerlo de la intemperie, a dos aguas y la distancia entre el alero del tejado y la pared externa del silo es de 70 cm como mínimo?					
5	¿El piso del silo se ha instalado distribuyendo tablas y colocándolas en el poste central y en los postes laterales?					
6	¿Se ha instalado una puerta de descarga?					
7	¿Las paredes se han construido rajando las cañas de bambú en el medio y atándose con alambre galvanizado del hierro de la construcción?					
8	¿Se ha instalado la parte lisa del bambú hacia afuera en el exterior del silo y hacia adentro en el interior?					
9	¿Se ha recubierto la pared del silo con una mezcla de tierra-cemento en una proporción de 1:15 con un espesor de 20 cm como máximo?					
10	¿Se han instalado barreras contra roedores en cada poste de sustentación del silo y el techo?					
Realizado por:				Revisado Por:		
Fecha:				Fecha:		

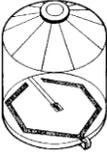
Continuación tabla XXV.

PROTOCOLO IQ-1 Troje de tablas						
e	Vista lateral de un troje de tablas				Cumpl e (Si/No)	Observación
						
No.	Criterio por evaluar en sitio				Cumpl e (Si/No)	Observación
1	¿Las dimensiones del troje corresponden a la cantidad de producto que va a ser almacenado? 1 m³ de maíz en mazorcas corresponde a cerca de 450 kg.					
	Capacidad (m³)	Ancho (m)	Largo (m)	Altura (m)		
	12,0	2,0	2,0	3,0		
	24,0	2,0	4,0	3,0		
	48,0	4,0	4,0	3,0		
	72,0	4,0	6,0	3,0		
2	¿El lugar de construcción del silo se encuentra en un terreno alto y libre de inundaciones?					
3	La capa freática está a más de 1 m de profundidad durante la época de lluvias; esto es, que al excavar el terreno no se encuentre agua superficialmente.					
4	¿El techo fue construido el techo a dos aguas con aleros de por lo menos 40 cm, para proteger el troje de la lluvia y el exceso de sol?					
5	¿El piso del silo se ha instalado a unos 80 cm por encima del suelo, apoyado en pilares de madera o de albañilería?					
6	¿Se ha instalado una puerta interna y puertas externas del troje?					
7	¿Las paredes se han construido de tablas haciendo chaflanes de 45° en todas las tablas para que se forme una persiana cuando ya estén clavadas?					
8	¿Se han instalado listones de madera dejando pequeños espacios para permitir la ventilación y, por lo tanto, sirve también para completar el secado del producto?					
9	¿Se ha ubicado el troje en forma transversal a los vientos dominantes, sin ser muy ancho?					
10	¿Se han instalado barreras contra roedores en cada poste de sustentación del troje y el techo?					
Realizado por:					Revisado Por:	
Fecha:					Fecha:	

Continuación tablas XXV.

PROTOCOLO IQ-1 Silo de albañilería						
f	Vista aérea de un silo de albañilería				Cumple (Si/No)	Observación
						
No.	Criterio por evaluar en sitio				Cumple (Si/No)	Observación
1	¿Las dimensiones del silo corresponden a la cantidad de producto que va a ser almacenado?					
	Capacidad (sacos de 60 kg)	Diámetro (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)		
	165	2,70	2,30	13,2		
	251	2,70	3,50	20,0		
	445	3,60	3,50	35,6		
	696	4,50	3,50	55,7		
	1 039	5,50	3,50	83,2		
	1 366	5,50	4,60	109,3		
	1 722	5,50	5,80	137,8		
	1 850	6,40	5,80	148,0		
2 232	6,40	5,80	186,6			
2 775	6,40	6,90	222,0			
2	Para capacidades mayores de 30 m ³ el silo debe contar con un sistema de aireación. Peso específico del maíz 750 kg/m ³ .					
3	¿El lugar de construcción del almacén se encuentra en un terreno alto y libre de inundaciones?					
4	La capa freática está a más de 1 m de profundidad durante la época de lluvias; esto es, que al excavar el terreno no se encuentre agua superficialmente.					
5	¿El techo fue construido de lámina de asbesto-cemento, galvanizada o de teja de barro, posee cuatro aguas y 40 cm de aleros o voladizos?					
6	¿Se han instalado ductos de aireación y sistema de ventilación?					
7	¿El piso del silo posee una capa de 10 cm de grava o piedra de cantera y forma un ángulo de 45° con la pared?					
8	¿Se ha instalado una escalera dentro y fuera del silo de hierro con 13 mm de diámetro o superior?					
9	Existe una acera de 70 cm alrededor del silo con 8 % de declive.					
10	Se ha estucado y pintado con cal las paredes internas y externas del silo.					
Realizado por:				Revisado Por:		
Fecha:				Fecha:		

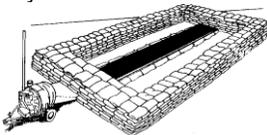
Continuación tabla XXV.

PROTOCOLO IQ-1 Silo metálico						
g	Vista aérea de un silo metálico				Cumple (Si/No)	Observación
						
No.	Criterio por evaluar en sitio				Cumple (Si/No)	Observación
1	¿Las dimensiones del silo corresponden a la cantidad de producto que va a ser almacenado? El volumen total calculado corresponde a un ángulo de reposo del grano de 27°, con un peso específico de 0,75 t/m³.					
	Capacidad (t)	Diámetro (m)	Altura del cilindro (m)	Volumen (m³)		
	119,4	5,50	5,912	151,6		
	270,1	6,40	10,092	343,0		
	454,5	8,24	10,092	577,1		
	565,6	9,16	10,092	718,3		
	825,0	11,0	10,092	1 047,8		
	1 427,9	12,83	12,926	1 813,2		
2 109,7	14,60	14,762	2 679,0			
4 330,3	18,30	19,352	5 498,8			
2	¿Se construyó de láminas o chapas metálicas lisas o corrugadas, de hierro galvanizado o de aluminio?					
3	¿El lugar de construcción del almacén se encuentra en un terreno alto y libre de inundaciones?					
4	La capa freática está a más de 1 m de profundidad durante la época de lluvias; esto es, que al excavar el terreno no se encuentre agua superficialmente.					
5	¿Posee fondo plano o cónico; con descarga mecánica en los silos de fondo plano y por gravedad en los silos de fondo cónico?					
6	¿Se han instalado ductos de aireación y sistema de ventilación?					
7	¿Se han instalado equipos para cargar y descargar los granos portátiles o fijos?					
8	¿Se ha instalado un sistema de termometría y aireación para evitar que la radiación solar que incide en las paredes externas del silo ocasione condensación del vapor de agua en las paredes internas?					
9	El sistema de termometría, ¿se ha instalado para detectar de forma rápida y eficientemente la existencia de focos de calentamiento en la masa de granos?					
Realizado por:				Revisado Por:		
Fecha:				Fecha:		

Continuación tabla XXV.

PROTOCOLO IQ - 2 Almacén general					
h	Vista aérea de un almacén convencional			Cumple (Si/No)	Observación
No.	Criterio por evaluar en sitio			Cumple (Si/No)	Observación
1	La estructura se utiliza exclusivamente para almacenamiento de productos envasados en sacos.				
2	El almacenamiento se realiza en estibas o lotes individualizados de un mismo producto agrícola.				
3	¿Las dimensiones del almacén corresponde a la cantidad de producto que va a ser almacenado?				
	Capacidad (sacos de 60 kg)	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	
	100	5,0	3,0	3	
	200	5,5	5,0	3	
	600	7,0	5,5	4	
1 200	14,0	7,0	4		
4	¿Se han instalado el número adecuado de aberturas y tragaluces para la ventilación natural del almacén?				
	Capacidad (sacos de 60 kg)	Número de aberturas	Número de tragaluces		
	100	1	1		
	200	1	1		
	600	2	2		
1 200	4	4			
5	¿El lugar de construcción del almacén se encuentra en un terreno alto y libre de inundaciones?				
6	La capa freática está a más de 1 m de profundidad durante la época de lluvias; esto es, que al excavar el terreno no se encuentre agua superficialmente.				
7	El piso es de concreto o material similar que no permita acumulación de humedad.				
8	Los muros son de ladrillo o bloc expuesto e idealmente con algún recubrimiento que impida la acumulación de humedad.				
9	La estructura del techo fue fabricada de madera o de metal.				
Realizado por:				Revisado Por:	
Fecha:				Fecha:	

Continuación tabla XXV.

PROTOCOLO IQ - 2 Almacén general			
No.	Criterio por evaluar en sitio	Cumple (Si/No)	Observación
10	La inclinación máxima del techo es de 30°.		
11	Los aleros o pestañas son de 50 cm o mayores.		
12	Los tragaluces poseen tela de malla metálica de 6 mm o superior.		
13	Las entradas del aire para la ventilación fueron instaladas con marcos de madera con listones de madera revestidos con tela de malla metálica de 6 mm.		
14	Las ventanas de entradas del aire de la ventilación natural fueron instaladas con chapa galvanizada de 0,45 mm de espesor y poseen dimensiones de 1,10 m por 30 cm y bisagras para mantenerlas abiertas o cerradas.		
15	Para proteger el almacén contra roedores, se ha aplicado una capa de cemento liso de 60 cm de altura desde el piso en la parte externa de los muros.		
16	Asegúrese que las puertas y ventanas ajusten perfectamente sin dejar rendijas		
17	El almacén ha sido pintado con cal o pintura superior.		
18	Las ventanas deben pintarse con pintura anticorrosiva.		
19	Distribuya en el almacén las tarimas de 1,60 m de largo por 1,40 m de ancho. El espacio entre las paredes y las tarimas debe tener como mínimo 70 cm.		
20	Haga el estibado poniendo como máximo 20 capas de sacos en cada estiba.		
21	Ponga una etiqueta indicando el tipo de producto, la cantidad de sacos y la fecha del inicio del almacenamiento en cada pila.		
22	Debe existir una calzada, acera o banqueta alrededor del almacén con un ancho de 100 cm o superior.		
23	Los almacenes de tipo convencional pueden ser adaptados para almacenar productos a granel. Esta adaptación es llamada "piscina". En la "piscina" deben haber sido instalados ductos de aireación contruidos con los materiales disponibles en el mismo almacén, tales como sacos y tarimas de madera.		
			
Realizado por:		Revisado Por:	
Fecha:		Fecha:	

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural.*

9.7. Fase 4: calificación de la operación

En esta etapa se evaluará que las instalaciones del sistema de almacenamiento operen bajo las especificaciones establecidas; en este sentido, se evaluará la operación del sistema de control de plagas (Formato OQ-1) y el perfil de CHE (Formato OQ-2) como variable crítica de la operación global que incluye protección contra la intemperie, hermeticidad, recirculación de aire fresco, integridad de la estructura, etc. La operación será evaluada a las condiciones psicrométricas ambientales de las dos evaluaciones: una en octubre 2021 (temporada de lluvias) y abril 2022 (temporada seca). Se realizará un perfil de CHE en cada sistema de almacenamiento, con el objeto de encontrar el segmento tridimensional donde se posee el mayor valor de CHE. Las características metrológicas del analizador de CHE a utilizar son:

Tabla XXVI. **Características metrológicas analizador CHE AMT155**

Característica	Valor	Observación
Rango de medición (%)	9 - 39	Maíz
Precisión (%)	0,5	
Error de repetición (%)	0,2	
Temperatura de trabajo (°C)	0 - 40	
Ajuste	Automático	Compensación automática de temperatura

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Analizador de CHE marca AMTAST modelo AMT155**



Fuente: AMTAST (2021). *Grain Moisture Tester*

Consultado el 8 de septiembre 2021. Recuperado de <https://amtast.com/content-53.html>.

El muestreo consistirá en retirar pequeñas cantidades de granos, que en su conjunto forman una muestra representativa del lote de granos. Para que sea representativa, la muestra de granos deberá poseer todas las características del lote. El muestreo podrá ser realizado mediante cualquiera de los siguientes equipos:

- Muestreador simple
- Muestreador compuesto o sonda de alvéolos
- Sonda manual o de profundidad
- Sonda neumática
- Recipiente tipo pelícano o cucharón

El análisis estadístico de la capacidad de los sistemas de almacenamiento para cumplir con las especificaciones de producto terminado se realizará acorde a las siguientes fases:

- Identificación de la distribución de los datos
- Evaluación de la estabilidad del proceso
- Evaluación de la capacidad del proceso

Tabla XXVII. **Criterios protocolo OQ**

Calificación de la operación del sistema de almacenamiento	
Formato OQ	Criterio de Aceptación
1	<p>Control de plagas</p> <p>El nivel de infestación en el sistema de almacenamiento se encuentra en nivel bajo a medio acorde a cada tipo de plaga.</p> <p>Se utilizan agentes insecticidas o fumigantes en las concentraciones recomendadas por la FAO.</p>
2	<p>Perfil de contenido de humedad de equilibrio</p> <p>El valor de contenido de humedad de equilibrio es menor o igual a 15,5 % m/m en los puntos de muestreo representativos del lote para cada sistema de almacenamiento CODEX STAN 153-1985.</p> <p>Capacidad del proceso</p> <p>Capacidad largo plazo (Pp)</p> <p>Pp > 1.33 Adecuado</p> <p>1 < Pp < 1.33 Adecuado, pero requiere de un control estricto</p> <p>0.67 < Pp < 1 No adecuado, requiere un análisis del proceso</p> <p>Pp < 0.67 No adecuado, requiere modificaciones</p>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. Formato protocolo OQ-1

PROTOCOLO OQ-1 Control de plagas			
a	Insectos	Cumple (Si/No)	Observación
1	¿Se poseen límites para los insectos del orden <i>Coleoptero</i> (pequeños escarabajos llamados "gorgojos") y del orden <i>Lepidoptero</i> (pequeñas mariposas o polillas)?		
2	¿Existen estaciones monitoras para este tipo de insectos?		
3	¿Se han identificado en las estaciones monitoras las siguientes especies dentro de niveles de infestación bajos a nulos? <ul style="list-style-type: none"> • Gorgojo del maíz, <i>Sitophilus zeumais</i> Motschulsky • Pequeño barrenador o taladrilla de los granos (<i>Rhyzopertha dominica</i> F.) • Polilla o palomilla de los cereales (<i>Sitotroga cerealella</i>) 		
4	El método del control químico de insectos, ¿es considerado como un complemento a las otras medidas, como el manejo de la temperatura y la humedad, instalaciones adecuadas, etc.?		
5	Si se utiliza el control químico; el insecticida o fumigante ¿se aplica utilizando cualquiera de estas técnicas?: <ul style="list-style-type: none"> • Pulverización residual o aspersion • Pulverización protectora • Vaporización y fumigación 		
6	¿Se aplica alguno de los siguientes insecticidas en las dosificaciones recomendadas FAO mediante pulverización residual?		
	Insecticida	Fórmula	Dosificaciones ml/m ²
	Deltametrina	2,5 E	0,6
	Malatión	100 E	2,6
7	¿Se aplica alguno de los siguientes insecticidas en las dosificaciones recomendadas FAO mediante pulverización protectora?		
	Insecticida	Fórmula	Dosificaciones ml/t
	Deltametrina	2,5 E	18
	Diclorvós	50 E	20
	Malatión	100 E	18
	Pirimifós metílico	50 E	8
Realizado por:		Revisado Por:	
Fecha:		Fecha:	

Continuación tabla XXVIII.

PROTOCOLO OQ-1 Control de plagas					
a	Insectos			Cumple (Si/No)	Observación
8	¿Se aplica alguno de los siguientes insecticidas en las dosificaciones recomendadas FAO mediante vaporización?				
	Insecticida	Fórmula	Dosificaciones ml/100 m ³		
	Deltametrina	10 E	2		
	Diclorvós	50 E	5		
	Malatión	60 E	7		
Pirimifós metílico	50 E	5			
9	¿Se aplica alguno de los siguientes fumigantes en las dosificaciones recomendadas FAO a mazorcas?				
	Fumigante	Duración (h)	Dosificación por m ³		
	Bromuro de metilo (98%)	48	25 cm ³		
	Fosfato de aluminio (57%)	72	1 tableta (3 g)		
	Fosfuro de aluminio (57%)	72	5 tabletas (0,6 g c/u)		
10	¿Se aplica alguno de los siguientes fumigantes en las dosificaciones recomendadas FAO a granos ensacados?				
	Fumigante	Duración (h)	Dosificación		
	Bromuro de metilo (98%)	24	18 cm ³ /m ³		
	Fosfato de aluminio (57%)	72	1 - 3 tabletas (3 g) x 15 a 20 sacos		
	Fosfuro de aluminio (57%)	96	1 tableta (0,6 g c/u) x 3 a 4 sacos		
11	¿Se aplica alguno de los siguientes fumigantes en las dosificaciones recomendadas FAO a granos a granel?				
	Fumigante	Duración (h)	Dosificación		
	Bromuro de metilo (98%)	24	18 cm ³ /m ³		
	Fosfato de aluminio (57%)	72	1 - 3 tabletas (3 g) x tonelada		
	Fosfuro de aluminio (57%)	72	3 - 6 tabletas (0,6 g c/u) x tonelada		
Realizado por:				Revisado Por:	
Fecha:				Fecha:	

Continuación tabla XXVIII.

PROTOCOLO OQ-1 Control de plagas			
b	Roedores	Cumple (Si/No)	Observación
1	<p>¿Se ha identificado alguna de las siguientes especies de roedores?:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rata de los techos (<i>Rattus rattus</i>) • Rata gris (<i>Rattus norvegicus</i>) • Ratón casero (<i>Mus musculus</i>) 		
2	<p>Durante el recorrido, ¿se han identificado deposiciones con las siguientes características?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deposiciones frescas de aspecto brillante y oscuro • Deposiciones viejas de coloración opaca y dura • De <i>Rattus norvegicus</i>, de forma aplastada y con 1,9 cm de largo aproximadamente. • De <i>Rattus</i>, de forma puntiaguda con 1,25 cm de largo aproximadamente. • De <i>Mus musculus</i>, con 0,65 cm de largo aproximadamente. 		
3	Durante el recorrido, ¿se ha identificado presencia de orina de roedores mediante el uso de una lámpara de luz ultravioleta?		
4	Durante el recorrido, ¿se han identificado orificios de diámetros mayores a 0,6 cm?		
5	¿Se encuentran operativas como complemento de las medidas profilácticas preventivas, trampas y rodenticidas?		
6	<p>Las estaciones de cebo, ¿están operando con rodenticidas de acción rápida? como, por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estricnina, Sulfato de Talio, Arsénico • Alfa-naftil-tiourrea, Escila roja, Shoxin 		
7	<p>Las estaciones de cebo, ¿están operando con rodenticidas de acción lenta? como, por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hidroxicumarinas (Warfarina, fumarina) • Indandionas (pival, valona, difacinona) 		
c	Hongos de campo	Cumple (Si/No)	Observación
1	<p>Durante la operación, ¿Se utiliza alguno de los siguientes ácidos como método preventivo químico de los hongos en granos con alto contenido de humedad (20 a 35%)?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ácido propiónico, acético, butírico o fórmico. • En el caso de un almacenamiento de 10 meses, un lote de maíz con 19, 22 y 24 por ciento de humedad debe ser tratado con las cantidades de 0,2, 0,3 y 0,4 por ciento respectivamente. <p>Debe notarse que este tipo de tratamiento no puede utilizarse para alimentos destinados al consumo humano.</p>		
Realizado por:		Revisado Por:	
Fecha:		Fecha:	

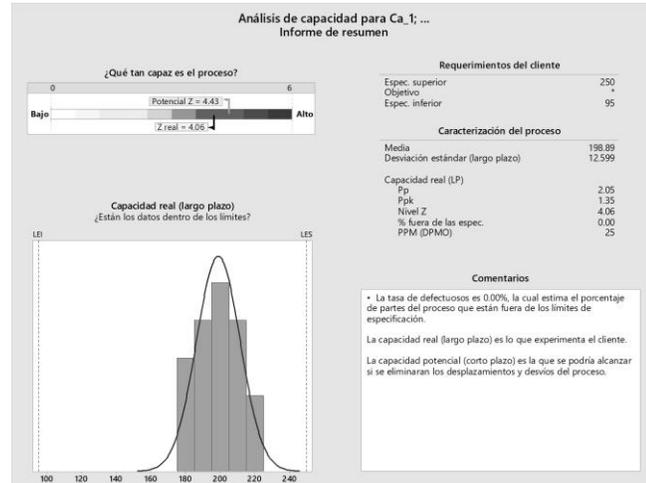
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural.*

Tabla XXIX. Formato protocolo OQ-2

PROTOCOLO OQ-2 Perfil de contenido de humedad de equilibrio						
No	Ejemplo muestreo 15 sacos				Distribución	
1					<p>Dependiendo de la cantidad de sacos o la configuración a granel, seleccionar el total a muestrear y dividirlo en tres secciones, muestreando las esquinas y el centro y luego rotando 90° el esquema de muestreo en la sección inferior garantizando un perfil tridimensional.</p>	
a	CHE (%) Sistema de almacenamiento 1				Análisis de capacidad del sistema 1	Cumple (Si/No)
1 - 5					Media	
6 - 10					Des	
11 - 15					Pp	
b	CHE (%) Sistema de almacenamiento 2				Análisis de capacidad del sistema 2	Cumple (Si/No)
1 - 5					Media	
6 - 10					Des	
11 - 15					Pp	
c	CHE (%) Sistema de almacenamiento 3				Análisis de capacidad del sistema 3	Cumple (Si/No)
1 - 5					Media	
6 - 10					Des	
11 - 15					Pp	
d	CHE (%) Sistema de almacenamiento 4				Análisis de capacidad del sistema 4	Cumple (Si/No)
1 - 5					Media	
6 - 10					Des	
11 - 15					Pp	
Realizado por:						
Realizado por:			Revisado Por:			
Fecha:			Fecha:			

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural.*

Figura 10. Ejemplo de informe de análisis de capacidad P_p



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab®18.

9.8. Fase 5: calificación del desempeño

El desempeño de los sistemas de almacenamiento será evaluado con la variable concentración de micotoxinas a las condiciones psicrométricas ambientales de las dos evaluaciones: una en octubre 2021 (temporada de lluvias) y abril 2022 (temporada seca). El muestreo del grano para el barrido de micotoxinas se realizará en el punto con el mayor valor CHE resultante del OQ-2, debido a el costo de este análisis por lo que se seleccionará el peor de los casos del sistema. Se utilizará un análisis de micotoxinas acreditado ISO 17025 por la entidad norteamericana IAS, mediante la técnica instrumental LC/MS.

Tabla XXX. **Micotoxinas cuantificables método ML-9001 AGQ Labs**

Micotoxina	Rango de cuantificación µg/kg
Ocratoxina	3 – 15
Aflatoxinas totales	1 - 10
Deoxinivalenol	500 – 1500
Zearalenona	50 – 150
Toxinas HT2 y T2	500 - 1500
Fumonisina B1	500 – 1500
Fumonisina B2	150 – 450

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Criterios protocolo PQ**

Calificación del desempeño del sistema de almacenamiento	
Formato PQ	Criterio de Aceptación
1	<p>Concentración de aflatoxinas totales sistemas 1 al 3</p> <p>COGUANOR < 20 µg kg⁻¹ para la sumatoria de las cuatro aflatoxinas (B1, B2, G1, G2)</p> <p>Unión Europea 2 a 8 µg kg⁻¹ para AFB1 4 a 15 µg kg⁻¹ para la sumatoria de las cuatro aflatoxinas (B1, B2, G1, G2)</p> <p>Barrido de micotoxinas sistema 4</p> <p>Ocratoxina Aflatoxinas totales Deoxinivalenol Zearalenona Fumonisina B1 Fumonisina B2</p>

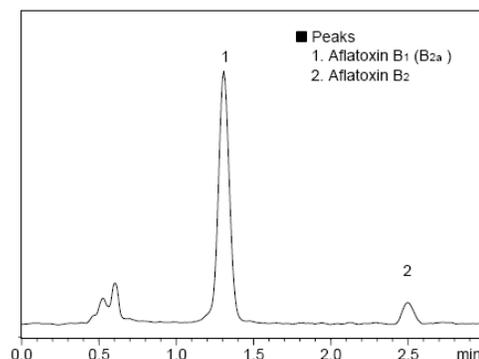
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. Formato protocolo PQ-1

PROTOCOLO PQ-1 Concentración de aflatoxinas totales (tamaño de muestra 2 kg)							
No	Sistemas de almacenamiento 1 al 3	CHE (%)	AF totales (µg/kg) temporada húmeda	Cumple (Si/No)	CHE (%)	AF totales (µg/kg) temporada secada	Cumple (Si/No)
1	Agricultor de subsistencia (sacos o barriles de acero)						
2	Agricultor de subsistencia (tapancos, trojes o silos de metal / cemento)						
3	Gran almacenador (silo)						
No	Sistema de almacenamiento 4 (mercado comunal)	CHE (%)	(µg/kg) temporada húmeda	Cumple (Si/No)	CHE (%)	(µg/kg) temporada secada	Cumple (Si/No)
1	Ocratoxina						
2	Aflatoxinas totales						
3	Deoxinivalenol						
4	Zearalenona						
5	Fumonisina B1						
6	Fumonisina B2						
7	Toxinas HT2 y T2						
Realizado por:			Revisado Por:				
Fecha:			Fecha:				

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Ejemplo de cromatograma de aflatoxinas en maíz**



Fuente: Notijenck (2021). *Boletín de novedades de Jenck*. Consultado el 8 de septiembre 2021.

Recuperado de <https://www.notijenck.com.ar/aplicaciones/uflc-analisis-de-aflatoxinas-con-cromatografia-liquida-de-alta-velocidad-y-alta-resolucion>.

9.9. Fase 6: presentación y discusión de resultados

Ejecutados los protocolos de calificación, se emitirá un dictamen del porcentaje de cumplimiento de cada uno de los criterios para elaborar las recomendaciones orientadas como oportunidades de mejora. Los resultados del PQ validará no obstante las desviaciones existentes en los protocolos DQ, IQ y OQ, el sistema de almacenamiento evaluado cumple con el nivel de aflatoxinas y fumonisinas declarado en la normativa nacional e internacional y si etapas posteriores de tratamiento como la nixtamalización y cocción, podrían reducir los niveles detectados a valores aceptables para el consumo humano; con esta información, será posible determinar si la incidencia de estas micotoxinas constituye o no un peligro químico en la etapa de almacenamiento en los sistemas evaluados de la comunidad seleccionada.

Las recomendaciones serán compartidas con el técnico de campo de la DISAM en el municipio La Libertad, Petén.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Se utilizará la técnica de investigación cualitativa de la observación documentado los resultados en tablas de contingencia como herramienta de recolección. Para el análisis estadístico, se utilizará el software Minitab® 18 y el análisis de capacidad de proceso como herramienta estadística:

10.1. Herramientas de recolección

En cada sistema de almacenamiento será evaluado el riesgo por peligro químico de aflatoxinas utilizando la metodología HACCP y serán calificados acorde al cumplimiento de las recomendaciones de la FAO; los resultados se documentarán en tablas de contingencia por cada uno de los cuatro sistemas de almacenamiento estudiados en una única evaluación estacional:

- Tablas de análisis de peligros HACCP
- Tablas de análisis de probabilidad y severidad HACCP
- Tablas de árbol de decisión HACCP
- Tablas de puntos críticos de control HACCP
- Tablas de calificación del diseño, instalación, operación y desempeño

Se utilizarán tablas de contingencia para documentar las variables temperatura de almacenamiento, humedad de almacenamiento, contenido de humedad de equilibrio (CHE) y concentración de micotoxinas en temporada húmeda y seca; el valor de CHE reportado en estas tablas será el máximo valor CHE identificado mediante la herramienta estadística y que corresponde al punto de muestreo para el análisis de micotoxinas:

- Tablas de temperatura de almacenamiento, humedad de almacenamiento, CHE y concentración de aflatoxinas para los sistemas de almacenamiento 1 al 3.
- Tablas de temperatura de almacenamiento, humedad de almacenamiento, CHE y concentración de micotoxinas para el sistema de almacenamiento 4.

En el caso de la variable concentración de micotoxinas, adicionalmente se utilizarán gráficos resultantes de la metodología analítica LS/MS denominados cromatogramas:

- Cromatogramas aflatoxinas totales sistemas de almacenamiento 1 al 3.
- Cromatograma barrido de micotoxinas sistema de almacenamiento 4.

10.2. Herramientas estadísticas

El análisis estadístico se aplicará a la variable CHE en temporada húmeda y seca, utilizando las siguientes herramientas estadísticas:

- Gráfico de identificación de la distribución de los CHE por sistema de almacenamiento.
- Gráfico de transformación de los CHE para que sigan una distribución normal por sistema de almacenamiento (si aplica).
- Gráfico de control para la evaluación de la estabilidad del sistema de almacenamiento para datos normales o ajustados a la distribución normal por sistema.
- Histogramas y gráficos de capacidad del proceso comparando la magnitud de la variación del proceso con el ancho de los límites de especificación.
- Índices de capacidad de proceso a largo plazo (P_p).

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

A continuación, en la tabla XXXIII se presenta un detalle de los gastos que se proyectan para la realización del estudio:

Tabla XXXIII. **Recursos necesarios para la investigación**

No.	Proveedor	Descripción	Valor (USD)	Cantidad	Total (USD)
1	AGQ-DISAGRO	Aflatoxina B1, B2, G1, G2 código ML-8000	136,27	6	817,62
2	AGQ-DISAGRO	Aflatoxinas, deoxinivalenol, fumonisinas B1, B2, ocratoxinas, toxina HT2, toxina T2, zearalenona código ML-9001	300,00	2	600,00
3	TAG Guatemala	Vuelo GUA - FRS y FRS - GUA	86,01	2	172,02
4	Merck Centro	Termohigrómetro digital 25-95% HR 0-50°C doble memoria Max/Min código VWRI35519-047	86,66	1	86,66
5	Amazon USA	AMTAST Medidor de humedad de grano para 17 granos	175,83	1	175,83
6	AirBnB	Hospedaje Flores Petén	39,00	2	78,00
7	Shell	Gasolina / Diesel para carro en préstamo DISAM-MAGA	50,00	2	100,00
8	USAC	Servicios honorarios asesor	321,34	1	321,34
Total (USD)					2 351,47
Total (Q) tasa de cambio 7,74					18 200,38

Fuente: elaboración propia.

Los gastos serán sufragados en su totalidad por el estudiante. Dado que la cantidad es asequible, la realización del estudio es posible. A continuación, se presenta en la tabla XLV, un cronograma de la ejecución de la investigación a desarrollar. Este se presenta de acuerdo con las fases definidas en la metodología:

Tabla XXXIV. Cronograma de la investigación

Actividad	2022					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Fase 1: Exploración bibliográfica	■					
Fase 2: Calificación de los sistemas de almacenamiento de granos de maíz		■				
Fase 3: Calificación del diseño e instalación			■	■		
Fase 4: Calificación de la operación			■	■		
Fase 5: Calificación del desempeño			■	■	■	
Fase 6: Presentación y discusión de resultados						■

Fuente: elaboración propia.

REFERENCIAS

1. Acuña, N.; Salinas, P. y Valles, N. (febrero, 2014). Determinación de aflatoxinas en productos derivados de cereales de consumo humano en Mercados de Trujillo, Perú. *Revista REBIOLEST*, 2(2), 5-11.
2. Argueta, J. (2016). *Relación entre el consumo de maíz contaminado con aflatoxinas y el retardo del crecimiento en niños. Estudio analítico realizado en el municipio de San Miguel Panán, Suchitepéquez agosto-septiembre 2016*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6348/>.
3. Codex Alimentarius (2020). *General Principles of Food Hygiene CX 1-1969*. Italia: FAO.
4. Codex Stan 153-1985 (2019). *Codex standard for maize (CORN)*. Italia: FAO.
5. Dávila, A. (2016). *Guía del proceso de nixtamalizado del maíz blanco en la industria tortillera guatemalteca*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_4013.pdf.
6. Díaz, P. (2019). *Determinación de aflatoxinas en maíz (Zea maíz Vell) almacenado en tapancos diagnóstico en tres comunidades y servicios en 13 comunidades del Municipio de Tacaná, del Departamento de San Marcos, Guatemala, C.A.* (Tesis de licenciatura). Universidad de

San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/11858/>.

7. Franco, M. (2015). *Elaboración de un mapa de clasificación climática para Guatemala*. (Tesis de licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/06/15/Franco-Gabriela.pdf>.
8. Jáuregui, R. (2020). *Determinación del metabolito tóxico aflatoxina M1 en la leche fluida en fincas tradicionales de producción láctea bovina en el departamento de Chiquimula*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/prunian/INF-2019-08.pdf>.
9. Martínez, M.; Vargas, L. y Gómez, V. (2013). *Aflatoxinas: incidencia, impactos en la salud, control y prevención*. Colombia: Normas Editoriales.
10. Mendoza, J. (2021). *Efecto de la Nixtamalización en Maíz Contaminado con Micotoxinas*. (Tesis doctoral). Universidad de Nebraska–Lincoln y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estados Unidos. Recuperado de <https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g2329s.pdf>
11. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2018). *Informe de situación de maíz blanco*. Guatemala: MAGA Planeamiento.

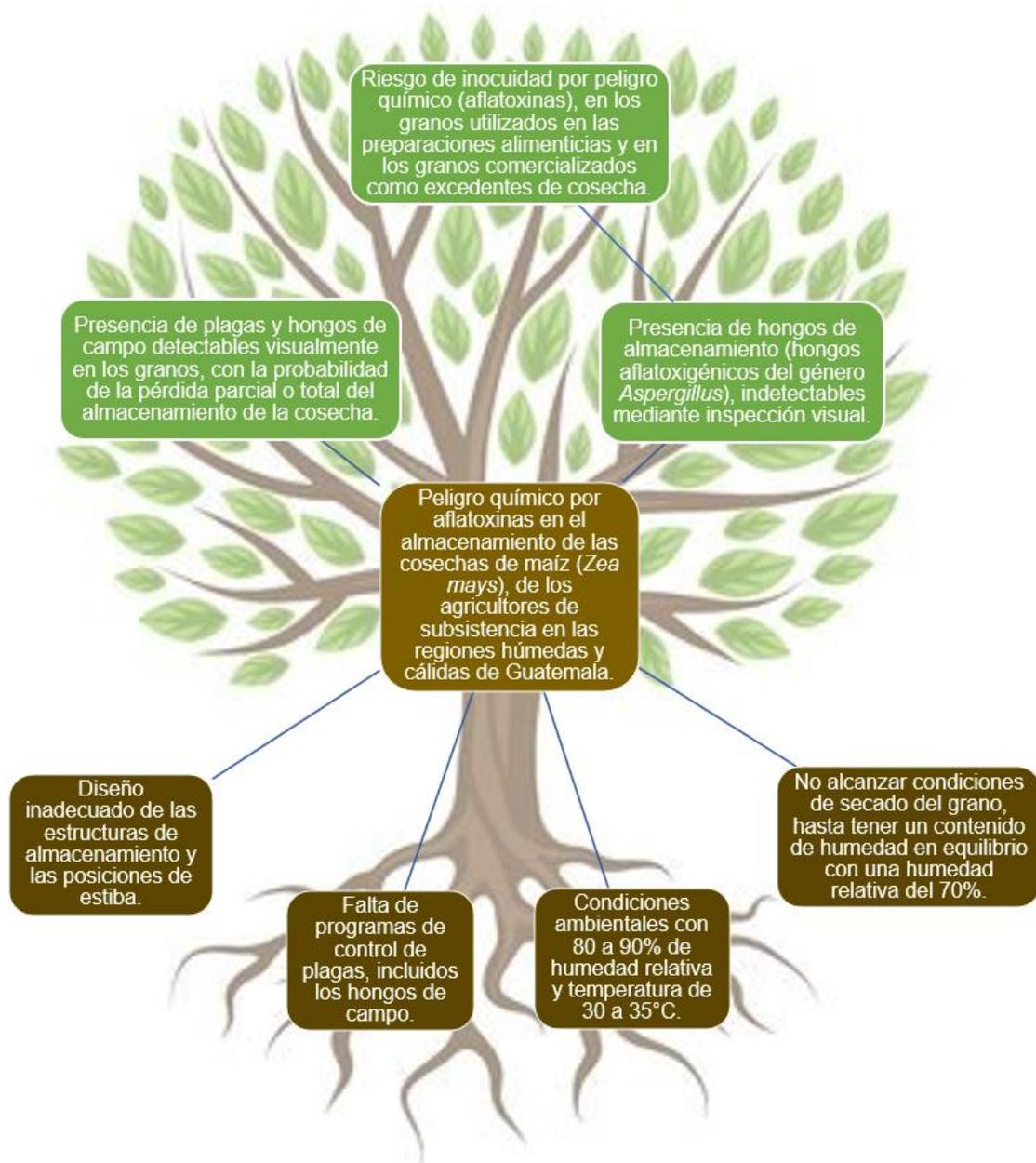
12. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2020). *Programa de agricultura familiar para el fortalecimiento de la economía campesina*. Guatemala: MAGA.
13. National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods [NACMCF] (mayo 1998). Hazard Analysis and Critical Control Point Principles and Application Guidelines. *Journal of Food Protection*, 61(9), 1246-1259.
14. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1993). *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural*. FAO: No. F019. 018.
15. Organización Panamericana de la Salud (1996). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica*. Guatemala: Autor.
16. Palencia, E.; Torres, O.; Hagler, W.; Meredith, F. I.; Williams, L. D. y Riley, R. T. (febrero, 2003). Total fumonisins are reduced in tortillas using the traditional nixtamalization method of Mayan communities. *The Journal of nutrition*, 133(10), 3200-3203.
17. Sánchez, I. y Pérez-Urria, E. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *REDUCA Biología*, 7(2), 151-171.
18. Salazar, L. (2008). *Determinación de la presencia de aflatoxinas en granos de maíz (*Zea mays*) producidos en Petén y distribuidos en la Central de Mayoreo de la ciudad capital, y elaboración de un Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (APPCC)*. (Tesis de licenciatura).

Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2684.pdf

19. The Food Processors Institute (1999). *Hazard Analysis and Critical Control Points, A Systematic Approach to Food Safety*. Washington, D.C., Estados Unidos: TFPI.

APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol del problema



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	PLAN DE ACCIÓN
<p>Pregunta principal</p> <p>¿Son los sistemas actuales de almacenamiento para las cosechas de maíz (<i>Zea mays</i>) de los agricultores de subsistencia en la región húmeda y cálida de Guatemala, capaces de reducir o mitigar el riesgo asociado al peligro químico por aflatoxinas?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Demostrar si los sistemas de almacenamiento para las cosechas de maíz de los agricultores en el municipio La Libertad Petén Guatemala, son capaces de reducir o mitigar el riesgo asociado al peligro químico por aflatoxinas.</p>			
<p>Preguntas auxiliares</p> <p>1. ¿Es el diseño de los sistemas de almacenamiento actuales acorde a las recomendaciones de la FAO para las zonas con agricultores guatemaltecos de subsistencia en regiones húmedas y cálidas?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>1. Calificar los sistemas de almacenamiento de granos de maíz para verificar si cumplen con las recomendaciones de la FAO.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura y humedad relativa de almacenamiento. - Temperatura y humedad relativa del sitio donde se encuentra el almacenamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Documentación de la calificación del diseño, instalación, operación y desempeño mediante protocolo estandarizado acorde a FAO. - Determinaciones psicométricas mediante termohigrómetro calibrado. 	<p>Adquisición termohigrómetro (1 día). Septiembre 2021. Proveedor Merck GT.</p> <p>Determinaciones psicométricas (3 días en octubre 2021 - temporada de lluvias y 3 días en abril 2022 - temporada húmeda y cálida).</p>
<p>2. ¿Son los programas o controles de plagas establecidos en los sistemas de almacenamiento adecuados?</p>	<p>2. Verificar que el sistema de gestión de plagas establecido en los sistemas de almacenamiento cumple con las características de diseño para el control operativo esperado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Barreras físicas. - Cordón sanitario (trampas y estaciones de cebado). - Sistema de fumigación y rotación de pesticidas. - Concentraciones de uso de pesticidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificación y documentación mediante protocolo estandarizado acorde a FAO. 	<p>Verificaciones (3 días en octubre 2021 - temporada de lluvias y 3 días en abril 2022 - temporada húmeda y cálida).</p>

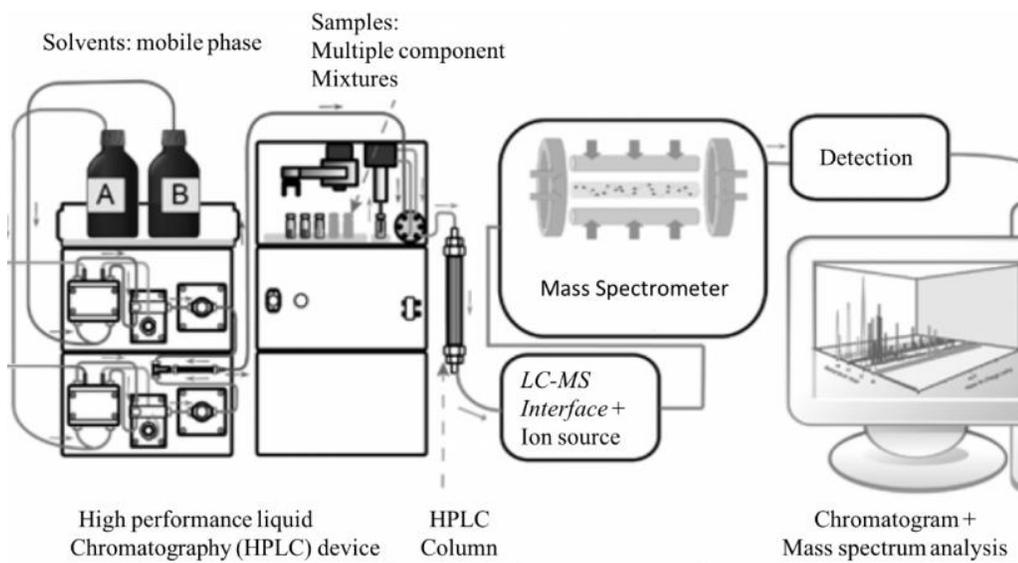
Continuación apéndice 2.

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	PLAN DE ACCIÓN
3. ¿Es adecuada la humedad de los granos de maíz al final de la etapa de secado y al momento de ingresarlos a la etapa de almacenamiento?	3. Determinar el contenido de humedad de equilibrio de los granos de maíz en la etapa de almacenamiento para comprobar la correcta aplicación de buenas prácticas de almacenamiento.	- Porcentaje de humedad en el grano.	- Determinación de cantidad de resistencia eléctrica o de la constante dieléctrica de los granos mediante medidores de humedad calibrados.	Adquisición de medidor de humedad de grano (30 días). Septiembre 2021. Proveedor Amazon EE. UU. Determinaciones de humedad en sitio (3 días en octubre 2021 - temporada de lluvias y húmeda y 3 días en abril 2022 - temporada húmeda y cálida).
4. ¿Son los niveles de aflatoxinas en los granos de maíz almacenados en las regiones húmedas y cálidas de Guatemala aceptables acorde a los límites internacionales antes de su transformación y consumo?	4. Estimar los niveles de aflatoxinas de los granos de maíz en los sistemas de almacenamiento para validar si se encuentran dentro de los límites permitidos.	- Concentración en ppb de aflatoxinas totales (B1, B2, G1, G2). - Barrido de otras micotoxinas (ocratoxina, deoxinivalenol, zearalenona, fumonisinas y toxinas HT2 y T2) concentración en ppb.	- Determinación de cantidad de sustancia mediante LC/MS validada.	Recolección de 4 diferentes muestras en La Libertad Petén junto con técnico de campo DISAM (3 días en octubre 2021 - temporada de lluvias y húmeda y 3 días en abril 2022 - temporada húmeda y cálida). Análisis. Proveedor AGQ Labs (EE. UU.) DISAGRO. Código de análisis: ML-9001 (Barrido de Micotoxinas). Tiempo de entrega de resultados: 15 días hábiles.

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Esquema de operación de un sistema LC/MS



Fuente: Newsvet (2021). *Cromatografía*. Consultado el 8 de septiembre de 2021. Recuperado de http://newsvet.com.br/wp-content/uploads/2020/06/Liquid_Chromatography_Mass_Spectrometer-1200x675.png.