Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

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

Ing. Alberto Isaac Pineda Barillas
Asesorado por el Mtro. Lic. Maynor Alfredo Ordoñez Gutiérrez

Guatemala, agosto de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

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

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

GUATEMALA, AGOSTO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Hilda Piedad Palma de Martini
EXAMINADORA	Mtra. Licda. Blanca Azucena Méndez Cerna
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:

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.

Ing. Alberto Isaac Pineda Barillas

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.591.2023

El Decano 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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **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: **Ing. Alberto Isaac Pineda Barillas,** que pertenece al programa de Maestría en artes en Ciencia y tecnología de alimentos después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO a.i.
Facultad de Ingeniería

Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.

Guatemala, agosto de 2023

AACE/gaoc

Guatemala, agosto de 2023

LNG.EEP.OI.591.2023

En mi calidad de Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

"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 **Ing. Alberto Isaac Pineda Barillas** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ciencia y tecnología de alimentos** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
ESCUELA DE POSTGRADO

Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Guatemala, 27 de septiembre de 2022

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** 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** del estudiante **Alberto Isaac Pineda Barillas** quien se identifica con número de carné **200011434** del programa de Ciencia Y Tecnologia De Los Alimentos.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el ***Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014.*** Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
DE GUATEMALA

Mtra. Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
Coordinador
Ciencia Y Tecnologia De Los Alimentos
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 27 de septiembre de 2022

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrados
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"DISEÑO DE INVESTIGACIOÓN 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"** del estudiante **Alberto Isaac Pineda Barillas** del programa de **Ciencia y Tecnologia De Los Alimentos** identificado(a) con número de carné 200011434.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

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

Lic. Maynor Alfredo Ordoñez Gutierrez MAI
Colegiado No. 1281
Asesor de Tesis

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 efímero 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 culminar la presente 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 VII
LISTA DE SÍMBOLOS XI
GLOSARIO XIII
RESUMEN XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA XIX
OBJETIVOS XXIII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO XXV
INTRODUCCIÓN XXVII

1. MARCO TEÓRICO 1
   1.1. Antecedentes 1
   1.2. Generalidades del maíz (*Zea mays*) 5
      1.2.1. Taxonomía 5
      1.2.2. Morfología 6
      1.2.3. Composición química 7
      1.2.4. Composición nutriciona 8
      1.2.5. *Codex alimentarius* 10
      1.2.6. Regiones de cultivo en Guatemala 11
      1.2.7. Clasificación climática de Thornthwaite 13
   1.3. Etapas del proceso de producción, distribución y transformación 17
      1.3.1. Etapa de siembra 17
      1.3.2. Etapa de cosecha 17
      1.3.3. Etapa de secado 18
      1.3.4. Etapa de almacenamiento 18

1.3.5. Etapa de distribución 18
1.3.6. Etapa de transformación (nixtamalización y cocción) 19
1.4. Cambios bioquímicos 19
1.4.1. Germinación 19
1.4.2. Respiración del grano 20
1.5. Curva de secado 20
1.6. Agricultura de subsistencia en Guatemala 20
1.6.1. Tipos de agricultura familiar 21
1.7. Sistemas de almacenamiento de maíz 22
1.7.1. Diseño acorde a Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 22
1.7.2. Buenas prácticas de almacenamiento 23
1.7.3. Almacenamiento de granos en propiedades rurales 23
1.7.4. Calificación de sistemas de almacenamiento 25
1.8. Preparaciones alimenticias a partir de maíz (*Zea mays*) 25
1.8.1. Programa Mundial de Alimentos (PMA 25
1.8.2. Estadísticas de pérdida parcial o total de cosechas en Guatemala 26
1.8.3. Impacto económico en Guatemala 26
1.9. Aflatoxinas (AF) 27
1.9.1. Aflatoxinas totales (B1, B2, G1, G2) 27
1.9.2. Fumonisinas de la serie B 28
1.9.3. Actividad tóxica en humanos y animales de crianza 30
1.9.4. Otras micotoxinas de importancia 30

1.9.5. Reducción de AF y F en granos de maíz (*Zea mays*) 31
1.9.6. Métodos de determinación de cantidad de aflatoxinas 32
1.9.7. Caja azul del Programa Mundial de Alimentos (PMA) 34
1.10. Análisis de peligros químicos por aflatoxinas en granos de maíz 34
1.10.1. Principio 1: análisis de peligros 35
1.10.2. Principio 2: puntos de control PC y puntos críticos de control PCC 35
1.10.3. Principio 3: límites críticos 36
1.10.4. Principio 4: monitoreo (vigilancia) 36
1.10.5. Principio 5: acciones correctivas 36
1.10.6. Principio 6: verificación 36
1.10.7. Principio 7: documentación 36
1.11. Marco normativo 38
1.11.1. Nacional 38
1.11.2. Internacional 39

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN 41
2.1. Sistemas de almacenamiento de acuerdo con FAO 41
2.1.1. Diagrama de proceso 45
2.1.2. Análisis de peligros y puntos críticos de control 45
2.1.3. Esquema de calificación 47
2.1.4. Calificación del diseño y la instalación 48
2.2. Contenido de humedad de equilibrio y gestión de plagas 49
2.2.1. Calificación de la operación 49

2.2.2. Determinación del contenido de humedad de equilibrio 50
2.2.3. Análisis de la capacidad del sistema de almacenamiento 52
2.2.4. Gestión de plagas 53
2.3. Análisis de aflatoxinas 53
2.3.1. Calificación del desempeño 53
2.3.2. Determinación de cantidad de aflatoxinas LC/MS .. 54
2.3.3. Barrido de micotoxinas LC/MS 55

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 57
3.1. Calificación de los sistemas de almacenamiento de acuerdo con FAO 57
3.1.1. Resultados posicionamiento satelital La Libertad .. 57
3.1.2. Identificación de la etapa de almacenamiento en el diagrama de proceso 59
3.1.3. Resultados análisis de peligros y puntos críticos de control para la etapa de almacenamiento 60
3.1.4. Resultados calificación del diseño y la instalación .. 65
3.2. Resultados gestión de plagas y CHE 75
3.2.1. Resultados calificación de la operación 75
3.3. Resultados análisis de aflatoxinas .....
3.3.1. Resultados calificación del desempeño 84

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 89

CONCLUSIONES 93
RECOMENDACIONES 95
REFERENCIAS 97

APÉNDICES.....101
ANEXOS 113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1. Mapa de producción de maíz a nivel municipal 13
Figura 2. Mapa climático Guatemala SIG-MAGA 16
Figura 3. Sistemas de almacenamiento FAO 23
Figura 4. Estructura química de AF serie B 28
Figura 5. Estructura química de las fumonisinas 29
Figura 6. Distribución de toma de muestra acorde a geometría 43
Figura 7. GPS Garmin eTrex® 30 44
Figura 8. Preguntas del árbol de decisión HACCP 46
Figura 9. Analizador de CHE marca AMTAST modelo AMT155 51
Figura 10. Termohigrómetro digital 35519-047 VWR® 52
Figura 11. Esquema de operación de un sistema LC/MS 55
Figura 12. Gráfico altura msnm (m) versus distancia (km) 57
Figura 13. Resultados distancia recorrida desde San Benito a La Libertad ..58
Figura 14. Diagrama producción, distribución y consumo de maíz 59

TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz 6
Tabla 2. Composición de las partes del grano de maíz 8
Tabla 3. Composición nutricional del grano de maíz fresco 9
Tabla 4. Especificaciones del maíz CODEX STAN 153-1985 10
Tabla 5. Producción de maíz blanco Guatemala 12
Tabla 6. Clasificación climática Thornthwaite 14

Tabla 7. Zonificación climática de Guatemala SIG-MAGA.....14
Tabla 8. Tiempo seguro en días de almacenamiento FAO.....24
Tabla 9. CHE para el almacenamiento de granos y cereales FAO.....24
Tabla 10. Propiedades químicas de aflatoxinas 27
Tabla 11. Propiedades químicas de fumonisinas 30
Tabla 12. Sistemas de almacenamiento seleccionados 41
Tabla 13. Criterio de muestreo para sacos.....42
Tabla 14. Criterio de muestreo a granel 43
Tabla 15. Cantidad de muestras para CHE por sistema.....44
Tabla 16. PC y PCC.....47
Tabla 17. Criterios protocolo DQ 48
Tabla 18. Criterios protocolo IQ.....49
Tabla 19. Criterios protocolo OQ.....50
Tabla 20. Características metrológicas analizador CHE AMT155 51
Tabla 21. Características termohigrómetro 35519-047 VWR®.....52
Tabla 22. Criterios protocolo PQ 54
Tabla 23. Micotoxinas cuantificables método ML-9001 AGQ Labs.....55
Tabla 24. Resultados análisis de peligros HACCP.....60
Tabla 25. Matriz de asignación factores de probabilidad y severidad.....61
Tabla 26. Resultados de análisis de probabilidad y severidad HACCP 61
Tabla 27. Resultados de árbol de decisión HACCP 62
Tabla 28. Resultados de PCC HACCP.....64
Tabla 29. Resultados protocolo DQ-1 65
Tabla 30. Resultados protocolo IQ-1.....69
Tabla 31. Resultados protocolo IQ-2.....71
Tabla 32. Resultados protocolo OQ-1.....76
Tabla 33. Resultados protocolo OQ-2.....82
Tabla 34. Trazabilidad muestra – determinación analítica.....84
Tabla 35. Condiciones psicrométricas de las muestras analizadas 84

Tabla 36. Resultados protocolo PQ-1 M1102021 85
Tabla 37. Resultados protocolo PQ-1 M2102021 86
Tabla 38. Resultados protocolo PQ-1 M3102021 86
Tabla 39. Resultados protocolo PQ-1 M4102021 87
Tabla 40. Resumen de cumplimiento protocolos de calificación 88

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
P_{pk}	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
m^3	Metro cúbico
msnm	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 (*Association of Official Analytical Chemists*).
CHE	Contenido de humedad de equilibrio.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
CUDEP	Centro Universitario de Petén.
DQ	Calificación del diseño (*design qualification*).
ECN	Comité Europeo de Normalización (*Comité Européen de Normalisation*).
ELISA	Ensayo por inmunoadsorción ligado a enzimas (*enzyme linked immuno sorbent assay*).
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
GC	Cromatografía de gases (*gas chromatography*).
HACCP	Análisis de peligros y puntos críticos de control.

HPLC	Cromatografía líquida de alta resolución (*high performance liquid chromatography*).
IAS	Servicio de Acreditación Internacional (*International Accreditation Service*).
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas.
IQ	Calificación de la instalación (*installation qualification*).
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 (*International Organization for Standardization*).
JECFA	Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios.
LC/MS	Cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (*liquid chromatography / mass spectrometry*).
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

NACMCF	Comité Asesor Nacional sobre Criterios Microbiológicos para Alimentos (*National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods*).
OMS	Organización Mundial de la Salud.
OQ	Calificación de la operación (*operational qualification*).
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 (*performance qualification*).
SIG-MAGA	Sistema de Información Geográfica del MAGA.

RESUMEN

El presente estudio seleccionó el municipio en Guatemala que aporta el mayor porcentaje en cultivo del grano y que paralelamente posee las condiciones climáticas propicias para la generación de hongos aflatoxigénicos, para demostrar si los sistemas de almacenamiento de las cosechas de maíz de los agricultores en el municipio La Libertad, Petén, son capaces de reducir o mitigar el riesgo asociado al peligro químico por aflatoxinas.

Se establecieron cuatro etapas de calificación acorde a FAO para inspeccionar el diseño, la instalación, la operación (sistema de plagas y capacidad del sistema de mantener a largo plazo la humedad de equilibrio en el grano) y el desempeño determinando micotoxinas mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas.

Se demostró que, de los cuatro sistemas de almacenamiento de maíz blanco estudiados, sólo el sistema tres (gran almacenador) cumplió con el 100 % de los criterios declarados en todas las etapas de calificación. El sistema uno (agricultor de subsistencia venta) cumplió con el 100 % de los criterios de desempeño, pero con desviaciones del 65 %, 54 % y 37 % para los criterios de diseño, instalación y operación respectivamente por lo cual se encuentra calificado con desviaciones. Los sistemas dos (agricultor de subsistencia consumo familiar) y cuatro (mercado comunal) no cumplen con los criterios de desempeño, por lo que no se encuentran calificados.

Con respecto a la presencia de aflatoxinas totales, el sistema uno y tres se desempeñan correctamente porque los niveles cumplen con los límites

establecidos en la regulación nacional con valores reportados menores a 1 µg/kg y 10 µg/kg ± 26 % respectivamente. Los sistemas dos y cuatro no cumplieron con los requisitos de la calificación del desempeño, con valores de aflatoxinas totales de 1 978 y 1 024 µg/kg ± 26 % respectivamente.

Para el sistema cuatro donde se realizó un barrido completo de micotoxinas, las concentraciones de fumonisinas superaron incluso a las de las aflatoxinas totales en la misma muestra en una relación aproximada de 5 a 1, por lo que se recomienda ampliar las investigaciones para fumonisinas de la serie B, su riesgo por peligro químico y propuestas de límites para la regulación nacional así como medidas de capacitación y entrenamiento en sistemas de almacenamiento a los agricultores del municipio estudiado.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

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 µg/kg para AFB1 y de 4 a 15 µg/kg 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 per húmedas 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 adecuado 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?

OBJETIVOS

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.

Específicos

1. Calificar los sistemas de almacenamiento de granos de maíz para verificar si cumplen con las recomendaciones de la FAO.

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.

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.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Se realizó un estudio de tipo cuantitativo descriptivo, recolectando datos a pequeña escala de maíz blanco almacenado en cuatro instalaciones distintas del municipio La Libertad en Petén, Guatemala. El diseño fue de tipo experimental transeccional descriptivo, ya que se recolectaron datos en un único momento para la calificación de los sistemas de almacenamiento. Las muestras fueron probabilísticas para la determinación de contenido de humedad de equilibrio y no probabilísticas para la determinación de aflatoxinas.

Se elaboró un diagrama de proceso con las etapas del proceso de producción, distribución y consumo. Se aplicó HACCP a la etapa de almacenamiento y se elaboraron protocolos de calificación de diseño DQ, instalación IQ, operación OQ y desempeño PQ, de los sistemas utilizados en esta etapa del proceso. Se aplicaron los protocolos DQ e IQ validando cada uno de los criterios de calificación establecidos por la FAO. Las desviaciones detectadas se declararon en el informe de calificación. El acompañamiento de campo se realizó con el técnico de campo asignado por el CUDEP-MAGA en el departamento de Petén, municipio La Libertad.

En el OQ, se evaluó que las instalaciones del sistema de almacenamiento operan bajo las especificaciones establecidas; en este sentido, se evaluó la operación del sistema de control de plagas y el perfil de CHE como variable crítica de la operación global que incluye protección contra la intemperie, hermeticidad, recirculación de aire fresco, integridad de la estructura, entre otros. La operación fue evaluada a las condiciones psicrométricas ambientales en octubre de 2021.

Se realizó 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.

El análisis estadístico de la capacidad de los sistemas de almacenamiento para cumplir con las especificaciones de producto terminado se realizó identificando la distribución de los datos, la estabilidad y la capacidad del proceso a largo plazo.

El desempeño de los sistemas de almacenamiento PQ se evaluó con la variable concentración de micotoxinas a las condiciones psicrométricas ambientales de la estación evaluada en octubre de 2021. El muestreo del grano para el barrido de micotoxinas se realizó en el punto con el mayor valor CHE resultante del OQ; debido a el costo de este análisis, este se seleccionó como el peor de los casos para cada sistema. Se utilizó un análisis de micotoxinas acreditado ISO 17025 por la entidad norteamericana IAS, mediante la técnica instrumental LC/MS. Ejecutados los protocolos de calificación, se emitió un dictamen del porcentaje de cumplimiento de cada uno de los criterios.

INTRODUCCIÓN

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. El proceso de preparaciones alimenticias a partir de maíz blanco incluye las etapas de 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.

Esta situación se amplifica en las regiones del país donde existen zonas per húmedas y húmedas; ubicadas en la franja transversal del norte y boca costa acorde al MAGA. 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.

Esta investigación aplicó el concepto de calificación utilizando protocolos que evaluaron el diseño, instalación, operación y desempeño de los sistemas de almacenamiento de maíz, para 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 han incluido mediciones del contenido de humedad de equilibrio y el nivel de aflatoxinas se ha cuantificado con metodologías analíticas diferentes a la LC/MS. Se utilizó 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: agricultor de subsistencia venta (sistema 1), agricultor de subsistencia consumo familiar (sistema 2), gran almacenador (sistema 3) y mercado comunal (sistema 4). Para todos los sistemas estas calificaciones se realizaron una única vez.

En el capítulo 1 se presenta el marco teórico que incluye los antecedentes de la investigación y una exploración bibliográfica de los temas como base teórica de la aplicación propuesta. En el capítulo 2, se presenta el desarrollo de la investigación donde se detalla el procedimiento para la calificación de los sistemas de almacenamiento de acuerdo con la FAO; la metodología para la medición del contenido de humedad de equilibrio y la gestión de plagas y el análisis de aflatoxinas. En el capítulo 3 se realizó la presentación de los resultados más relevantes de la investigación para luego discutirlos en el capítulo 4.

Se demostró que, de los cuatro sistemas de almacenamiento de maíz blanco estudiados, sólo el sistema tres cumple con todos los criterios declarados en las recomendaciones de la FAO en todas las etapas de calificación. El sistema uno cumplió con los criterios de desempeño, pero con desviaciones para los criterios de diseño, instalación y operación, por lo cual se encuentra calificado con desviaciones. Los sistemas dos y cuatro no cumplieron con los criterios de desempeño por lo que no se encuentran calificados. En todos los sistemas a

excepción del sistema tres, deben ser aplicadas medidas correctivas para reducir o mitigar el riesgo asociado al peligro químico por aflatoxinas totales.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. 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 generan 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.

1.2. 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).

1.2.1. 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.

- Maíz dentado (*Zea mays identata Sturtev*), declarada en el CODEX STAN 153-1985.

- Maíz reventón (*Zea mays everta Sturtev*).

- Maíz harinoso (*Zea mays amilacea Sturtev*).

- Maíz ceroso (*Zea mays ceratina Kuleshov*).

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

La clasificación taxonómica del maíz es:

Tabla 1.

Clasificación taxonómica del maíz

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

Nota. Clasificación taxonómica del maíz. Obtenido de I. Sánchez & E. Pérez-Urria (2014). Maíz I (Zea mays). *Serie Botánica, 7*(2), 151. https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/ae41001e-474e-4d61-b12f-90f071ff82b1/content

1.2.2. 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 cariópside, 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 endospermo 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 pilorriza que es una pequeña estructura cónica encargada junto con el pedicelo de unir el grano a la espiga (Sánchez y Pérez-Urria, 2014).

1.2.3. Composición química

La composición química básica del grano de maíz se refleja en la tabla 2. 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 2.

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

Nota. Composición de las partes del grano de maíz. Obtenido de I. Sánchez & E. Pérez-Urria (2014). Maíz I (Zea mays). *Serie Botánica, 7*(2), 153. https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/ae41001e-474e-4d61-b12f-90f071ff82b1/content

1.2.4. 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 vitaminas 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.

Tabla 3.

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

Nota. Composición nutricional del grano de maíz fresco. Obtenido de Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (1996). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica*.

1.2.5. *Codex alimentarius*

El CODEX STAN 153-1985 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 4.

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, entre otros) 0.5 % m/m.
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.

Continuación de la tabla 4.

Factores	Especificación
Envasado	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.

Nota. Especificaciones del maíz. Elaboración propia, realizado con Word.

1.2.6. 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 5.

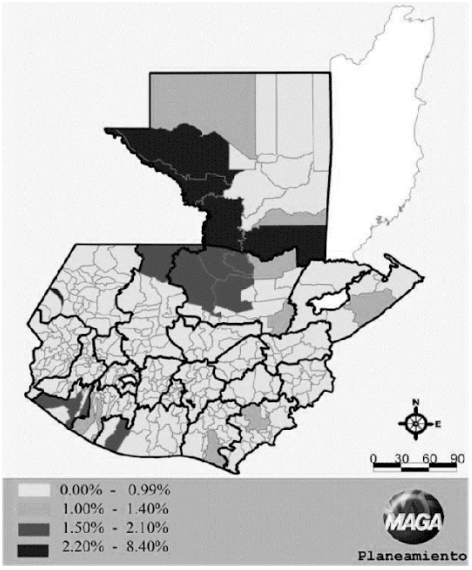
Producción de maíz blanco Guatemala

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

Nota. Producción de maíz blanco. Obtenido de Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2018). *Informe de situación de maíz blanco*. (p. 16).

Figura 1.

Mapa de producción de maíz a nivel municipal



Nota. Mapa de producción de maíz blanco. Obtenido de Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2018). *Informe de situación de maíz blanco*. (p. 16).

1.2.7. 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 6.

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

Nota. Sistema de clasificación Thornthwaite. Obtenido de M. Franco (2015). *Elaboración de un mapa de clasificación climática para Guatemala*. [Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar]. Archivo digital. http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/06/15/Franco-Gabriela.pdf.

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

Tabla 7.

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

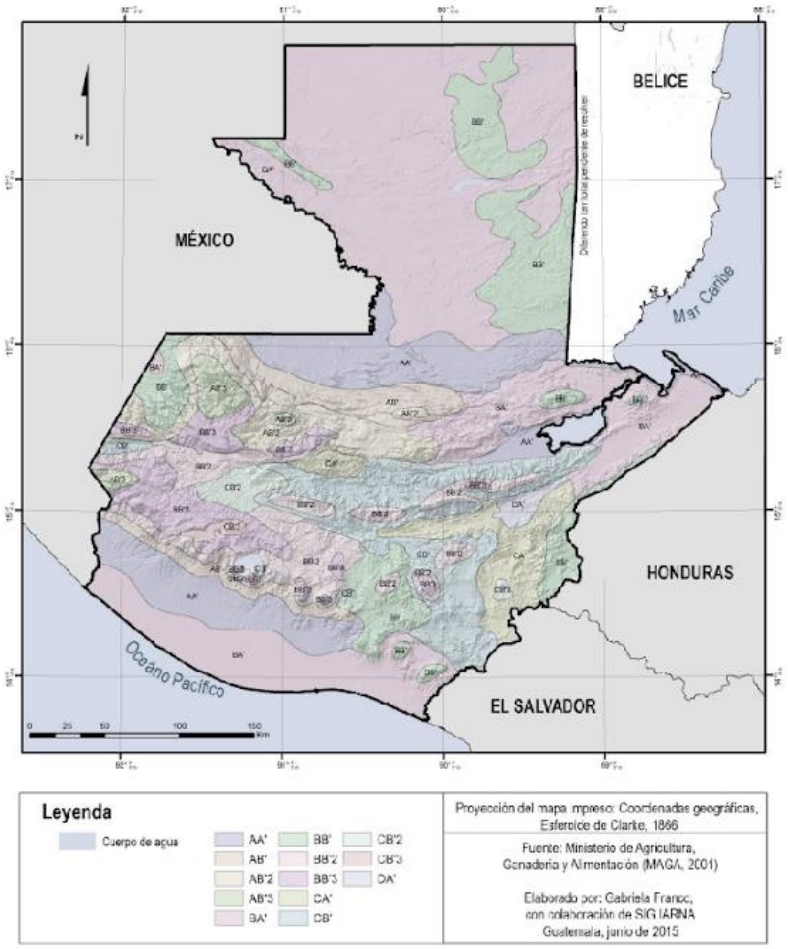
Continuación de la tabla 7.

Símbolo	Jerarquía de humedad	Jerarquía de temperatura	Vegetación natural característica
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

Nota. Zonificación climatica. Obtenido de M. Franco (2015). *Elaboración de un mapa de clasificación climática para Guatemala*. [Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar]. Archivo digital. http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/06/15/Franco-Gabriela.pdf.

Figura 2.

Mapa climático Guatemala SIG-MAGA



Nota. sistema de clasificación Thornthwaite. Obtenido de M. Franco (2015). *Elaboración de un mapa de clasificación climática para Guatemala*. [Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar]. Archivo digital. http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/06/15/Franco-Gabriela.pdf.

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 semi cálidas respectivamente.

1.3. 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.

1.3.1. 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.

1.3.2. 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.

1.3.3. Etapa de secado

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 %.

1.3.4. 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.

1.3.5. 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.

1.3.6. Etapa de transformación (nixtamalización y cocción)

La metodología de la nixtamalización es originaria de Mesoamérica. Este tratamiento químico consiste en una cocción en húmedo del grano de maíz utilizando hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$. 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 (Mendoza, 2021).

1.4. Cambios bioquímicos

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

1.4.1. 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 ºC donde la enzima desarrolla su mayor actividad comparada a 20 ºC.

1.4.2. 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.

1.5. 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.

1.6. 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.

1.6.1. Tipos de agricultura familiar

Existen 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.

1.7. 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.

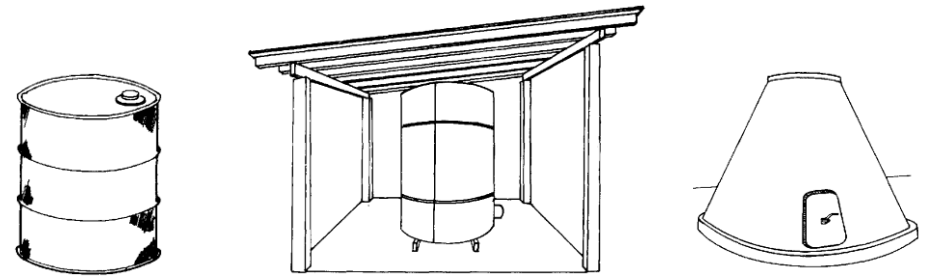
1.7.1. Diseño acorde a Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

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



Tambor metálico Silo metálico Silo cemento

Nota. Sistemas de almacenamiento. Obtenido de C. Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural*. (p. 162).

1.7.2. Buenas prácticas de almacenamiento

Se definen como las etapas de empacado, 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, Vargas & Gómez, 2013).

1.7.3. 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 8. El contenido de humedad antes de ser almacenado para diferentes tipos de cereales, granos y leguminosas se presenta en la tabla 9.

Tabla 8.

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

Nota. Tiempo en almacenamiento. Obtenido de C. Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural*. (p. 164).

Tabla 9.

CHE para el almacenamiento 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

Nota. Humedad de almacenamiento. Obtenido de C. Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural*. (p. 162).

1.7.4. 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.

1.8. 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).

1.8.1. 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.

1.8.2. 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).

1.8.3. 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 banco 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.

1.9. 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).

1.9.1. 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 10.

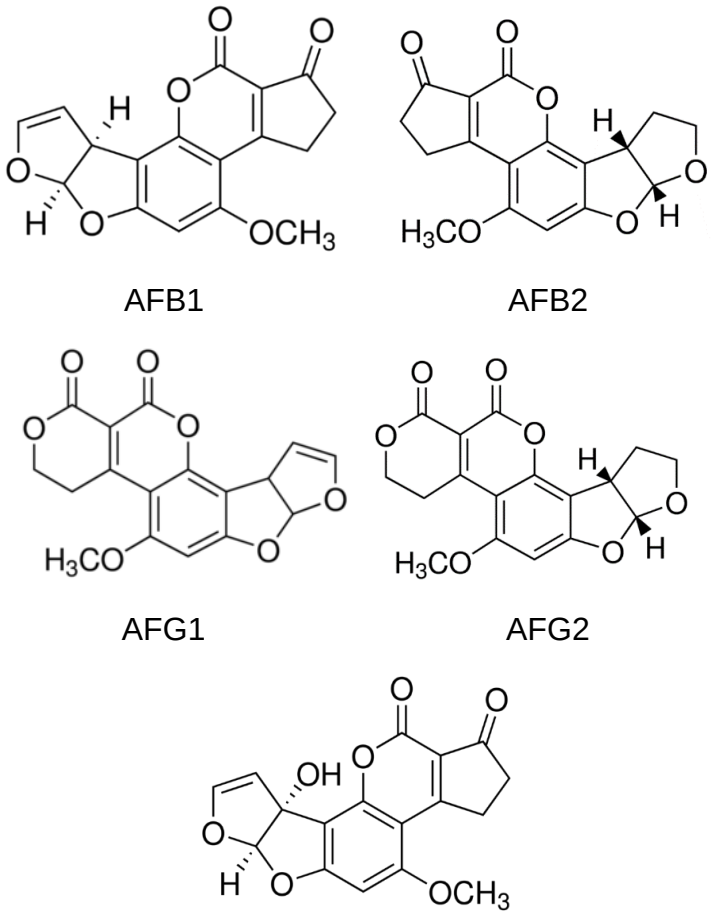
Propiedades químicas de aflatoxinas

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

Nota. Número de CAS, fórmula empírica y peso molecular de aflatoxinas. Obtenido de Sigma Aldrich (2021). *Aflatoxins*. (https://www.sigmaaldrich.com/), consultado el 31 de julio de 2021. De dominio público.

Figura 4.

Estructura química de AF serie B



Nota. Estructura molecular de aflatoxinas. Obtenido de Sigma Aldrich (2021). *Aflatoxins*. (https://www.sigmaaldrich.com/), consultado el 31 de julio de 2021. De dominio público.

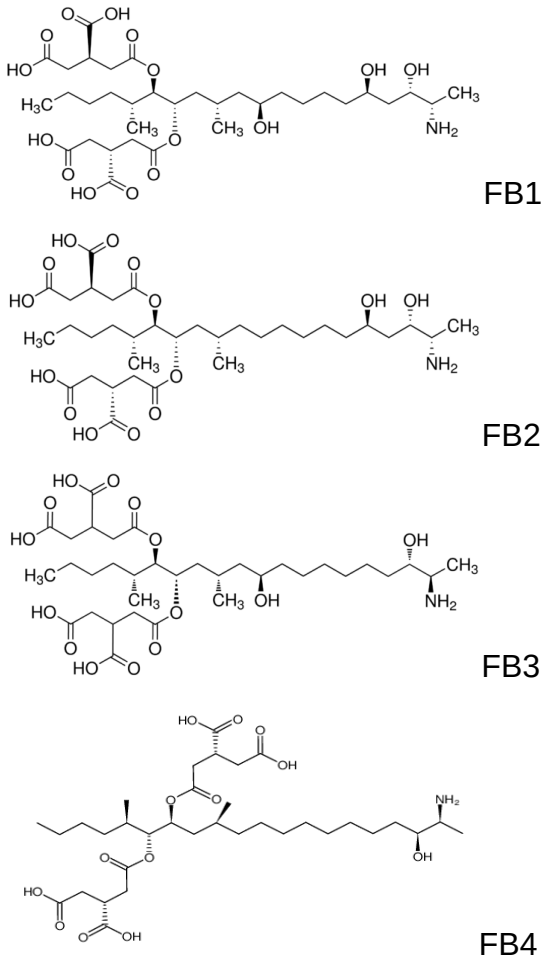
1.9.2. Fumonisinas de la serie B

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



Nota. Estructura molecular de fumonisinas. Obtenido de Sigma Aldrich (2021). *Fumonisins*. (https://www.sigmaaldrich.com/), consultado el 31 de julio de 2021. De dominio público.

Tabla 11.

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

Nota. Número de CAS, fórmula empírica y peso molecular de aflatoxinas. Obtenido de Sigma Aldrich (2021). *Fumonisins*. (https://www.sigmaaldrich.com/), consultado el 31 de julio de 2021. De dominio público.

1.9.3. 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.

1.9.4. 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.

1.9.5. 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, Vargas & Gómez, 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).

1.9.6. 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. 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 (Martínez, 2013).

- 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.

1.9.7. 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.

1.10. 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.

1.10.1. 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.

1.10.2. 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.

1.10.3. 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.

1.10.4. 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.

1.10.5. 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 (tional Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods, 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.

1.10.6. 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 colectar 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).

1.10.7. 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.

1.11. Marco normativo

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

1.11.1. 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 µg/kg de aflatoxinas totales, en almendras
- > 2 - 10 µg/kg de aflatoxinas totales, en maíz blanco y amarillo, harina de maní; harina de algodón, maní, mantequilla de maní y nueces de pistacho
- > 15 µg/kg de aflatoxinas totales en alimentos mezclados.

1.11.2. 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 µg kg^{-1} AFB1 y de 4 a 15 µg 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 μg 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 μg kg^{-1} de AF.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Sistemas de almacenamiento de acuerdo con FAO

Se seleccionaron cuatro sistemas de almacenamiento de mayor uso en el municipio La Libertad, Petén Guatemala; a continuación, la descripción de cada sistema de investigado:

Tabla 12.

Sistemas de almacenamiento seleccionados

Muestra / sistema	Sistema de almacenamiento	Forma de almacenamiento
1	Agricultor de subsistencia (venta La Libertad)	Saco de polipropileno
2	Agricultor de subsistencia (consumo familiar La Libertad)	Silo de metal
3	Grandes almacenadores (Santa Ana)	Silo industrial
4	Mercado comunal (San Benito)	Saco de polipropileno

Nota. Sistemas de almacenamiento. Elaboración propia, realizado con Word.

Para cada sistema, se hizo una revisión de todos los requisitos indicados por la FAO para considerarse calificado y adecuado para el almacenamiento de maíz. La forma de muestreo de estos sistemas se realizó dependiendo si el maíz blanco se almacenaba en sacos o granel en lote estático o dinámico; para cada

tipo, se establecieron los siguientes criterios de muestreo basados en la cantidad almacenada y la forma geométrica para la toma de muestras:

Tabla 13.

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

Nota. Criterio de muestreo. Obtenido de C. Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural*. (p. 164).

Tabla 14.

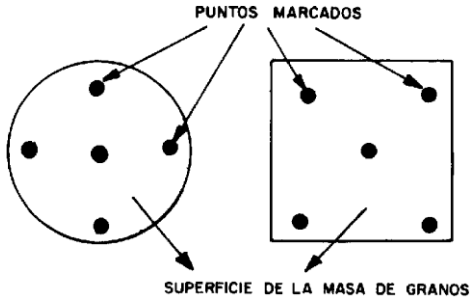
Criterio de muestreo a granel

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

Nota. Criterios de muestreo. Obtenido de C. Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural*. (p. 164).

Figura 6.

Distribución de toma de muestra acorde a geometría



Nota. Distribución de toma de muestra. Obtenido de C. Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural*. (p. 164).

Se programó una visita de tres días al municipio La Libertad, en Petén Guatemala y se recolectó el total de muestras para cada uno de los cuatro sistemas autorizados bajo el acompañamiento del técnico de campo de CUDEP-MAGA. El recorrido de la visita fue documentado mediante un sistema de posición satelital Garmin eTrex® 30, para evidenciar la visita física.

Figura 7.

GPS Garmin eTrex® 30

Nota. Sistema de posición satelital. Obtenido de Sigma Garmin (2022). *eTrex® 30.* (https://www.garmin.com/en-US/p/87774), consultado el 3 de junio de 2021. De dominio público.

Se tomaron muestras para determinar la CHE y se calcularon los valores en sitio. La cantidad de muestras tomadas por sistema acorde a los criterios de las tablas 13 y 14 fueron:

Tabla 15.

Cantidad de muestras para CHE por sistema

Muestra / sistema	Sistema de almacenamiento	Forma de almacenamiento	Cantidad
1	Agricultor de subsistencia (venta)	Saco de polipropileno	10
2	Agricultor de subsistencia (consumo familiar)	Silo de metal (estático)	5
3	Grandes almacenadores	Silo industrial (estático)	11
4	Mercado comunal de San Benito	Saco de polipropileno	10

Nota. Cantidad de muestras. Elaboración propia, realizado con Word.

De los máximos valores determinados de CHE, se tomaron las muestras para el análisis mediante LC/MS. Estas muestras fueron acondicionadas con los requisitos solicitados por DISAGRO para ser enviadas al laboratorio AGQ en España. Las muestras fueron trasladadas vía aérea desde Petén a Ciudad de Guatemala y luego a España.

2.1.1. Diagrama de proceso

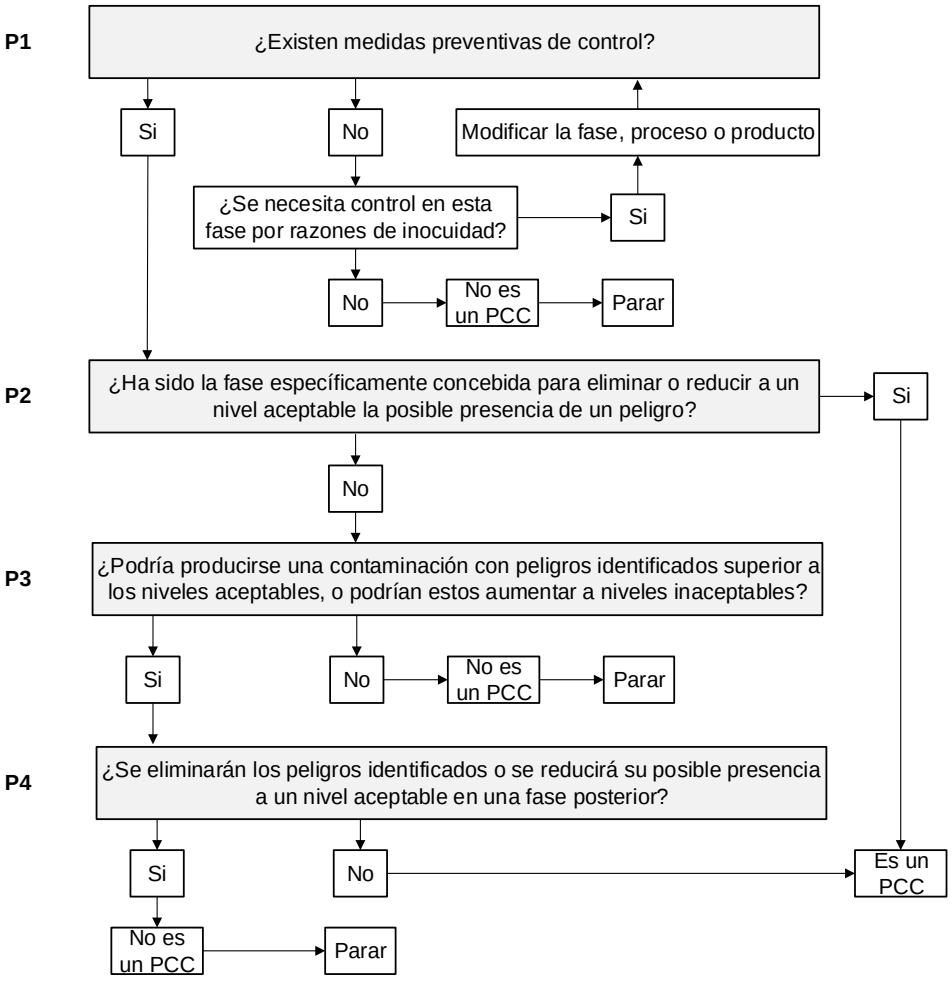
Con la información de las etapas visualizadas en campo, se realizó un diagrama del proceso de producción, distribución y consumo. Se remarcó en el diagrama la etapa a ser investigada, la de almacenamiento. Se utilizó el *software* Microsoft Visio® para realizar el diagrama de proceso.

2.1.2. Análisis de peligros y puntos críticos de control

A la etapa seleccionada de almacenamiento, se le aplicó un análisis de peligros y puntos críticos de control para cada uno de los sistemas investigados. Se realizó una matriz de asignación de factores de probabilidad y severidad. Se elaboraron formatos de análisis de probabilidad y severidad y formatos de árbol de decisión para concluir el formato de los PCC. La lógica utilizada en las preguntas del árbol de decisión si el punto de control identificado era crítico o no fue la siguiente:

Figura 8.

Preguntas del árbol de decisión HACCP



Nota. Árbol de decisión HACCP. Obtenido de USAC. (2021). *Apuntes del curso de inocuidad de alimentos MCTA 103, Facultad de Ingeniería*.

Se identificaron los PC y PCC para cada uno de los sistemas de almacenamiento, completando el ciclo de los siete principios básicos de HACCP. Los PCC se convirtieron en las variables críticas de calificación de los sistemas:

Tabla 16.

PC y PCC

Variables	Definición conceptual	Definición matemática
PC 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.	$T = \frac{dQ_{rev}}{dS}$
PC Humedad relativa de almacenamiento	En una mezcla de aire y agua se define como la relación de la presión parcial de vapor de agua pH_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.	$\%HR = \frac{pH_2O}{p^*H_2O} \times 100\ \%$
PCC Contenido de humedad de equilibrio (CHE)	Contenido de humedad en el que la presión de vapor interna del grano pH_2O_{grano} se encuentra en equilibrio con la presión de vapor del aire intergranario $p^*H_2O_{aire\ ig}$.	$CHE = \frac{pH_2O_{grano}}{p^*H_2O_{aire\ ig}} \times 100\ \%$
PCC Concentración de micotoxinas	Concentración de micotoxinas en µg por cada kg de maíz blanco.	$ppb = \frac{\mu g}{kg}$

Nota. Identificación de PC y PCC. Elaboración propia, realizado con Word.

2.1.3. Esquema de calificación

Para cumplir con los requisitos de almacenamiento de la FAO, se estableció un esquema de calificación secuencial para verificar el diseño DQ, la instalación IQ, operación OQ y desempeño PQ de cada sistema investigado. El esquema establecido fue extrapolado del utilizado en otras industrias reguladas como lo son la farmacéutica y la de dispositivos médicos.

2.1.4. Calificación del diseño y la instalación

Basándose en las recomendaciones de la FAO, se establecieron los siguientes criterios, que fueron evaluados mediante protocolos estandarizados:

Tabla 17.

Criterios protocolo DQ

Calificación del diseño del sistema de almacenamiento	
Formato DQ	**Criterio de aceptación**
1	**Diseño conceptual basado en la calidad final** ¿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?: 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

Nota. Criterios de protocolo. Obtenido de C. Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural*. (p. 165).

Tabla 18.

Criterios protocolo IQ

Calificación de la instalación del sistema de almacenamiento	
Formato IQ	**Criterio de aceptación**
1	**Diseño conceptual basado en la calidad final** ¿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?: a. Silo metálico de baja capacidad (sistema 2) b. Silo metálico (sistema 3) c. Almacén general (sistemas 1 y 4)

Nota. Criterios de protocolo. Obtenido de C. Arias (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural*. (p. 166).

2.2. Contenido de humedad de equilibrio y gestión de plagas

Concluidas las verificaciones DQ e IQ en sitio, se evaluó inmediatamente que las instalaciones del sistema de almacenamiento operarán bajo las especificaciones establecidas; en este sentido, se evaluó la operación del sistema de control de plagas y el perfil de CHE.

2.2.1. Calificación de la operación

Los criterios utilizados en el protocolo de calificación fueron:

Tabla 19.

Criterios protocolo OQ

Calificación de la operación del sistema de almacenamiento	
Formato OQ	**Criterio de aceptación**
1	**Control de plagas** El nivel de infestación en el sistema de almacenamiento se encuentra en nivel bajo a medio acorde a cada tipo de plaga. Se utilizan agentes insecticidas o fumigantes en las concentraciones recomendadas por la FAO.
2	**Perfil de contenido de humedad de equilibrio CHE** 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. **Capacidad del proceso** Capacidad largo plazo (P_{pk}) $P_{pk} > 1.33$ Adecuado $1 < P_{pk} \leq 1.33$ Adecuado, pero requiere de un control estricto $0.67 < P_{pk} \leq 1$ No adecuado, requiere un análisis del proceso $P_{pk} \leq 0.67$ No adecuado, requiere modificaciones

Nota. Criterios de protocolo. Elaboración propia, realizado con Word.

2.2.2. Determinación del contenido de humedad de equilibrio

Las características metrológicas del analizador de CHE calibrado en tres puntos para el rango de medición del maíz utilizado fueron:

Tabla 20.

Características metrológicas analizador CHE AMT155

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

Nota. Características metrológicas. Elaboración propia, realizado con Word.

Figura 9.

Analizador de CHE marca AMTAST modelo AMT155

Nota. Dispositivo analizador. Obtenido de AMTAST (2021). *Grain Moisture Tester*. (https://amtast.com/content-53.html), consultado el 8 de septiembre de 2021. De dominio público.

El muestreo se realizó con un cucharón de acero inoxidable tomando muestras con la cantidad suficiente para llenar la sección cilíndrica del muestreador al ras (15 g aproximadamente). Tomada la muestra, se realizó la lectura de CHE y se documentó mediante fotografías. Se anotó la temperatura y humedad ambiental promedio de cada sistema al momento de realizar las lecturas de CHE mediante un termohigrometro calibrado.

Tabla 21.

Características termohigrómetro 35519-047 VWR®

Característica metrológica	Valor
Rango de medición humedad relativa (%)	25 - 95
Precisión humedad relativa (%)	± 2 rango medio, ± 4 rango final
Resolución humedad (%)	0,01
Rango temperatura (°C)	0 - 50
Precisión temperatura (°C)	± 1
Resolución temperatura (°C)	1

Nota. Características termohigrómetro. Elaboración propia, realizado con Word.

Figura 10.

Termohigrómetro digital 35519-047 VWR®

Nota. Termohigrómetro digital. Obtenido de VWR (2022). *VWR® Digital Hygrometers.* (https://us.vwr.com/store/product/4548265/vwr-digital-hygrometers), consultado el 3 de junio de 2021. De dominio público.

2.2.3. Análisis de la capacidad del sistema de almacenamiento

El análisis estadístico de la capacidad de los sistemas de almacenamiento para cumplir con las especificaciones de producto terminado se realizó siguiendo el siguiente procedimiento:

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

Se calcularon los valores capacidad a largo plazo P_{pk} para cada sistema y se comparó con el valor estándar de 1.33. El cálculo se realizó con el *software* Minitab® 18.

2.2.4. Gestión de plagas

Durante la calificación de la operación se inspeccionó la infraestructura para evidenciar presencia de plagas y se consultó a los propietarios sobre el cronograma de fumigación o sistema de control de plagas utilizado, documentando las respuestas.

2.3. Análisis de aflatoxinas

Finalizados los formatos DQ, IQ y OQ, se solicitaron los resultados de las muestras de maíz blanco con mayor valor de CHE de cada uno de los cuatro sistemas investigados. Se solicitaron al proveedor los resultados analíticos, la certificación de la metodología analítica y el soporte documental del análisis (cromatogramas).

2.3.1. Calificación del desempeño

La evaluación de los resultados de la determinación de cantidad de sustancia por la metodología se realizó comparando los resultados analíticos con los criterios de aceptación establecidos en el protocolo de calificación del desempeño. En los sistemas del 1 al 3, sólo se evaluó la concentración total de

aflatoxinas; para el sistema 4 se realizó la misma evaluación, pero se solicitó un barrido completo de todas micotoxinas posibles de detectar y cuantificar con la metodología analítica, se seleccionó así debido a que era la muestra con las condiciones ambientales y de humedad de equilibrio en el grano de mayor valor y por ende de mayor riesgo. A continuación, los criterios establecidos:

Tabla 22.

Criterios protocolo PQ

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

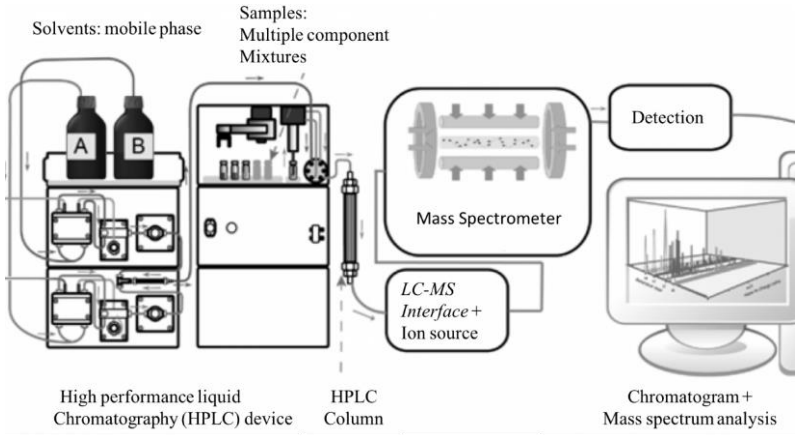
Nota. Criterios de protocolo. Elaboración propia, realizado con Word.

2.3.2. Determinación de cantidad de aflatoxinas LC/MS

Se utilizó un análisis de micotoxinas acreditado ISO 17025 por la entidad norteamericana IAS, mediante la técnica instrumental LC/MS. La técnica instrumental utiliza dos técnicas para la determinación de la cantidad de sustancia; la cromatografía líquida y la espectroscopía de masas, la configuración de operación del sistema de medición utilizado fue:

Figura 11.

Esquema de operación de un sistema LC/MS



Nota. Sistema LC/MS. Obtenido de Newsvet (2021). *Cromatografía.* (http://newsvet.com.br/wp-content/uploads/2020/06/Liquid_Chromatography_Mass_Spectrometer-1200x675.png), consultado el 8 de septiembre de 2021. De dominio público.

2.3.3. Barrido de micotoxinas LC/MS

Para el sistema 4, se realizó un barrido especial de micotoxinas. El método ML-9001 de ACG Labs utilizado, posee los siguientes rangos de cuantificación para las micotoxinas de interés en el maíz:

Tabla 23.

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

Continuación de la tabla 23.

Micotoxina	Rango de cuantificación µg/kg
Toxinas HT2 y T2	500 - 1500
Fumonisina B1	500 – 1500
Fumonisina B2	150 – 450

Nota. Micotoxinas cuantificables. Elaboración propia, realizado con Word.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Calificación de los sistemas de almacenamiento de acuerdo con FAO

Se presentan los resultados del recorrido físico real seguido por posicionamiento satelital, el diagrama de proceso identificando la etapa de almacenamiento, el HACCP para la etapa de almacenamiento y los informes de calificación del diseño e instalación según los criterios FAO para los cuatro sistemas investigados.

3.1.1. Resultados posicionamiento satelital La Libertad

El recorrido comenzó con una elevación mínima de 99 msnm hasta alcanzar una altura máxima de 235 msnm en el municipio de La Libertad. Esta altura corresponde a las especies de siembra declaradas por el ICTA.

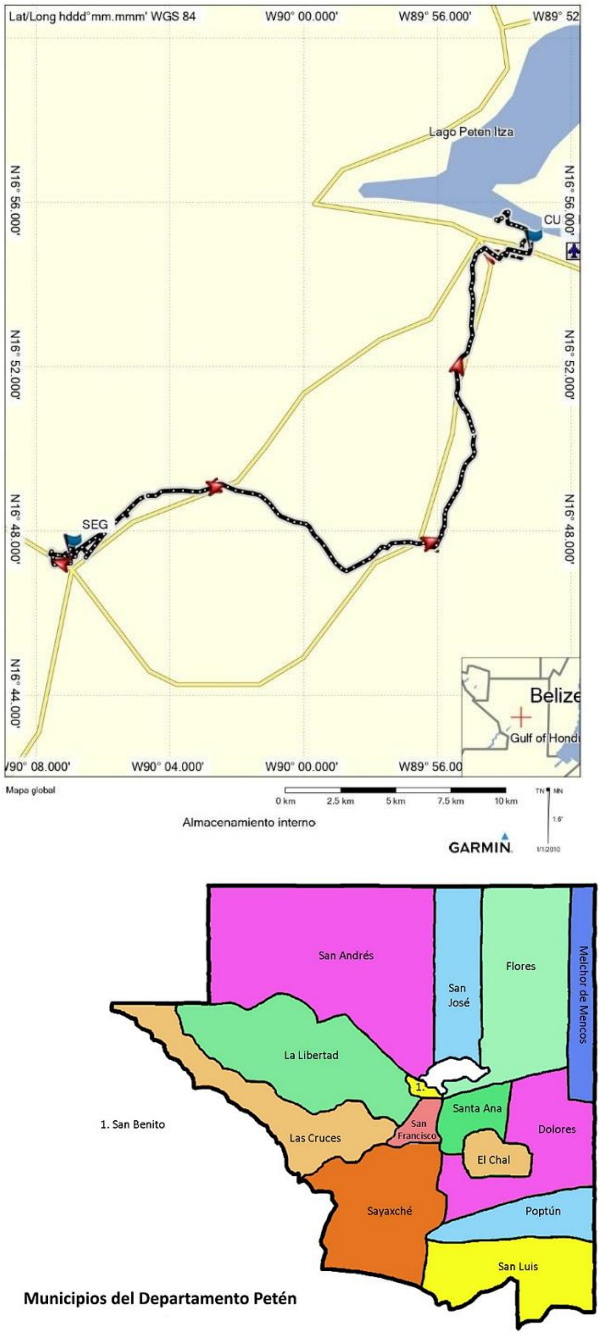
Figura 12.

Gráfico altura msnm (m) versus distancia (km)

Nota. Resultados posicionamiento satelital. Elaboración propia, realizado con Garmin Express.

Figura 13.

Resultados distancia recorrida desde San Benito a La Libertad



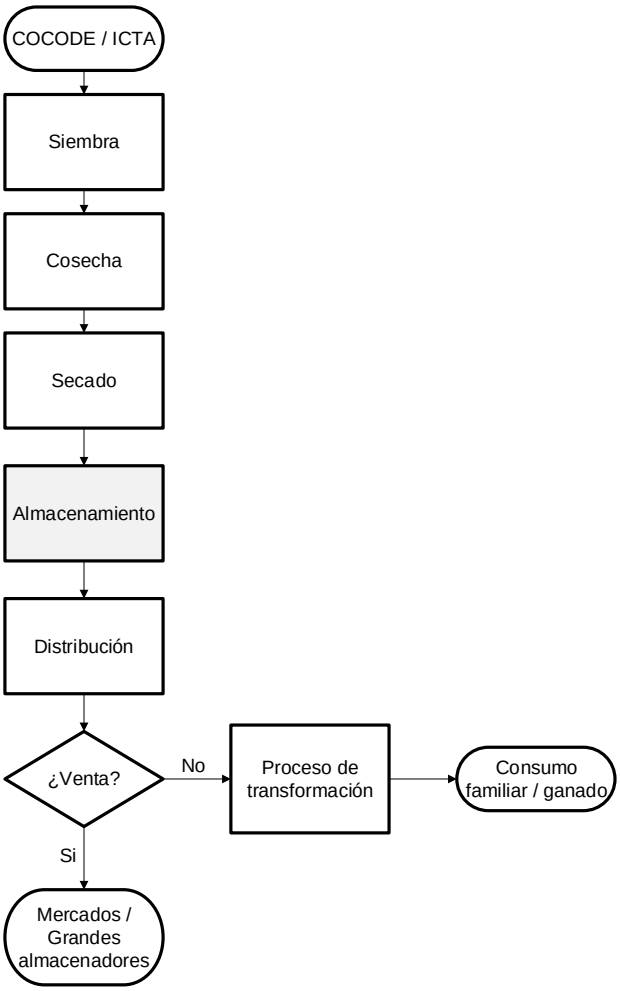
Nota. Resultados de distancia recorrido. Elaboración propia, realizado con Garmin Express.

3.1.2. Identificación de la etapa de almacenamiento en el diagrama de proceso

A continuación, se presenta el diagrama con todas las etapas de la cadena de producción, distribución y consumo aplicable a los cuatro sistemas estudiados; en color gris la etapa de almacenamiento:

Figura 14.

Diagrama producción, distribución y consumo de maíz



Nota. Diagrama de procesos. Elaboración propia, realizado con Microsoft Visio.

3.1.3. Resultados análisis de peligros y puntos críticos de control para la etapa de almacenamiento

Se presentan los resultados de la aplicación de los siete principios de HACCP a la etapa de almacenamiento, identificada en la figura 14:

Tabla 24.

Resultados 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) Qué medidas pueden ser aplicadas para prevenir el peligro significativo
Etapa almacenamiento (caso 1)	Biológico	N/A	N/A	N/A	N/A
	Químico	Micotoxinas	Si	Aumento de la temperatura interna del grano	Humedad de grano y condiciones psicométricas
	Físico	N/A	N/A	N/A	N/A
Etapa almacenamiento (caso 2)	Biológico	N/A	N/A	N/A	N/A
	Químico	Micotoxinas	Si	Aumento de la temperatura interna del grano	Humedad de grano y condiciones psicométricas
	Físico	N/A	N/A	N/A	N/A
Etapa almacenamiento (caso 3)	Biológico	N/A	N/A	N/A	N/A
	Químico	Micotoxinas	Si	Aumento de la temperatura interna del grano	Humedad de grano y condiciones psicométricas
	Físico	N/A	N/A	N/A	N/A
Etapa almacenamiento (caso 4)	Biológico	N/A	N/A	N/A	N/A
	Químico	Micotoxinas	Si	Aumento de la temperatura interna del grano	Humedad de grano y condiciones psicométricas
	Físico	N/A	N/A	N/A	N/A

Nota. Resultados de análisis. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 25.

Matriz de asignación factores de probabilidad y severidad

Severidad				
Alta (3)	No incluir	Evaluar	Incluir	Incluir
Media (2)	No incluir	No incluir	Evaluar	Incluir
Baja (1)	No incluir	No incluir	No incluir	No incluir
	Remota (1)	Baja (2)	Media (3)	Alta (5)
	Probabilidad de ocurrencia			

Nota. Matriz de asignación. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 26.

Resultados 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
Etapa almacenamiento (caso 1)	Aflatoxinas serie B y G Fumonisinas serie B	Salazar (2008), 14.53 % al 42.61 % con este método de almacenamiento	5	Argueta (2016), 5 veces el riesgo para retardo del crecimiento	3	15
Etapa almacenamiento (caso 2)	Aflatoxinas serie B y G Fumonisinas serie B	Argueta (2016), 36 % consumiendo preparaciones alimenticias de este método de almacenamiento	4	Argueta (2016), 5 veces el riesgo para retardo del crecimiento	3	12

Continuación de la tabla 26.

(1) Ingrediente / Etapa del Proceso	Microorganismo / Alérgeno / Contaminante	Probabilidad (P)	P	Severidad (S)	S	PxS Criterio ≥ 6 pasa a árbol
Etapa almacenamiento (caso 3)	Aflatoxinas serie B y G Fumonisinas serie B	Martínez, Vargas y Gómez (2013), 28.57 % en general para Guatemala	2	Argueta (2016), 5 veces el riesgo para retardo del crecimiento	3	6
Etapa almacenamiento (caso 4)	Aflatoxinas serie B y G Fumonisinas serie B	Salazar (2008), 14,53 % al 42.61 % con este método de almacenamiento	5	Argueta (2016), 5 veces el riesgo para retardo del crecimiento	3	15

Nota. Resultados de análisis de probabilidad y severidad. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 27.

Resultados 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)	Químico	Micotoxinas	Si	Si	N/A	N/A	Si

Continuación de la tabla 27.

(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 2)	Químico	Micotoxinas	Si	Si	N/A	N/A	Si
Etapa almacenamiento (caso 3)	Químico	Micotoxinas	Si	Si	N/A	N/A	Si
Etapa almacenamiento (caso 4)	Químico	Micotoxinas	Si	Si	N/A	N/A	Si

Nota. Resultados de árbol de decisión. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 28.

Resultados de PCC HACCP

						Procedimiento de vigilancia		
(1) Ingrediente / Etapa del Proceso	(2) Identificación de peligros potenciales, controlados o incrementados en esta etapa		Microorganismo / Alérgeno / Contaminante	(6) Es esta etapa un PCC (Si/No)	Límites críticos COGUANOR	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Quién es el responsable?
Etapa almacenamiento (caso 1)	Químico	Micotoxinas	Aflatoxinas serie B y G Fumonisinas serie B	Si	< 20 µg/kg	CHE y Caja azul*	Por lote	Agricultor
Etapa almacenamiento (caso 1)	Químico	Micotoxinas	Aflatoxinas serie B y G Fumonisinas serie B	Si	< 20 µg/kg	CHE y Caja azul	Por lote	Agricultor
Etapa almacenamiento (caso 1)	Químico	Micotoxinas	Aflatoxinas serie B y G Fumonisinas serie B	Si	< 20 µg/kg	CHE y Elisa**	Por lote	Almacenador
Etapa almacenamiento (caso 1)	Químico	Micotoxinas	Aflatoxinas serie B y G Fumonisinas serie B	Si	< 20 µg/kg	CHE y Caja azul	Por lote	Agricultor

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

** ELISA (Ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas) técnica disponible en Guatemala.

Nota. Resultados de PCC HACCP. Elaboración propia, realizado con Word.

3.1.4. Resultados calificación del diseño y la instalación

Se presentan los resultados de la calificación del diseño e instalación. La evidencia fotográfica se encuentra en el apéndice.

Tabla 29.

Resultados protocolo DQ-1

PROTOCOLO DQ - 1 Diseño conceptual del sistema de almacenamiento basado en la calidad final					
a	**Período de maduración de la semilla**	**Cumple (Si/No)**			
		S1	**S2**	**S3**	**S4**
1	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? *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.*	Si	Si	Si	Si
2	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? *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.*	Si	Si	Si	Si
b	**Grado de maduración en el momento de la cosecha**				

Continuación de la tabla 29.

3	El sistema de recolección; ¿se ha diseñado para no recolectar granos antes o después del punto de madurez fisiológica? *Relación con la etapa de almacenamiento: son semillas con menor potencial de almacenamiento.*	Si	Si	Si	Si

Realizado por:	Alberto Pineda	Revisado Por:	Técnico CUDEP-MAGA
Fecha:	04/10/2021	Fecha:	04/10/2021

PROTOCOLO DQ - 1 Diseño conceptual del sistema de almacenamiento basado en la calidad final					
d	**Impurezas**	**Cumple (Si/No)**			
		S1	**S2**	**S3**	**S4**
4	¿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? En la cosechadora Durante el beneficio Durante la puesta en almacenamiento Durante el transporte hacia el almacenamiento *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.*	Si	Si	Si	Si
c	**Daño mecánico**				
5	¿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?	Si	Si	Si	Si

Continuación de la tabla 29.

	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				
e	**Humedad**				
6	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 %? *Relación con la etapa de almacenamiento: principal factor que influye en la calidad del producto almacenado.*	Si (al sol cada semana)	Si	Si	No
f	**Temperatura**				
7	El sistema de almacenamiento; ¿se ha diseñado para garantizar temperaturas bajas o equivalentes a las temperaturas ambientales? *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.*	No	Si	Si	No

Realizado por:	Alberto Pineda	Revisado Por:	Técnico CUDEP-MAGA
Fecha:	04/10/2021	Fecha:	04/10/2021

Continuación de la tabla 29.

PROTOCOLO DQ - 1 Diseño conceptual del sistema de almacenamiento basado en la calidad final					
g	**Microorganismos**	**Cumple (Si/No)**			
		S1	**S2**	**S3**	**S4**
8	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? *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 %.*	Si	Si	Si	Si
9	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? *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.*	No	No	Si	No
h	**Insectos**				
10	¿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? *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.*	No	No	Si	No

Continuación de la tabla 29.

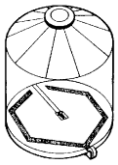
i	Roedores				
11	¿Se ha diseñado el sistema de almacenamiento para evitar el ingreso de roedores mediante barreras físicas y estaciones de captura? *Relación con la etapa de almacenamiento: Los productos almacenados, contaminados por deposiciones, orina y parásitos de los roedores son focos de contaminación para quienes los manejan o consumen.*	No	No	Si	No

Realizado por:	Alberto Pineda	Revisado Por:	Técnico CUDEP-MAGA
Fecha:	04/10/2021	Fecha:	04/10/2021

Nota. Resultados calificación del diseño y la instalación. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 30.

Resultados protocolo IQ-1

PROTOCOLO IQ-1 Silo metálico				
g	**Vista aérea de un silo metálico**	**Cumple (Si/No)**		**Observaciones**
		S2	**S3**	
1		Si	Si	El silo S2 fue proporcionado al agricultor por el MAGA

Continuación de la tabla 30.

<table>
<tr><th colspan="6">PROTOCOLO IQ-1 Silo metálico</th></tr>
<tr><th>No.</th><th colspan="3">Criterio por evaluar en sitio</th><th>S2</th><th>S3</th><th>Observaciones</th></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="3">¿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.
<table>
<tr><th>Capacidad (t)</th><th>Diámetro (m)</th><th>Altura del cilindro (m)</th><th>Volumen (m³)</th></tr>
<tr><td>119,4</td><td>5,50</td><td>5,912</td><td>151,6</td></tr>
<tr><td>270,1</td><td>6,40</td><td>10,092</td><td>343,0</td></tr>
<tr><td>454,5</td><td>8,24</td><td>10,092</td><td>577,1</td></tr>
<tr><td>565,6</td><td>9,16</td><td>10,092</td><td>718,3</td></tr>
<tr><td>825,0</td><td>11,0</td><td>10,092</td><td>1 047,8</td></tr>
<tr><td>1 427,9</td><td>12,83</td><td>12,926</td><td>1 813,2</td></tr>
<tr><td>2 109,7</td><td>14,60</td><td>14,762</td><td>2 679,0</td></tr>
<tr><td>4 330,3</td><td>18,30</td><td>19,352</td><td>5 498,8</td></tr>
</table></td><td>Si</td><td>Si</td><td>Ver fotografías en apéndice. S2 20 t y S3 4 500 t.</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="3">¿Se construyó de láminas o chapas metálicas lisas o corrugadas, de hierro galvanizado o de aluminio?</td><td>Si</td><td>Si</td><td>S2 galvanizado, S3 aluminio.</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="3">¿El lugar de construcción del almacén se encuentra en un terreno alto y libre de inundaciones?</td><td>Si</td><td>Si</td><td>Ver fotografías en apéndice.</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="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.</td><td>No</td><td>Si</td><td>Cerca de S se encuentra un río.</td></tr>
<tr><td>6</td><td colspan="3">¿Posee fondo plano o cónico; con descarga mecánica en los silos de fondo plano y por gravedad en los silos de fondo cónico?</td><td>Si</td><td>Si</td><td>Descarga mecánica.</td></tr>
</table>

Continuación de la tabla 30.

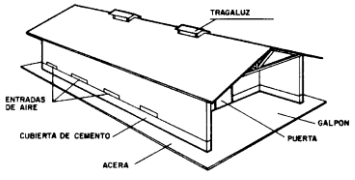
7	¿Se han instalado ductos de aireación y sistema de ventilación?	Si	Si	S2 ductos, S3 sistema ventilación
8	¿Se han instalado equipos para cargar y descargar los granos portátiles o fijos?	N/A	Si	S3 neumático.
9	¿Se ha instalado un sistema de termometría y aireación para evitar que la radiación solar que incide en las paredes externas del silo ocasione condensación del vapor de agua en las paredes internas?	Si	Si	Ver fotografías en apéndice.
10	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?	No	Si	S3 control de temperatura del grano a nivel laboratorio.

Realizado por:	Alberto Pineda	Revisado Por:	Técnico CUDEP-MAGA
Fecha:	04/10/2021	Fecha:	04/10/2021

Nota. Resultados protocolo IQ-1. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 31.

Resultados protocolo IQ-2

PROTOCOLO IQ - 2 Almacén general				
h	**Vista aérea de un almacén convencional**	**Cumple (Si/No)**		**Observaciones**
		S1	**S4**	
1		No	No	S1 no posee entradas de aire laterales, S4 no posee cubierta de cemento

Continuación de la tabla 31.

<table>
<tr><th>No.</th><th>Criterio por evaluar en sitio</th><th>S1</th><th>S4</th><th>Observaciones</th></tr>
<tr><td>2</td><td>La estructura se utiliza exclusivamente para almacenamiento de productos envasados en sacos.</td><td>Si</td><td>No</td><td>S4 alimentos variados</td></tr>
<tr><td>3</td><td>El almacenamiento se realiza en estibas o lotes individualizados de un mismo producto agrícola.</td><td>Si</td><td>No</td><td>S4 venta mercado sin trazabilidad</td></tr>
<tr><td>4</td><td>¿Las dimensiones del almacén corresponden a la cantidad de producto que va a ser almacenado?
<table>
<tr><th>Capacidad (sacos de 60 kg)</th><th>Largo (m)</th><th>Ancho (m)</th><th>Altura (m)</th></tr>
<tr><td>100</td><td>5,0</td><td>3,0</td><td>3</td></tr>
<tr><td>200</td><td>5,5</td><td>5,0</td><td>3</td></tr>
<tr><td>600</td><td>7,0</td><td>5,5</td><td>4</td></tr>
<tr><td>1 200</td><td>14,0</td><td>7,0</td><td>4</td></tr>
</table></td><td>Si</td><td>No</td><td>S1 550 sacos de 60 kg, S4 menos de 100 sacos de 60 kg (altura 2 m).</td></tr>
<tr><td>5</td><td>¿Se han instalado el número adecuado de aberturas y tragaluces para la ventilación natural del almacén?
<table>
<tr><th>Capacidad (sacos de 60 kg)</th><th>Número de aberturas</th><th>Número de tragaluces</th></tr>
<tr><td>100</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>200</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>600</td><td>2</td><td>2</td></tr>
<tr><td>1 200</td><td>4</td><td>4</td></tr>
</table></td><td>No</td><td>No</td><td>S1 y S4 no poseen tragaluces.</td></tr>
<tr><td>6</td><td>¿El lugar de construcción del almacén se encuentra en un terreno alto y libre de inundaciones?</td><td>Si</td><td>Si</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td>7</td><td>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.</td><td>Si</td><td>Si</td><td>N/A</td></tr>
</table>

Continuación de la tabla 31.

8	El piso es de concreto o material similar que no permita acumulación de humedad.	Si	No	S4 tierra.
9	Los muros son de ladrillo o bloc expuesto e idealmente con algún recubrimiento que impida la acumulación de humedad.	Si	No	S4 lámina acanalada.
10	La estructura del techo fue fabricada de madera o de metal.	Si	Si	N/A

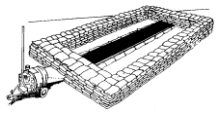
Realizado por:	Alberto Pineda	Revisado Por:	Técnico CUDEP-MAGA
Fecha:	04/10/2021	Fecha:	04/10/2021

PROTOCOLO IQ - 2 Almacén general				
No.	**Criterio por evaluar en sitio**	**Cumple (Si/No)**		**Observaciones**
		S1	**S4**	
11	La inclinación máxima del techo es de 30°.	Si	Si	N/A
12	Los aleros o pestañas son de 50 cm o mayores.	Si	No	S4 20 cm.
13	Los tragaluces poseen tela de malla metálica de 6 mm o superior.	No	No	No poseen tragaluces.
14	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.	No	No	No instaladas.
15	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.	No	No	La única ventilación natural es el ingreso.

Continuación de la tabla 31.

16	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.	No	No	S1 sólo posee en la parte frontal.
17	Se ha asegurado que las puertas y ventanas ajusten perfectamente sin dejar rendijas	No	No	Existen espacios.
18	El almacén ha sido pintado con cal o pintura superior.	Si	No	N/A
19	Las ventanas deben pintarse con pintura anticorrosiva.	No	No	No poseen ventanas.
20	Se distribuyó 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.	No	No	S1 no posee es espacio entre pared y tarima, S4 no posee tarimas, producto a piso
21	Se ha realizado el estibado poniendo como máximo 20 capas de sacos en cada estiba.	Si	N/A	N/A
22	Se ha colocado una etiqueta indicando el tipo de producto, la cantidad de sacos y la fecha del inicio del almacenamiento en cada pila.	No	No	No existe trazabilidad. S1 posee un cuaderno de anotaciones, pero el producto no está identificado correctamente.
23	Debe existir una calzada, acera o banqueta alrededor del almacén con un ancho de 100 cm o superior.	No	No	S1 sólo en el frente.

Continuación de la tabla 31.

24	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 construidos con los materiales disponibles en el mismo almacén, tales como sacos y tarimas de madera.	N/A	N/A	

Realizado por:	Alberto Pineda	Revisado Por:	Técnico CUDEP-MAGA
Fecha:	04/10/2021	Fecha:	04/10/2021

Nota. Resultados protocolo IQ-2. Elaboración propia, realizado con Word.

3.2. Resultados gestión de plagas y CHE

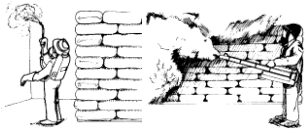
A continuación, los resultados del informe de calificación de la operación que incluyen la evaluación del sistema de gestión de plagas y los resultados del contenido de humedad de equilibrio para las condiciones psicométricas de cada uno de los cuatro sistemas investigados.

3.2.1. Resultados calificación de la operación

El certificado de calibración del medidor de humedad de grano se encuentra en la sección de anexos. La evidencia fotográfica se encuentra en el apéndice.

Tabla 32.

Resultados protocolo OQ-1

PROTOCOLO OQ-1 Control de plagas					
a	**Insectos**	**Cumple (Si/No)**			
		S1	**S2**	**S3**	**S4**
1	¿Se poseen límites para los insectos del orden *Coleóptero* (pequeños escarabajos llamados "gorgojos") y del orden *Lepidóptero* (pequeñas mariposas o polillas)?	No	No	Si	No
2	¿Existen estaciones monitoras para este tipo de insectos?	No	No	Si	No
3	¿Se han identificado en las estaciones monitoras las siguientes especies dentro de niveles de infestación bajos a nulos? ● Gorgojo del maíz, *Sitophilus zeumais Motschulsky* ● Pequeño barrenador o taladrilla de los granos (*Rhyzopertha dominica F.*) ● Polilla o palomilla de los cereales (*Sitotroga cerealella*)	No	No	Si	No
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, entre otros?	No	No	Si	No
5	Si se utiliza el control químico; el insecticida o fumigante ¿se aplica utilizando cualquiera de estas técnicas?: ● Pulverización residual o aspersión ● Pulverización protectora ● Vaporización y fumigación 	Si	Si	Si	Si

Continuación de la tabla 32.

<table>
<tr><td>6</td><td>¿Se aplica alguno de los siguientes insecticidas en las dosificaciones recomendadas FAO mediante pulverización residual?
<table><tr><th>Insecticida</th><th>Fórmula</th><th>Dosificaciones ml/m²</th></tr><tr><td>Deltametrina
Malatión
Pirimifós metílico</td><td>2,5 E
100 E
50 E</td><td>0,6
2,6
1,0</td></tr></table></td><td>Si (rotación por la municipalidad)</td><td>Si (rotación por la municipalidad)</td><td>Si</td><td>Si (rotación por la municipalidad)</td></tr>
<tr><td>7</td><td>¿Se aplica alguno de los siguientes insecticidas en las dosificaciones recomendadas FAO mediante pulverización protectora?
<table><tr><th>Insecticida</th><th>Fórmula</th><th>Dosificaciones ml/t</th></tr><tr><td>Deltametrina
Diclorvós
Malatión
Pirimifós metílico</td><td>2,5 E
50 E
100 E
50 E</td><td>18
20
18
8</td></tr></table></td><td>N/A</td><td>N/A</td><td>Si</td><td>N/A</td></tr>
</table>

Realizado por:	Alberto Pineda	Revisado Por:	Técnico CUDEP-MAGA
Fecha:	04/10/2021	Fecha:	04/10/2021

Continuación de la tabla 32.

<table>
<tr><th colspan="7">PROTOCOLO OQ-1 Control de plagas</th></tr>
<tr><th rowspan="2">a</th><th rowspan="2">Insectos</th><th colspan="5">Cumple (Si/No)</th></tr>
<tr><th>S1</th><th>S2</th><th>S3</th><th>S4</th></tr>
<tr><td>8</td><td colspan="2">¿Se aplica alguno de los siguientes insecticidas en las dosificaciones recomendadas FAO mediante vaporización?
<table><tr><th>Insecticida</th><th>Fórmula</th><th>Dosificaciones ml/100 m^3</th></tr><tr><td>Deltametrina
Diclorvós
Malatión
Pirimifós metílico</td><td>10 E
50 E
60 E
50 E</td><td>2
5
7
5</td></tr></table></td><td>N/A</td><td>N/A</td><td>N/A</td><td>N/A</td></tr>
<tr><td>9</td><td colspan="2">¿Se aplica alguno de los siguientes fumigantes en las dosificaciones recomendadas FAO a mazorcas?
<table><tr><th>Fumigante</th><th>Duración (h)</th><th>Dosificación por m^3</th></tr><tr><td>Bromuro de metilo (98 %)
Fosfato de aluminio (57 %)
Fosfuro de aluminio (57 %)</td><td>48
72
72</td><td>25 cm^3
1 tableta (3 g)
5 tabletas (0,6 g c/u)</td></tr></table></td><td>No</td><td>No</td><td>Si AlP (57 %) 72 h</td><td>N0</td></tr>
<tr><td>10</td><td colspan="2">¿Se aplica alguno de los siguientes fumigantes en las dosificaciones recomendadas FAO a granos ensacados?
<table><tr><th>Fumigante</th><th>Duración (h)</th><th>Dosificación</th></tr><tr><td>Bromuro de metilo (98%)
Fosfato de aluminio (57 %)</td><td>24
72
96</td><td>18 cm^3/m^3
1 - 3 tabletas (3 g)
x 15 a 20 sacos</td></tr></table></td><td>No</td><td>No</td><td>Si ALP (57 %) 72 h</td><td>No</td></tr>
</table>

Continuación de la tabla 32.

<table>
<tr><td></td><td>Fosfuro de aluminio (57 %)</td><td colspan="2">1 tableta (0,6 g c/u) x 3 a 4 sacos</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>11</td><td colspan="2">¿Se aplica alguno de los siguientes fumigantes en las dosificaciones recomendadas FAO a granos a granel?
<table><tr><th>Fumigante</th><th>Duración (h)</th><th>Dosificación</th></tr><tr><td>Bromuro de metilo (98 %)</td><td>24</td><td>18 cm^3/m^3</td></tr><tr><td>Fosfato de aluminio (57 %)</td><td>72</td><td>1 - 3 tabletas (3 g) x tonelada</td></tr><tr><td>Fosfuro de aluminio (57 %)</td><td>72</td><td>3 - 6 tabletas (0,6 g c/u) x tonelada</td></tr></table></td><td>No</td><td>No</td><td>Si AlP (57 %) 72 h</td><td>No</td></tr>
</table>

Realizado por:	Alberto Pineda	Revisado Por:	Técnico CUDEP-MAGA
Fecha:	04/10/2021	Fecha:	04/10/2021

PROTOCOLO OQ-1 Control de plagas

b	**Roedores**	**Cumple (Si/No)**			
		S1	**S2**	**S3**	**S4**
12	¿Se ha identificado alguna de las siguientes especies de roedores?: ● Rata de los techos (*Rattus rattus*) ● Rata gris (*Rattus norvegicus*) ● Ratón casero (*Mus musculus*)	Si *Mus musculus*	Si *Rattus*	No	Si *Rattus*

Continuación de la tabla 32.

13	Durante el recorrido, ¿se han identificado deposiciones con las siguientes características? ● Deposiciones frescas de aspecto brillante y oscuro ● Deposiciones viejas de coloración opaca y dura ● De *Rattus norvegicus*, de forma aplastada y con 1,9 cm de largo aproximadamente. ● De *Rattus*, de forma puntiaguda con 1,25 cm de largo aproximadamente. ● De *Mus musculus*, con 0,65 cm de largo aproximadamente.	Si 0,60 cm	No	No	No
14	Durante el recorrido, ¿se ha identificado presencia de orina de roedores mediante el uso de una lámpara de luz ultravioleta?	Si	No	No	No
15	Durante el recorrido, ¿se han identificado orificios de diámetros mayores a 0,6 cm?	Si	No	No	Si
16	¿Se encuentran operativas como complemento de las medidas profilácticas preventivas, trampas y rodenticidas?	Si	Si	Si	No
17	Las estaciones de cebo, ¿están operando con rodenticidas de acción rápida? como, por ejemplo: ● Estricinina, Sulfato de Talio, Arsénico ● Alfa-naftil-tiourrea, Escila roja, Shoxin	Si	Si	Si	No
18	Las estaciones de cebo, ¿están operando con rodenticidas de acción lenta? como, por ejemplo: ● Hidroxicumarinas (Warfarina, fumarina) ● Indandionas (pival, valona, difacinona)	N/A	N/A	N/A	N/A

Continuación de la tabla 32.

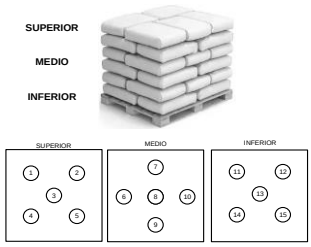
c	Hongos de campo	Cumple (Si/No)			
		S1	S2	S3	S4
19	Durante la operación, ¿Se utiliza alguno de los siguientes ácidos como método preventivo químico de los hongos en granos con alto contenido de humedad (20 a 35 %)? ● Ácido propiónico, acético, butírico o fórmico. ● En el caso de un almacenamiento de 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. Debe notarse que este tipo de tratamiento no puede utilizarse para alimentos destinados al consumo humano.	No	No	No	No

Realizado por:	Alberto Pineda	Revisado Por:	Técnico CUDEP-MAGA
Fecha:	04/10/2021	Fecha:	04/10/2021

Nota. Resultados protocolo OQ-1. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 33.

Resultados protocolo OQ-2

PROTOCOLO OQ-2 Perfil de contenido de humedad de equilibrio								
No	**Ejemplo muestreo 15 sacos**					**Distribución**		
1						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.		
a	**CHE (%) Sistema de almacenamiento 1**					**Análisis de capacidad del sistema 1 CHE (%)**		**Cumple (Si/No)**
1 - 5	12.8	12.9	12.7	12.5	N/A	Media	14.3	N/A
6 - 10	N/A	14,1	N/A	14.2	N/A	Des	± 1.5261	N/A
11 - 15	16.0	15.9	15.9	16.0	N/A	Ppk	0.26 (21.83 % fuera de los límites)	No
b	**CHE (%) Sistema de almacenamiento 2**					**Análisis de capacidad del sistema 2 CHE (%)**		**Cumple (Si/No)**
1 - 5	11.7	11.6	11.8	11.8	11.7	Media	11.72	N/A
6 - 10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Des	± 0.0837	N/A
11 - 15	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Ppk	6.85	Si

Continuación de la tabla 33.

c	CHE (%) Sistema de almacenamiento 3					Análisis de capacidad del sistema 3 CHE (%)		Cumple (Si/No)
1 - 5	14.5	14.4	14.2	14.3	14.4	Media	14.382	N/A
6 - 10	14.3	14.3	14.5	14.5	14.4	Des	± 0.098165	N/A
11 - 15	14.4	N/A	N/A	N/A	N/A	Ppk	3.80	Si
d	**CHE (%) Sistema de almacenamiento 4**					**Análisis de capacidad del sistema 4 CHE (%)**		**Cumple (Si/No)**
1 - 5	14.6	14.8	14.8	14.7	N/A	Media	15.87	N/A
6 - 10	N/A	15.9	N/A	16.0	N/A	Des	± 1.0636	N/A
11 - 15	17.0	17.0	16.9	17.0	N/A	Ppk	- 0.12 (63.60 % fuera de límite superior)	No

Realizado por:	Alberto Pineda	Revisado Por:	Técnico CUDEP-MAGA
Fecha:	04/10/2021	Fecha:	04/10/2021

Nota. Resultados protocolo OQ-2. Elaboración propia, realizado con Word.

3.3. Resultados análisis de aflatoxinas

Se presentan los resultados del informe de calificación del desempeño. La confirmación de recepción para envío de muestras, así como la evidencia fotográfica se encuentra en el apéndice.

3.3.1. Resultados calificación del desempeño

El certificado de calibración del termohigrómetro, así como los certificados de acreditación y cromatogramas de la metodología instrumental utilizada se encuentran en la sección de anexos. La cantidad enviada de muestra fue 2 kg en envase hermético. La incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al límite de cuantificación (LC). La incertidumbre expandida (U) ha sido reportada con un factor de cobertura k = 2, para un nivel de confianza del 95 %. Todas las muestras fueron tomadas entre el 04/10/2021 al 06/10/2021 y entregadas a DISAGRO el 08/10/2021.

Tabla 34.

Trazabilidad muestra – determinación analítica

Sistema	Codificación	Número de referencia ACG	Fecha inicio análisis	Fecha fin análisis
1	M1102021	AL-21/184385	21/10/2021	26/10/2021
2	M2102021	AL-21/184386	21/10/2021	03/11/2021
3	M3102021	AL-21/184388	21/10/2021	03/11/2021
4	M4102021	AL-21/197342	03/11/2021	04/11/2021

Nota. Trazabilidad muestra – determinación analítica. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 35.

Condiciones psicrométricas de las muestras analizadas

Sistema	Codificación	CHE (%)	Condiciones ambientales	Condiciones de almacenamiento
1	M1102021	16,0	30 °C 61 %HR	27 °C 60 %HR
2	M2102021	11,8	35 °C 75 %HR	31 °C 63 %HR

Continuación de la tabla 35.

Sistema	Codificación	CHE (%)	Condiciones ambientales	Condiciones de almacenamiento
3	M3102021	14,4	35 °C 75 %HR	25,6 °C 60 %HR
4	M4102021	17,0	29 °C 81 %HR	28 °C 80 %HR

Nota. Condiciones psicrométricas de las muestras. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 36.

Resultados protocolo PQ-1 M1102021

PROTOCOLO PQ-1 Concentración de micotoxinas M1102021					
No	**Micotoxina**	**Resultado (µg/kg)**	**Incertidumbre expandida (U)**	**% recuperación**	**Lim Cuantif/ Detec (µg/kg)**
1	Aflatoxinas totales B1+B2+G1+G2	< 1	± 26 %	N/A	N/A
2	Aflatoxina B1	< 1	± 26 %	74	1
3	Aflatoxina B2	< 1	± 26 %	69	1
4	Aflatoxina G1	< 1	± 26 %	61	1
5	Aflatoxina G2	< 1	± 26 %	62	1

Realizado por:	ACG Labs	Revisado Por:	Alberto Pineda
Fecha:	04/11/2021	Fecha:	10/06/2022

Nota. Resultados. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 37.

Resultados protocolo PQ-1 M2102021

PROTOCOLO PQ-1 Concentración de micotoxinas M2102021					
No	**Micotoxina**	**Resultado (µg/kg)**	**Incertidumbre expandida (U)**	**% recuperación**	**Lim Cuantif/ Detec (µg/kg)**
1	Aflatoxinas totales	1 978	± 26 %	N/A	N/A
2	Aflatoxina B1	1 579	± 26 %	74	1
3	Aflatoxina B2	399	± 26 %	69	1
4	Aflatoxina G1	< 1	± 26 %	61	1
5	Aflatoxina G2	< 1	± 26 %	62	1

Realizado por:	ACG Labs	Revisado Por:	Alberto Pineda
Fecha:	04/11/2021	Fecha:	10/06/2022

Nota. Resultados obtenidos. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 38.

Resultados protocolo PQ-1 M3102021

PROTOCOLO PQ-1 Concentración de micotoxinas M3102021					
No	**Micotoxina**	**Resultado (µg/kg)**	**Incertidumbre expandida (U)**	**% recuperación**	**Lim Cuantif/ Detec (µg/kg)**
1	Aflatoxinas totales	10	± 26 %	N/A	N/A
2	Aflatoxina B1	10	± 26 %	74	1
3	Aflatoxina B2	< 1	± 26 %	69	1
4	Aflatoxina G1	< 1	± 26 %	61	1

Continuación de la tabla 38.

PROTOCOLO PQ-1 Concentración de micotoxinas M3102021					
No	**Micotoxina**	**Resultado (µg/kg)**	**Incertidumbre expandida (U)**	**% recuperación**	**Lim Cuantif/ Detec (µg/kg)**
5	Aflatoxina G2	< 1	± 26 %	62	1

Realizado por:	ACG Labs	Revisado Por:	Alberto Pineda
Fecha:	04/11/2021	Fecha:	10/06/2022

Nota. Resultados obtenidos. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 39.

Resultados protocolo PQ-1 M4102021

PROTOCOLO PQ-1 Concentración de micotoxinas M4102021					
No	**Micotoxina**	**Resultado (µg/kg)**	**Incertidumbre expandida (U)**	**% recuperación**	**Lim Cuantif/ Detec (µg/kg)**
1	Aflatoxinas totales	1 024	± 26 %	N/A	N/A
2	Aflatoxina B1	950	± 26 %	131	1
3	Aflatoxina B2	74	± 26 %	115	1
4	Aflatoxina G1	< 1	± 26 %	100	1
5	Aflatoxina G2	< 1	± 26 %	100	1
6	Deoxinivalenol	< 500	± 26 %	119	500
7	Fumonisina B1	3 291	± 26 %	91	500
8	Fumonisina B2	2 260	± 26 %	65	150

Continuación de la tabla 39.

PROTOCOLO PQ-1 Concentración de micotoxinas M4102021					
No	**Micotoxina**	**Resultado (µg/kg)**	**Incertidumbre expandida (U)**	**% recuperación**	**Lim Cuantif/ Detec (µg/kg)**
9	Fumonisinas (B1+B2)	5 551	± 26 %	N/A	N/A
10	Ocratoxina A	< 3	± 26 %	66	3
11	Toxina HT2	< 500	± 26 %	137	500
12	Toxina T2	< 500	± 26 %	136	500
13	Zearalenona	< 50	± 26 %	95	50

Realizado por:	ACG Labs	Revisado Por:	Alberto Pineda
Fecha:	04/11/2021	Fecha:	10/06/2022

Nota. Resultados obtenidos. Elaboración propia, realizado con Word.

Tabla 40.

Resumen de cumplimiento protocolos de calificación

Sistema	DQ-1 (%)	IQ-1 (%)	IQ-2 (%)	OQ-1 (%)	OQ-2 (%)	PQ-1 (%)	Dictamen
1	64	N/A	54	37	0	100	Cumple con desviaciones
2	46	80	N/A	47	100	0	No cumple
3	100	100	N/A	100	100	100	Cumple
4	55	N/A	21	32	0	0	No cumple

Nota. Cumplimiento protocolos de calificación. Elaboración propia, realizado con Word.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la tabla 40, se presenta el cumplimiento secuencial de los criterios de los cuatro protocolos evaluados durante la calificación de los cuatro sistemas de almacenamiento estudiados. Se demostró que sólo el sistema tres cumple con todos los requisitos, por lo que se encuentra calificado con respecto a las recomendaciones de la FAO. En el sistema tres se cuantificaron 10 µg/kg ± 26 % de AFB1 con un porcentaje de recuperación del analito del 74 % (tabla 38). Aunque la cuantificación de AFB1 cumple para la normativa guatemalteca, si el grano fuera de exportación dependiendo del destino los valores máximos permitidos oscilarán entre 4 a 15 µg/kg y no cumpliría con dichos requisitos; sin embargo, el consumo de este grano es exclusivo para el mercado interno guatemalteco y utilizado en procesos de nixtamalización y cocción en húmedo.

Estudios realizados por Mendoza (2021) han documentado reducciones de aflatoxinas del 94.5 % y del 75 al 90 %, en la etapa de nixtamalización y del 40 % al 70 % en extrusiones en caliente a 105 °C; por lo que la concentración final en las preparaciones alimenticias del grano almacenado en el sistema tres podrían ser menor a 1 µg/kg debido a que estas etapas posteriores al almacenamiento reducen el riesgo por peligro químico para consumo humano.

El segundo sistema que cumplió en desempeño pero con desviaciones fue el sistema uno; esto quiere decir que, aunque se desempeña correctamente porque los niveles de aflatoxinas cumplen con los límites establecidos en la regulación nacional con valores reportados menores a 1 µg/kg ± 26 % para los cuatro tipos de aflatoxinas evaluadas (tabla 36) y porcentajes de recuperación del 61 al 74 %; en las etapas de diseño, instalación y operación, existen

desviaciones con respecto a FAO que requieren atención para que dicho desempeño sea reproducible a largo plazo.

Entre las posibles razones de que el sistema uno se desempeñará correctamente a pesar de las desviaciones documentadas, es el hecho de que el agricultor realiza secados al sol por seis horas cada semana de todos los lotes durante todo el tiempo que permanecen almacenados hasta que se comercializan y el lote eventualmente es consumido. Todos los lotes antes de ingresar al almacén son secados al sol primero y de forma artesanal por la mordida del grano, textura y apariencia, determinan que el grano posee un nivel adecuado de humedad interna. Un segundo factor que pudo influir en el buen desempeño del sistema es que se respetan los ciclos de fumigación de la municipalidad y no se posterga la actividad. El tercer y último factor puede atribuirse a la alta rotación del inventario, un lote promedio no permanece más de dos semanas en el almacén. El valor de CHE promedio de este sistema es 14.3 % y a una temperatura de grano de 32,2 ˚C se puede almacenar de forma segura según FAO hasta 16 días (tabla 8).

Estos factores de forma sinérgica pueden explicar el buen desempeño a nivel de aflatoxinas del lote muestreado, pero no es posible esperar que los resultados a largo plazo sean reproducibles como lo demuestra el valor de Ppk para la variable CHE igual a 0.26 con 21.83 % unidades fuera de los límites. Comparado los valores de Ppk para CHE de 6,85 y 3,80 para los sistemas dos y tres respectivamente ambos mayores a 1.33 (tabla 33), se observa que únicamente estos sistemas son capaces de entregar de forma reproducible a largo plazo el valor de CHE dentro de especificaciones con 0 % de unidades defectuosas.

Los sistemas dos y cuatro no cumplieron con los requisitos en la calificación del desempeño, con valores de aflatoxinas totales de 1978 y 1024 µg/kg ± 26 %; aún con etapas térmicas posteriores como la nixtamalización o la cocción en húmedo o seco, no se lograría reducir los niveles de micotoxinas incrementando el peligro químico y no se garantiza la inocuidad de las preparaciones alimenticias y del consumo como alimento para ganado.

En estos dos sistemas el maíz blanco es destinado para consumo humano y animal; los animales de patio recibirán la carga total de aflatoxinas debido a que son alimentados con los granos almacenados sin recibir tratamiento térmico o químico alguno. Estudios han demostrados que cuando un animal ingiere alimentos con concentraciones de AFB1, esta es biotransformada en el hígado por hidroxilación del carbono 4 a AFM1; 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 (Jáuregui, 2020).

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. Estos dos sistemas poseen el mayor número de desviaciones desde la concepción del diseño del sistema de almacenamiento como tal hasta su operación, ambos sistemas no son capaces de mantener el CHE de grano a largo plazo y muestran valores de Ppk menores a 1,33, en el sistema cuatro inclusive negativo – 0.12 (63.60 % fuera de límite superior) (tabla 33).

Debido a que durante la calificación se evidenció que el sistema cuatro tenía la mayor probabilidad de riesgo por peligro químico por las condiciones

psicrométricas ambientales y de almacenamiento (tabla 35), se realizó un barrido completo de micotoxinas; otro criterio utilizado para seleccionar este sistema fue que, debido a ser venta comunal, el riesgo se multiplica por la cantidad de personas que utilizan este maíz para preparaciones alimenticias respecto al sistema dos que sólo es para consumo familiar.

Se cuantificaron las siguientes micotoxinas adicionales para el sistema cuatro: 3 291 µg/kg ± 26 % de fumonisina B1 y 2 260 µg/kg ± 26 % fumonisina B2 con porcentajes de recuperación del 91 % y 65 % respectivamente; se reportaron valores menores al límite de cuantificación/detección para las micotoxinas deoxinivalenol, ocratoxina A, toxina HT2, toxina T2 y zearalenona (tabla 39). Las concentraciones de fumonisinas superan incluso a las de las aflatoxinas en la misma muestra en una relación aproximada de 5 a 1; lo anterior indica que es posible que el analito a investigar con mayor profundidad en el maíz blanco procedente de dicha región debiese ser las fumonisinas de la serie B.

La normativa nacional sólo establece límites para aflatoxinas totales, no existen valores para aflatoxinas individuales y tampoco existen valores máximos permitidos para fumonisinas totales o individuales. Para estos niveles de fumonisinas los tratamientos térmicos podrían reducir del 80 al 100 % según Mendoza (2021) y 50 % acorde al INCAP (2003); con estas reducciones, es posible que en las preparaciones alimenticias prevalezcan las fumonisinas frente a las aflatoxinas luego de los tratamientos químicos o térmicos y no se garantice la inocuidad en las preparaciones alimenticias finales.

CONCLUSIONES

1. Se demostró que sólo dos (sistemas 1 y 3) de los cuatro 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.

2. El sistema tres cumple con el 100 % de los criterios FAO. El uno cumplió con el 100 % de los criterios PQ, con desviaciones del 65 %, 54 % y 37 % para los criterios DQ, IQ y OQ respectivamente por lo cual se encuentra calificado con desviaciones. Los sistemas dos y cuatro no cumplen con los criterios PQ por lo que no se encuentran calificados.

3. Los resultados de control de plagas demostraron valores de cumplimiento del 37 %, 47 %, 100 % y 23 % para los sistemas del uno al cuatro respectivamente; por lo que únicamente el sistema tres cumple con los criterios de calificación.

4. El análisis de capacidad a largo plazo del CHE reportó valores de 0,26, 6,85, 3,80 y - 0,12 para los sistemas del uno al cuatro respectivamente; sólo los sistemas dos y tres pueden mantener el perfil de CHE en cumplimiento a largo plazo.

5. El sistema uno y tres cumplen con niveles de aflatoxinas totales menores a 1 µg/kg y 10 µg/kg ± 26 % respectivamente; los sistemas dos y cuatro no cumplen con valores de aflatoxinas totales de 1 978 y 1 024 µg/kg ± 26 %.

RECOMENDACIONES

1. Realizar una colaboración en conjunto MAGA-CUDEP para capacitar a los agricultores y distribuidores de maíz blanco de la región estudiada en buenas prácticas de almacenamiento.

2. Verificar o implementar un sistema de gestión de plagas para los sistemas que no lo poseen en el marco de las colaboraciones MAGA-CUDEP.

3. Extrapolar el modelo de calificación presentado a etapas de otros procesos en la industria alimenticia en conjunto con los principios HACCP.

4. Ampliar las investigaciones de fumonisinas de la serie B y otras micotoxinas de importancia, su riesgo por peligro químico y propuestas de límites para la regulación nacional.

REFERENCIAS

Acuña, N., Salinas, P. & Valles, N. (2014). Determinación de aflatoxinas en productos derivados de cereales de consumo humano en Mercados de Trujillo, Perú. *REBIOLEST, 22*(2), 5-11. https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/ECCBB/article/download/747/672

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 pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. http://www.repositorio.usac.edu.gt/6348/.

Arias, C. (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural*. https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANI.019588#similar

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]. Archivo digital. http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_4013.pdf.

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 pregrado, Universidad de San Carlos

de Guatemala]. Archivo digital. http://www.repositorio.usac.edu.gt/11858/.

Franco, M. (2015). *Elaboración de un mapa de clasificación climática para Guatemala*. [Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar]. Archivo digital. http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/06/15/Franco-Gabriela.pdf.

Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (1996). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica*.

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 pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/prunian/INF-2019-08.pdf.

Martínez, M., Vargas, L. & Gómez, V. (2013). *Aflatoxinas: incidencia, impactos en la salud, control y prevención*. Normas Editoriales.

Mendoza, J. (2021). *Efecto de la Nixtamalización en Maíz Contaminado con Micotoxinas*. [Tesis de doctorado, Universidad de Nebraska–]. Archivo digital. https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g2329s.pdf.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2018). *Informe de situación de maíz blanco*. https://www.maga.gob.gt/.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2020). *Programa de agricultura familiar para el fortalecimiento de la economía campesina*. https://www.maga.gob.gt/.

National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods (1998). *Hazard Analysis and Critical Control Point Principles and Application Guidelines*. https://lifftproject.com/wp-content/uploads/2021/08/HACCP-Principles-and-Application-Guidelines-2021.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1993). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural*. https://www.fao.org/home/es.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020). *Codex Alimentarius, General Principles of Food Hygiene CX 1-1969*. https://www.fao.org/home/es.

Organización Panamericana de la Salud (1996). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica*. https://www.paho.org/es.

Palencia, E., Torres, O., Hagler, W., Meredith, F. I., Williams, L. D. & Riley, R. T. (2003). Total fumonisins are reduced in tortillas using the traditional nixtamalization method of Mayan communities. *The Journal of Nutrition, 133*(10), 3200-3203. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022316622158219

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 pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2684.pdf.

Sánchez, I. & Pérez-Urria, E. (2014). Maíz I (Zea mays). *Serie Botánica, 7*(2), 151-171. https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/ae41001e-474e-4d61-b12f-90f071ff82b1/content

The Food Processors Institute (1999). *Hazard Analysis and Critical Control Points, A Systematic Approach to Food Safety*. TFPI.

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

APÉNDICES

Apéndice 1.

Matriz de coherencia

Problema	Objetivos	Variables	Conclusión	Recomendación
Pregunta principal ¿Son los sistemas actuales de almacenamiento para las cosechas de maíz (*Zea mays*) 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?	**Objetivo 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.			
Preguntas auxiliares 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?	**Objetivos específicos** 1. Calificar los sistemas de almacenamiento de granos de maíz para verificar si cumplen con las recomendaciones de la FAO.	- Temperatura y humedad relativa de almacenamiento. - Temperatura y humedad relativa del sitio donde se encuentra el almacenamiento.	El sistema tres cumple con el 100 % de los criterios FAO. El uno cumplió con el 100 % de los criterios PQ, con desviaciones del 65 %, 54 % y 37 % para los criterios DQ, IQ y OQ respectivamente por lo cual se encuentra calificado con desviaciones. Los sistemas dos y cuatro no cumplen con los criterios PQ por lo que no se encuentran calificados.	Realizar una colaboración en conjunto MAGA-CUDEP para capacitar a los agricultores y distribuidores de maíz blanco de la región estudiada en buenas prácticas de almacenamiento.

Continuación del apéndice 1

Problema	Objetivos	Variables	Conclusión	Recomendación
2. ¿Son los programas o controles de plagas establecidos en los sistemas de almacenamiento adecuados?	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.	- Barreras físicas. - Cordón sanitario (trampas y estaciones de cebado). - Sistema de fumigación y rotación de pesticidas. - Concentraciones de uso de pesticidas.	Los resultados de control de plagas demostraron valores de cumplimiento del 37 %, 47 %, 100 % y 23 % para los sistemas del uno al cuatro respectivamente; por lo que únicamente el sistema tres cumple con los criterios de calificación.	Dentro de las colaboraciones MAGA-CUDEP, verificar o implementar un sistema de gestión de plagas.
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.	El análisis de capacidad a largo plazo del CHE reportó valores de 0,26, 6,85, 3,80 y - 0,12 para los sistemas del uno al cuatro respectivamente; sólo los sistemas dos y tres pueden mantener el perfil de CHE en cumplimiento a largo plazo.	El modelo calificación aplicado a una etapa de un proceso donde se desean evaluar los riesgos puede ser extrapolado a etapas de otros procesos en la industria alimenticia en conjunto con los principios HACCP.

Continuación del apéndice 1

Problema	Objetivos	Variables	Conclusión	Recomendación
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.	El sistema uno y tres cumplen con niveles de aflatoxinas totales menores a 1 µg/kg y 10 µg/kg ± 26 % respectivamente; los sistemas dos y cuatro no cumplen con valores de aflatoxinas totales de 1 978 y 1 024 µg/kg ± 26 %.	Ampliar las investigaciones de fumonisinas de la serie B, su riesgo por peligro químico y propuestas de límites para la regulación nacional.

Nota. Matriz de coherencia. Elaboración propia, realizado con Word.

Apéndice 2.

Infraestructura sistema de almacenamiento 1

Nota. Infraestructura sistema de almacenamiento. Elaboración propia.

Apéndice 3.

Infraestructura sistema de almacenamiento 2

Nota. Infraestructura sistema de almacenamiento. Elaboración propia.

Apéndice 4.

Infraestructura sistema de almacenamiento 3

Nota. Infraestructura sistema de almacenamiento. Elaboración propia.

Apéndice 5.

Infraestructura sistema de almacenamiento 4

Nota. Infraestructura sistema de almacenamiento. Elaboración propia.

Apéndice 6.

Medición de CHE sistema 1

Nota. Mediciones. Elaboración propia.

Apéndice 7.

Medición de CHE sistema 2

Nota. Mediciones. Elaboración propia.

Apéndice 8.

Medición de CHE sistema 3

Nota. Mediciones. Elaboración propia.

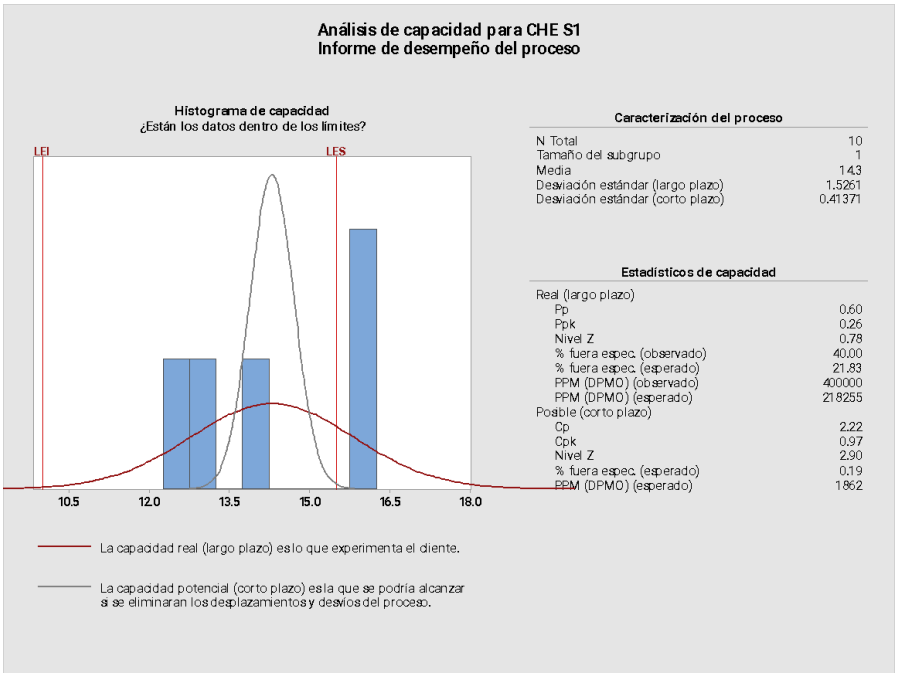
Apéndice 9.

Medición de CHE sistema 4

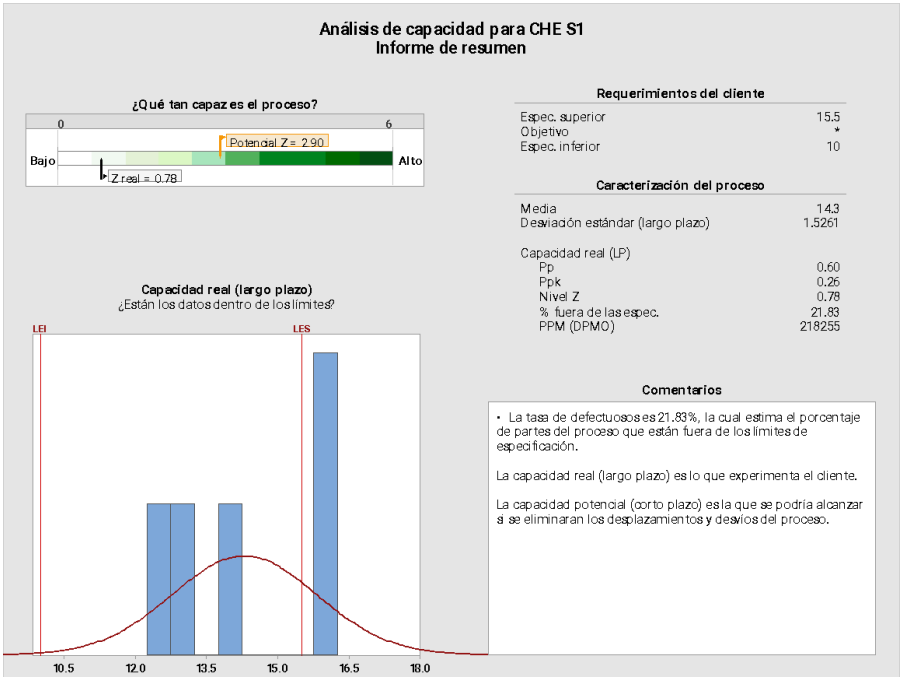
Nota. Mediciones. Elaboración propia.

Apéndice 10.

Resultados análisis de capacidad sistema 1



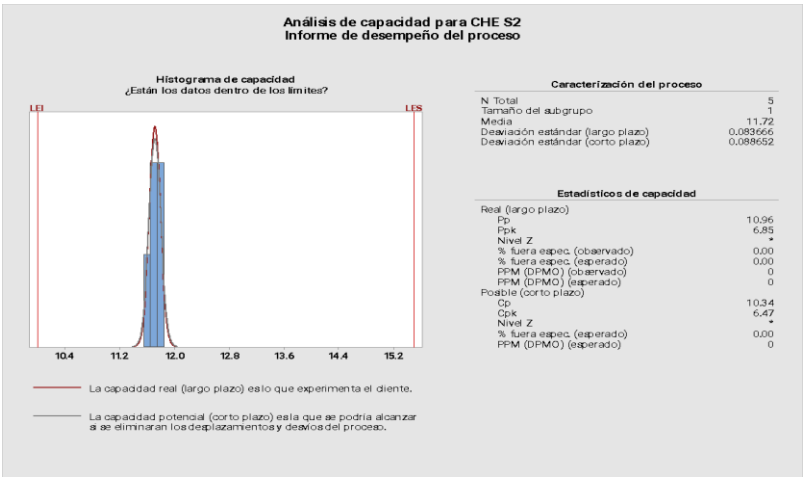
Continuación apéndice 10.



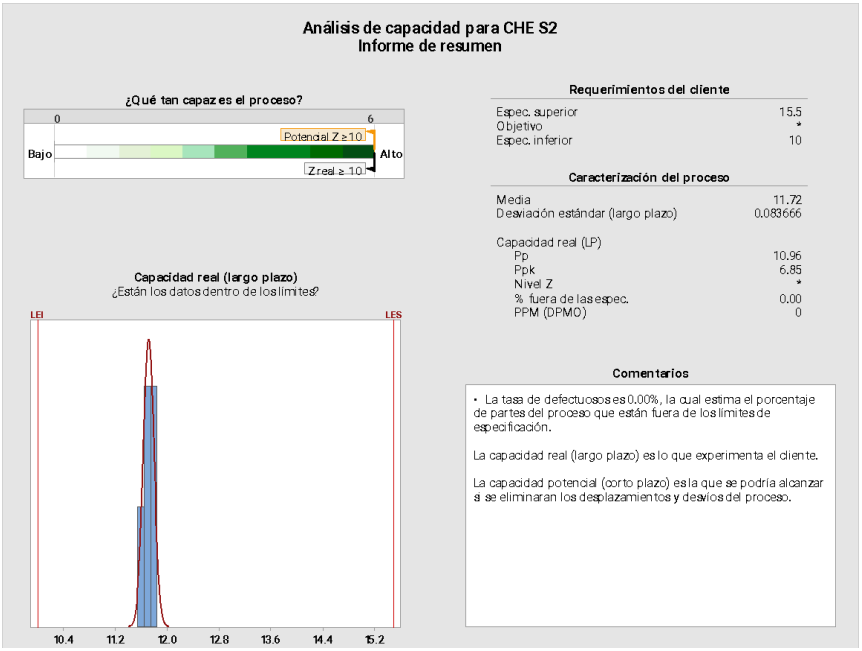
Nota. Resultados de análisis. Elaboración propia, realizado con Minitab.

Apéndice 11.

Resultados análisis de capacidad sistema 2



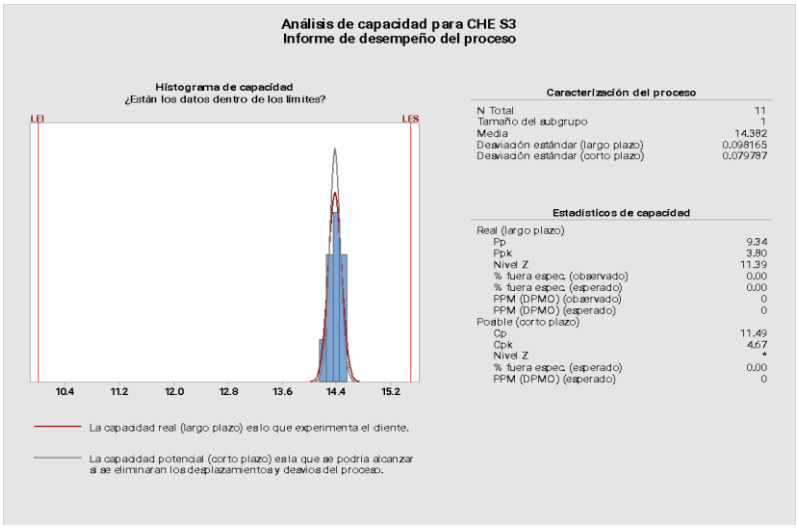
Continuación apéndice 11.



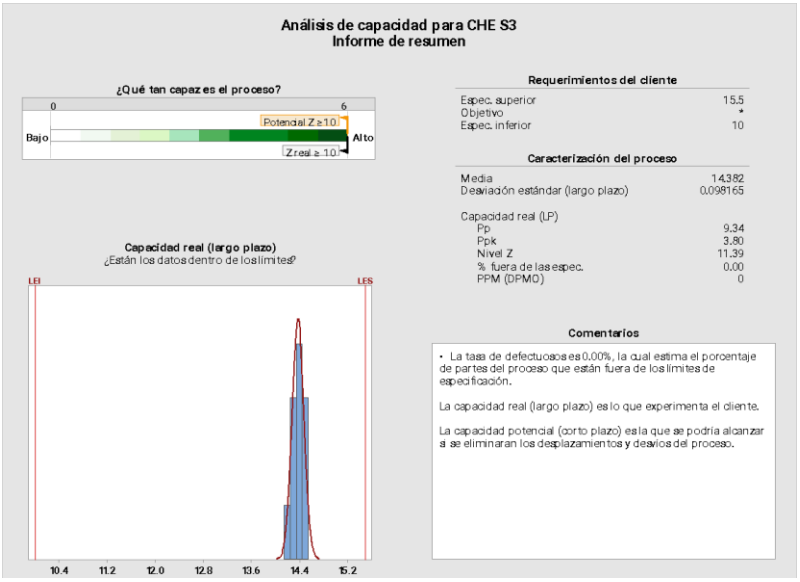
Nota. Resultados de análisis. Elaboración propia, realizado con Minitab.

Apéndice 12.

Resultados análisis de capacidad sistema 3



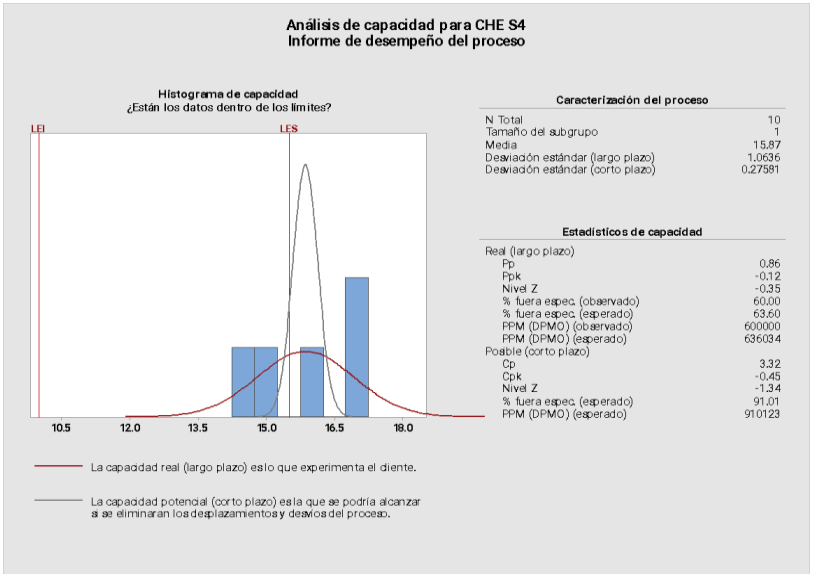
Continuación apéndice 12.



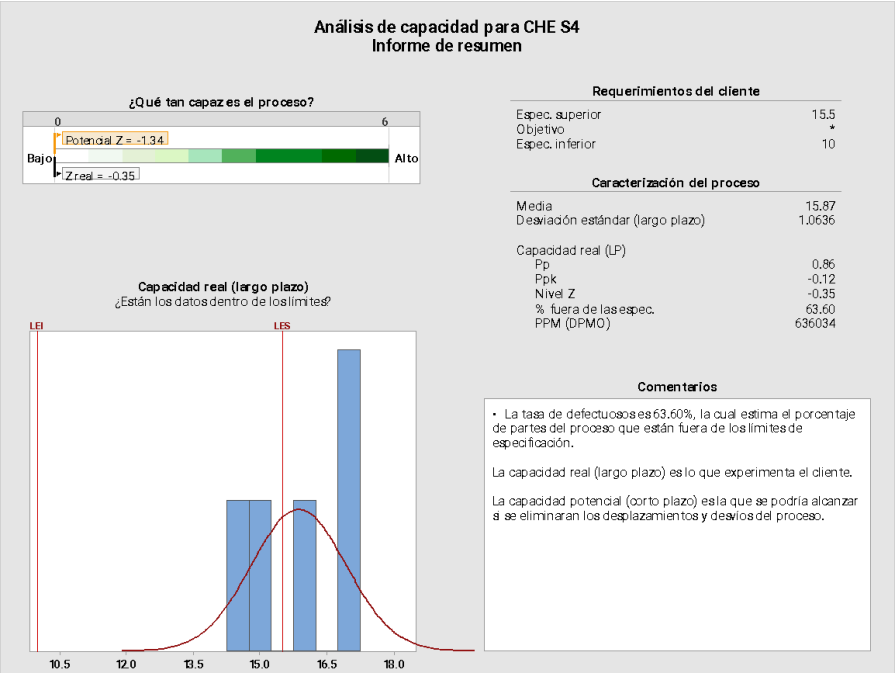
Nota. Resultados de análisis. Elaboración propia, realizado con Minitab.

Apéndice 13.

Resultados análisis de capacidad sistema 4



Continuación apéndice 13.

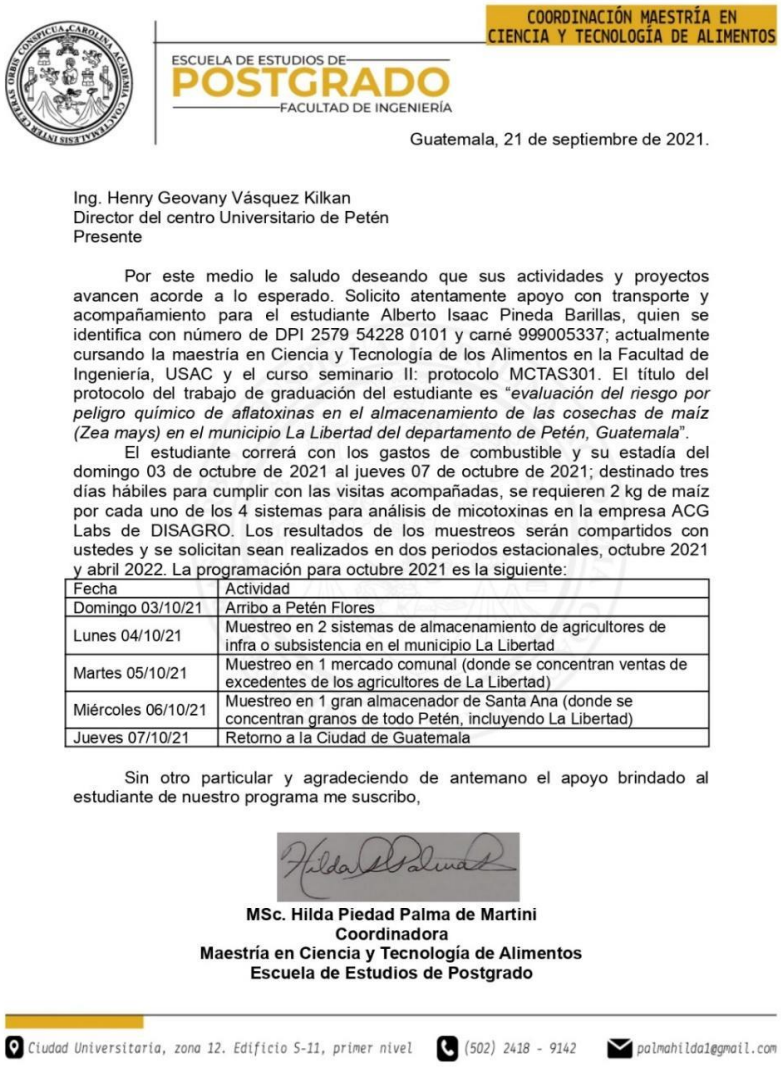


Nota. Resultados de análisis. Elaboración propia, realizado con Minitab.

ANEXOS

Anexo 1.

Carta de solicitud cooperación FIUSAC – CUDEP



COORDINACIÓN MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 21 de septiembre de 2021.

Ing. Henry Geovany Vásquez Kilkan
Director del centro Universitario de Petén
Presente

Por este medio le saludo deseando que sus actividades y proyectos avancen acorde a lo esperado. Solicito atentamente apoyo con transporte y acompañamiento para el estudiante Alberto Isaac Pineda Barillas, quien se identifica con número de DPI 2579 54228 0101 y carné 999005337; actualmente cursando la maestría en Ciencia y Tecnología de los Alimentos en la Facultad de Ingeniería, USAC y el curso seminario II: protocolo MCTAS301. El título del protocolo del trabajo de graduación del estudiante es "*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 estudiante correrá con los gastos de combustible y su estadía del domingo 03 de octubre de 2021 al jueves 07 de octubre de 2021; destinado tres días hábiles para cumplir con las visitas acompañadas, se requieren 2 kg de maíz por cada uno de los 4 sistemas para análisis de micotoxinas en la empresa ACG Labs de DISAGRO. Los resultados de los muestreos serán compartidos con ustedes y se solicitan sean realizados en dos periodos estacionales, octubre 2021 y abril 2022. La programación para octubre 2021 es la siguiente:

Fecha	Actividad
Domingo 03/10/21	Arribo a Petén Flores
Lunes 04/10/21	Muestreo en 2 sistemas de almacenamiento de agricultores de infra o subsistencia en el municipio La Libertad
Martes 05/10/21	Muestreo en 1 mercado comunal (donde se concentran ventas de excedentes de los agricultores de La Libertad)
Miércoles 06/10/21	Muestreo en 1 gran almacenador de Santa Ana (donde se concentran granos de todo Petén, incluyendo La Libertad)
Jueves 07/10/21	Retorno a la Ciudad de Guatemala

Sin otro particular y agradeciendo de antemano el apoyo brindado al estudiante de nuestro programa me suscribo,

MSc. Hilda Piedad Palma de Martini
Coordinadora
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos
Escuela de Estudios de Postgrado

Ciudad Universitaria, zona 12. Edificio S-11, primer nivel (502) 2418 - 9142 palmahilda1@gmail.com

Nota. Carta de coordinación de MCTA FIUSAC. Obtenido de Escuela de Estudios de Postgrado (2021). *Documentos varios.*

Anexo 2.

Certificado de acreditación AGQ Labs

Acreditación

ENAC

Entidad Nacional de Acreditación

Otorga la presente / Grants this

ACREDITACIÓN

305/LE1323

a

LABS & TECHNOLOGICAL SERVICES AGQ, S.L.

Según criterios recogidos en la norma UNE-EN ISO/IEC 17025, para las actividades de ENSAYO definidas en el ANEXO TÉCNICO nº 305/LE1323.

According to the criteria in the standard UNE-EN ISO/IEC 17025 for the Testing activities defined in the Technical Annex No 305/LE1323.

Fecha de entrada en vigor / Coming into effect: 19/01/2007

D. José Manuel Prieto Barrio
Presidente

ENTIDAD NACIONAL DE ACREDITACIÓN ENAC

La acreditación mantiene su vigencia hasta notificación en contra. Este documento no tiene validez sin su correspondiente anexo técnico.La presente acreditación y su anexo técnico están sujetos a modificaciones, suspensiones temporales y retirada. Su vigencia puede confirmarse en www.enac.es.

The accreditation maintains its validity unless otherwise stated. The present accreditation is not valid without its corresponding technical annex. This accreditation and its technical annex could be reduced, temporarily suspended and withdrawn. The state of validity of it can be confirmed at www.enac.es.

ENAC es firmante de los Acuerdos de Reconocimiento Mutuo establecidos en el seno de la European co-operation for Accreditation (EA) y de las organizaciones internacionales de organismos de acreditación, ILAC e IAF (www.enac.es)

ENAC is signatory of the Multilateral Recognition Agreements established by the European co-operation for Accreditation (EA) and the International organizations of accreditation bodies, ILAC and IAF (www.enac.es)

Ref.: CLE/8535 Fecha de emisión 06/04/2018
El presente documento anula y sustituye al de ref. CLE/3140

Código Validación Electrónica: 0x0LgWKK01d842L5gq
La vigencia de la acreditación y del presente certificado puede confirmarse en http://www.enac.es/web/enac/validacion-electronica o haciendo clic **aquí**

Nota. Acreditación 305/LE1323. Obtenido de AGQ S.L. (2018). *Acreditación 305/LE1323.*

Anexo 3.

Alcance de la acreditación de la metodología analítica LC/MS

ENAC
Entidad Nacional de Acreditación

PRODUCTO/MATERIAL A ENSAYAR *PRODUCTS/MATERIALS TESTED*	ENSAYO *TYPE OF TEST*	NORMA/PROCEDIMIENTO DE ENSAYO *STANDARD SPECIFICATIONS/ TEST PROCEDURE*
Frutos secos *Tree nuts*	Aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 por cromatografía líquida con detector de espectrometría de masas (CL-MS/MS) *Aflatoxins B1, B2, G1 and G2 by liquid chromatography mass spectrometry (LC-MS/MS)* *(≥1 µg/kg)*	PE-519 *Método interno conforme a* *In-house method according to* *RCE 401/2006 y sus posteriores modificaciones* *RCE 401/2006 and its subsequent amendments*
Café Vino Mosto Cerveza Frutas desecadas *Coffee* *Wine* *Grape juice* *Beer* *Dried fruits*	Ocratoxina A por cromatografía líquida con detector de espectrometría de masas (CL-MS/MS) *Ochratoxin A by liquid chromatography mass spectrometry (LC-MS/MS)* *(≥1,0 µg/kg)* Vinos, mostos, cervezas/*Wine, grape juice, beer* *(≥ 2,0 µg/kg)* Café/*Coffee* *(≥ 5,0 µg/kg)* Frutas desecadas/*Dried fruits*	PE-520 *Método interno conforme a* *In-house method according to* *RCE 401/2006 y sus posteriores modificaciones* *RCE 401/2006 and its subsequent amendments*
Cereales *Cereals*	Ocratoxina A, Aflatoxinas B1, B2, G1 y G2 por cromatografía líquida con detector de espectrometría de masas (CL-MS/MS) *Ochratoxina A, Aflatoxins B1, B2, G1 and G2 by liquid chromatography mass spectrometry (LC-MS/MS)* Aflatoxinas/*Aflatoxins* B1, B2, G1 y G2 *(≥1 µg/kg)* Ocratoxina/*Ochratoxin* A *(≥3 µg/kg)*	PE-505 *Método interno conforme a* *In-house method according to* *RCE 401/2006 y sus posteriores modificaciones* *RCE 401/2006 and its subsequent amendments*
Pescados y mariscos Vinos *Fish and seafood* *Wine*	Histamina por cromatografía líquida con detector de espectrometría de masas (CL-MS/MS) *Hystamine by liquid chromatography mass spectrometry (LC-MS/MS)* *(≥1 mg/l)* Vinos/*Wine* *(≥1 mg/kg)* Pescados y mariscos/*Fish and seafood*	PE-516 Rev. 7 *Método interno* *In-house method*

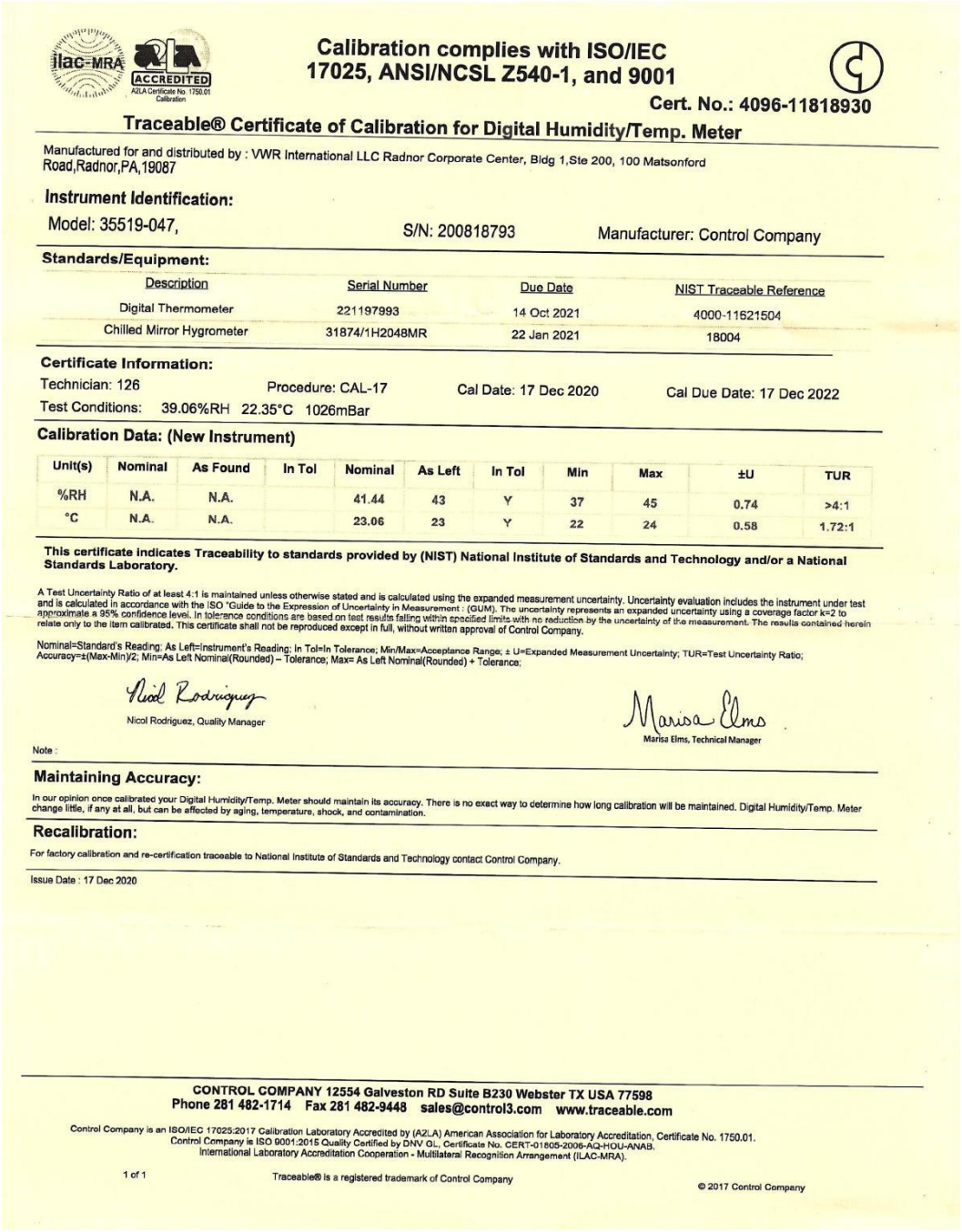
Accreditation will remain valid until notification to the contrary. This accreditation is subject to modifications, temporary suspensions and withdrawal. Its validity can be confirmed at www.enac.es

Código Validación Electrónica: cJ2V7Nz55Zbf2i693w
La acreditación mantiene su vigencia hasta notificación en contra. La presente acreditación está sujeta a modificaciones, suspensiones temporales y retirada. Su vigencia puede confirmarse en https://www.enac.es/web/enac/validacion-electronica o haciendo clic **aquí**

Nota. Alcance de la acreditación. Obtenido de AGQ S.L. (2018). *Acreditación 305/LE1323.*

Anexo 4.

Certificado de calibración termohigrómetro VWR



Calibration complies with ISO/IEC 17025, ANSI/NCSL Z540-1, and 9001

ACCREDITED
A2LA Certificate No. 1750.01
Calibration

Cert. No.: 4096-11818930

Traceable® Certificate of Calibration for Digital Humidity/Temp. Meter

Manufactured for and distributed by : VWR International LLC Radnor Corporate Center, Bldg 1,Ste 200, 100 Matsonford Road,Radnor,PA,19087

Instrument Identification:

Model: 35519-047, S/N: 200818793 Manufacturer: Control Company

Standards/Equipment:

Description	Serial Number	Due Date	NIST Traceable Reference
Digital Thermometer	221197993	14 Oct 2021	4000-11621504
Chilled Mirror Hygrometer	31874/1H2048MR	22 Jan 2021	18004

Certificate Information:

Technician: 126 Procedure: CAL-17 Cal Date: 17 Dec 2020 Cal Due Date: 17 Dec 2022

Test Conditions: 39.06%RH 22.35°C 1026mBar

Calibration Data: (New Instrument)

Unit(s)	Nominal	As Found	In Tol	Nominal	As Left	In Tol	Min	Max	±U	TUR
%RH	N.A.	N.A.		41.44	43	Y	37	45	0.74	>4:1
°C	N.A.	N.A.		23.06	23	Y	22	24	0.58	1.72:1

This certificate indicates Traceability to standards provided by (NIST) National Institute of Standards and Technology and/or a National Standards Laboratory.

A Test Uncertainty Ratio of at least 4:1 is maintained unless otherwise stated and is calculated using the expanded measurement uncertainty. Uncertainty evaluation includes the instrument under test and is calculated in accordance with the ISO "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement : (GUM). The uncertainty represents an expanded uncertainty using a coverage factor k=2 to approximate a 95% confidence level. In tolerance conditions are based on test results falling within specified limits with no reduction by the uncertainty of the measurement. The results contained herein relate only to the item calibrated. This certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of Control Company.

Nominal=Standard's Reading; As Left=Instrument's Reading; In Tol=In Tolerance; Min/Max=Acceptance Range; ± U=Expanded Measurement Uncertainty; TUR=Test Uncertainty Ratio; Accuracy=±(Max-Min)/2; Min=As Left Nominal(Rounded) – Tolerance; Max= As Left Nominal(Rounded) + Tolerance;

Nicol Rodriguez, Quality Manager

Marisa Elms, Technical Manager

Note :

Maintaining Accuracy:

In our opinion once calibrated your Digital Humidity/Temp. Meter should maintain its accuracy. There is no exact way to determine how long calibration will be maintained. Digital Humidity/Temp. Meter change little, if any at all, but can be affected by aging, temperature, shock, and contamination.

Recalibration:

For factory calibration and re-certification traceable to National Institute of Standards and Technology contact Control Company.

Issue Date : 17 Dec 2020

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by (A2LA) American Association for Laboratory Accreditation, Certificate No. 1750.01.
Control Company is ISO 9001:2015 Quality Certified by DNV GL, Certificate No. CERT-01605-2006-AQ-HOU-ANAB.
International Laboratory Accreditation Cooperation - Multilateral Recognition Arrangement (ILAC-MRA).

1 of 1

Traceable® is a registered trademark of Control Company

© 2017 Control Company

Nota. Certificado de calibración. Merck Guatemala. (2020). *Informe de calibración.*

Anexo 5.

Certificado de calibración medidor de humedad de grano

AMTAST USA INC

438 Skyline Dr E Lakeland FL 33809

Test Report

Grain Moisture Meter	Part Number: AMT155
	Date: Aug.17.2021
	Serial Number: 2104048

ISO 9001 Quality Standard
The product was manufactured in the Amtast USA facility whose Quality Management System is approved by an accredited registering body to the ISO 9001 Quality Systems Standard.

Reference Instrument:
Digital Balance 0.1mg x 200g
Drying Oven 40°C ~ 150°C, Digital Thermometer 0°C ~ 150°C

Meter Range
1) Wheat: 9~38%
2) Maize: 9~39%
3) Japonica Rice: 8.5~40%
4) Indica Rice: 8.9~30.4%
5) Soybean: 8.9~33.4%
6) Rice: 10.4~26.4%
7) Sorghum: 8~35%
8) Rapeseed: 6.4~25.4%
9) Millet: 9.4~28.4%
10) Peanut: 5.4~18.9%
11) Barley: 9.4~26.4%
12) Sunflower Seed: 7.9~24.4%
13) Coffee Bean: 10~30%
14) Cocoa Bean: 4.5~17%
15) Sesame: 6.0~18.0%
16) Flaxseed: 4.5~18.0%
17) Almonds: 4.5~21.0%

Tel: (813)-4028585 Fax: (815)-3663903 Email: info@amtast.com www.amtast.com

Nota. Certificado de calibración. AMTSAT. (2021). *Informe de calibración*.

Anexo 6.

Resultados calibración a tres puntos medidor CHE AMTSAT

Reports:

Environment Temperature: 23°C

Humidity: 45.9%RH

Calibrate Type	Standard Value	Meter	Test Value				Result
Wheat 1	10.8%	1	10.8	10.8	10.8	10.8	Pass
		2	10.7	10.7	10.7	10.7	
		3	10.6	10.8	10.8	10.6	
Wheat 2	11.9%	1	12.0	12.0	12.0	12.0	Pass
		2	11.8	11.9	11.8	11.8	
		3	11.9	12.0	11.9	12.0	
Wheat 3	18%	1	17.9	17.9	17.9	17.9	Pass
		2	17.9	17.9	18.0	17.9	
		3	18.1	18.1	18.1	18.1	
Corn 1	10%	1	9.9	9.9	9.9	9.9	Pass
		2	10.0	10.0	10.0	9.9	
		3	10.0	9.9	10.0	10.0	
Corn 2	12.3%	1	12.3	12.3	12.3	12.3	Pass
		2	12.4	12.4	12.3	12.4	
		3	12.3	12.3	12.3	12.3	
Corn 3	17.5%	1	17.4	17.4	17.4	17.4	Pass
		2	17.5	17.5	17.5	17.5	
		3	17.5	17.4	17.5	17.5	

Conclusion

Pass

We hereby certify that the above stated items are in compliance with all applicable instructions. This certificate shall not be copied or reproduced without the written approval of Amtast USA Inc. The document contains information that may be confidential and is intended only for the use of the addressee.

AMTAST USA INCORPORATED APRIL 11, 2011 FLORIDA

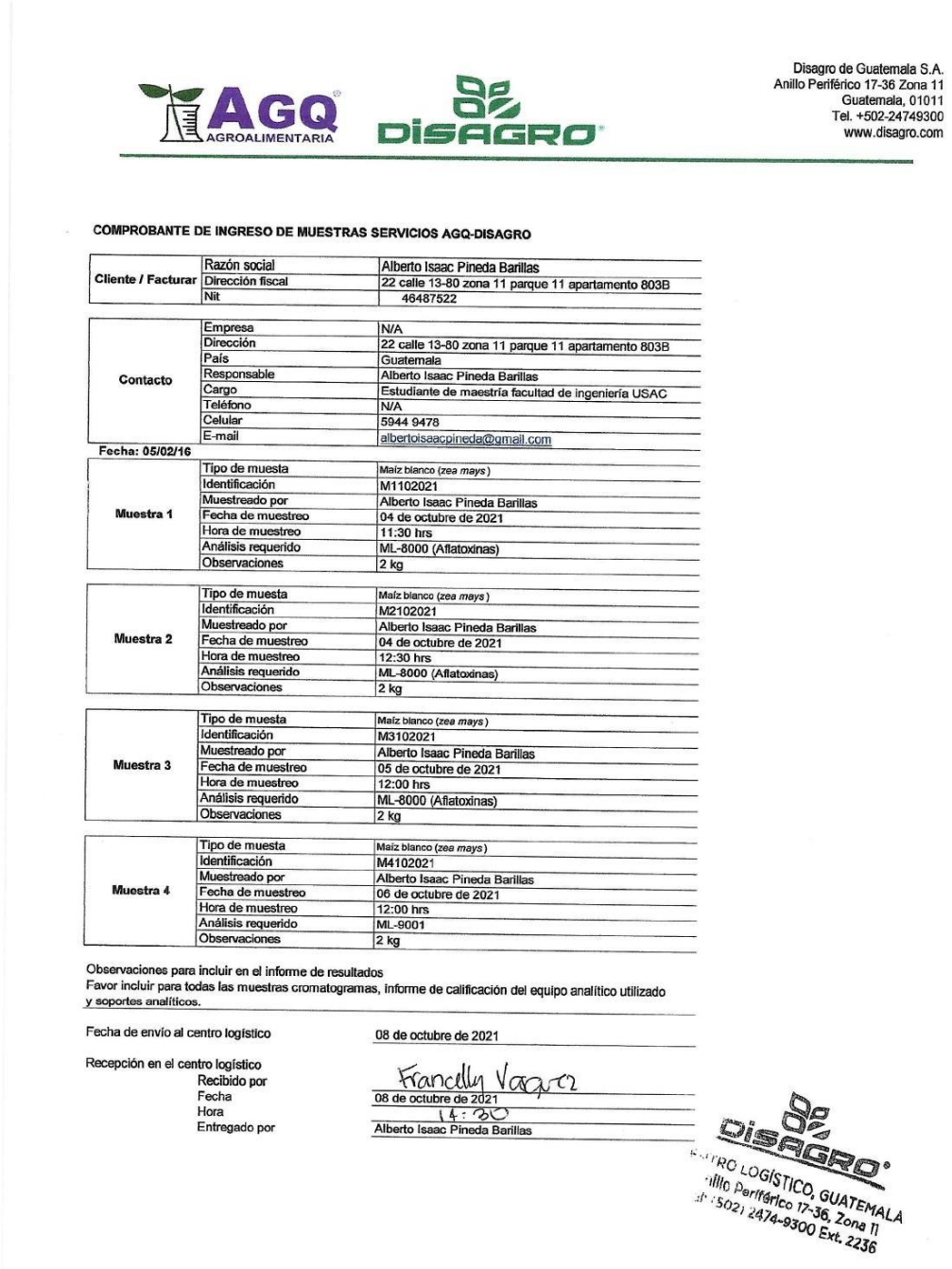
Tested By: William Brook

Tel: (813)-4028585 Fax: (815)-3663903 Email: info@amtast.com www.amtast.com

Nota. Resultados. AMTSAT. (2021). *Informe de calibración*.

Anexo 7.

Formato de recepción de muestras DISAGRO



AGQ AGROALIMENTARIA

DISAGRO

Disagro de Guatemala S.A.
Anillo Periférico 17-36 Zona 11
Guatemala, 01011
Tel. +502-24749300
www.disagro.com

COMPROBANTE DE INGRESO DE MUESTRAS SERVICIOS AGQ-DISAGRO

Cliente / Facturar	Razón social	Alberto Isaac Pineda Barillas
	Dirección fiscal	22 calle 13-80 zona 11 parque 11 apartamento 803B
	Nit	46487522

Contacto	Empresa	N/A
	Dirección	22 calle 13-80 zona 11 parque 11 apartamento 803B
	País	Guatemala
	Responsable	Alberto Isaac Pineda Barillas
	Cargo	Estudiante de maestría facultad de ingeniería USAC
	Teléfono	N/A
	Celular	5944 9478
	E-mail	albertoisaacpineda@gmail.com

Fecha: 05/02/16

Muestra 1	Tipo de muesta	Maíz blanco (*zea mays*)
	Identificación	M1102021
	Muestreado por	Alberto Isaac Pineda Barillas
	Fecha de muestreo	04 de octubre de 2021
	Hora de muestreo	11:30 hrs
	Análisis requerido	ML-8000 (Aflatoxinas)
	Observaciones	2 kg

Muestra 2	Tipo de muesta	Maíz blanco (*zea mays*)
	Identificación	M2102021
	Muestreado por	Alberto Isaac Pineda Barillas
	Fecha de muestreo	04 de octubre de 2021
	Hora de muestreo	12:30 hrs
	Análisis requerido	ML-8000 (Aflatoxinas)
	Observaciones	2 kg

Muestra 3	Tipo de muesta	Maíz blanco (*zea mays*)
	Identificación	M3102021
	Muestreado por	Alberto Isaac Pineda Barillas
	Fecha de muestreo	05 de octubre de 2021
	Hora de muestreo	12:00 hrs
	Análisis requerido	ML-8000 (Aflatoxinas)
	Observaciones	2 kg

Muestra 4	Tipo de muesta	Maíz blanco (*zea mays*)
	Identificación	M4102021
	Muestreado por	Alberto Isaac Pineda Barillas
	Fecha de muestreo	06 de octubre de 2021
	Hora de muestreo	12:00 hrs
	Análisis requerido	ML-9001
	Observaciones	2 kg

Observaciones para incluir en el informe de resultados
Favor incluir para todas las muestras cromatogramas, informe de calificación del equipo analítico utilizado y soportes analíticos.

Fecha de envío al centro logístico	08 de octubre de 2021
Recepción en el centro logístico	
Recibido por	Francelly Vargas
Fecha	08 de octubre de 2021
Hora	14:30
Entregado por	Alberto Isaac Pineda Barillas

DISAGRO
CENTRO LOGÍSTICO, GUATEMALA
Anillo Periférico 17-36, Zona 11
Tel: (502) 2474-9300 Ext. 2236

Nota. Formulario de recepción. ACG-DISAGRO. (2021). *Comprobante de ingreso de muestras*.

Anexo 8.

Informe analítico M1102021

AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

IAS ACCREDITED Testing Laboratory 71/-476

Nº de Referencia:	**AL-21/184385**	Registrada en:	Disagro	Cliente (^):	ALBERTO ISAAC PINEDA BARILLAS
Análisis:	SAI-CO-0010 (Full Screen Aflatoxinas IAS_Cereal)	Centro Análisis:	AGQ España		
Tipo Muestra:	MAIZ / CHOCLO	Fecha Recepción:	08/10/2021	Contrato:	21166102-a
Fecha Inicio:	21/10/2021	Fecha Fin:	26/10/2021	Cliente 3º(^):	----
Descripción(^):	Maiz blanco (zea mays) M1102021				

Fecha/Hora Muestreo:	04/10/2021	Muestreado por:	Cliente (^)

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

Adrian Hidalgo Soria

FECHA EMISIÓN: 26/10/2021

OBSERVACIONES (*):
Muestreado por Alberto Isaac Pineda Barillas

Continuación del anexo 8.

AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL-475

Nº de Referencia:	AL-21/184385	Tipo Muestra:	MAIZ / CHOCLO
Descripción(^):	Maiz blanco (zea mays) M1102021	Fecha Fin:	26/10/2021

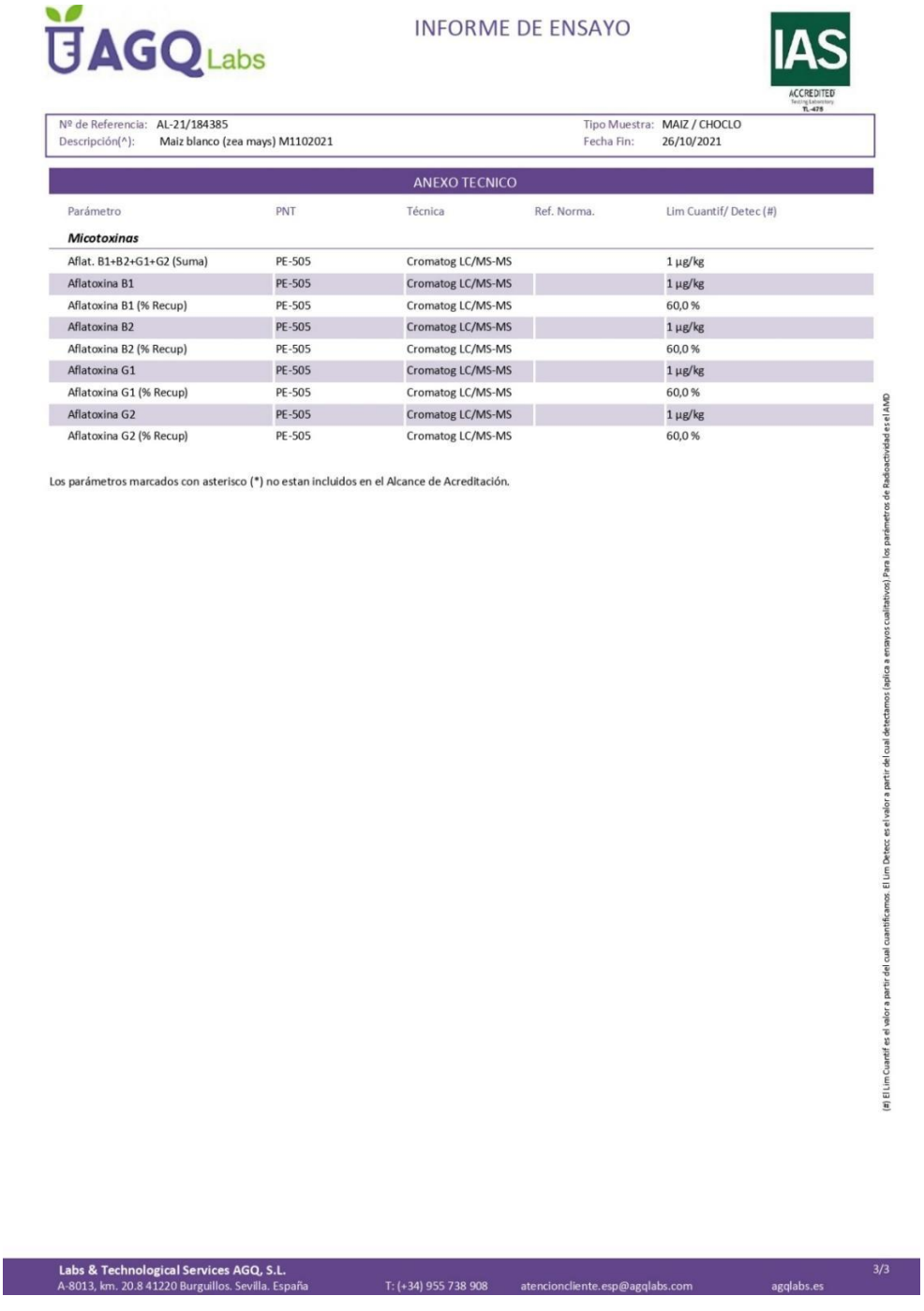
RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert
Micotoxinas			
Aflat. B1+B2+G1+G2 (Suma)	< 1	µg/kg	±26%
Aflatoxina B1	< 1	µg/kg	±26%
Aflatoxina B2	< 1	µg/kg	±26%
Aflatoxina G1	< 1	µg/kg	±26%
Aflatoxina G2	< 1	µg/kg	±26%
Aflatoxina B1 (% Recup)	74,0	%	-
Aflatoxina B2 (% Recup)	69,0	%	-
Aflatoxina G1 (% Recup)	61,0	%	-
Aflatoxina G2 (% Recup)	62,0	%	-

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (^). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

(&) Ensayo No cubierto por la Acreditación nº TL-475 emitida por IAS.

Continuación del anexo 8.



AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL-478

Nº de Referencia: AL-21/184385
Descripción(^): Maiz blanco (zea mays) M1102021
Tipo Muestra: MAIZ / CHOCLO
Fecha Fin: 26/10/2021

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lim Cuantif/ Detec (#)
Micotoxinas				
Aflat. B1+B2+G1+G2 (Suma)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina B1	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina B1 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %
Aflatoxina B2	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina B2 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %
Aflatoxina G1	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina G1 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %
Aflatoxina G2	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina G2 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %

Los parámetros marcados con asterisco (*) no estan incluidos en el Alcance de Acreditación.

(#) El Lim.Cuantif es el valor a partir del cual cuantificamos. El Lim.Detecc es el valor a partir del cual detectamos (aplica a ensayos cualitativos) Para los parámetros de Radioactividad es el LMD

Labs & Technological Services AGQ, S.L.
A-8013, km. 20.8 41220 Burguillos. Sevilla. España T: (+34) 955 738 908 atencioncliente.esp@agqlabs.com agqlabs.es 3/3

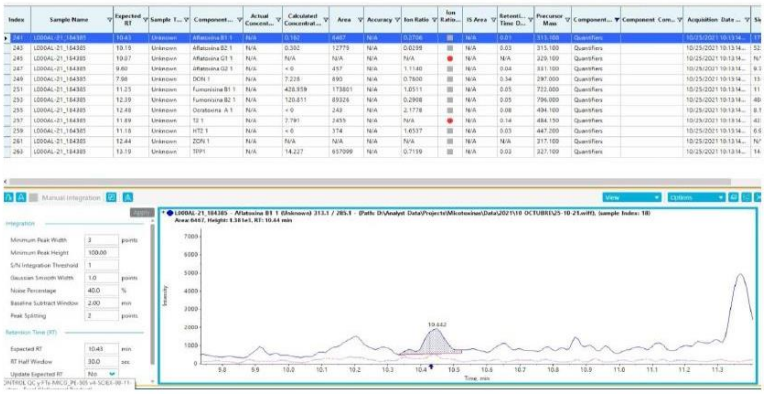
Nota. Resultados del análisis. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M1102021.*

Anexo 9.

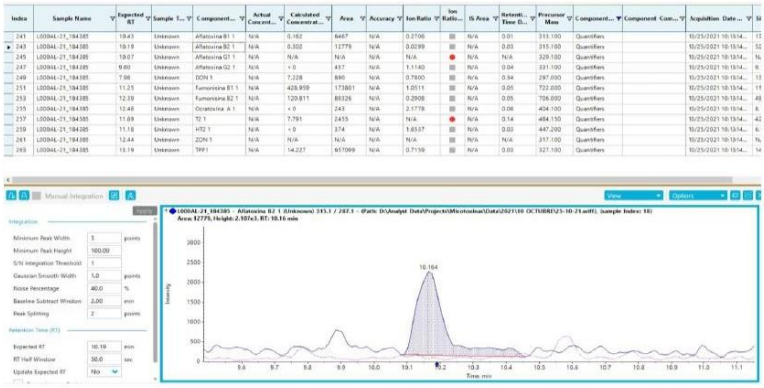
Cromatogramas aflatoxinas B1 y B2 M1102021

AL-21/184385

AFLATOXINA B1



AFLATOXINA B2

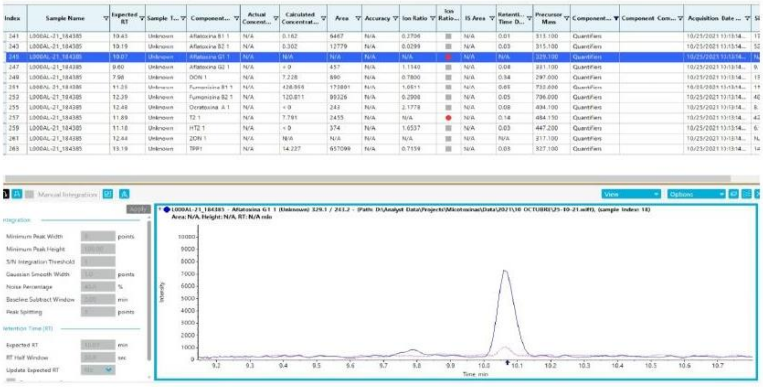


Nota. Resultados obtenidos. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M1102021*

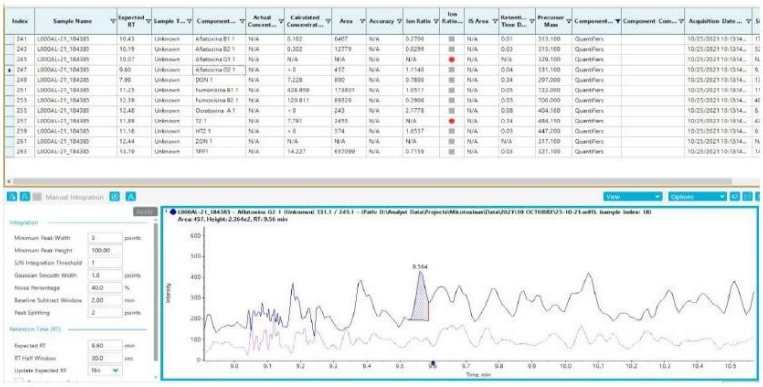
Anexo 10.

Cromatogramas aflatoxinas G1 y G2 M2102021

AFLATOXINA G1



AFLATOXINA G2



Nota. Resultados obtenidos. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M1102021*

Anexo 11.

Informe analítico M2102021

AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

IAS ACCREDITED Testing laboratory TL-478

Nº de Referencia:	**AL-21/184386**	Registrada en:	Disagro	Cliente (^):	ALBERTO ISAAC PINEDA BARILLAS
Análisis:	SAI-CO-0010 (Full Screen Aflatoxinas IAS_Cereal)	Centro Análisis:	AGQ España		
Tipo Muestra:	MAIZ / CHOCLO	Fecha Recepción:	08/10/2021	Contrato:	21166102-a
Fecha Inicio:	21/10/2021	Fecha Fin:	03/11/2021	Cliente 3º(^):	----
Descripción(^):	Maiz blanco (zea mays) M2102021				

Fecha/Hora Muestreo:	04/10/2021	Muestreado por:	Cliente (^)

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

Adrian Hidalgo Soria

FECHA EMISIÓN: 03/11/2021

OBSERVACIONES (*):
Muestreado por Alberto Isaac Pineda Barillas

Continuación del anexo 11.

AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL-475

Nº de Referencia:	AL-21/184386	Tipo Muestra:	MAIZ / CHOCLO
Descripción(^):	Maiz blanco (zea mays) M2102021	Fecha Fin:	03/11/2021

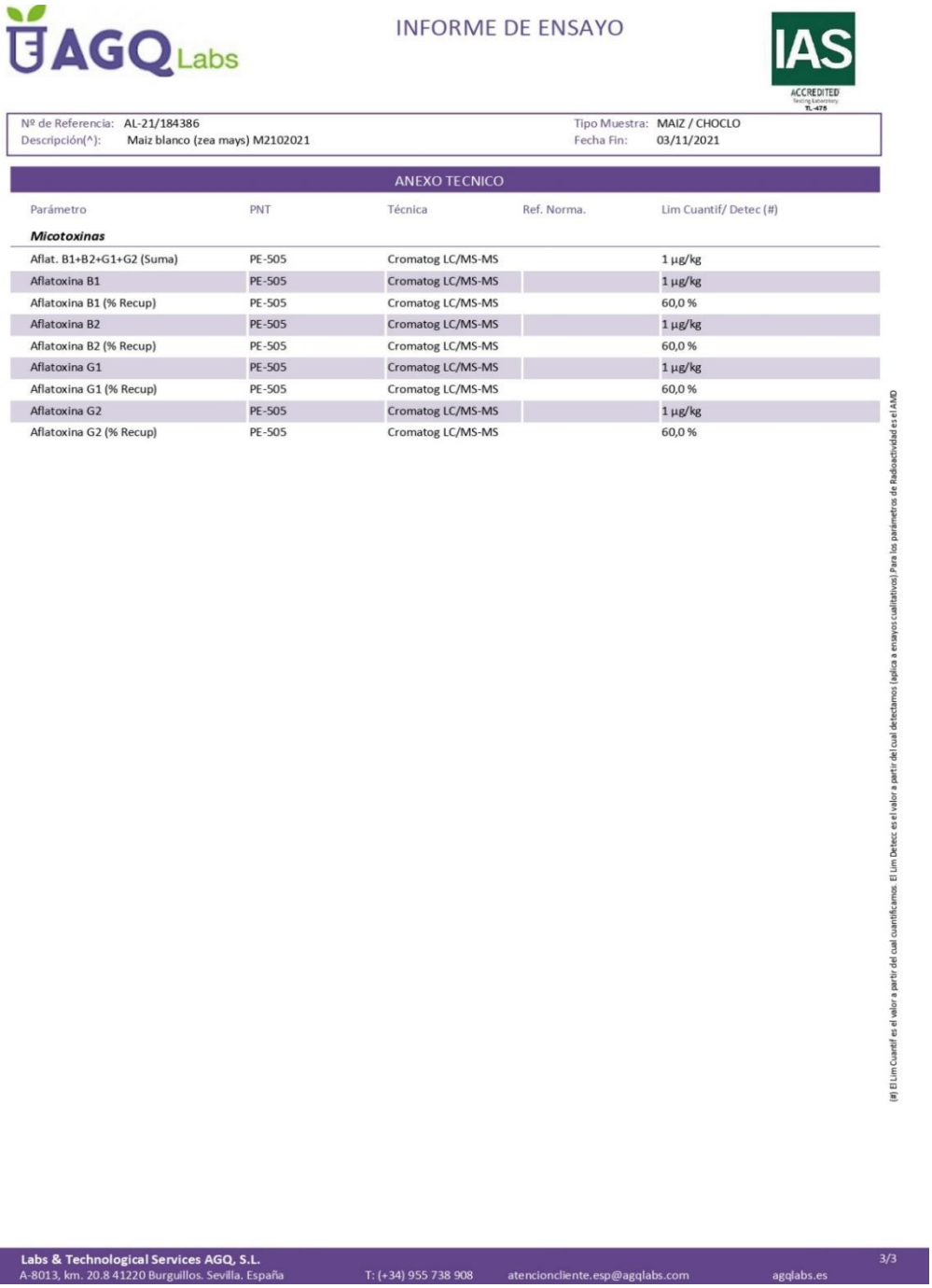
RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert
Micotoxinas			
Aflat. B1+B2+G1+G2 (Suma)	1.978	µg/kg	±26%
Aflatoxina B1	1.579	µg/kg	±26%
Aflatoxina B2	399	µg/kg	±26%
Aflatoxina G1	< 1	µg/kg	±26%
Aflatoxina G2	< 1	µg/kg	±26%
Aflatoxina B1 (% Recup)	74,0	%	-
Aflatoxina B2 (% Recup)	69,0	%	-
Aflatoxina G1 (% Recup)	61,0	%	-
Aflatoxina G2 (% Recup)	62,0	%	-

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (^). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

(&) Ensayo No cubierto por la Acreditación nº TL-475 emitida por IAS.

Continuación anexo 11.



AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL-475

Nº de Referencia: AL-21/184386
Descripción(^): Maiz blanco (zea mays) M2102021
Tipo Muestra: MAIZ / CHOCLO
Fecha Fin: 03/11/2021

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lim Cuantif/ Detec (#)
Micotoxinas				
Aflat. B1+B2+G1+G2 (Suma)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina B1	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina B1 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %
Aflatoxina B2	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina B2 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %
Aflatoxina G1	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina G1 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %
Aflatoxina G2	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina G2 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %

(#) El Lim Cuantif es el valor a partir del cual cuantificamos. El Lim Detecc es el valor a partir del cual detectamos (aplica a ensayos cualitativos) Para los parámetros de Radioactividad es el LMD

Labs & Technological Services AGQ, S.L.
A-8013, km. 20.8 41220 Burguillos. Sevilla. España T: (+34) 955 738 908 atencioncliente.esp@agqlabs.com agqlabs.es 3/3

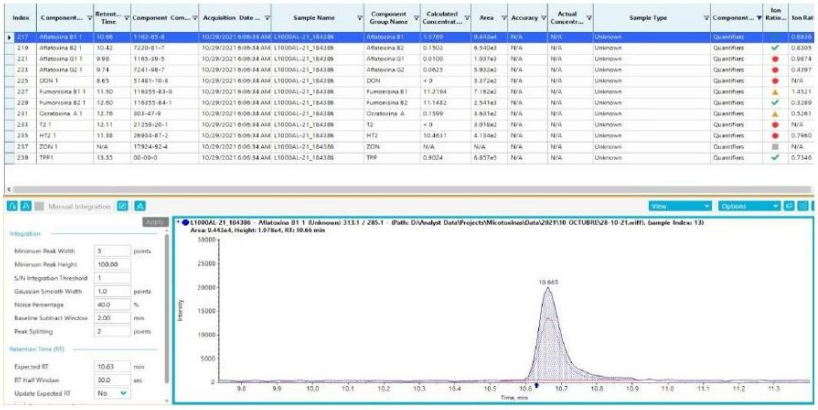
Nota. Resultados obtenidos. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M2102021.*

Anexo 12.

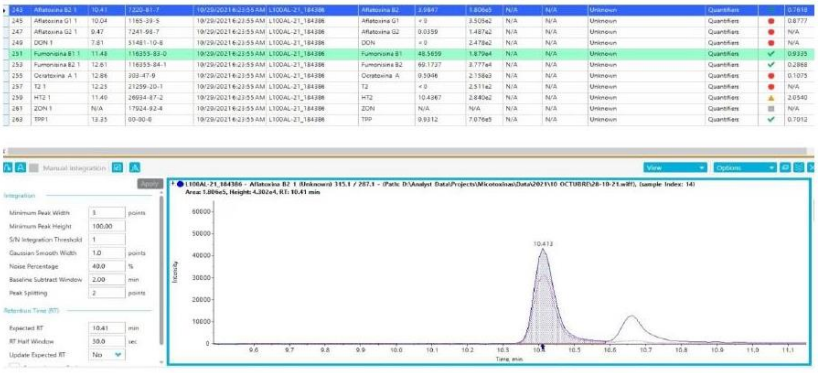
Cromatogramas aflatoxinas B1 y B2 M2102021

AL-21/184386

DILUCIÓN AFLATOXINA B1



DILUCIÓN AFLATOXINA B2

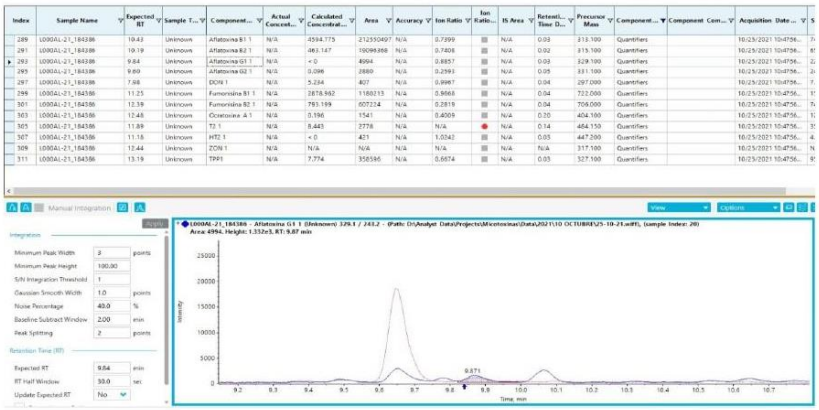


Nota. Resultados obtenidos. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M2102021.*

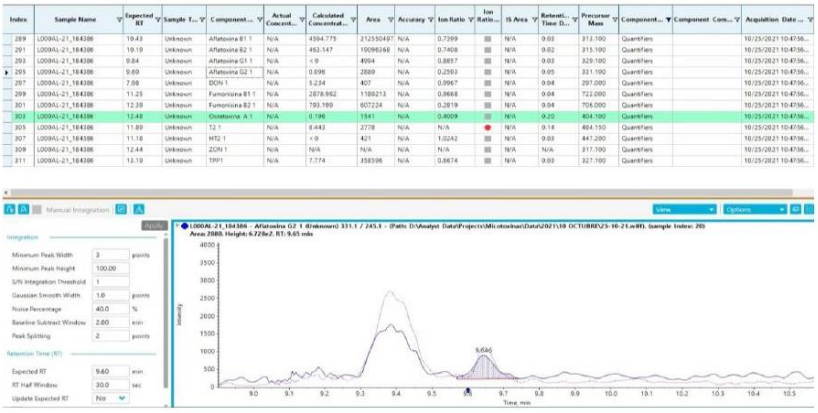
Anexo 13.

Cromatogramas aflatoxinas G1 y G2 M2102021

AFLATOXINA G1



AFLATOXINA G2



Nota. Resultados obtenidos. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M2102021.*

Anexo 14.

Informe analítico M3102021

AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL-478

Nº de Referencia:	**AL-21/184388**	Registrada en:	Disagro	Cliente (^):	ALBERTO ISAAC PINEDA BARILLAS
Análisis:	SAI-CO-0010 (Full Screen Aflatoxinas IAS_Cereal)	Centro Análisis:	AGQ España		
Tipo Muestra:	MAIZ / CHOCLO	Fecha Recepción:	08/10/2021	Contrato:	21166102-a
Fecha Inicio:	21/10/2021	Fecha Fin:	03/11/2021	Cliente 3º(^)	----
Descripción(^):	Maiz blanco (zea mays) M3102021				

Fecha/Hora Muestreo:	04/10/2021	Muestreado por:	Cliente (^)

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

Adrian Hidalgo Soria

FECHA EMISIÓN: 03/11/2021

OBSERVACIONES (*):
Muestreado por Alberto Isaac Pineda Barillas

Continuación del anexo 14.

AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL-475

Nº de Referencia:	AL-21/184388	Tipo Muestra:	MAIZ / CHOCLO
Descripción(^):	Maiz blanco (zea mays) M3102021	Fecha Fin:	03/11/2021

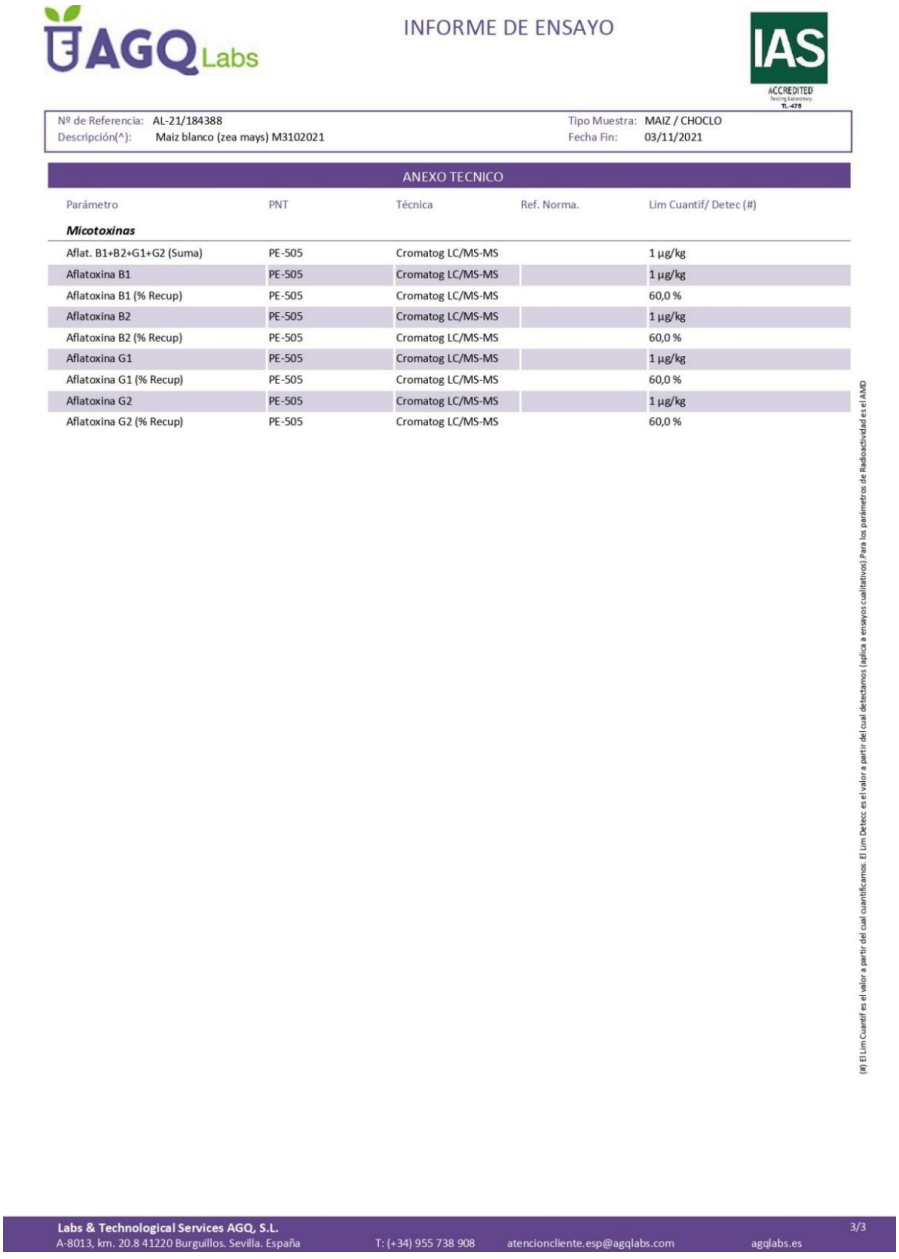
RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert
Micotoxinas			
Aflat. B1+B2+G1+G2 (Suma)	10	µg/kg	±26%
Aflatoxina B1	10	µg/kg	±26%
Aflatoxina B2	< 1	µg/kg	±26%
Aflatoxina G1	< 1	µg/kg	±26%
Aflatoxina G2	< 1	µg/kg	±26%
Aflatoxina B1 (% Recup)	74,0	%	-
Aflatoxina B2 (% Recup)	69,0	%	-
Aflatoxina G1 (% Recup)	61,0	%	-
Aflatoxina G2 (% Recup)	62,0	%	-

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (^). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

(&) Ensayo No cubierto por la Acreditación nº TL-475 emitida por IAS.

Continuación del anexo 14.



AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

IAS ACCREDITED

Nº de Referencia:	AL-21/184388	Tipo Muestra:	MAIZ / CHOCLO
Descripción(^):	Maiz blanco (zea mays) M3102021	Fecha Fin:	03/11/2021

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lim Cuantif/ Detec (#)
Micotoxinas				
Aflat. B1+B2+G1+G2 (Suma)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina B1	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina B1 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %
Aflatoxina B2	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina B2 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %
Aflatoxina G1	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina G1 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %
Aflatoxina G2	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina G2 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %

(#) El Lim Cuantif es el valor a partir del cual cuantificamos. El Lim Detecc es el valor a partir del cual detectamos (aplica a ensayos cualitativos) Para los parámetros de Radioactividad es el AMD

Labs & Technological Services AGQ, S.L.
A-8013, km. 20.8 41220 Burguillos. Sevilla. España T: (+34) 955 738 908 atencioncliente.esp@agqlabs.com agqlabs.es 3/3

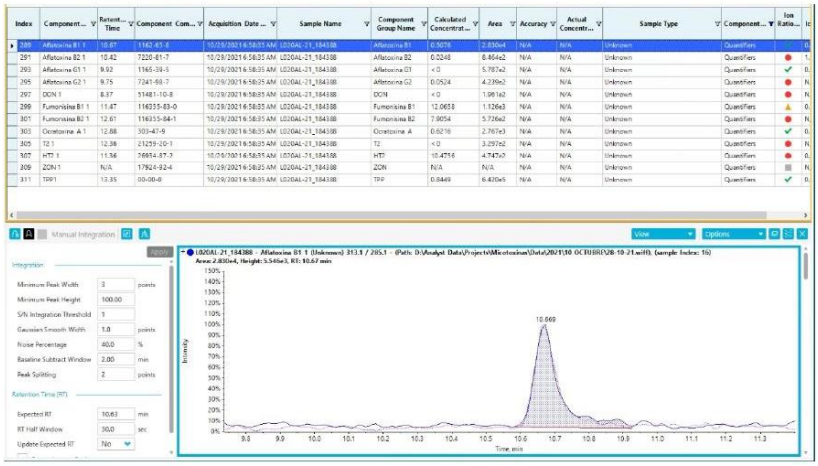
Nota. Resultados obtenidos. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M3102021.*

Anexo 15.

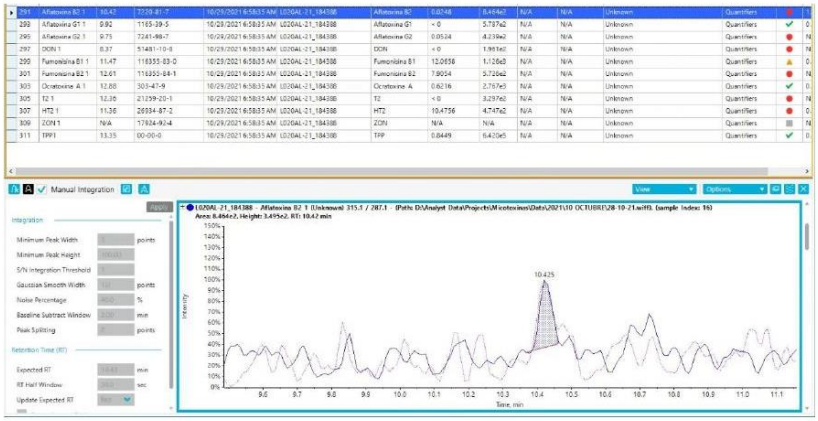
Cromatogramas aflatoxinas B1 y B2 M3102021

AL-21/184388

DILUCIÓN 20 AFLATOXINA B1



AFLATOXINA B2

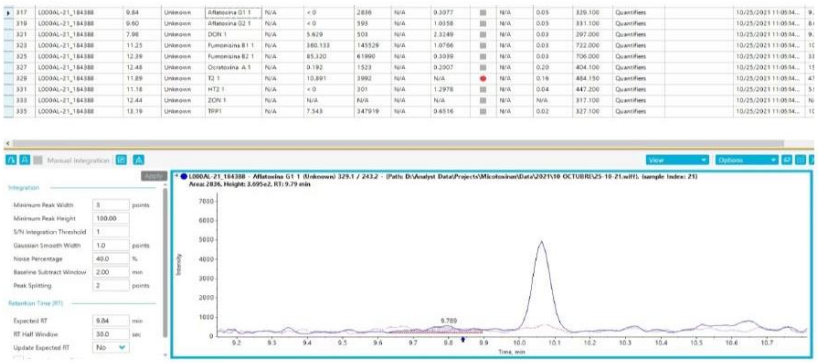


Nota. Resultados obtenidos. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M3102021.*

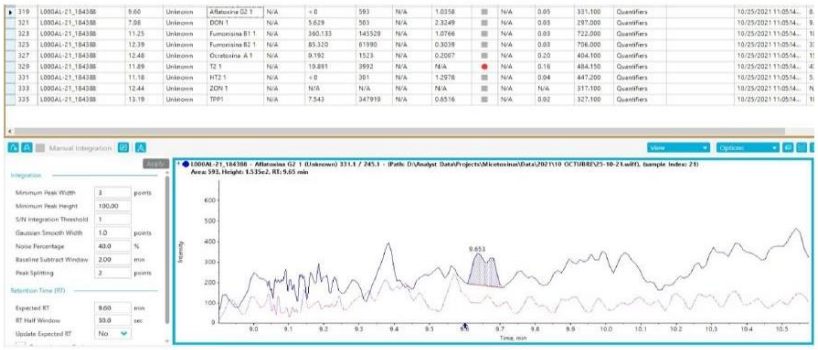
Anexo 16.

Cromatogramas aflatoxinas G1 y G2 M3102021

AFLATOXINA G1



AFLATOXINA G2



Nota. Resultados obtenidos. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M3102021.*

Anexo 17.

Informe analítico M4102021

AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL-478

Nº de Referencia:	**AL-21/197342**	Registrada en:	Disagro	Cliente (^):	ALBERTO ISAAC PINEDA BARILLAS
Análisis:	SAI-CO-0006 (Full Screen Micotoxinas)	Centro Análisis:	AGQ España		
Tipo Muestra:	MAIZ / CHOCLO	Fecha Recepción:	01/11/2021	Contrato:	21167459-a
Fecha Inicio:	03/11/2021	Fecha Fin:	04/11/2021	Cliente 3º(^)	----
Descripción(^):	Maiz blanco (zea mays) M4102021				

Fecha/Hora Muestreo:	04/10/2021	Muestreado por:	Cliente (^)

A continuación se exponen el Informe de Ensayo y Anexo Técnico asociados a la muestra, en los cuales se pueden consultar toda la información relacionada con los ensayos realizados.

Los Resultados emitidos en este informe, no han sido corregidos con factores de recuperación. Siguiendo el protocolo recogido en nuestro manual de calidad, AGQ guardará bajo condiciones controladas la muestra durante un periodo determinado después de la finalización del análisis. Una vez transcurrido este periodo, la muestra será eliminada. Si desea información adicional o cualquier aclaración, no dude en ponerse en contacto con nosotros.

Sofia Rodriguez Sojo

FECHA EMISIÓN: 04/11/2021

OBSERVACIONES (*):
Muestreado por Alberto Isaac Pineda Barillas

Continuación del anexo 17.

AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL-478

Nº de Referencia:	AL-21/197342	Tipo Muestra:	MAIZ / CHOCLO
Descripción(^):	Maiz blanco (zea mays) M4102021	Fecha Fin:	04/11/2021

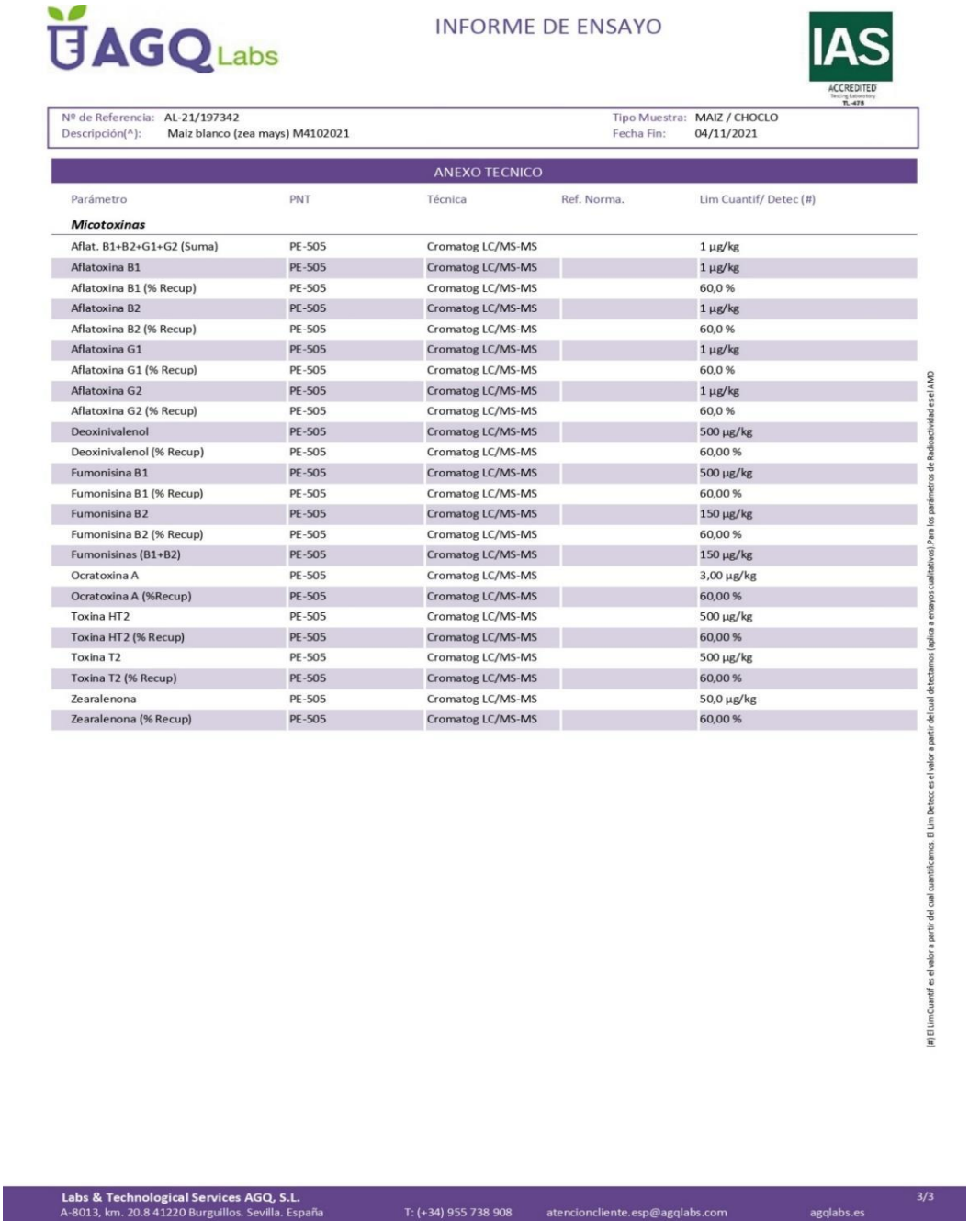
RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert
Micotoxinas			
Aflat. B1+B2+G1+G2 (Suma)	1.024	µg/kg	±26%
Aflatoxina B1	950	µg/kg	±26%
Aflatoxina B2	74	µg/kg	±26%
Aflatoxina G1	< 1	µg/kg	±26%
Aflatoxina G2	< 1	µg/kg	±26%
Deoxinivalenol	< 500	µg/kg	±26%
Fumonisina B1	3.291	µg/kg	±26%
Fumonisina B2	2.260	µg/kg	±26%
Fumonisina B2 (% Recup)	65,00	%	-
Fumonisinas (B1+B2)	5.551	µg/kg	±26%
Ocratoxina A	< 3,00	µg/kg	±26%
Ocratoxina A (%Recup)	66,00	%	-
Toxina HT2	< 500	µg/kg	±26%
Toxina HT2 (% Recup)	137,0	%	-
Toxina T2	< 500	µg/kg	±26%
Toxina T2 (% Recup)	136,0	%	-
Zearalenona	< 50,0	µg/kg	±26%
Zearalenona (% Recup)	95,00	%	-
Aflatoxina B1 (% Recup)	131	%	-
Aflatoxina B2 (% Recup)	115	%	-
Aflatoxina G1 (% Recup)	100	%	-
Aflatoxina G2 (% Recup)	100	%	-
Deoxinivalenol (% Recup)	119,0	%	-
Fumonisina B1 (% Recup)	91,00	%	-

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (^). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

(&) Ensayo No cubierto por la Acreditación nº TL-475 emitida por IAS.

Continuación del anexo 17.



AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL-478

Nº de Referencia: AL-21/197342
Descripción(^): Maiz blanco (zea mays) M4102021
Tipo Muestra: MAIZ / CHOCLO
Fecha Fin: 04/11/2021

ANEXO TECNICO

Parámetro	PNT	Técnica	Ref. Norma.	Lim Cuantif/ Detec (#)
Micotoxinas				
Aflat. B1+B2+G1+G2 (Suma)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina B1	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina B1 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %
Aflatoxina B2	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina B2 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %
Aflatoxina G1	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina G1 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %
Aflatoxina G2	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		1 µg/kg
Aflatoxina G2 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,0 %
Deoxinivalenol	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		500 µg/kg
Deoxinivalenol (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,00 %
Fumonisina B1	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		500 µg/kg
Fumonisina B1 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,00 %
Fumonisina B2	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		150 µg/kg
Fumonisina B2 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,00 %
Fumonisinas (B1+B2)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		150 µg/kg
Ocratoxina A	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		3,00 µg/kg
Ocratoxina A (%Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,00 %
Toxina HT2	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		500 µg/kg
Toxina HT2 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,00 %
Toxina T2	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		500 µg/kg
Toxina T2 (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,00 %
Zearalenona	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		50,0 µg/kg
Zearalenona (% Recup)	PE-505	Cromatog LC/MS-MS		60,00 %

(#) El Lim Cuantif es el valor a partir del cual cuantificamos. El Lim Detec es el valor a partir del cual detectamos (aplica a ensayos cualitativos) Para los parámetros de Radioactividad es el LMD

Labs & Technological Services AGQ, S.L.
A-8013, km. 20.8 41220 Burguillos. Sevilla. España T: (+34) 955 738 908 atencioncliente.esp@agqlabs.com agqlabs.es 3/3

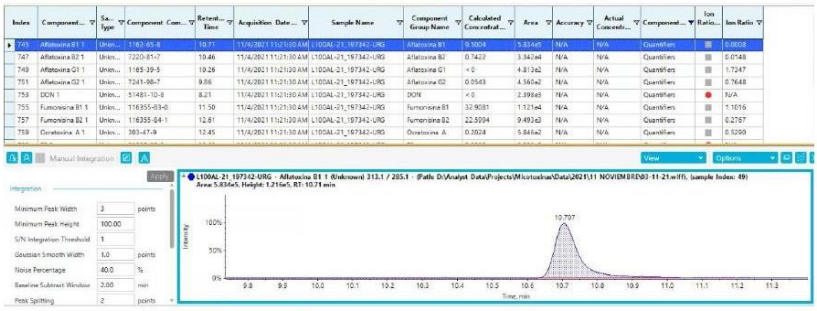
Nota. Resultados obtenidos. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M4102021.*

Anexo 18.

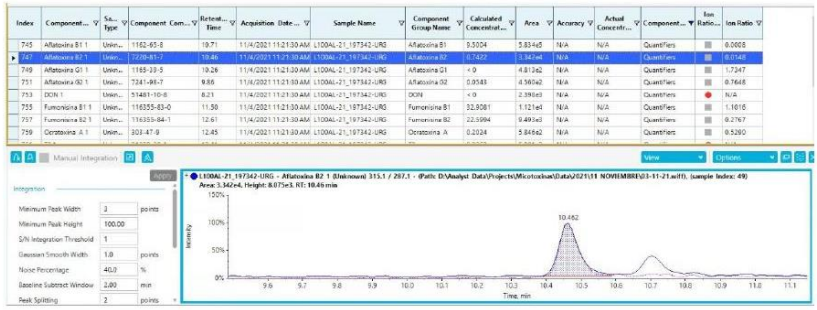
Cromatogramas aflatoxinas B1, B2 y G1 M4102021

AL-21/197342 CORRESPONDE A LA MUESTRA AL-21/184391

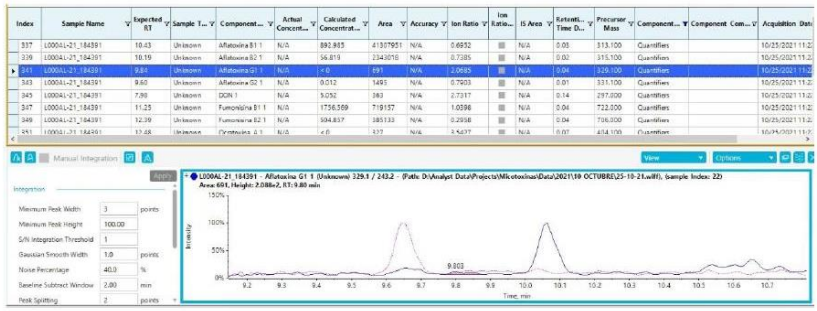
DILUCIÓN 100 AFLATOXINA B1



DILUCIÓN 100 AFLATOXINA B2



AFLATOXINA G1

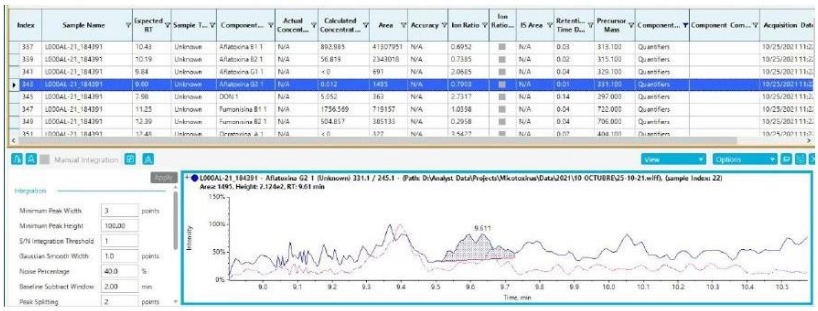


Nota. Resultados obtenidos. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M4102021.*

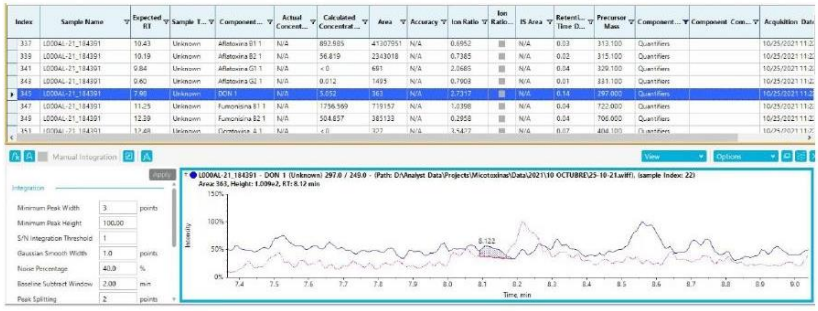
Anexo 19.

Cromatogramas G2, Deoxinivalenol y FB1 M4102021

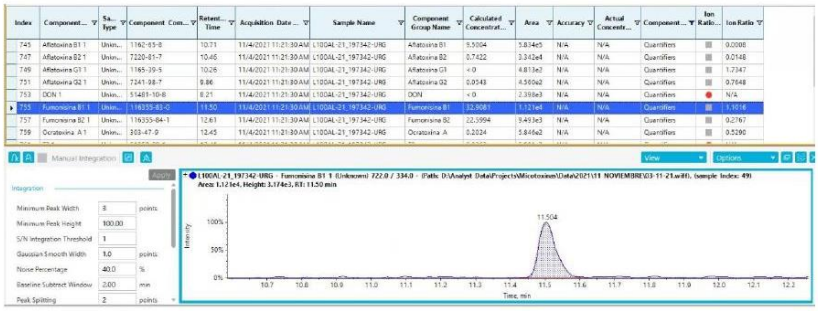
AFLATOXINA G2



DEOXINIVALENOL



FUMONISINA B1

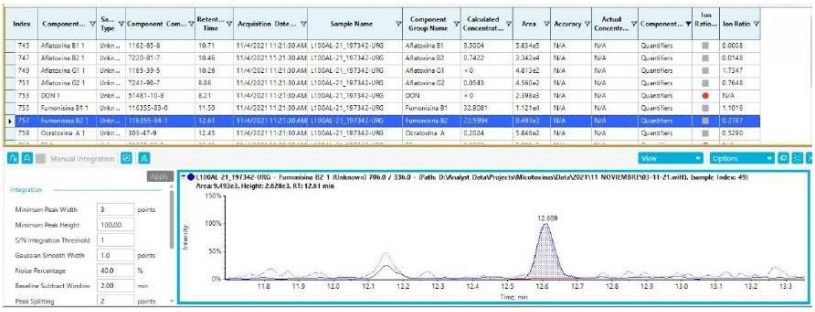


Nota. Resultados obtenidos. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M4102021.*

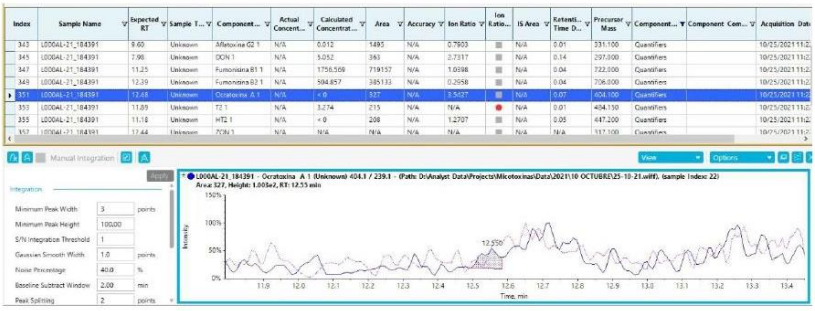
Anexo 20.

Cromatogramas FB2, Ocratoxina A y HT2 M4102021

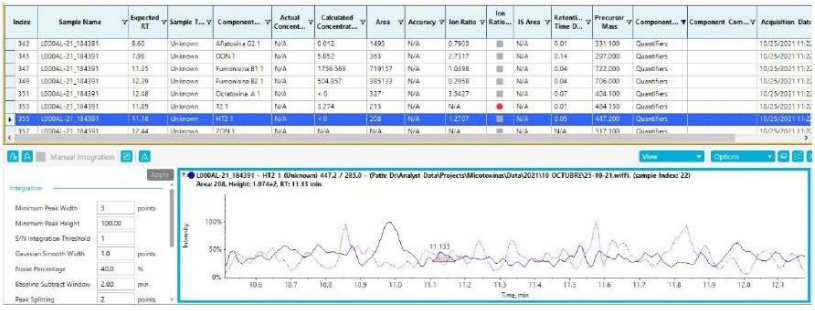
FUMONISINA B2



OCRATOXINA A



HT2

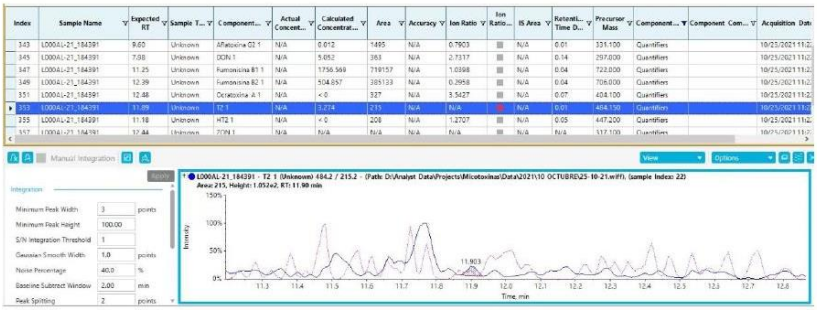


Nota. Resultados obtenidos. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M4102021.*

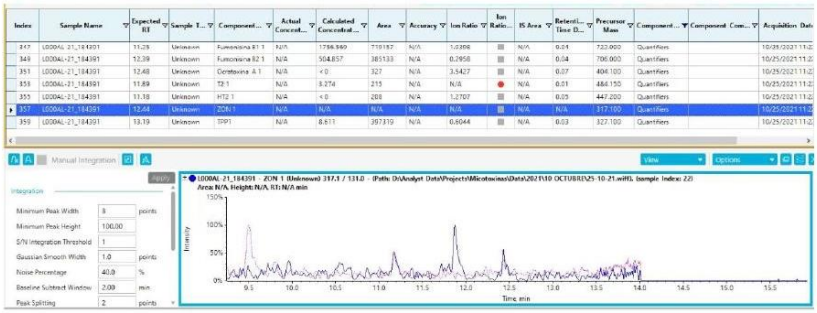
Anexo 21.

Cromatogramas T2 y Zearalenona M4102021

T2



ZEARALENONA



Nota. Resultados obtenidos. AGQ Labs España. (2021). *Informe analítico M4102021.*