

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis y propuesta de mejora del manejo post cosecha de maíz (*Zea mays*)
para la reducción de aflatoxinas y fumonisinas en el maíz cultivado y
consumido en el Departamento de Huehuetenango, Guatemala.

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Ana Gabriela Oliva Castillo y Ana Lucía Rodas Méndez

para optar al grado académico de Licenciadas en Bioquímica y Microbiología;

Daniel Aragón Bustamante y Manuel Andres López Castillo

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería en Ciencia de Alimentos.

Guatemala

2015

Análisis y propuesta de mejora del manejo post cosecha de maíz
(*Zea mays*) para la reducción de aflatoxinas y fumonisinas en el
maíz cultivado y consumido en el Departamento de
Huehuetenango, Guatemala.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis y propuesta de mejora del manejo post cosecha de maíz (*Zea mays*)
para la reducción de aflatoxinas y fumonisinas en el maíz cultivado y
consumido en el Departamento de Huehuetenango, Guatemala.

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Ana Gabriela Oliva Castillo y Ana Lucía Rodas Méndez

para optar al grado académico de Licenciadas en Bioquímica y Microbiología;

Daniel Aragón Bustamante y Manuel Andres López Castillo

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería en Ciencia de Alimentos.

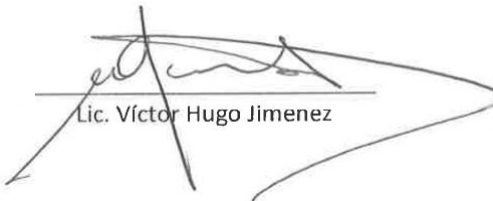
Guatemala

2015


Vo. Bo. :

(f) 
Licda. Ana Silvia Colmenares

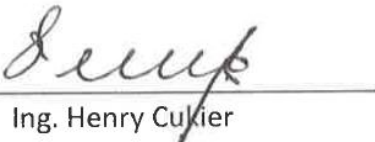
Tribunal Examinador:

(f) 
Lic. Víctor Hugo Jimenez

(f) 
Dr. Carlos Campabadal

(f) 
M.Sc. Lucia Nitsch Velasquez

(f) 
Dra. Andreia Bianchini

(f) 
Ing. Henry Cuxier

Fecha de aprobación: Guatemala, 10 de noviembre de 2015

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| LISTA DE CUADROS..... | v |
| LISTA DE FIGURAS..... | vii |
| LISTA DE GRÁFICAS..... | ix |
| RESUMEN..... | xii |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 13 |
| II. MARCO TEÓRICO..... | 16 |
| A. Origen y evolución del maíz..... | 16 |
| 1. Clasificación taxonómica y ciclo del maíz..... | 17 |
| 2. Estructura, composición y usos del grano..... | 18 |
| 3. Calidad del maíz..... | 18 |
| a. Composición..... | 18 |
| B. Mohos y levaduras..... | 19 |
| C. Condiciones necesarias para el crecimiento de los hongos..... | 19 |
| D. Hongos como patógenos..... | 20 |
| E. Contaminación fúngica en los alimentos..... | 21 |
| F. Las micotoxinas..... | 22 |
| G. Especificidad hongos - micotoxinas..... | 23 |
| H. Aflatoxinas y fumonisinas como indicadores..... | 23 |
| I. Aflatoxinas..... | 23 |
| J. Fumonisinias..... | 26 |
| K. Hongos productores de micotoxinas..... | 28 |
| L. Prevención de la contaminación fúngica de los alimentos..... | 31 |
| M. Importancia del maíz en Guatemala..... | 33 |
| N. Análisis de fumonisinas y aflatoxinas en el maíz..... | 34 |
| O. Técnicas de detección de fumonisinas y aflatoxinas en maíz..... | 34 |
| P. Métodos de análisis y contaminación fúngica en el maíz..... | 36 |
| 1. Técnicas microscópicas..... | 36 |
| 2. Conteo en placa..... | 37 |
| Q. Pruebas estadísticas..... | 38 |
| 1. Pruebas de Normalidad..... | 38 |
| 2. Homocedasticidad..... | 39 |
| 3. Contraste de medias: Análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor..... | 39 |
| R. Producción de maíz en Guatemala..... | 40 |
| S. Importancia de maíz en Guatemala..... | 45 |
| T. Pérdidas post cosecha en Guatemala..... | 46 |
| U. Prácticas agrícolas en cultivo de maíz en Guatemala..... | 47 |
| 1. Prácticas agrícolas en cultivo de maíz en Guatemala..... | 47 |
| V. Manejo post cosecha de maíz en Guatemala..... | 49 |
| 1. Definición..... | 49 |
| 2. Pérdida de calidad del grano..... | 49 |
| a. Clases de pérdidas en el cultivo de maíz..... | 50 |
| b. Técnicas post cosecha actuales..... | 50 |

| | |
|---|----|
| c. Técnicas de "Doblado"..... | 51 |
| d. Cosecha..... | 51 |
| e. Clasificación..... | 52 |
| f. Desgranado del maíz..... | 52 |
| g. Secado de grano de maíz..... | 53 |
| h. Tratamiento..... | 55 |
| i. Almacenamiento del grano de maíz..... | 55 |
| j. Factores importantes en el almacenamiento del maíz..... | 56 |
| W. Secadores de maíz..... | 57 |
| 1. Secadores solares..... | 58 |
| 2. Secadores no solares..... | 58 |
| 3. Tipos de secadores..... | 59 |
| 4. Fuente de obtención de energía de secadores no solares..... | 59 |
| 5. Secado por conducción..... | 59 |
| 6. Secado por convección..... | 59 |
| 7. Mecanismos fundamentales en el proceso de secado..... | 60 |
| 8. Características del aire de secado..... | 61 |
| 9. Secado de maíz..... | 62 |
| X. Características geográficas y climáticas del municipio de Huehuetenango..... | 62 |
| III. JUSTIFICACIÓN..... | 64 |
| IV. OBJETIVOS..... | 66 |
| A. Objetivo general..... | 66 |
| B. Objetivos específicos..... | 66 |
| V. METODOLOGÍA..... | 68 |
| A. MÓDULO I Y II..... | 68 |
| 1. Diseño de muestreo..... | 68 |
| a. Sitios de procedencia de las muestras..... | 68 |
| b. Descripción de las cadenas de muestreo..... | 69 |
| c. Limitación geográfica del muestreo..... | 69 |
| 2. Metodología Módulo I..... | 72 |
| a. Repartición de muestra..... | 72 |
| b. Molienda de maíz..... | 73 |
| c. Extracción de aflatoxinas y fumonisinas..... | 73 |
| d. Cuantificación total de aflatoxinas..... | 73 |
| e. Cuantificación total de fumonisinas..... | 74 |
| f. Análisis estadístico..... | 74 |
| 3. Metodología Módulo II..... | 75 |
| 1. Conteo de mohos y levaduras mediante la técnica dilución en placa..... | 75 |
| a. Procesamiento de la muestra..... | 76 |
| b. Coteo de hongos..... | 77 |
| B. MÓDULO III..... | 78 |
| 1. Descripción del secador..... | 78 |
| 2. Cama de secado..... | 78 |

| | |
|---|-----|
| 3. Módulo de aire forzado..... | 79 |
| 4. Materiales utilizados..... | 79 |
| 5. Construcción del secador..... | 81 |
| 6. Implementación del secador..... | 82 |
| 7. Pruebas realizadas..... | 83 |
| C. MÓDULO IV..... | 84 |
| 1. Ensamble del secador de maíz en Universidad del Valle de Guatemala..... | 84 |
| 2. Transporte hacia “San Antonio las Nubes”..... | 84 |
| 3. Ensamble de secador de maíz en “San Antonio las Nubes”..... | 85 |
| 4. Modo de Operación en “San Antonio las Nubes”..... | 85 |
| 5. Medicines realizada en "San Antonio las Nubes"..... | 85 |
| 6. Transporte hacia Universidad del Valle de Guatemala..... | 86 |
| 7. Modo de operación Universidad del Valle de Guatemala..... | 86 |
| 8. Análisis de Datos de eficiencia del secador..... | 86 |
| VI. RESULTADOS..... | 86 |
| A. MÓDULO I..... | 88 |
| 1. Estructura de las cadenas de muestreo..... | 88 |
| 2. Resultados de cuantificación Chiantla..... | 88 |
| 3. resultados de cuantificación todos santos Cuchumatán..... | 89 |
| 4. Gráficos de medias de cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en C1 y C2... .. | 91 |
| 5. Pruebas de normalidad, varianza constante e independencia..... | 95 |
| 6. Estadística descriptiva..... | 108 |
| 7. Análisis de varianza y comparación entre medias..... | 108 |
| 8. Estimación de ingesta diaria de aflatoxinas y fumonisinas..... | 110 |
| 9. Comparación con la ingesta diaria tolerable máxima provisional de aflatoxinas y fumonisinas..... | 111 |
| B. MÓDULO II..... | 114 |
| C. MÓDULO III..... | 118 |
| 1. Evaluación y selección de secador..... | 132 |
| 2. Proceso de Construcción..... | 132 |
| 3. Implementación del secador..... | 133 |
| 4. Costos de materiales utilizados en secador..... | 140 |
| D. MÓDULO IV..... | 145 |
| 1. Capacidad de secado..... | 146 |
| 2. Evaluación No. 1 de Secador en “San Antonio las Nnubes”, Huehuetenango..... | 146 |
| 3. Evaluación No. 2 de Secador en “San Antonio las Nnubes”, Huehuetenango..... | 147 |
| 4. Evaluación de combustibles alternativos en Universidad del Valle de Guatemala..... | 151 |
| 5. Evaluación de eficiencias de intercambiador con los distintos combustibles empleados..... | 156 |
| VII. DISCUSIÓN..... | 161 |
| A. MÓDULO I..... | 163 |
| B. MÓDULO II..... | 163 |
| C. MÓDULO III..... | 169 |
| D. MÓDULO IV..... | 174 |

| | |
|---|-----|
| VIII. CONCLUSIONES..... | 179 |
| IX. RECOMENDACIONES..... | 186 |
| X. BIBLIOGRAFÍA..... | 189 |
| XI. ANEXOS..... | 191 |
| 1. Condiciones ambientales..... | 203 |
| 2. Gráficos de tallo y hojas..... | 203 |
| 3. Resultados SPSS..... | 204 |
| 4. Temperatura del maíz cosechado..... | 206 |
| 5. Gráficas Q-Q..... | 210 |
| 6. Diagrama de caja y bigote..... | 214 |
| 7. Formato de trazabilidad de análisis..... | 215 |

LISTA DE CUADROS

| Número | Título | Página |
|---------------|---|---------------|
| 1 | Clasificación botánica de maíz..... | 17 |
| 2 | Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%)..... | 19 |
| 3 | Producción nacional de maíz en el periodo 2007/2008-2012/2013..... | 41 |
| 4 | Producción nacional de maíz blanco en el periodo de 2012/2013..... | 42 |
| 5 | Importaciones de maíz de Guatemala expresada en Toneladas Métricas y Valor monetario (USD)..... | 44 |
| 6 | Ventajas y Desventajas de la “Quema” del terreno para preparación de suelo..... | 47 |
| 7 | Comparación entre labranza convencional y de conserva en el maíz..... | 47 |
| 8 | Efecto del contenido de humedad del grano sobre la fisiología de la semilla y la presencia de factores bióticos de estrés..... | 62 |
| 9 | Reactivos y cantidades para la preparación del agar DRBC..... | 77 |
| 10 | Materiales utilizados para la construcción del secador | 82 |
| 11 | Estructura de las cadenas de muestreo en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala. | 89 |
| 12 | Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en maíz cosechado y almacenado (cadena 1) en aldeas del municipio de Chiantla, Huehuetenango, Guatemala. | 90 |
| 13 | Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en maíz comprado y almacenado (cadena 2) en aldeas del municipio de Chiantla, Huehuetenango, Guatemala. | 91 |
| 14 | Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en maíz cosechado y almacenado (cadena 1) en aldeas del municipio de Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala. | 92 |
| 15 | Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en maíz cosechado y almacenado (cadena 2) en aldeas del municipio de Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala | 94 |
| 16 | Evaluación de normalidad y varianza constante para la cuantificación de Aflatoxinas y fumonisinas en la cadena uno y dos. | 109 |
| 17 | Estadística descriptiva Aflatoxinas y Fumonisinas en la cadena uno de Chiantla y Todos Santos Cuchumatán. | 110 |
| 18 | Estadística descriptiva Aflatoxinas y Fumonisinas en la cadena dos (C2) de Chiantla y Todos Santos Cuchumatán. | 110 |
| 19 | Prueba T para evaluar diferencias en aflatoxinas en cadena uno (C1) según etapa, tipo de almacenamiento y altura. | 111 |
| 20 | Prueba T para evaluar diferencias en aflatoxinas en cadena dos (C2) según etapa, tipo de almacenamiento y altura. | 112 |
| 21 | Estimación de Ingesta diaria de Aflatoxinas y fumonisinas en hombres y mujeres de la cadena uno en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán. | 113 |
| 22 | Estimación de Ingesta diaria de Aflatoxinas y fumonisinas en hombres y mujeres de la cadena dos en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán. | 114 |
| 23 | Recuento total de mohos presentes en las distintas muestras del municipio de Chiantla, junto con el porcentaje de humedad de las mismas. | 120 |
| 24 | Recuento total de mohos presentes en las distintas muestras del municipio de Todos Santos Cuchumatán, junto con el porcentaje de humedad de las mismas. | 121 |
| 25 | Pruebas de normalidad sobre la cantidad de hongos en las distintas etapas post-cosecha del maíz de los agricultores de la cadena 1 y 2. | 130 |
| 26 | Prueba de Levene de la cantidad de hongos en las distintas etapas post-cosecha del maíz de los agricultores de la cadena 1 y 2. | 130 |

| | | |
|----|---|-----|
| 27 | Análisis de varianza de un factor de la variable estudiada en las distintas cadenas. Pruebas realizadas para determinar las diferencias significativas en la cantidad de mohos de la cadena 1, en las distintas etapas, tipos de almacenamiento y tiempo de almacenamiento. | 131 |
| 28 | Pruebas realizadas para determinar las diferencias significativas en la cantidad de mohos de la cadena 2, en las distintas etapas, tipos de almacenamiento y tiempo de almacenamiento. | 132 |
| 29 | Evaluación de modelos de secador con distintas fuentes de energía | 133 |
| 30 | Procedimiento para armar el secador | 134 |
| 31 | Costos de materiales utilizados en secador | 142 |
| 32 | Capacidad de secado obtenida en base a dimensiones y flujo de aire obtenida en base a dimensiones y flujo de aire. | 147 |
| 33 | Resumen evaluación No. 1 de secador en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango. | 148 |
| 34 | Cantidad de olote utilizado en Evaluación No. 1 | 149 |
| 35 | Velocidad de secado calculada en cada punto de la cama de secado en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango. | 151 |
| 36 | Resumen evaluación No. 2 de secador en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango. | 152 |
| 37 | Cantidad de olote utilizado en Evaluación No. 2 | 153 |
| 38 | Velocidad de secado calculada en cada punto de la cama de secado en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango. | 156 |
| 39 | Resumen de combustible alternativo “carbón” en intercambiador. | 157 |
| 40 | Cantidad carbón utilizado en prueba de combustible alternativo. | 158 |
| 41 | Resumen de combustible alternativo “Leña” en intercambiador. | 160 |
| 42 | Cantidad carbón utilizado en prueba de combustible alternativo. | 160 |
| 43 | Pruebas de Normalidad C1 Aflatoxinas y Fumonisinias | 163 |
| 44 | Pruebas de Normalidad C2 Aflatoxinas y Fumonisinias | 214 |
| 45 | Prueba de homogeneidad de varianzas C1 aflatoxinas y fumonisinas | 214 |
| 46 | Prueba de homogeneidad de varianzas C2 aflatoxinas y fumonisinas | 215 |
| 47 | ANOVA de un factor C1 aflatoxinas y fumonisinas | 215 |
| 48 | ANOVA de un factor C2 aflatoxinas y fumonisinas | 216 |
| 49 | Comparación múltiple aflatoxinas y fumonisinas | 216 |
| 50 | Temperaturas del maíz cosechado por los distintos agricultores a distintas alturas, de la cadena 1 y 2 del municipio de Chiantla del departamento de Huehuetenango. | 217 |
| 51 | Temperaturas del maíz cosechado por los distintos agricultores a distintas alturas, de la cadena 1 y 2 del municipio de Todos Santos Cuchumatán del departamento de Huehuetenango. | 218 |
| 52 | Datos originales obtenidos para la evaluación 1 en “San Antonio Las Nubes” en Cámara de combustión e intercambiador de calor. | 217 |
| 53 | Datos originales obtenidos para la evaluación 1 en “San Antonio Las Nubes” en cámara de secado | 217 |
| 54 | Datos originales obtenidos para la evaluación 2 en “San Antonio Las Nubes” en Cámara de combustión e intercambiador de calor. | 217 |
| 55 | Datos originales obtenidos para la evaluación 2 en “San Antonio Las Nubes” en cámara de secado | 218 |
| 56 | Datos originales obtenidos para uso de carbón en la Universidad del Valle de Guatemala en Cámara de combustión e intercambiador de calor. | 218 |
| 57 | Datos originales obtenidos para uso de leña en la Universidad del Valle de Guatemala en Cámara de combustión e intercambiador de calor. | 219 |
| 58 | | 220 |

LISTA DE FIGURAS

| Número | Título | Página |
|--------|---|--------|
| 1 | Ciclo del maíz durante su siembra hasta madurez fisiológica | 17 |
| 2 | Cultivo de <i>Aspergillus</i> sp. | 22 |
| 3 | Aflatoxina B1 | 24 |
| 4 | Fumonisina B1 | 26 |
| 5 | <i>Aspergillus flavus</i> observado a través del microscopio | 28 |
| 6 | Colonia macroscópica de <i>Aspergillus flavus</i> . | 28 |
| 7 | Colonias macroscópicas de <i>Aspergillus parasiticus</i> en agar Czapek, (A) y en agar MEA (B). <i>Aspergillus parasiticus</i> observado a través del microscopio (C), conidas (D y E). | 29 |
| 8 | . <i>Fusarium moniliforme</i> observado a través del microscopio. | 30 |
| 9 | Colonia microscópica de <i>Fusarium moniliforme</i> . | 30 |
| 10 | Macroconidios de <i>Fusarium graminearum</i> observados a través del microscopio | 30 |
| 11 | Colonia macroscópica de <i>Fusarium graminearum</i> (b). | 30 |
| 12 | <i>Penicillium verrucosum</i> observado a través del microscopio. | 31 |
| 13 | Colonia macroscópica de <i>Penicillium verrucosum</i> . | 31 |
| 14 | Producción de maíz en Guatemala según FAO. | 42 |
| 15 | Importancia de maíz en Guatemala | 43 |
| 16 | Tasa de crecimiento anual del maíz en Guatemala | 44 |
| 17 | Origen de importaciones de maíz a Guatemala. | 45 |
| 18 | Precio promedio para maíz en Centroamérica en 2012 | 46 |
| 19 | Representación gráfica de un proceso de desecación | 61 |
| 20 | Ejemplo de secador solar tipo indirecto | 62 |
| 21 | Departamento de Huehuetenango | 64 |
| 22 | Mapa del muestreo en Chiantla, Huehuetenango, Guatemala. | 71 |
| 23 | Mapa del muestreo en Chiantla, Huehuetenango, Guatemala. | 72 |
| 24 | Esquema de muestreo en Chiantla, Huehuetenango según la cadena y altura de los agricultores. | 73 |
| 25 | Esquema de muestreo en Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango según la cadena y altura de los agricultores. | 73 |
| 26 | Proceso de análisis realizado a cada una de las muestras de maíz provenientes del departamento de Huehuetenango, Guatemala. | 76 |
| 27 | Esquema para la toma de muestra. | 77 |
| 28 | Técnica de recuento de bacterias por dilución en placa. | 78 |
| 29 | Cámara de secado | 80 |
| 30 | Cámara de combustión | 81 |
| 31 | Módulo de aire forzado | 82 |
| 32 | Áreas donde fueron instaladas las “termocouplas” en el módulo de aire forzado | 84 |
| 33 | Áreas donde fueron instaladas las “termocouplas” en la cama de secado | 85 |
| 34 | Proceso de construcción de piezas de hojalata | 135 |
| 35 | Caja de madera con ventilador en su interior | 136 |
| 36 | Tapadera de cámara de combustión | 137 |
| 37 | Región de calentado mediante aire forzado del secador | 138 |
| 38 | Vigas desmontables para la estructura base de secador | 139 |
| 39 | Estructura base armada | 139 |
| 40 | Cortes, dobleces y cocidas (línea punteada) de manta vinílica | 140 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 41 | Manta vinílica colocada en estructura base | 140 |
| 42 | Proceso de perforación de lámina | 141 |
| 43 | Lámina perforada sobre cámara de secado | 141 |
| 44 | Traslado de secador | 142 |
| 45 | Información obtenida de cada una de las muestras de maíz enviadas por los agricultores de las distintas comunidades. | 214 |
| 46 | Tipos de maíz analizados de la cadena 1 y 2, provenientes de los municipios Chiantla y Todos Santos Cuchumatán del departamento de Huehuetenango, Guatemala. | 215 |
| 47 | Distribución y cálculo de capacidad de secado | 216 |

LISTA DE GRÁFICAS

| Número | Título | Página |
|---------------|---|---------------|
| 1 | Medias de Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas de la cadena uno en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala. | 97 |
| 2 | Medias de cuantificación de fumonisinas y aflatoxinas en la cadena uno según el agricultor y la etapa en Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala. | 98 |
| 3 | Medias de cuantificación de fumonisinas y aflatoxinas en la cadena uno según el agricultor y la etapa en Chiantla, Huehuetenango, Guatemala. | 99 |
| 4 | Medias de cuantificación de aflatoxinas en la cadena uno según el tipo de almacenamiento en Chiantla, Huehuetenango, Guatemala. | 100 |
| 5 | Medias de cuantificación de aflatoxinas en la cadena uno según el tipo de almacenamiento en Todos Santos Chuchumatán, Huehuetenango, Guatemala. | 101 |
| 6 | Comparación de la cantidad de aflatoxinas entre la tapisca y almacenamiento de maíz en Tuiboch C1 (1565 msnm). | 102 |
| 7 | Comparación de la cantidad de aflatoxinas entre la tapisca y almacenamiento de maíz en Río Ocho C1 (1688 msnm). | 102 |
| 8 | Comparación de la cantidad de aflatoxinas entre la tapisca y almacenamiento de maíz en Tres Cruces C1 (2300 msnm). | 103 |
| 9 | Comparación de la cantidad de aflatoxinas entre la tapisca y almacenamiento de maíz en San Antonio las Nubes C1 (2599 msnm). | 104 |
| 10 | Comparación de la cantidad de aflatoxinas entre la tapisca y almacenamiento de maíz en San José las Flores C1 (2373 msnm). | 104 |
| 11 | Comparación de la cantidad de aflatoxinas entre la tapisca y almacenamiento de maíz en Cumbre la Botija C1 (3267 msnm). | 105 |
| 12 | Medias de Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas de la cadena dos en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala. | 106 |
| 13 | Aflatoxinas según el tipo de almacenamiento en la cadena dos Chiantla, Huehuetenango. | 107 |
| 14 | Fumonisinas según el tipo de almacenamiento en la cadena dos Chiantla, Huehuetenango. | 107 |
| 15 | Aflatoxinas según el tipo de almacenamiento en la cadena dos en Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango. | 108 |
| 16 | Fumonisinas según el tipo de almacenamiento en la cadena dos en Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango. | 108 |
| 17 | Estimación de la dosis diaria de aflatoxinas en la cadena uno en Chiantla (CH) y Todos Santos Cuchumatán (TS). | 116 |
| 18 | Estimación de la dosis diaria de fumonisinas en la cadena uno en Chiantla (CH) y Todos Santos Cuchumatán (TS). | 117 |
| 19 | Estimación de la dosis diaria de aflatoxinas en la cadena dos en Chiantla (CH) y Todos Santos Cuchumatán (TS). | 118 |
| 20 | Estimación de la dosis diaria de fumonisinas en la cadena dos en Chiantla (CH) y Todos Santos Cuchumatán (TS). | 119 |
| 21 | Calidad del grano de maíz cosechado por los agricultores de la cadena 1 del municipio Chiantla, en las tres distintas etapas estudiadas. | 124 |
| 22 | Calidad del grano de maíz almacenado en silo y tapanco por los agricultores de la cadena 1 del municipio Chiantla. | 124 |
| 23 | Calidad del grano de maíz almacenado por los agricultores de la cadena 2 del municipio Chiantla. | 125 |

| | | |
|----|---|-----|
| 24 | Calidad del grano de maíz almacenado en costales y vigas de madera por los agricultores de la cadena 2 del municipio Chiantla. | 125 |
| 25 | Calidad del grano de maíz cosechado por los agricultores de la cadena 1 del municipio Todos Santos Cuchumatán, en las tres distintas etapas estudiadas. | 126 |
| 26 | Calidad del grano de maíz almacenado en distintos tipos de almacenamiento por los agricultores de la cadena 1 del municipio Todos Santos Cuchumatán. | 126 |
| 27 | Calidad del grano de maíz almacenado por los agricultores de la cadena 2 del municipio Todos Santos Cuchumatán. | 127 |
| 28 | Calidad del grano de maíz almacenado en silo y costales por los agricultores de la cadena 2 del municipio Todos Santos Cuchumatán. | 127 |
| 29 | Calidad del grano de maíz almacenado a distintos tiempos, por los agricultores de la cadena 1 del municipio de Chiantla. | 128 |
| 30 | Calidad del grano de maíz almacenado a distintos tiempos, por los agricultores de la cadena 2 del municipio de Chiantla. | 128 |
| 31 | Calidad del grano de maíz almacenado a distintos tiempos, por los agricultores de la cadena 1 del municipio de Todos Santos Cuchumatán. | 129 |
| 32 | Calidad del grano de maíz almacenado a distintos tiempos, por los agricultores de la cadena 2 del municipio de Todos Santos Cuchumatán. | 129 |
| 33 | Cantidad de mohos presente a las distintas alturas estudiadas del municipio de Chiantla. | 131 |
| 34 | Cantidad de mohos presente a las distintas alturas estudiadas del municipio de Todos Santos Cuchumatán. | 132 |
| 35 | Comparación entre humedad y temperatura ambiente durante la evaluación No. 1 de Secador en “San Antonio las nubes”, Huehuetenango. | 149 |
| 36 | Comparación entre temperatura alcanzada en quemador de olote y temperatura del aire en el ventilador. | 150 |
| 37 | Comparación entre el calor generado por la combustión del olote y el calor transferido por convección en el secador. | 151 |
| 38 | Curva de secado obtenida en los distintos puntos de la cama de secado de maíz. | 152 |
| 39 | Comparación entre humedad relativa y temperatura ambiente durante la evaluación No. 2 de Secador en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango. | 154 |
| 40 | Comparación entre temperatura alcanzada en quemador de olote y temperatura del aire en el ventilador. | 154 |
| 41 | Comparación entre el calor generado por la combustión del olote y el calor transferido por convección en el secador. | 155 |
| 42 | Curva de secado obtenida en los distintos puntos de la cama de secado de maíz. | 156 |
| 43 | Comparación entre humedad y temperatura ambiente durante la evaluación de combustible alternativo “carbón” en Universidad del Valle de Guatemala. | 158 |
| 44 | Comparación entre temperatura alcanzada en quemador de carbón y temperatura del aire en el ventilador. | 159 |
| 45 | Comparación entre el calor generado por la combustión del carbón y el calor transferido por convección en el secador. | 160 |
| 46 | Comparación entre humedad y temperatura ambiente durante la evaluación de combustible alternativo “leña” en Universidad del Valle de Guatemala. | 161 |
| 47 | Comparación entre temperatura alcanzada en quemador de leña y temperatura del aire en el ventilador. | 162 |
| 48 | Comparación entre el calor generado por la combustión de la leña y el calor transferido por convección en el secador. | 162 |
| 49 | Comparación entre eficiencias de secador utilizando distintos combustibles. | 163 |
| 50 | Condiciones ambientales del muestreo en Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala. | 199 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 51 | Condiciones ambientales del muestreo en Chiantla, Huehuetenango, Guatemala. | 199 |
| 52 | Cuantificación de Aflatoxinas en la Cadena uno según la etapa-región. | 200 |
| 53 | Cuantificación de Aflatoxinas en la cadena dos según el agricultor durante el almacenamiento de maíz. | 200 |
| 54 | Gráfica Q-Q del conteo de mohos de las muestras analizadas de la cadena 1. | 212 |
| 55 | Gráfica Q-Q del conteo de mohos de las muestras analizadas de la cadena 2. | 212 |
| 56 | Diagrama de caja y bigotes (boxplot) sobre la cantidad de mohos presente en el maíz cultivado por agricultores de la cadena 1 a distintas alturas. | 213 |
| 57 | Diagrama de caja y bigotes (boxplot) sobre la cantidad de mohos presente en el maíz cultivado por agricultores de la cadena 2 a distintas alturas. | 213 |

RESUMEN

La contaminación de maíz por aflatoxinas y fumonisinas se ha notificado como una problemática para la economía y salud humana en el departamento de Huehuetenango, Guatemala. Las malas técnicas post-cosecha facilitan la colonización del grano de maíz con hongos productores de aflatoxinas y fumonisinas que son dañinas para el consumidor. En este estudio se tiene como objetivo establecer una línea base sobre la calidad del grano de maíz según la cantidad de hongos, aflatoxinas y fumonisinas en maíz producido y/o consumido en comunidades del departamento de Huehuetenango, Guatemala. La cuantificación de hongos, aflatoxinas y fumonisinas se realizó en muestras de maíz de la cadena uno: tras la tapisca, tras el desgranado, tras el secado y durante el almacenamiento de maíz cultivado; y la cadena dos (durante el almacenamiento de maíz comprado), para establecer una línea base previo a las mejoras post-cosecha. Durante el mes de junio 2015 se realizaron pruebas del secador construido en la Universidad del Valle de Guatemala en base al diseño AflaStop dado por USAID. Posterior a las pruebas el secador fue probado y mejorado en la Universidad del Valle de Guatemala. Los resultados obtenidos de aflatoxinas, fumonisinas y hongos serán comparados con futuras mediciones tras la implementación de un secador optimizado por la segunda fase del presente proyecto.

Palabras clave: Huehuetenango, Guatemala, aflatoxinas y fumonisinas, técnicas post-cosecha, AgraStrip®, conteo total, mohos y levaduras.

I. INTRODUCCIÓN

La problemática de las aflatoxinas y fumonisinas en el maíz se ha convertido en un tema de especial interés en el ámbito económico y socio-cultural de Guatemala en los últimos cinco años ya que las implicaciones en pérdidas económicas y daños a la salud del consumidor son notables. En Guatemala, la alimentación diaria de la población rural consiste principalmente en productos a base de maíz; se estima que las mujeres consumen alrededor de una libra de maíz y los hombres dos. El maíz destinado para consumo humano se cultiva o compra en mercados comunitarios; su valor depende de la calidad del grano por lo que el estrato socioeconómico que vive en pobreza o extrema pobreza se considera más susceptible debido a su capacidad adquisitiva (MAGA, 2012).

Las aflatoxinas fueron descubiertas en Inglaterra en 1960 precisamente después de que se consideró el agente causal de un brote que enfermó a pavos. Se denominó la enfermedad "X" del pavo y se atribuyó a los cacahuates empleados para su alimentación importados de Brasil. Desde dicho evento se buscó determinar el microorganismo productor de estas toxinas hasta determinar que era el moho *Aspergillus flavus* y por ello denominaron a estas toxinas aflatoxinas. Las aflatoxinas han afectado diversos cultivos agrícolas de importancia económica (e.g. uvas, café, maíz, avena) y por ello desde su descubrimiento hasta el presente se continúa investigando formas de control, análisis, erradicación, epidemiología, efectos a la salud del consumidor y patología en plantas y animales (Richard, 2008).

En el maíz se han reportado brotes por contaminación con aflatoxinas. En abril de 2004 en Kenia se reportó el brote de aflatoxicosis más grande que resultó en 317 casos y 125 muertes. El 5% de los productos a base de maíz presentaron niveles de aflatoxinas superiores al límite (20 ppb), de estos el 35% presentó niveles por encima de 100 ppb y el 7% inclusive niveles mayores a 1,000 ppb (Lewis, 2005). Kenia al igual que Guatemala es un país en el cual el consumo de maíz es elevado y por ello incrementa la susceptibilidad a brotes de aflatoxicosis (Wu, 2009).

En 1979 se monitoreó la contaminación por aflatoxinas en diversos granos producidos en Guatemala para determinar la incidencia de contaminación. El estudio se enfocó en las costas del Pacífico de Guatemala por las altas temperaturas y humedad que favorecen la producción de aflatoxinas (De Campos *et al.*, 1980).

Alrededor de 1990 se iniciaron a realizar más estudios acerca de las implicaciones a la salud que provocan las fumonisinas. Se asoció la presencia de fumonisinas en el maíz con la incidencia de cáncer en el esófago en humanos en Sur África. Respecto a las técnicas de detección se empleaba cromatografía líquida y gaseosa, inmunoensayos y espectrometría de masas (Scott, 1993).

En Guatemala en el año 2000 se realizaron estudios sobre la contaminación de aflatoxinas y fumonisinas en incaparina. La detección se realizó mediante cromatografía líquida con detección de espectrometría de masas. El análisis indicó que todas las muestras contenían aflatoxina en un rango de 3 a 214 ng g⁻¹ y <2 a 32 ng g⁻¹ de aflatoxinas B1 y B2 respectivamente. Así mismo, todas las muestras contenían fumonisinas en los siguientes rangos: de 0.2 a 1.7 µg g⁻¹ para fumonisinas B1, <0.1 a 0.6 µg g⁻¹ para fumonisinas B2 y <0.1 a 0.6 µg g⁻¹ para las fumonisinas B3 (Trucksess *et al.*, 2002).

En Guatemala el consumo de maíz es elevado por lo que la problemática por la contaminación del maíz con aflatoxinas y fumonisinas ha sido continuamente estudiada. En el año 2001 fueron analizados los silos de 9 regiones bajas en Guatemala y se determinó que todos se encontraban contaminados con *Fusarium verticilloides*, microorganismo productor de fumonisinas. Durante los años 2000-2003 en Guatemala se estudiaron muestras de maíz de tierras bajas y altas para evaluar la contaminación por fumonisinas B₁. Se determinó que en el año 2002 el 78% de las muestras colectadas de las tierras bajas contenía >0.3 µg/g de fumonisinas B₁, mientras que en las tierras altas solo el 2% de las muestras presentó ese nivel de contaminación (Torres *et al.*, 2007).

En el año 2004 se realizó una colecta de maíz de los mercados locales de 20 departamentos localizados en Guatemala. Las muestras fueron analizadas en 2005 y se determinó que en las tierras bajas existe una predominante contaminación por fumonisinas. Sin embargo, este maíz generalmente es exportado a tierras altas, como Huehuetenango, en donde la contaminación incrementa. En base a estos estudios se estableció que >50% del maíz vendido por los mercados locales que es nixtamalizado excede la recomendación máxima tolerable dada por la Organización Mundial de la Salud (Torres *et al.*, 2007, WHO, 2001).

Diversos estudios se continúan realizando sobre las aflatoxinas y fumonisinas en el maíz y productos nixtamalizados; sin embargo, la problemática no ha presentado mejoría. Por ende, es indispensable continuar estudiando el tema en las comunidades más afectadas como control de calidad de los productos destinados para consumo humano; tal como las tortillas o la incaparina. Los estudios requieren un enfoque práctico en el que se implementen mejoras para reducir la contaminación del grano de maíz y consecuentemente de los productos a base de maíz.

II. MARCO TEÓRICO

A. Origen y evolución del maíz

El maíz (*Zea mays*) fue domesticado por los primeros agricultores (hace 10,000 años) en el área geográfica que corresponde a Tehuacán en el Valle de México (Doebley *et al.*, 1995; Gibson *et al.*, 2002). Las variaciones en tamaño, sabor y apariencia en general instaron a los agricultores a la selección de la semilla que produjera las características de interés en el grano, proceso conocido como selección artificial. A través de estudios se ha determinado que el ancestro silvestre del maíz es un tipo de grama denominada teosinte. La apariencia física de ambas plantas no es similar, pero su constitución genética, sí lo es, permitiéndoles reproducción natural (Wang *et al.*, 2005).

En 1930 George Beadle se interesó en estudiar las diferencias entre el maíz y el teosinte. Para ello produjo un híbrido maíz-teosinte y mediante las bases de la herencia determinó que las diferencias en cinco genes tienen como resultado las grandes diferencias en apariencia (Beadle, 1980). Actualmente, mediante técnicas de biología molecular se determinó que variedades modernas de maíz descendieron de un ancestro en común y que los pequeños cambios implicaron variaciones dramáticas. La continua práctica de selección artificial del maíz por parte de los agricultores tiene como producto una amplia diversidad de variedades de maíz (Kane y Rieseberg, 2005).

1. Clasificación Taxonómica y ciclo del maíz . El Cuadro 1 Muestra la clasificación botánica del maíz.

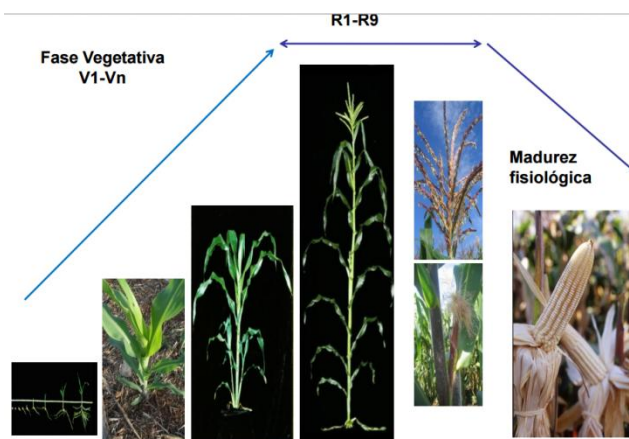
Cuadro 1. Clasificación botánica del maíz.

| | |
|--------------|------------------|
| Reino | Plantae |
| División | Tracheophyta |
| Sub división | Pteropsidae |
| Clase | Angiospermae |
| Sub clase | Monocotiledoneae |
| Grupo | Glumiflora |
| Orden | Graminales |
| Familia | Gramineae |
| Tribu | Maydeae |
| Género | <i>Zea</i> |
| Especie | <i>Zea mays</i> |

(Segura, 2008).

La Figura 1 muestra el ciclo del maíz desde su siembra hasta que alcanza su madurez fisiológica, en donde generalmente es cultivado para seguir el proceso post cosecha para su comercialización.

Figura 1. Ciclo del maíz durante su siembra hasta madurez fisiológica



(Fuentes, 2013).

2. Estructura, composición y usos del grano. El maíz es el tercer grano más importante después del arroz y el trigo, su principal producto final es el almidón que es almacenado en gránulos. El almidón en el maíz puede presentar una forma típica A que consiste en dobles hélices densamente empacadas. Otros componentes bioactivos del maíz son carotenoides, antocianinas y compuestos fenólicos que varían según el tipo de maíz. El maíz comparado con otros granos (arroz, avena, trigo) tiene una capacidad antioxidante mayor. El grano de maíz básicamente está compuesto de endospermo (82%), germen (11.9%), pericarpio (5.3%) y base del grano (0.8%) (Singh *et al.*, 2013).

El maíz es ampliamente empleado en la alimentación de animales y consumo humano. El valor nutritivo del maíz varía acorde a su calidad, contenido y material digerible (Krnjaja *et al.*, 2013). El maíz se considera un producto agrícola de impacto económico por sus diversas aplicaciones. Además de fuente alimenticia es utilizado como materia prima para la producción de diversos productos entre los cuales están endulzantes, adhesivos y combustible (*e.g.* bioetanol) (Messing, 2005).

3. Calidad del maíz. La calidad del grano de maíz relaciona su constitución física, donde son analizadas las variables que lo caracterizan, tales como textura, dureza, composición química valor nutricional y propiedades tecnológicas. Es importante que el agricultor tenga presente dichos ítems, los cuales son los indicadores que indican si el manejo post-cosecha se han realizado de forma adecuada (Balcarce, 2006).

a. Composición. La composición química del maíz se ve influida por su estructura física así como factores genéticos y ambientales. Su componente principal es el almidón, el cual corresponde al 72-73% del peso del grano. Las proteínas son otro componente de importancia en el grano, con proporciones que pueden variar entre el 8-11% del grano. La calidad nutricional del maíz se ve determinada por la composición en aminoácidos de las proteínas presentes en el grano (Gil, A. 2010).

Cuadro 2. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%)

| Componente químico | Pericarpio | Endospermo | Germen |
|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| Proteínas | 3.7 | 8.0 | 18.4 |
| Extracto etéreo | 1.0 | 0.8 | 33.2 |
| Fibra cruda | 86.7 | 2.7 | 8.8 |
| Cenizas | 0.8 | 0.3 | 10.5 |
| Almidón | 7.3 | 87.6 | 8.3 |
| Azúcar | 0.34 | 0.62 | 10.8 |

(Watson, 1987).

B. Mohos y levaduras en el maíz

El grano de maíz se considera susceptible a la contaminación por hongos y levaduras que pueden ser toxigénicos tales como *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp. Y *Penicillium* spp. (Krnajaja *et al.*, 2011). La contaminación con estos hongos varía según la ubicación del grano, por ejemplo *Alternaria* y *Fusarium* son especies que afectan durante la cosecha y *Aspergillus* y *Penicillium* en el almacenamiento del grano (Logrieco *et al.*, 2003).

La colonización de hongos y producción de micotoxinas en el maíz se ha asociado a factores integrativos que causan estrés en la planta de maíz; entre estos se encuentra la baja humedad en el suelo, daño por altas temperaturas en el día o noche y suelos deficientes en nutrientes (Abbas *et al.*, 2006).

C. Condiciones necesarias para el crecimiento de los hongos

Existen factores intrínsecos, como la actividad de agua, pH y potencial de óxido-reducción, y factores extrínsecos como la humedad relativa, temperatura y disponibilidad de oxígenos, que afectan el crecimiento de los hongos y la producción de micotoxinas (Valdés, 2007; FAO¹, 1998).

¹ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO por sus siglas en inglés Food and Agriculture Organization of the United Nations.

1. Oxígeno: La mayoría de los hongos son aerobios estrictos, es decir que requieren de oxígeno para su desarrollo (Warnock, 2007). El crecimiento de estos organismos es óptimo cuando las cantidades de oxígeno son abundantes (FAO, 1998).

2. pH: Los hongos son capaces de crecer y desarrollarse en un rango amplio de pH, pueden crecer a concentraciones altas de ácidos y en medios alcalinos (Valdés, 2007). El rango de pH para el crecimiento de los hongos es de 2.0 – 9.0; aunque la mayoría crece de manera óptima a un pH ácido, alrededor de 5.6 (FAO, 1998).

3. Temperatura: Son considerados organismos mesófilos, con una temperatura óptima de crecimiento de 22 – 30 °C. Algunos hongos que son patógenos de animales presentan una temperatura óptima más elevada (30 – 37 °C), mientras que otros crecen a temperaturas bajas (0 °C o menos) (FAO, 1998).

4. Concentración de solutos: La mayoría de los hongos crecen en medios donde la concentración de sal inhibe el crecimiento de bacterias (Valdés, 2007).

5. Actividad de agua (A_w): La actividad de agua se refiere a la disponibilidad de agua para los microorganismos en función de la cantidad de solutos (Fernández et al., 1993). Los distintos microorganismos crecen a bajas cantidades de actividad de agua, el nivel de A_w para el crecimiento de las levaduras es de $A_w > 0.85$, mientras que el de los hongos filamentosos es de $A_w > 0.80$. Éstos últimos son capaces de crecer en sustratos con una actividad de agua menor, es decir sustratos secos; debido a esto se produce el deterioro de los alimentos con baja actividad de agua por mohos (Universidad de Navarra, 2009).

D. Hongos como patógenos (importancia en la salud e industrial)

Los hongos son organismos contaminantes de alimentos y patógenos para la salud humana (Warnock, 2007). Estos siempre se encuentran en el suelo, aire, agua, alimentos y materia orgánica; es decir que son organismos omnipresentes en el ambiente; debido a esto se han identificado distintos reservorios a los cuales las esporas se han adaptado para su diseminación por el aire (Valdés, 2007).

Los hongos que se encuentran en el ambiente son especies no patógenas o patógenas facultativas, estas últimas también conocidas como oportunistas (Gots *et al.*, 2003). Los géneros de hongos no patógenos, como *Penicillium*, producen micotoxinas, mientras que los que son patógenos oportunistas como *Histoplasma*, ocasionan infecciones en distintos hospederos, y además producen distintas toxinas (Warnock, 2007). Los mohos (hongos filamentosos) se encuentran relacionados con la contaminación de alimentos y producción de micotoxinas, la capacidad que presentan los mohos para actuar como organismos contaminantes se debe a que crecen en bajos niveles de actividad de agua (0.65 – 0.90), a pH bajos (3.0 y en algunos casos puede ser menor), son capaces de crecer en amplios rangos de temperaturas (menores a 0°C hasta 40°C), utilizan distintos tipos de sustratos, y producen esporas en distintas condiciones (Valdés, 2007). Por otro lado, las levaduras son microorganismos utilizados principalmente para la industria; como la producción de pan y de bebidas alcohólicas. Éstas se encuentran en el suelo y en el agua de lagos y ríos, a partir de estos las levaduras pueden llegar a los alimentos (Deak 1995). Las levaduras producen alteraciones de las frutas y jugos debido a los azúcares fermentadores además también producen el deterioro en los alimentos contaminados con las mismas. La presencia de las levaduras en los alimentos depende de la temperatura, pH, humedad y disponibilidad de azúcares (Carrillo y Audisio, 2007).

E. Contaminación fúngica en los alimentos

Los mohos son capaces de crecer en distintos productos alimenticios, como cereales, frutas, vegetales, grasas, entre otros. Estos actúan como organismos oportunistas en la contaminación de los alimentos que están en mal estado, es decir que presentan bajos niveles de actividad de agua, bajos valores de pH y un amplio intervalo de temperatura; también contaminan los productos agrícolas que no se secan y almacenan correctamente (Valdés, 2007; Jarvis *et al.*, 1983). Además, las levaduras son capaces de contaminar los alimentos, aunque su papel como agentes contaminantes no es de gran importancia (Deak 1995).

La contaminación por parte de hongos en los alimentos produce alteraciones en estos, tales como la pérdida de las características organolépticas, reducción del valor nutritivo, putrefacción y un riesgo para la salud de las personas debido a la producción de micotoxinas (Valdés, 2007).

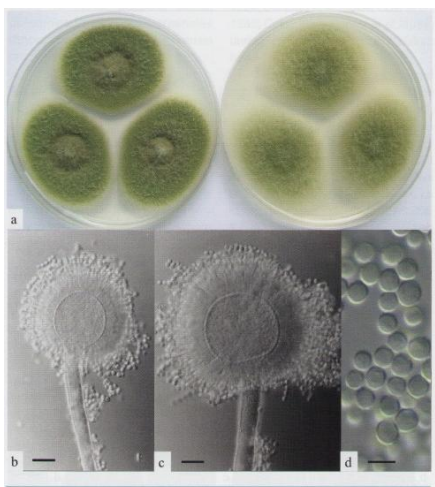
La presencia de microorganismos en distintos cereales, como el maíz, depende del nivel de nutrientes y de agua; a mayor humedad, mayor es la cantidad de contaminación bacteriana; y a menor nivel de humedad, menor es el crecimiento bacteriano. Sin embargo, esto no ocurre con los mohos y levaduras (Jarvis *et al.*, 1983).

En relación a los cereales, los hongos son capaces de contaminarlos en las etapas de crecimiento, cosecha y almacenamiento, causando el deterioro de los granos (Deak, 1995). Por ejemplo en el proceso de pulverización de los granos, la microbiota de éstos es diseminada por todo el producto. El nivel de humedad es un factor importante para el desarrollo de hongos productores de micotoxinas. Al igual que las malas prácticas en la cosecha, el almacenamiento post-cosecha, las condiciones de transporte y la comercialización del producto (Valdés, 2007).

F. Las micotoxinas

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por distintos géneros fúngicos, los principales son *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Claviceps*. El crecimiento óptimo de estos microorganismos es a 25°C. En la Figura 2 se muestra la visualización macroscópica de las colonias fúngicas que forman un micelio de color verde oliva. En la vista microscópica se observan las esporas reproductivas del hongo (Pitt *et al.*, 2012). La Figura 2 presenta la visualización macroscópica (a) de un cultivo de *Aspergillus* sp. La visualización microscópica de las colonias fúngicas está presentado en los componentes b, c y d.

Figura 2. Cultivo de *Aspergillus* sp.



(Pitt *et al.*, 2012).

G. Especificidad hongos – micotoxinas

La especificidad de la especie fúngica colonizadora se asocian al clima, daño del grano, tipo de grano, condiciones ambientales, entre otros (Pitt *et al.*, 2012). Se han identificado diferentes grupos de micotoxinas; las fumonisinas, aflatoxinas, deoxinivalenol, zeralenon, ocratoxinas y alcaloides de ergot que afectan a grupos de cultivo agrícola en particular (Bennett y Klich, 2003). Las fumonisinas y aflatoxinas son las dos principales micotoxinas que afectan al grano de maíz, las primeras son producidas principalmente por hongos del género *Fusarium* y las segundas por *Aspergillus*. Los efectos negativos de las micotoxinas residen principalmente en la calidad del grano, seguridad alimenticia, higiene y salud de los consumidores. La micotoxicosis puede resultar incluso en efectos letales (Jakic-Dimc *et al.*, 2009). La exposición a micotoxinas es más común en regiones que siguen malas técnicas en la manipulación y almacenamiento del grano (Bennet y Klich, 2003).

H. Aflatoxinas y fumonisinas como indicadores

Las condiciones de humedad en el almacenamiento del maíz determinan el crecimiento de hongos y levaduras por lo que el conteo total de estos microorganismos se puede emplear como indicador de la calidad del proceso post-cosecha del maíz, para evaluar si existen malas prácticas de desgranado, secado o almacenamiento. Estudios indican que la relación entre hongos totales y cuantificación de micotoxinas no sigue una proporción directa, sin embargo, el conteo de hongos sí señala la calidad del grano que se cosecha ya sea para consumo del agricultor y su familia o para la venta a granel en mercados comunitarios (Pitt *et al.*, 2012).

Por ende, si existe una cantidad alta de hongos en el grano implica que este ha sido almacenado en lugares húmedos y que puede encontrarse dañado físicamente por insectos que fracturan la estructura del grano favoreciendo el crecimiento del moho (Vincelli *et al.*, 1995).

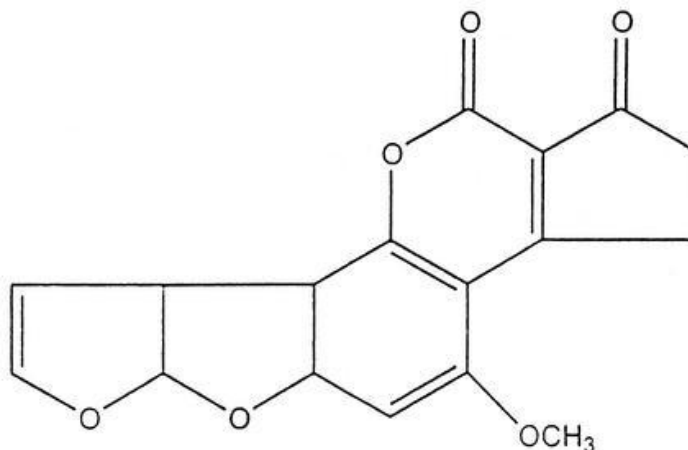
I. Aflatoxinas

Las aflatoxinas son producidas por hongos del género *Aspergillus*, principalmente *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus*. Su producción aumenta cuando los hongos son expuestos a condiciones de estrés tal como daño mecánico, cambios en la temperatura, deshidratación, otros (Pitt *et al.*, 2012).

Con base en la detección de aflatoxinas bajo luz UV (*Blue* o *Green*) se han clasificado cuatro grupos principales; B1, B2, G1 y G2. Las aflatoxinas B1 (ver Fig. 1) son las más estudiadas y se consideran el más potente cancerígeno natural. Existen otros tipos de aflatoxinas, que resultan de procesos metabólicos o biotransformación en mamíferos (Pitt *et al.*, 2012)

La Figura 3 muestra la estructura de la aflatoxina B1 que está formada por cinco ciclos, entre ellas tres son heterocíclicas por la presencia de un átomo de oxígeno.

Figura 3. Aflatoxina B1



(Cox, 2007).

En la ruta metabólica de poliquetonas llevada a cabo por las especies *A. flavus* y *A. parasiticus* son producidas las aflatoxinas (difuranocumarinas). *A. flavus* es el mayor contaminante en las prácticas agrícolas. Las diferencias cualitativas y cuantitativas de la toxicidad de las aflatoxinas varía según la cepa de hongo que la produce (Pettersen *et al.*, 2001). La contaminación por aflatoxinas se ha ligado a incrementos en la mortalidad de animales, contaminación en productos lácteos (aflatoxina M1), baja en la calidad de productos cárnicos, efectos tóxicos y cancerígenos en humanos y animales (Bennet y Klich, 2003). Las enfermedades causadas por el consumo de aflatoxinas son denominadas aflatoxicosis que pueden resultar en cáncer, inmuno-supresión, condición patológica lenta e incluso la muerte (Hsieh, 1988).

El hígado por ser un órgano de procesamiento de metabolitos secundarios es el más dañado por efecto de las aflatoxinas. La susceptibilidad a las aflatoxinas varía según la edad, el peso, la dieta, el sexo, la exposición, la presencia de otros compuestos activos (Eaton y Groopman, 1994). Se han realizado pruebas de susceptibilidad en animales aunque extrapolar los resultados en humanos es difícil debido a las diferencias metabólicas (Cullen and Newberne, 1994).

En el hígado la enzima citocromo p450 convierte a las aflatoxinas en un 8,9-epóxido reactivo e inestable que se puede unir al ADN y proteínas. El epóxido reactivo se puede unir al nitrógeno siete de las guaninas causando transversiones de GC a TA. En el citosol la enzima glutatión S-transferasa cataliza la conjugación entre la aflatoxina y el glutatión reducido para permitir la expresión de la toxina. Variaciones en los niveles de P450 y glutatión S-transferasa repercuten en la sensibilidad hacia las aflatoxinas (Eaton y Groopman, 1994)

Se ha calculado que la dosis letal de aflatoxinas en adulto se encuentra entre 10-20 mg de aflatoxinas (Pitt, 2000). La continua exposición a aflatoxinas en la dieta diaria se considera de alto riesgo para el desarrollo de carcinoma hepatocelular primario (Yoshizaka *et al.*, 2001). Las aflatoxinas B1 se han clasificado como un cancerígeno tipo I (IARC, 1982).

Entre los efectos clínicos de las aflatoxinas se encuentra la supresión inmunológica que causa una mayor susceptibilidad a enfermedades, daño crónico de órganos y tejidos vitales e interferencia con la capacidad reproductiva. Intentos para eliminar las aflatoxinas incluyen tratamientos químicos de los granos contaminados, por ejemplo, el tratamiento con amonía es actualmente utilizado en plantas de tratamiento en el Norte de Estados Unidos, Arizona, California, Georgia, Alabama, y más recientemente en Senegal y Francia. Entre otros tratamientos se encuentra el uso de bisulfito de sodio, aunque se considera menos efectivo (Piva *et al.*, 1995).

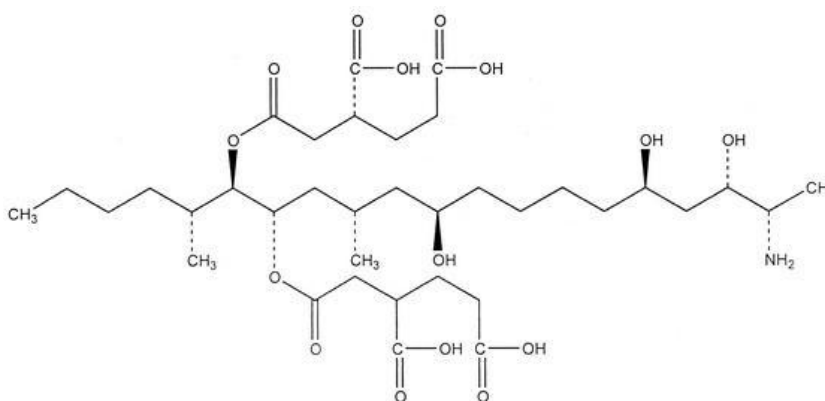
La nixtamalización, tratamiento a base de hidróxido de calcio, tradicionalmente se ha empleado en Guatemala para preparar tortillas. La nixtamalización básicamente es la cocción del maíz con hidróxido de calcio y agua.

Sin embargo, esta práctica común no es muy efectiva para reducir la cantidad de aflatoxinas. Se ha demostrado que en dosis altas de hidróxido de calcio las aflatoxinas B1 y B2 (AFB1 y AFB2) son más estables, la reacción puede ser reversible en un ambiente ácido reduciendo el potencial mutagénico de la molécula original de las aflatoxinas (Piva *et al.*, 1995).

J. Fumonisin

Las fumonisinas son compuestos hidrofóbicos, solubles en compuestos orgánicos que por su estructura (ver Fig. 4) interfiere en la biosíntesis de esfingolípidos y otras rutas metabólicas esenciales (Dutton, 1996, Blackwell, 1996). Se consideran potente cancerígeno acumulativo, especialmente asociado al cáncer esofaríngeo (Rheeder, 2002).

Figura 4. Fumonisina B1.



(Cox, 2007).

Las fumonisinas son producidas principalmente por *Fusarium verticillioides* y *Fusarium proliferatum*, aunque otras especies de *Fusarium* también las pueden producir. Existen al menos 28 formas distintas de fumonisinas, entre las cuales la B1 es la de mayor importancia económica por ser causantes de contaminación en el maíz. La contaminación del grano de maíz incrementa debido al daño mecánico que producen los insectos al alimentarse del grano (Shmale and Mundvold, 2003).

Actualmente, el alto consumo de maíz en Guatemala ha generado problemas de salud principalmente en niños y mujeres. La causa principal de este problema es la presencia de micotoxinas en el grano. Altos niveles de aflatoxinas inhiben el crecimiento y producen daño hepático (cáncer y necrosis). Además, contaminan el producto (maíz) debido a las malas prácticas culturales o mal manejo post-cosecha del mismo (Orozco, 2014).

Las fumonisinas se han asociado a enfermedades en animales de granja y a la salud humana. En regiones de alto consumo de maíz uno de los principales problemas causados por las fumonisinas son defectos del desarrollo del tubo neural. La dosis máxima tolerable de consumo diario de aflatoxinas es de 2 µg por Kg de peso corporal por día, esto aplica para las fumonisinas B1, B2 y B3 por separado o en combinación (Torres *et al.*, 2007).

El riesgo asociado a las fumonisinas es mayor en comunidades que consumen en grandes cantidades este grano. En Guatemala, las comunidades indígenas consumen diversos productos de maíz procesado (o nixtamalizado) para suplir sus necesidades energéticas diarias (Bressani, Rooney y Serna-Saldivar, 1997). Un estudio realizado por el Instituto de Nutrición de Centro América para el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología determinó que de la población estudiada (Tierras altas de Centro América) el 100% consume ~145 g maíz /día. En Guatemala se reporta que el consumo diario de maíz en la población urbana es de 102 g/día y en la rural de 454 g/día (Fuentes López *et al.*, 2005).

El alto consumo de maíz en Guatemala posiciona a la población en un mayor riesgo de presentar defectos en desarrollo del tubo neural. Un posible mecanismo del riesgo asociado es que las fumonisinas se consideran inhibidores del transporte de folato. En ratones la exposición a fumonisinas se ha implicado en defectos del tubo neural (Stevens y Tang, 1997). El daño producido por las fumonisinas puede presentar varios mecanismos. Se ha reportado que las fumonisinas B1 inducen aberraciones en el micronúcleo y cromosomas (Ehrlich *et al.*, 2002).

El daño al ADN se asocia a la liberación de compuestos reactivos (*e.g.* radicales hidroxilo) que causan la peroxidación de lípidos afectando de forma generalizada a todas las estructuras constituidas por lípidos (Stockmann-Juvala and Savolainen, 2008). No se ha encontrado una asociación directa entre las fumonisinas y el ADN pero sí se ha correlacionado el daño por inhibir la biosíntesis *de novo* de esfingolípidos.

Las fumonisinas B1 por su estructura inhibe la enzima ceramida sintetasa (Merrill *et al.*, 2001). La inhibición anterior resulta en defectos en el señalamiento del funcionamiento celular que se basa en la acción de ceramidas y esfingolípidos. Al no existir un correcto señalamiento las células pueden experimentar apoptosis prematura, carcinogénesis e inhibición en la biosíntesis de otros lípidos requeridos para evitar patrones de crecimiento diferencial (tumores) (Gelderblom *et al.*, 2008). Los efectos de las fumonisinas en la inmunomodulación se ha asociado a cambios en los niveles de citosinas (Sharma *et al.*, 2000).

K. Hongos productores de micotoxinas

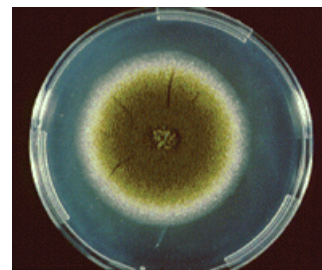
Los hongos micotoxicogénicos o productores de micotoxinas, pertenecen a los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*. Estos géneros producen distintos tipos de micotoxinas, aunque un mismo tipo de micotoxina puede ser producida por distintas especies de hongos (Romagnoli y Silva, 2009). Entre las especies de hongos toxigénicos distribuidos mundialmente se encuentran las siguientes:

- *Aspergillus flavus* (aflatoxinas): Hongo productor de aflatoxinas. Dentro de sus características microscópicas se puede mencionar que los conidióforos presentan longitudes variables (500-800µm), son ásperos y contiene espinas, pueden ser uniseriados o biseriados (Koneman *et al.*, 2007). Los conidios (esporas) son esféricos y lisos de 3.5-4.5 µm de diámetro; al madurar presentan una estructura áspera y pigmentación amarilla (Hedayatu *et al.*, 2007; Koneman *et al.*, 2008). En cuanto a características macroscópicas, las colonias son granulares, aterciopeadas, vellosas y filamentosas de color amarillo o amarillo verdoso (Hedayatu *et al.*, 2007).

Figura 5. *Aspergillus flavus* observado a través del microscopio.



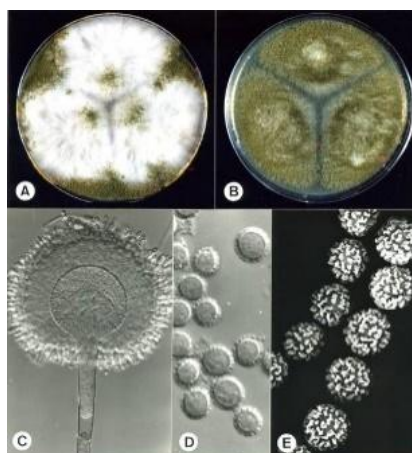
Figura 6. Colonia macroscópica de *Aspergillus flavus*.



(Hedayatu *et al.*, 2007).

- *Aspergillus parasiticus* (aflatoxinas): Hongo productor de aflatoxinas. Microscópicamente se presentan como conidios uniseriados, ásperos en la parte interior y exterior; las estípites son ásperas; vesículas esféricas, con una anchura de 37.5 μm , longitud de 34.1 μm , fértiles en la parte superior o en toda la superficie. Las fiálides presentan una longitud de 9.5 μm (Dovicicova *et al.*, 2012). Forman colonias de color verde oscuro con un diámetro de 9 cm, se vuelven de color pardo conforme pasa el tiempo, textura áspera. Las cabezas conidiales son radiadas de color verde amarillento, el reverso de las colonias son de color amarillo o incoloras (Dovicicova *et al.*, 2012; Gómez, 2007).

Figura 7. Colonias macroscópicas de *Aspergillus parasiticus* en agar Czapek, (A) y en agar MEA (B). *Aspergillus parasiticus* observado a través del microscopio (C), conidas (D y E).



(Tzean y Chen, 1990).

- *Fusarium moniliforme* (fumonisinas): Hongo productor de fumonisinas y patógeno de maíz, produce la toxina fumonicina, esta provoca desequilibrios hormonales, infertilidad, disminución de crecimiento y muerte en organismos que consumen granos contaminados (Arbeláez, 2000). Macroscópicamente, las microconidias crecen en cadenas que presentan distintas coloraciones (blanco, violeta, malva, rosa, anaranjado, vinosos o crema) (Moral *et al.*, 1986). El tamaño de las microconidias es de 5 – 12 X 1.5 – 2.5 μm , el de las macroconidias depende de la cantidad de tabiques, al presentar 5 – 6 tabiques, el tamaño es de 40 – 50 X 2.5 – 4 μm (Moral *et al.*, 1986).

Figura 8. *Fusarium moniliforme* observado a través del microscopio.

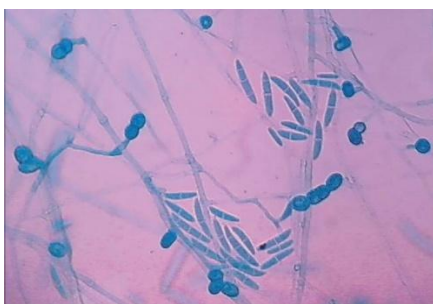


Figura 9. Colonia microscópica de *Fusarium moniliforme*.



(University of Illinois, 2001).

- *Fusarium graminearum* (zearalenona): Hongo homotálico que produce zearalenonas. Dentro de sus características microscópicas presenta un macroconidio delgado y recto, puede presentar entre 5-6 septos, caracterizados por la presencia de célula basal con forma de pie, no presenta microconidio. Presenta escasos esporodoquios, al estar presentes son de color naranja pálido o crema (Universidad Nacional de La Plata, 2006). Las esporas (clamidosporas) son globosas, miden 10-12 μm de diámetro. Al ser cultivado, las colonias presentan una pigmentación púrpura y un micelio aéreo algodonoso (Universidad Nacional de La Plata, 2006).

Figura 10. Macroconidios de *Fusarium graminearum* observados a través del microscopio.

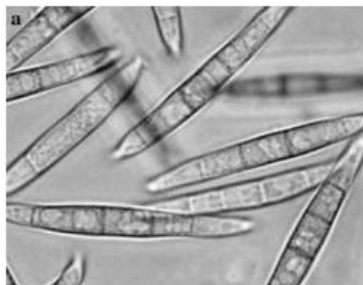
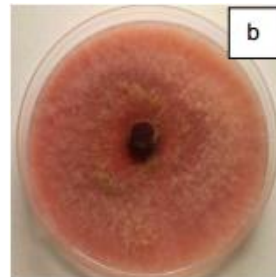


Figura 11. Colonia macroscópica de *Fusarium graminearum* (b).



(Universidad Nacional de La Plata, 2006).

- *Penicillium verrucosum* (ocratoxina A): Hongo productor de la micotoxina ocratoxina A. Es un conidióforo en forma de pincel unido al micelio por la estipe, los conidios circulares se encuentran encadenados y se originan a partir de la fiálide (célula especializada, en forma de pico de botella) (Martínez, 2003). Las células se encuentran agrupadas y parten de un mismo punto; los puntos de ramificación son dos a lo largo del conidióforo (Baquero *et al.*, 2008; Martínez, 2003). Al ser cultivado, al principio las colonias son blancas y vellosas, presentan una superficie aterciopelada o pulverulenta y rugosa; las esporas son pigmentadas de color verde, azul verdoso y amarillo, los bordes son de color blanco (Baquero *et al.*, 2008).

Figura 12. *Penicillium verrucosum* observado a través del microscopio.

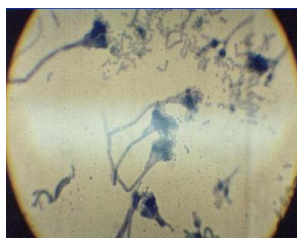
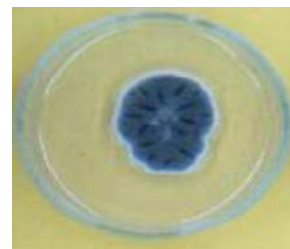


Figura 13. Colonia macroscópica de *Penicillium verrucosum*.



(Baquero *et al.*, 2008).

Los hongos productores de micotoxinas son importantes a nivel económico en cuanto a cultivos, principalmente de maíz, maní y otras nueces, semillas de algodón y café.

Según la FAO el 25% de los cultivos alrededor del mundo son afectados por micotoxinas cada año causando pérdidas anuales de mil millones de toneladas de productos alimenticios (FAO, 2014). Estas pérdidas se deben a: (1) Pérdida de rendimiento por las enfermedades causadas por los hongos, (2) el valor del cultivo reduce debido a la contaminación, (3) pérdida en la producción de los animales por los problemas de salud relacionados con las micotoxinas y (4) costos de la salud humana (Schmale y Munkvold, 2014).

L. Prevención de la contaminación fúngica de los alimentos

La producción agrícola de cereales, frutas y hortalizas se lleva a cabo en el campo, en donde las condiciones meteorológicas cambian constantemente, favoreciendo o dificultando la colonización fúngica y la producción de micotoxinas (Pacin, 1996; Schmale y Munkvold, 2014). Cuando el producto está contaminado es desechado parcial o totalmente, dependiendo del grado de contaminación; por lo tanto el precio del producto baja y el rendimiento de la cosecha es menor, ocasionando pérdidas económicas (Pacin, 1996).

Para prevenir la contaminación fúngica de los alimentos, es importante desarrollar distintas estrategias de control basadas en la selección de variantes resistentes, en las prácticas de campo, condiciones ambientales y el uso de agentes químicos y biológicos. En relación a la selección de variantes resistentes, el agricultor debe informarse sobre el tipo de semilla que mejor se adapta a la región y sobre las variedades resistentes al ataque de hongos, insectos y otros microorganismos. Entre las prácticas de campo que reducen la contaminación fúngica se puede mencionar la rotación de cultivos, la tala de árboles enfermos, el arado de tierra, riego y fertilización (Schmale y Munkvold, 2014; Valdés, 2007).

El desarrollo fúngico y la formación de micotoxinas es favorable en algunos ambientes, por lo tanto es importante tomar en cuenta la humedad relativa y la temperatura en los sitios de cultivo además de realizar la cosecha de los granos a porcentajes de humedad bajos para prevenir la contaminación de estos por hongos y micotoxinas. Por último, otro factor que estimula el desarrollo de los mohos son las lesiones causadas por insectos y roedores, por lo tanto se debe usar insecticidas y fungicidas, también se pueden implementar un control de plagas y el uso de microorganismos biocompetitivos que reducen la contaminación con micotoxinas (bacterias y levaduras) (Valdés, 2007).

Durante la cosecha, las actividades dependen de la materia prima que es cultivada. Con respecto a los cereales, la cosecha es el primer paso en el cual la humedad es la medida de control para la prevención del desarrollo de micotoxinas, otra medida es la detección de enfermedades presentes en el grano y la separación eficiente de los granos enfermos del producto sano. Después de la cosecha se pueden aplicar distintas estrategias durante la etapa de almacenamiento, procesamiento y distribución de los alimentos. En el almacenamiento y secado es importante llevar a cabo un control de la humedad, temperatura y ventilación (Frazier, 1993; FAO, 2014; Valdés, 2007).

La infección por hongos en productos de cultivo puede ocurrir en cualquier etapa del proceso de cosecha, ya sea en el campo, durante la cosecha o durante el almacenamiento (Frazier, 1993). Las esporas producidas por los hongos son capaces de permanecer latentes por mucho tiempo, hasta que las condiciones sean adecuadas para su germinación (Frazier, 1993; FAO, 2014). Dentro de las condiciones a las cuales ocurre el desarrollo fúngico en las plantas están:

- Humedad relativa mayor al 70%.
- Temperatura del ambiente mayor a 30°C.
- Condiciones de estrés que afectan a la planta (sequía, infestaciones, inundaciones)
- Alto porcentaje de humedad en la cosecha (mayor al 12%) (McGonigle y Miller, 1995).

M. Importancia del maíz en Guatemala

El maíz es el cultivo más importante entre los cereales a nivel mundial por su alto nivel de producción (Carrillo, 1999). En Guatemala es el principal cultivo con una producción anual de aproximadamente 35.8 millones de quintales; según el IV Censo Nacional Agropecuario del 2003 el 62.3% de siembra a nivel nacional se encuentra en siete departamentos: Petén (18.4%), Alta Verapaz (13.1%), Quiché (8.1%), Huehuetenango (7.5%), Jutiapa (6.6%), San Marcos (4.7%) e Izabal (4%) (MAGA², 2011). El consumo del maíz en Guatemala, es de aproximadamente de 2.7 millones de quintales mensuales además es consumido directamente como alimento principal en la dieta (MAGA, 2011).

² Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

En el maíz existe una gran cantidad de hongos, bacterias y virus patógenos que afectan el rendimiento y calidad de la cosecha (Vares, 1984). Mundialmente, las pérdidas del maíz por las infecciones causadas por estos patógenos son el 9% de la producción anual. En el caso de los hongos, los que afectan al maíz se encuentran principalmente en el suelo (Vares, 1984).

Actualmente en Guatemala los hongos productores de micotoxinas son el principal problema de contaminación del maíz sobre todo por: malas prácticas culturales, no secarlo de forma correcta o almacenarlo cuando el grano aún está húmedo, al estar expuesto a roedores e insectos, no almacenarlo correctamente, inadecuada ventilación en el lugar de almacenamiento y retraso en la cosecha a nivel de campo (Orozco, 2014; Torres *et al.*, 2013). Según el MAGA solamente el 15% de los productores de maíz conocen cómo almacenarlo sin que éste se contamine. La mayoría de los agricultores utilizan trojas para el almacenamiento, estas no son herméticas por lo tanto el grano es contaminado por insecticidas, ratones e insectos y la humedad no es controlada (MAGA, 2011). Uno de los problemas que se produce a causa de la contaminación de los granos es el impacto económico que causa, ya que según el Programa Mundial de Alimentos (PMA) en el occidente del país se pierde el 50% de la cosecha (3 quintales por cosecha de maíz) (Orozco, 2014). Además del problema económico también presenta un problema relacionado con la salud; el maíz es un alimento ampliamente consumido, es la base de la dieta de la población guatemalteca por lo tanto es importante la identificación de las aflatoxinas por la alta toxicidad que presentan (Salazar, 2008). Para reducir este problema, se ha recomendado cambiar la dieta de las personas principalmente embarazadas, lactantes y niños pequeños con el fin de que no dependan del maíz y los derivados del mismo; se puede consumir brócoli y derivados para destoxificación de las aflatoxinas por las enzimas que poseen (Orozco, 2014; Torres *et al.*, 2013).

N. Análisis de fumonisinas y aflatoxinas en el maíz

El análisis de fumonisinas y aflatoxinas actualmente considera tanto las fumonisinas y aflatoxinas libres como las internas en el grano de maíz. La interacción macromolecular entre las aflatoxinas con proteínas, lípidos o carbohidratos aún no es completamente comprendida pero la hidrólisis de la muestra para liberar a las aflatoxinas de cualquier interacción es indispensable para una mejor detección. La hidrólisis alcalina de la muestra es una simulación *in vitro* de la digestión del maíz que se consume para determinar la posible alza en la concentración de fumonisinas al digerir el grano (Dall'asta *et al.*, 2010).

De acuerdo con las condiciones ambientales la probabilidad de contaminación del grano de maíz con hongos varía. En condiciones húmedas y temperaturas más altas *Aspergillus flavus* es más común en semillas de algodón y cacahuates, mientras que para el maíz son *F. verticilloides*, *F. proliferatum* (productores de fumonisinas) y *A. flavus* (productor de aflatoxinas). En un clima frío el maíz no es afectado por *A. flavus* pero sí por hongos del género *Fusarium* sp. (Pitt *et al.*, 2012).

O. Técnicas de detección de fumonisinas y aflatoxinas en maíz

Las técnicas de detección y cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas son de gran relevancia en la industria alimenticia ya que las metodologías deben ser precisas y exactas para evaluar si los niveles de toxinas se encuentran dentro de los límites permitidos (He *et al.*, 2014). El maíz analizado, previamente es sometido a una digestión *in vitro* para realizar una cuantificación total debido a que en la estructura interna del grano se pueden encontrar aflatoxinas y fumonisinas que sin la digestión no serían cuantificadas. Esto permite una cuantificación más exacta para evitar subestimar la concentración de aflatoxinas o fumonisinas que pueden resultar en intoxicación, daño progresivo (*e.g.* cáncer) o incluso la muerte (*e.g.* aflatoxicosis severa) (Dall'Asta *et al.*, 2010).

En la detección y cuantificación de aflatoxinas es común el uso de cromatografía líquida acoplado a un detector de masas ya que este es el método recomendado y estandarizado por la FDA (FDA, 2013). Entre otras técnicas de cuantificación que requieren equipo menos sofisticado se encuentran los inmunoensayos, cromatografía capa fina, fluorimetría, entre otros. Los inmunoensayos pueden resultar pruebas extensas y tediosas; sin embargo, para análisis de productos agrícolas actualmente existen pruebas rápidas específicas para el tipo de análisis que aceleran el proceso (Daohong *et al.*, 2010).

AgraStrip® ha desarrollado ensayos inmunocromatográficos denominados de flujo lateral que se consideran pruebas rápidas fundamentadas en la tecnología de pruebas de aglutinación en latex desarrolladas alrededor de 1956 por Singer y Plotz. Entre las ventajas presentadas por esta prueba incluyen tiempos cortos, alta estabilidad en un rango de climas, económicamente accesibles y fáciles de emplear. El enfoque de esta prueba es para analizar muestras agrícolas, entre las cuales se encuentra el maíz (AgraStrip®, 2013).

En este método una banda funciona como una columna cromatográfica en la cual ocurre un flujo lateral de la muestra y los diferentes compuestos adicionados para realizar el inmunoensayo y detectar aflatoxinas o fumonisinas. Las bandas tienen unidas a su superficie sólida microesferas que pueden ser cuantitativamente probadas. Lo más común es el uso de partículas coloidales de oro empacando la superficie con los anticuerpos secundarios que al interactuar con el analito unido al anticuerpo primario (e.g. aflatoxinas o fumonisinas) genera una zona de color en la región de unión. Muestras líquidas son añadidas y los componentes se mueven a lo largo de la membrana por capilaridad hasta el final de la banda. Durante la migración si la muestra está contaminada entonces se suspenden las micotoxinas con las partículas de recubrimiento de la columna.

La ausencia de cierta zona de color señala una muestra libre de micotoxinas según el límite de detección. En caso contrario, la muestra sí se encuentre contaminada con la micotoxina evaluada en el ensayo. El lector digital de estas bandas es específico y permite una cuantificación total basada en el registro de una curva estándar de la micotoxina de interés. La muestra debe presentar una concentración dentro de los límites de la curva estándar sino debe diluirse (Hybrechts, 2011).

P. Métodos de análisis de contaminación fúngica en el maíz

La relación entre hongos totales y la cuantificación de micotoxinas no presenta una proporción directa, sin embargo, el conteo de hongos permite determinar la calidad del grano que se cosecha para consumo de las personas (Pitt *et al.*, 2012). Para la determinación de los hongos presentes en distintas muestras se utilizan métodos de cuantificación de microorganismos, los cuales se basan en la medición exacta de volúmenes de las muestras que serán analizadas, estos son combinados con cantidades conocidas de distintos diluyentes (agua estéril, agua de peptona o solución salina), dando como resultado diluciones con las cuales se pueden obtener concentraciones microbianas medibles. Este método es conocido como recuento en placa (FAO, 2014).

Los mohos y levaduras (hongos) son un grupo heterogéneo formado por distintas especies, su crecimiento se da en un rango amplio de pH, desde 2 a 9; a una temperatura entre 5 a 35°C (Valdés, 2007; Jerez, 2006).

Para el crecimiento de estos microorganismos se utilizan medios específicos para su desarrollo e inhibición del crecimiento de bacterias, entre ellos se encuentra el agar dicloran rosa bengala cloranfenicol (DRBC) (Aceituno, 2006; FAO, 2014). Cada colonia contada, es reportada como una unidad formadora de colonia (UFC), después de la incubación, el número de colonias determina el número de mohos y levaduras presentes originalmente en la muestra (Aceituno, 2006). El rango máximo permitido de hongos en el grano de maíz es de 10,000 UFC/g (Speck, 1984).

Para la determinación de hongos presentes en los alimentos se utilizan métodos tradicionales, basados en técnicas microscopias y recuento en placa:

1. Técnicas microscópicas. El método más utilizado es el Recuento Fúngico de Howard, en este método se estima el grado de contaminación fúngica mediante la evaluación de un número de campos microscópicos (Gourama y Bullerman, 1995). Mediante esta técnica no es posible la identificación de mohos, ya que un campo positivo puede presentar una sola hifa o un gran grupo de micelio (Gourama y Bullerman, 1995).

2. Conteo en placa. Esta es la técnica más utilizada para la determinación de mohos. Se deben tomar varios métodos para llevarla a cabo:

- Siembra directa: Técnica cualitativa utilizada para controlar los niveles de contaminación por hongos en distintas etapas del proceso de cosecha. Es recomendable desinfectar la superficie de las muestras antes de la siembra, para determinar solamente los mohos que invaden el alimento (Valdés, 2007). Luego de la desinfección, el producto se coloca en placas que contienen el medio de cultivo seleccionado y se incuba a 25°C por 5 días (Goncalves *et al.*, 2006).

- Siembra por diluciones en placas: Con esta técnica se determinan las poblaciones de hongos por unidad de peso o volumen en un alimento (Vladés, 2007).

Se debe preparar un homogenizado del producto, luego realizar diluciones seriadas con un diluyente y sembrar las muestras en las placas con un medio de cultivo seleccionado (Valdés, 2007; Beuchat, 1992). Es necesario tomar en cuenta los siguientes factores:

- Muestreo y error en las diluciones: Se debe tomar las muestras por triplicado y éstas deben ser representativas (Beuchat, 1992). En los cereales los recuentos entre réplicas de una muestra pueden ser diferentes, debido a una alta contaminación de los granos individualmente, con altos niveles de hongos específicos o por la presencia de esporas. Con respecto a las diluciones, es probable que los recuentos no aumenten en orden decimal, debido a una fragmentación del micelio y ruptura de las esporas (Valdés, 2007).
- Tipo de homogenización: La homogenización debe realizarse antes de la siembra, ya que los hongos se sedimentan rápidamente (Valdés, 2007).
- Diluyente: Los diluyentes dependen del tipo de alimento que se está utilizando, ya que estos favorecen el crecimiento y el desarrollo de hongos. Los más utilizados son el agua de peptona al 0.1% y el buffer de fosfato de potasio (1M – pH 7.0) (Beuchat, 1992).
- Medios de cultivo: Depende de los microorganismos asociados con el alimento que se analizará, es importante el uso de antibióticos para inhibir el crecimiento bacteriano (Valdés, 2007). El medio DRBC es un medio selectivo para el conteo de hongos y levaduras en alimentos, el pH de dicho medio, que es bajo, y la presencia del antibiótico cloranfenicol, inhibe el crecimiento de bacterias. El indicador Rosa de Bengala es incorporado en los hongos de manera intracelular, lo cual restringe el tamaño de las colonias de hongos filamentosos o invasores. Por último, el Dicloran inhibe el sobrecrecimiento de las especies exuberantes sobre las de lento desarrollo (Neogen Corporation, 2011).
- Tipo de siembra: Uno de los tipos de siembra utilizados es la técnica en espiral, con esta se obtiene una distribución más uniforme de las colonias, el principal problema de esta técnica es la formación elevada del micelio aéreo que presentan algunas especies (Beuchat, 1992). En cuanto a la siembra por vertido, es importante tomar en cuenta la temperatura del medio de cultivo, volumen del agar y el tipo de caja Petri que se utilice; ya que existe mayor choque térmico en placas de plástico (Beuchat, 1992).

Existe una técnica más simple para la realización del conteo de mohos y levaduras, desarrollada por la compañía 3M, conocida por técnica de placas Petrifilm™ YM. Las placas son de tamaño pequeño, por lo tanto presentan una mayor simplicidad de usos. Además la vida útil de éstas es de un año al mantenerlas congeladas, no es necesario la preparación de agar y los recuentos se realizan de una manera más fácil (Valdés, 2007).

Q. Pruebas estadísticas

1. Pruebas de Normalidad. La elección de pruebas de hipótesis paramétricas y no paramétricas se basa en la normalidad de la distribución de los datos estudiados (Anderson et al., 2011). Existen distintos procedimientos para determinar los supuestos de normalidad:

- Métodos gráficos: El gráfico de probabilidad normal es la representación de las frecuencias acumulativas de una muestra frente a las correspondientes frecuencias acumulativas de una distribución normal con una media μ y varianza σ . Cuando los datos no se apegan a la línea recta, indican que la muestra no se distribuye normalmente (Arderiu et al., 1998).

- Prueba de Shapiro –Wilk: Con esta prueba se calcula el estadístico W , el cual es igual a $\frac{b_0^2}{s^2}$, en donde s^2 es la varianza de la muestra y b_0^2 es $b_0^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n/2} m_i(x_i - x_{n-i+1})}{\sqrt{n-1}}$, donde m_i es la cantidad tabulada. Cuando el valor W es mayor al valor crítico tabulado se afirma con un nivel de confianza que la muestra no procede de una distribución normal (Arderiu et al., 1998).

- Prueba de Kolmogorov – Smirnov: Es una prueba de distribución empírica basada en la diferencia máxima de las distribuciones de frecuencia acumulada. Es recomendable utilizarla cuando $F(x)$ es una distribución continua, es una prueba de hipótesis en donde la hipótesis nula afirma el ajuste de los datos a la distribución $F(x)$; el estadístico de la prueba se da por: $D_c = \text{Max}\{|H_{i-1} - F_i|, |H_i - F_i|\}$, este valor se compara con el nivel de significancia y se acepta la hipótesis nula cuando D_c es mayor que el nivel de significancia (Arderiu et al., 1998; Anderson et al., 2011).

2. Homocedasticidad. Además del supuesto de la normalidad, es importante determinar el supuesto de homocedasticidad, el cual se cumple cuando las varianzas son iguales (homogéneas). Una de las pruebas para comprobar la igualdad de varianzas, es decir una dispersión similar en sus distribuciones, es la prueba de Levene, si los valores obtenidos en la prueba no son significativos se asume la igualdad de varianzas. Con base en este supuesto se puede definir el método que se utiliza para el contraste de medias (paramétrico o no paramétrico) (Universidad de Coruña, 2003).

3. Contraste de medias: Análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor. El análisis de varianza se utiliza para relacionar una variable dependiente cuantitativa y varias variables independientes cualitativas, este mide la significancia estadística de las diferencias entre las medias de los dos grupos estudiados (variable dependiente e independiente) (Pérez, 2010). El análisis de la varianza de un solo factor es utilizado para el análisis de la relación entre una variable dependiente métrica y una variable independiente no métrica a distintos niveles o grupos (tratamientos); se supone que las varianzas de los grupos son iguales y los errores son aleatorios, independientes y se distribuyen siguiendo una ley normal con media 0 y desviación estándar constante (Barón y Téllez, 2009).

La hipótesis nula (H_0) de esta prueba es: las medias poblacionales son iguales y la hipótesis alternativa (H_1) es: al menos una de las medias es diferente (Universidad de Castilla-La Mancha, 2012). Además, la prueba se basa en la comparación de las sumas de cuadrados entre la variabilidad entre grupos y la variabilidad intra grupos, ambas son estimaciones independientes de la variabilidad global, por lo tanto si el cociente entre la primera y la segunda es grande, mayor será la probabilidad de rechazar la hipótesis nula (Universidad de Castilla-La Mancha, 2012). Al obtener una significancia baja (menor a 0.05) la hipótesis nula es rechazada, es decir que las medias de todos los grupos son iguales (Barón y Téllez, 2009).

R. Producción de maíz en Guatemala

Cerca del 90% de la producción nacional es de maíz blanco; para el año 2013 se esperaba que la producción fuera de 37.2 millones de quintales de maíz (33.48% de maíz dulce). La

producción nacional ha mostrado un crecimiento cercano al 2.6% con respecto a los años 2011 y 2012. A continuación se muestra el total de la producción de maíz en el país (ICTA, 2002).

El cultivo del maíz (*Zea mays* L) tiene una extensa distribución en las distintas zonas de Guatemala. La distribución del cultivo depende de la adaptación, el tipo de suelo y las condiciones climáticas incluyendo la precipitación, altitud sobre el nivel del mar, temperatura y humedad relativa. La producción nacional de maíz es realizada mediante distintos sistemas de producción, donde se ven involucradas épocas de siembra, la cual depende de la altitud, y los sistemas de siembra incluyendo la práctica de asociación con otros cultivos (ICTA, 2002).

En Guatemala, la siembra de maíz se establece en dos ciclos para las zonas cálidas; la primera es realizada entre mayo y junio, y la cosecha es obtenida entre agosto y septiembre. En el segundo ciclo, la siembra es de agosto a septiembre y se cosecha en noviembre y diciembre (MAGA, 2014). En Guatemala se cultivan cuatro variedades de maíz: blanco, amarillo, negro y rojo; sin embargo han sido identificadas otras especies, en las cuales 590 están registradas en Guatemala, siendo el país que ocupa el tercer lugar con mayor variedad de maíz en el mundo, luego de México y Brasil (IICA, 2012).

Regularmente el maíz se cultiva en condiciones de secado, sin embargo, en algunas ocasiones se complementa mediante el riego para estimular el crecimiento del cultivo. El maíz es el único cereal que se puede utilizar como alimento en cualquier etapa de su desarrollo (MAGA, 2014).

“A nivel nacional, el maíz ocupa el 67% de la superficie de los cultivos realizados en el país. El cultivo de maíz durante el año 2010 de acuerdo a CEPAL, se realizó en una superficie de 840 mil hectáreas, teniendo una producción de 1,625,000 toneladas, donde los rendimientos alcanzados fueron de 1.9 toneladas/hectárea, el cual se encuentra por debajo de los rendimientos obtenidos por países como El Salvador y Panamá en el mismo año.” (IICA, 2012).

Este rendimiento depende, en gran medida, de los insumos para la producción y su precio, de tal manera que la falta de recursos por la ausencia de créditos para el sector resulta que los costos se vean elevados. Además de la deficiencia o nula existencia de programas de

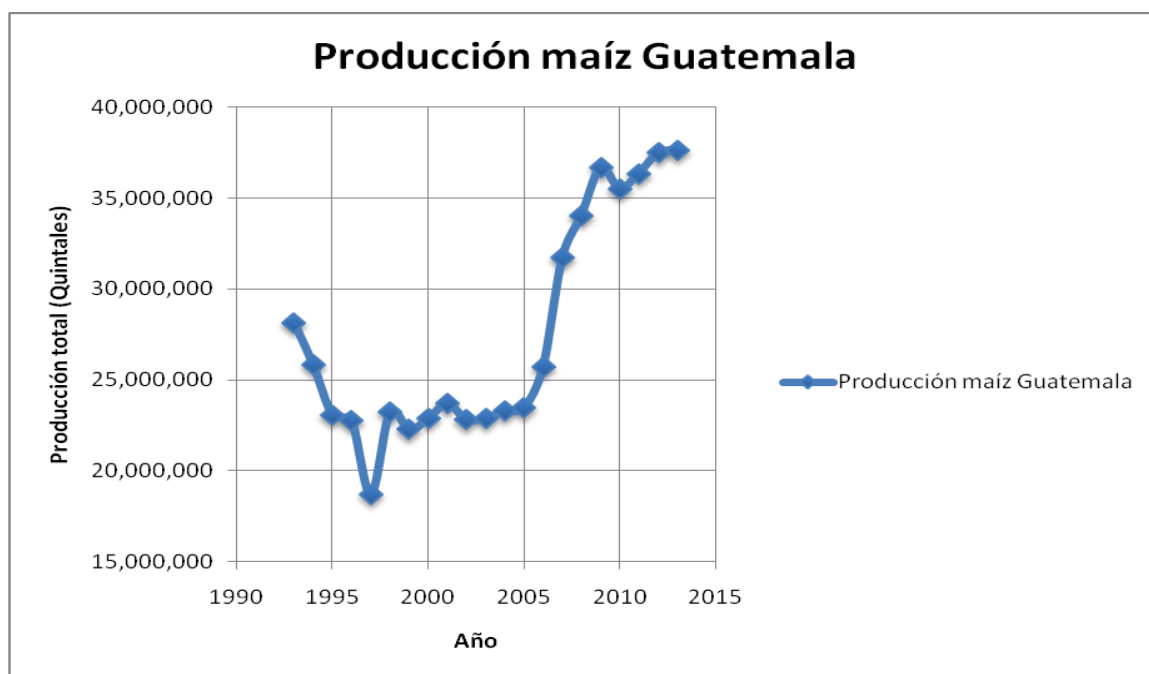
capacitación y asistencia técnica para los productores. Otro factor que se ve reflejado en el rendimiento de cosecha de maíz es el ambiente ecológico en el cual se desarrolla el cultivo del maíz, ya que muchas de las áreas con maíz son de bajo potencial (FAO, 2005).

Cuadro 3. Producción nacional de maíz en el periodo 2007/2008-2012/2013.

| Periodo | Área cosechada (Manzanas) ³ | Producción (Quintales) ⁴ | Rendimiento (%) expresado en Quintales/manzana |
|-----------|---|--|--|
| 2007/2008 | 985,000.00 | 35,239,409.00 | 35.78 |
| 2008/2009 | 1,224,600.00 | 37,954,987.00 | 30.99 |
| 2009/2010 | 1,174,955.00 | 35,842,973.60 | 30.51 |
| 2010/2011 | 1,175,255.00 | 36,117,211.60 | 30.73 |
| 2011/2012 | 1,199,935.40 | 36,199,378.20 | 30.17 |
| 2012/2013 | 1,211,934.70 | 37,158,625.60 | 30.66 |

(MAGA, 2013).

Figura 14. Producción de maíz en Guatemala según FAO.



(FAOSTAT, 2015).

³ Una Manzana equivale aproximadamente a 6,989 m² de terreno.

⁴ Un Quintal equivale aproximadamente a 100 lb de materia.

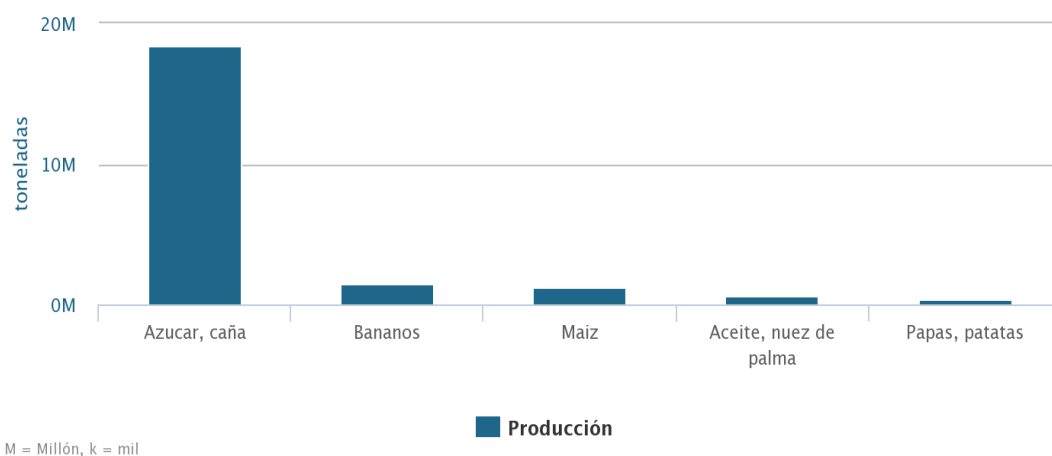
Cuadro 4. Producción nacional de maíz blanco en el periodo de 2012/2013.

| Departamento | | Total (Quintales) ⁵ | 1ª cosecha (Quintales) | 2ª cosecha (Quintales) |
|--------------|----------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | Guatemala | 703,008 | 408,705 | 294,303 |
| 2 | El Progreso | 355,339 | 206,582 | 148,757 |
| 3 | Sacatepéquez | 213,366 | 124,044 | 89,322 |
| 4 | Chimaltenango | 1,226,830 | 713,238 | 513,592 |
| 5 | Escuintla | 1,432,374 | 832,734 | 599,640 |
| 6 | Santa Rosa | 1,784,256 | 1,037,306 | 746,950 |
| 7 | Sololá | 409,635 | 238,148 | 171,487 |
| 8 | Totonicapán | 454,981 | 264,511 | 190,470 |
| 9 | Quetzaltenango | 1,063,090 | 618,045 | 445,045 |
| 10 | Suchitepéquez | 1,292,991 | 751,702 | 541,289 |
| 11 | Retalhuleu | 1,848,857 | 1,074,863 | 773,994 |
| 12 | San Marcos | 1,458,512 | 847,930 | 610,582 |
| 13 | Huehuetenango | 1,515,581 | 881,108 | 634,473 |
| 14 | Quiché | 1,928,173 | 1,120,975 | 807,198 |
| 15 | Baja Verapaz | 684,522 | 397,958 | 286,564 |
| 16 | Alta Verapaz | 3,496,768 | 2,032,903 | 1,463,865 |
| 17 | Petén | 6,859,893 | 3,988,110 | 2,871,783 |
| 18 | Izabal | 1,226,408 | 712,992 | 513,416 |
| 19 | Zacapa | 612,215 | 355,921 | 256,294 |
| 20 | Chiquimula | 1,104,226 | 641,960 | 462,266 |
| 21 | Jalapa | 1,000,941 | 581,914 | 419,027 |
| 22 | Jutiapa | 2,706,455 | 1,573,442 | 1,133,013 |
| Total | | 33,378,421 | 19,405,091 | 13,973,330 |

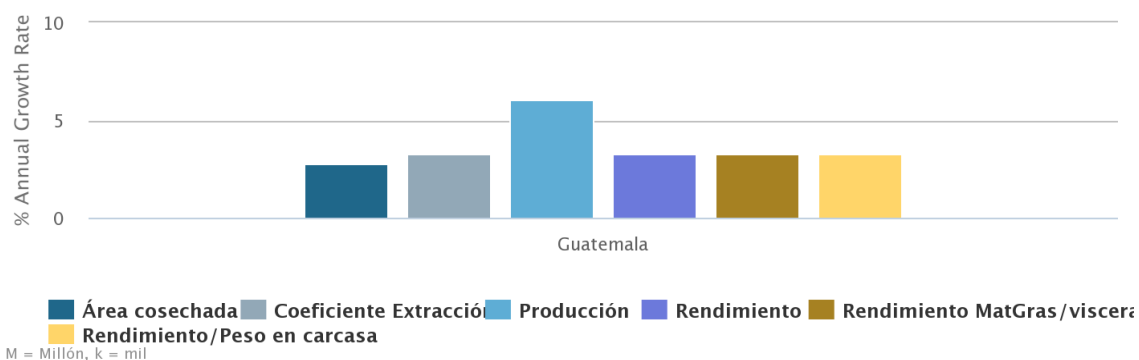
(MAGA, 2013).

A pesar de un crecimiento del +2.6% en la producción nacional de maíz, esta no es suficiente para cubrir la demanda del mercado. Esto se debe principalmente a la disminución de cosechas que se dan entre marzo y agosto, que se ven reflejadas entre mayo a julio. En estas fechas el mercado recurre a reservas de maíz o bien producto importado (MAGA 2013).

⁵ Un Quintal equivale aproximadamente a 100 lb de materia.

Figura 15. Importancia de maíz en Guatemala

(FAOSTAT, 2015)

Figura 16. Tasa de crecimiento anual del maíz en Guatemala

(FAOSTAT, 2015).

S. Importaciones del maíz en Guatemala

Debido a que la demanda de maíz blanco es mayor a la producción interna no es posible satisfacer la necesidad del mercado, por tanto se genera la necesidad de importar maíz blanco (para consumo humano y animal). A continuación se muestran las importaciones de maíz blanco en el periodo de 2007-2012. De igual forma se observa que Guatemala posee una tasa de crecimiento anual positiva en la cosecha, producción y rendimiento de maíz.

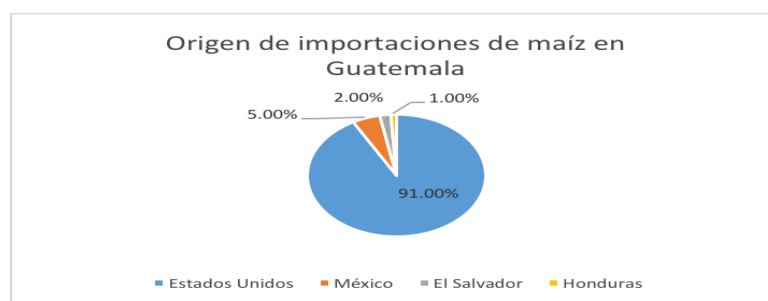
Cuadro 5. Importaciones de maíz de Guatemala expresada en Toneladas Métricas y Valor monetario (USD)

| Año de importación | Volumen importado (Toneladas Métricas) | Valor (USD) |
|---------------------------|---|--------------------|
| 2007 | 58,143.62 | 14,280,914.00 |
| 2008 | 19,558.90 | 6,337,491.00 |
| 2009 | 39,092.91 | 10,661,570.00 |
| 2010 | 24,745.31 | 9,913,228.00 |
| 2011 | 41,547.83 | 15,508,903.00 |
| 2012 | 36,393.62 | 13,387,669.00 |

(MAGA, 2013).

A continuación se muestra el origen de las importaciones de Guatemala expresadas en porcentaje; Siendo Estados Unidos el máximo proveedor del maíz importado para Guatemala.

Figura 17. Origen de importaciones de maíz a Guatemala.



(FAOSTAT, 2015).

Por otra parte se puede mencionar que en Guatemala se tiene un consumo per cápita de maíz promedio de 400 g/día, por lo que al ser un grano básico con un rendimiento promedio de 1.7 ton/ha es considerado como un grano de baja productividad a nivel nacional (Fuentes 2013).

T. Pérdidas post cosecha en Guatemala

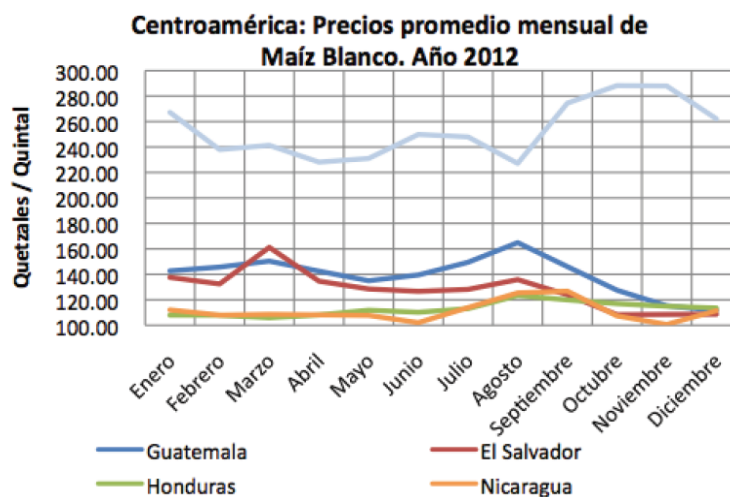
Se ha establecido que las pérdidas post cosecha en Guatemala han llegado a alcanzar hasta al 50% de la producción total.

Esto se relaciona directamente con la falta de incentivos para invertir en sistemas de tratamiento y almacenamiento post cosecha adecuados para el alimento; ya que la mayor parte de agricultores consideran que la inversión en estos sistemas no es rentable, comparación al precio de venta final del producto (IICA 2015).

El precio del maíz en Guatemala para el año 2012 era el mayor de los países analizados (Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua); esto se relaciona de manera directa con las técnicas post cosecha y sistemas de almacenamiento inadecuados en el país; ya que esto aumenta los costos de producción y por ende hace que se deba recuperar la inversión con el producto en venta, lo cual ocasiona un aumento de precio en el producto final.

A continuación se muestran los precios promedio del maíz blanco en distintos países de Centroamérica.

Figura 18. Precio promedio para maíz en Centroamérica en 2012



(MAGA, 2013).

Según datos del MAGA y medios de prensa se asegura que en Guatemala hay cerca de un millón de agricultores de maíz, los cuales pierden en promedio tres quintales de maíz por cosecha; lo cual genera que el precio del quintal de maíz se incrementa hasta valores de Q102 por quintal (Orozco, 2014).

Al realizar una comparación con los valores del año 2012 se observa que el valor del maíz en Guatemala ha disminuido con respecto a los datos del año 2014; estando en valores cercanos al resto de países de Centroamérica.

U. Prácticas agrícolas en cultivo de maíz en Guatemala

1. Prácticas agrícolas en cultivo de maíz en Guatemala. La mayor parte de cultivos de maíz en Guatemala se encuentran ubicados en condiciones marginales (suelos marginales, laderas, baja fertilidad). Por otra parte se debe considerar el tipo de suelo ya que de este dependerá la condición del cultivo y la competencia que este tenga con la maleza. En un suelo suelto y profundo la planta crece vigorosa y por ende compite adecuadamente con la maleza, por otra parte en suelos pesados y superficiales las plantas crecen débiles competencia inadecuado con la maleza, incrementando la probabilidad de perder el cultivo (Fuentes 2013).

En Guatemala los agricultores tienen como una práctica común realizar la “Quema” del terreno para preparar el suelo a cultivar. Esta práctica tiene ventajas y algunas desventajas, entre las que se pueden mencionar:

Cuadro 6. Ventajas y Desventajas de la “Quema” del terreno para preparación de suelo.

| Ventajas | Desventajas |
|---|--|
| Se logra la eliminación del rastrojo | Se genera una destrucción de la actividad biológica del suelo |
| Se logra la eliminación de la mala hierba | Se causa un aumento en la temperatura del suelo en forma considerable |
| Se logra una siembra inmediata en el terreno a preparar | Se causan cambios en la estructura y fertilidad de los suelos a cultivar |

(Fuentes, 2013).

En la preparación del suelo antes de efectuar la siembra se deben de efectuar la labranza del terreno; la cual puede ser realizada de dos distintas formas. La labranza de conservación y la convencional.

La labranza de conservación consiste en no remover completamente los residuos de la cosecha anterior, a diferencia de la convencional en donde se utiliza azadón, piocha, entre otras herramientas para la limpieza y preparación del suelo. A continuación se muestra una comparación entre distintos métodos.

Cuadro 7. Comparación entre labranza convencional y de conserva en el maíz.

| Labranza convencional | Labranza conserva |
|---|--|
| Se genera un deterioro en la estructura de los suelos | Se conserva la estructura y conservación del suelo |
| Se da una compactación de los suelos al realizarla | Se mejora la actividad microbiana |
| Su costo es más elevado al de la labranza de conserva | Se genera competencia para alimentación de ganado vacuno |
| Su uso en laderas es ineficiente | Se requiere el uso de herbicidas para su correcto funcionamiento |

(Fuentes, 2013).

Otro aspecto a tomar en cuenta entre las prácticas agrícolas en Guatemala es la densidad poblacional del cultivo, ya que esta determinará el nivel de productividad que tendrá el mismo en relación a los insumos y labores invertidas en el cultivo del maíz. La densidad a utilizar dependerá de los siguientes factores: la zona de cultivo, la variedad, el ciclo de cultivo y el sistema de siembra empleado. En la literatura se sugiere la siguiente densidad para los cultivos de maíz. Distancia entre cada surco de 0.75 a 0.80m; distancia entre postura 0.20, 0.25, 0.40, 0.50, 1; y de 2 a 3 plantas por postura (Fuentes 2013).

V. Manejo post cosecha de maíz en Guatemala

1. Definición. La post cosecha se refiere a las actividades productivas que se realizan para transformar el grano recién cosechado en un producto que cumpla con estándares de calidad e inocuidad establecidos por la normativa; estos procesos abarcan desde la recolección hasta que el producto llega al consumidor (Bernal, *et al*, 2005).

Es importante mencionar que la calidad inicial del grano no puede ser modificada durante el manejo post cosecha, por tanto es importante considerar las buenas prácticas agrícolas durante el proceso de cosecha. Por otra parte la calidad si puede ser mantenida en el producto mediante el empleo de distintas técnicas, las cuales evitan el deterioro y envejecimiento del producto (Bernal, *et al*, 2005).

2. Pérdida de calidad del grano. La poca tecnología y conocimiento disponible en proceso de post cosecha del maíz, ocasiona que las pérdidas se incrementen de manera significativa, llegando hasta el 50% de la producción total de un agricultor. (IICA 2015) La pérdida de la cosecha repercute en varios aspectos de la sociedad, tales como: comercial, económica, social y ecológico (Bernal, *et al*, 2005).

Una constante pérdida de cosecha hace que se pierda posicionamiento del maíz guatemalteco frente a posibles ofertas extranjeras; lo cual ocasiona que se disminuya la competitividad en el mercado internacional, afectado el área comercial y económica del país. En el área económica el precio del producto dañado disminuye, generando pérdidas para los productos; por lo general la mayor parte de este producto termina en la basura, contaminando de manera directa el medio ambiente (Bernal, *et al*, 2005).

La pérdida post cosecha ocasiona, que el maíz apto para consumo humano, aumente su valor buscando, ya que los productores buscan cubrir las pérdidas generadas por la misma. Esto se debe a que la demanda se mantiene y la cantidad de producto disminuye. Al final de la cadena de venta el consumidor termina pagando un precio más elevado por la ineficiencia en el proceso de manejo post cosecha. Las familias de escasos recursos que no pueden pagar los precios se deben conformar con productos en condiciones desfavorables empeorando su estado nutricional (Bernal, *et al*, 2005).

a. Clases de pérdidas en el cultivo de maíz. Los productores de maíz en Guatemala sufren distintas pérdidas del cultivo de maíz; estas se pueden catalogar en distintos grupos. Entre los grupos de pérdidas se encuentran: las pérdidas físicas, calidad, de mercadeo, nutritivas y de semillas (Jacinto, 2005).

Las pérdidas físicas se originan o generan cuando el grano se encuentra dañado por acción de insectos, roedores, pájaros y traslado durante el proceso de post cosecha. Por otra parte las pérdidas de calidad se originan cuando el producto presenta una cantidad excesiva de polvo, presencia de hongos (contenido de humedad elevada) o bien excremento de roedores y gusanos en el producto (Jacinto, 2005).

Las pérdidas de mercadeo se refiere a las pérdidas que sufre un agricultor por la baja de precios en sus productos, ya sea antes o después de la cosecha, por la necesidad de obtener dinero; en este rubro el principal problema es la deficiencia de técnicas post cosecha de almacenamiento del grano, por lo que muchos prefieren vender antes de que su grano se arruine (Jacinto, 2005).

Por otra parte las pérdidas nutritivas se refieren a la pérdida de nutrientes y obtención de anti nutrientes por parte del grano, como consecuencia de la deficiencia en técnicas post cosecha adecuadas. Por último la pérdida por semilla se vincula con el almacenamiento inadecuado de las semillas, generando daño en la misma por efecto de insectos, roedores o bien hongos (Jacinto, 2005).

b. Técnicas post cosecha actuales. Los agricultores de maíz en Guatemala emplean distintas técnicas post cosecha para la obtención del maíz; estas técnicas repercuten directamente en la calidad final del grano y por ende en el precio de comercialización del mismo. A continuación se nombrarán y explicarán las técnicas más utilizadas en Guatemala para el cultivo de este grano.

c. Técnica de “Doblado” . Los agricultores una vez consideran que el grano está listo para ser cosecha (alcanzado su madurez fisiológica) pasan a un proceso de secado al sol en el campo, el cual se denomina “Dobla”. En este proceso los agricultores doblan la mazorca entera (sin separarla de la planta) y la dejan secarse al no llegarle agua desde el suelo por la planta hasta que consideren que alcanzo las características requeridas para la siguiente etapa. Por lo general para determinar la madurez fisiológica y por ende el comienzo del proceso de “Dobla” se utiliza como indicador el color de del follaje, buscando que este sea amarillo pálido (Anacafé 2004).

El principal problema con la técnica de la “Dobla” es que los agricultores los dejan secar por grandes periodos de tiempo, buscando reducir lo más posible la humedad; esto incrementa las pérdidas por daño físico ocasionado por insectos, roedores, ratas, entre otros. Por tanto esta práctica de secado es ineficiente al evaluar los aspectos los pros y contras de la misma. Para garantizar un grano de mejor calidad sería necesario cosechar la semilla al alcanzar su madurez fisiológica sin pasar por proceso de “Dobla” (MAGA, *et al.* 2011).

d. Cosecha. Una vez el grano ha sido “parcialmente secado” durante el proceso de “Dobla”, los agricultores pasan a cosechar el mismo. El principal problema de esta técnica es la mala técnica post cosecha aplicada anteriormente; ya que el elevado periodo de tiempo que pasan en el campo se incrementa la posibilidad de crecimiento de hongos y por ende generación de micotoxinas (Anacafé 2004). Otro problema es que por lo general, los agricultores, no eliminan las mazorcas que han sufrido daño por hongos, insectos, pájaros, entre otros; buscando reducir las pérdidas del cultivo; esto ocasiona que se mezclen los productos de calidad aceptable con los no aptos para consumo humano y por ende se contamina todo el producto (MAGA, *et-al.* 2011).

La humedad recomendada para el proceso de cosecha es de 22 a 30%, tomando en cuenta que no es recomendable realizar el proceso de doblado debido a que esto incrementa las pérdidas por daño físico ocasionado por insectos, roedores, ratas, entre otros; así como evita proteger al grano de ganar humedad nuevamente tal como se realiza actualmente por los agricultores de Guatemala. (Anacafé 2004) Al considerar que la humedad relativa media en Huehuetenango ha sido de 65.3% para el año 2011 se observa que hay una diferencia considerable (INSIVUMEH, 2015).

e. Clasificación. Operación en la cual son eliminados los granos de colores, mazorcas en descomposición, enfermas o indeseables. El proceso de clasificación puede efectuarse durante o después del procedimiento de secado (FAO, 2001).

En la clasificación se evalúan otros factores comerciales, como lo son la humedad, granos dañados, quebrados y materias extrañas, los cuales reflejan la calidad integral del grano de maíz (IICA, 1972).

Las normas americanas de tipificación del maíz, dividen el maíz en tres clases, según su color: Maíz Amarillo: Esta clase no puede incluir más del 5% de maíz de otros colores. Maíz Blanco: Esta clase no puede incluir más del 2% de maíz de otros colores. Maíz mezclado: Consiste en maíz de varios colores que no llenan los requisitos de color para las clases de maíz amarillo o blanco (IICA, 1972).

El maíz agorgojado se refiere a los granos de maíz infestados de gorgojos vivos u otros insectos perjudiciales en granos almacenados. El maíz quebrado y materia extraña incluye grano y fragmentos de granos de maíz y otros cuerpos que pasen por una apertura del agujero de criba #12 (4.75mm) cualquier material que quede en la zaranda luego de la creación que no sea maíz. El grano dañado incluye granos y fragmentos de granos que son dañados por el calor, brotados, o dañados por condiciones del suelo, clima u otra causa (IICA, 1972).

f. Desgranado del maíz .Esta técnica post cosecha es importante para determinar la calidad final del grano, ya que de esta dependerá la integridad asociada al daño mecánico que sufrirá la semilla o el grano de maíz durante el proceso. El daño mecánico está asociado directamente con el contenido de humedad que el grano posee al momento de ser sometido a este proceso; la humedad requerida para la optimización de este proceso es de 14 a 16% (MAGA, 2011).

Por lo general los agricultores de Guatemala realizan este procedimiento de manera manual, frotando las mazorcas entre sí. Los agricultores que posee un nivel de producción mayor cuentan con desgranadoras simples manuales; las cuales permiten procesar mayores volúmenes de maíz. Es vital saber que la calidad del grano solamente puede mantener mediante la aplicación de buenas técnicas post cosecha, pero una vez dañado el grano la calidad del mismo no podrá mejorarse (MAGA, 2011).

g. Secado de grano de maíz. El proceso de secado es uno de los más importantes de las técnicas post cosecha, ya que una humedad adecuada permite garantizar la calidad del grano durante todo el almacenamiento. Las principales ventajas de almacenar el grano con una humedad adecuada son: evitar deterioro, evitar crecimiento de hongos (generación de toxina), bacterias y ataque de insectos, evitar germinación, calentamiento y respiración excesiva del grano.

Por otra parte una humedad inadecuada fomenta todos estos factores pero del lado negativo para el grano. De igual forma una humedad adecuada permite garantizar el vigor y poder de germinación del grano o semilla de maíz (MAGA, 2011).

Durante este proceso se deben obtener humedades entre 12 a 13% de humedad con el fin de garantizar los aspectos descritos anteriormente durante el almacenamiento del grano. El cumplimiento de estos factores permite obtener una calidad de grano mayor, reducir las pérdidas post cosecha y por ende un precio de venta más alto por el producto (MAGA, 2011).

En Guatemala la mayor parte de agricultores que realizan un proceso de secado utilizan la luz solar como fuente de energía para secar el grano y disminuir así su contenido de humedad. Por lo general este proceso lo realizan en el campo, patios, láminas y mantas de tela o vegetales hechas de hojas de palmáceas conocidas como petates. El principal problema en Guatemala es que la mayor parte de agricultores no realiza un proceso de secado previo al almacenamiento, lo cual genera que la humedad sea inadecuada para el almacenamiento y se produzcan los efectos mencionados anteriormente (Jacinto, 2005).

Los agricultores, en Guatemala, que realizan el proceso de secado, por lo general utilizan alguno de los siguientes métodos: secado en petates, mantas, sobre la tierra, sobre lámina, en el campo (Dobla), lienzos de polietileno (plástico) y en patios de cemento. A continuación se describirá cada uno de los métodos mencionados anteriormente (Jacinto, 2005). El secado en petates se refiere al proceso de secado que se lleva a cabo en mantas hechas de hojas de palma o tul; las cuales sirven como base para colocar el grano en el suelo para que reciba sol. El secado en mantas es igual al anterior, solamente variando que en este se utilizan mantas de tela para colocar el grano a recibir el sol (Jacinto, 2005).

El método de secado sobre la tierra consiste en colocar directamente la mazorca sobre el suelo, ya sea con tuza (hoja que cubre la mazorca) o sin esta. Esta práctica presenta desventajas, entre las cuales se puede mencionar un secado no homogéneo de los granos, absorción de humedad del suelo y riesgo de daños por animales, lluvias y otros daños. A pesar de esto esta técnica es bastante utilizada por los agricultores en Guatemala. (Jacinto, 2005)

El secado mediante lámina consiste en colocar la mazorca sobre una lámina para recibir sol; este método presenta ciertas desventajas, entre las cuales se puede mencionar que el grano es sometido a un calor intenso, por efecto de la absorción de energía por parte de la lámina, por lo que pierde su capacidad de germinar y en algunas ocasiones sufre daños (Jacinto, 2005); ya que la elevada temperatura no permite que toda el agua del interior del grano migre antes de sufrir daños o formarse costra en el mismo.

El secado en el campo, comúnmente conocido como “Dobla” este método de secado se explica en la sección anterior de este documento, este método ocasiona que el grano sea sometido a elevadas humedades en el campo, temperatura y lluvias, las cuales incrementan la posibilidad de que estas sean dañadas por hongos, calor excesivo; o bien algún daño físico por insectos, hongos y/o roedores (Jacinto, 2005).

El secado en lienzos de polietileno consiste en el uso de lienzos de polietileno color negro (plástico) colocado directamente sobre el suelo, el cual permite colocar el grano a recibir sol. Este método permite que el grano no absorba la humedad del suelo; de igual forma es una método que no requiere mayor inversión (Jacinto, 2005).

El secado en patios de cemento se refiere al uso de un patio de cemento para colocar el maíz a recibir sol, este método permite un secado más homogéneo del grano, así como darle una mayor limpieza para su almacenamiento. El principal problema con este método es que la inversión en construcción y espacio para esta técnica resulta costosa para la mayoría de agricultores de Guatemala (Jacinto, 2005).

h. Tratamiento. Operación en la cual los granos de maíz son tratados con insecticidas o protectores para disminuir la invasión de insectos y generación de hongos de los granos de maíz almacenados. Es importante utilizar los insecticidas aprobados por las normativas, que cumpla con varias características: su efectividad contra una amplia variedad de plagas a dosis económicas, uso seguro y que no deje residuos peligrosos, ni sea tóxico al grano ni a los consumidores del grano, manteniendo las características organolépticas del mismo (FAO, 2001).

i. Almacenamiento del grano de maíz. La producción total de maíz de Guatemala no se consume de manera inmediata a su cosecha, sino según la demanda que estos tengas y la cantidad de grano consumido que se consume por día. De igual forma las áreas de producción, por lo general, se encuentran alejadas de las áreas de consumo o venta. Por tanto surge la necesidad de almacenar el grano cosechado. A pesar de que un proceso adecuado de almacenamiento sea costo, resulta ser una inversión que se ve reflejada en la calidad el grano y por ende en el precio de venta final del grano por parte de los agricultores (Cotton, 1979).

Los principales sistemas de almacenamiento de maíz, empleados por los agricultores en Guatemala son: sacos, bodegas rusticas, trojas, tapancos y silos. A continuación se da una breve descripción de cada sistema de almacenamiento (Jacinto, 2005).

Los sacos son un tipo de bolsa de polipropileno o fibra plástica utilizada para el almacenamiento del grano en Guatemala. En algunas regiones de Guatemala se utilizan sacos de papel o yute con las mismas funciones que el de fibra plástica (Jacinto, 2005). Los costales por lo general se cierran y apilan sobre tarimas de madera hasta que sean comercializados o bien consumidos (FAO 2001).

Las bodegas rusticas se refieren a corredores, cuartos o ciertos tipos de corrales techados que son destinados al almacenamiento de granos en cierta época del año o bien todo el año (Jacinto, 2005). Por lo general con construcciones de madera sin control de temperatura y/o humedad, dentro de las casas de los agricultores (Anacafé 2004).

Las trojas son estructuras, por lo general de madera, elaboradas fuera de las viviendas de los agricultores; diseñadas para evitar el fácil acceso a los granos por parte de roedores e insectos. Estas estructuras por lo general son elevadas y con techo para proteger al grano de la lluvia (Anacafé 2004). Las estructuras son similares a un corral con un entarimado a una altura en un rango de 0.50 a 1.0 m de alto. Por lo general el techo es de lámina de zinc y pueden almacenar cerca de 50 redes de mazorcas, un equivalente a 75 quintales (FAO 2001).

En las zonas templadas de Guatemala predomina el almacenamiento de los granos en tapancos; los cuales se sitúan cercanos al fogón o humo para que esta actúe como repelente y

contribuya al secado del grano. El tapanco por lo general cuenta con una base de tablas de ciprés y un techo de tejamanil o bien lámina de zinc. En esta estructura se permite que las mazorcas se vayan bajando según la necesidad de consumo, venta o semilla de cada agricultor (FAO 2001).

Los silos para almacenamiento de grano pueden estar elaborados de distintos materiales, entre los más comunes se encuentran: silos de barro, de ladrillo y los metálicos (Jacinto, 2005). En cuanto a su estructura por lo general el silo más común es el de metal, fabricado con una lámina de Zinc (acero galvanizado). Los silos son estructuras cilíndricas con la parte inferior plana y en la parte superior e inferior una tapadera, la cual sirva para la introducción y salida del grano, respectivamente. Al utilizar los silos para almacenamiento es importante verificar su integridad, evitar que estén en contacto directo con agua y no introducir basura junto con el grano (Anacafé 2004).

j. Factores importantes en el almacenamiento del maíz. Los aspectos más importantes a considerar durante el almacenamiento del maíz son: la humedad relativa, la temperatura, el oxígeno (solamente al utilizar atmosferas controladas) y las condiciones del grano al ser almacenado como su contenido de humedad (FAO, 1993).

La humedad de los granos es un factor vital, ya que cuando esta se encuentra por arriba de 16% y una humedad relativa de 70% (dependerá de la temperatura y humedad relativa donde se encuentre el maíz) las condiciones son adecuadas para que se desarrollen hongos y por ende producción de micotoxinas, afectando directamente la calidad del grano. Sí esta humedad se combina con temperaturas elevadas la respiración de microorganismos aumenta, así como el crecimiento de plagas en los granos (FAO, 1993).

La temperatura es otro factor fundamental, este está directamente relacionado con la humedad del grano, ya que su relación es inversamente proporcional. Algunos hongos son capaces de sobrevivir a temperaturas por debajo de -8°C y otros a temperaturas de hasta 76°C . Los hongos que están presentes en el maíz presentan una temperatura óptima de crecimiento entre 28 a 35°C . Existen dos temperaturas que deben controlarse durante el proceso de secado, la primera es la del aire y la segunda es la de los granos durante el almacenamiento (FAO, 1993).

La cantidad de oxígeno que requiere el grano de maíz está directamente relacionado con el contenido de humedad que este tenga; ya que si su contenido de humedad es <14% este podrá ser almacenado en silos y/o bolsas plásticas selladas especiales para almacenar granos con bajos requerimientos de oxígeno (Jacinto, 2005).

El secado del grano de maíz es indispensable para reducir la proliferación de hongos que son productores de diversas micotoxinas. En Guatemala existen problemas por el maíz contaminado con fumonisinas y aflatoxinas que se consideran dañinas para la salud del consumidor. Según la FDA el nivel máximo de humedad del grano de maíz tras el secado debe ser del 12%, a pesar de todo este valor varía según las condiciones de cada localidad donde se realice el secado (FDA, 2014).

Por último para garantizar un adecuado almacenamiento del grano de maíz se debe verificar que esté libre de basura, contaminantes, enfermedades e insectos. Buscando obtener las mejores características para mantener la calidad del grano durante su almacenamiento (Jacinto, E. 2005).

W. Secadores de maíz.

El secado de granos se define como el intercambio de calor y masa entre el ambiente de secado y el grano. De forma práctica se considera una operación unitaria en la que el contenido de humedad del grano se reduce hasta un nivel seguro de almacenamiento. Un nivel seguro hace referencia al nivel de humedad al cual la actividad respiratoria del grano dificulta la proliferación de hongos y ataque de insectos (FAO, 1993).

Los métodos de secado del grano se dividen en secado natural y secado artificial. El secado natural puede ser al campo o en asoleaderos; el artificial puede ser a bajas temperaturas, altas temperaturas, combinados o por aireación. El método artificial a altas temperaturas emplea flujos cruzados (en contracorriente) en cascadas, entre otros (FAO, 1993).

1. Secadores solares. El uso de secadores solares permite emplear la energía solar mediante colectores que operan con aire fluido. Esto permite economizar el proceso de deshidratación de los granos. El secado se basa en sustituir la circulación forzada del aire por el efecto de la convección libre del aire que atraviese el colector (Bello, 1983).

En países tropicales varios meses del año tiene niveles de radiación solar superiores a 0.5 kW/m² (durante el día). Considerando que hay 12 horas de día la radiación solar, 21.6 MW/m², teóricamente es suficiente para evaporar 9 kg de agua (FAO, 1993).

Los secadores solares son una tecnología mejorada para el secado de granos. Las partes básicas de un secador solar incluye un colector, una chimenea solar y una base para colocar los granos (FAO, 2015). Los secadores solares se dividen en secadores por convección natural y por flujo de aire inducido por gradientes (Davidson, 1980).

En los secadores por convección forzada el aire que entra es forzada a pasar por el colector solar y la cama de granos mediante un ventilador (Brenndorfer, *et al.* 1985). El diseño óptimo para fincas en países en vías de desarrollo consta de un plato colector que es capaz de operar con una eficiencia de recolección entre 40% y 50% con un flujo de aire de 0.10 kg/s.m². Según los niveles normales de radiación solar los colectores son capaces de elevar la temperatura del aire de 5 a 10°C. Colectores de plato con cobertores operan a una eficiencia del 60-70% tienen la capacidad de elevar la temperatura hasta 30°C a un flujo de aire menor (FAO, 1993).

2. Secadores no solares. Este tipo de secadores utiliza otros tipos de energía para aumentar la temperatura del aire y así disminuir su humedad inicial. Por otra parte este tipo de secadores se basa en el mismo principio de los solares, variando únicamente la fuente de obtención de energía (FAO, 1996).

3. Tipos de secadores. Entre los tipos de secadores se encuentran: de secado en lecho fluido, secado de conducción, secado rotatorio, secadores de microonda e infrarrojo. El secado en lecho fluido los granos son colocados en una cama y el aire calentado por convección se mueve a través de esos generalmente a una velocidad alta (2-3 m/s) (Sutherland, 1990). El secado de conducción consiste en piso de metal que se calienta (50-90°C) mediante la circulación de agua caliente; el agua se calienta mediante la quema de

desechos de agricultura. Este sistema no se utiliza para secar maíz, debido a que sería ineficiente y muy costoso para este fin. (Stickney, *et al.* 1983).

4. Fuente de obtención de energía de secadores no solares. Los secadores no solares emplean otros tipos de energía para lograr subir la temperatura del aire y así llevar a cabo el proceso de secado de los granos. Entre las principales fuentes de obtención de energía se pueden mencionar: energía eléctrica, combustible gaseoso (como gas LPG, propano, entre otros), leña, marlos de maíz, combustible y quemadores (alcoholes, entre otros). El uso y selección de la fuente de calentamiento depende directamente de la disponibilidad técnica, financiera y de instalaciones para el uso del secador. De igual forma se deben considerar aspectos tales como la temperatura del aire y materiales a utilizar en el diseño (FAO, 1993).

5. Secado por conducción. Mecanismo en el cual el sólido húmedo se encuentra situado en un recipiente calentado de forma externa, con una salida para eliminar el vapor. La velocidad de secado disminuye a medida que el material se seca, ya que existe una disminución de transferencia de calor de la pared al sólido a secar. La velocidad de secado en un secador por conducción es independiente de la transferencia de materia desde la sustancia, pero no de las propiedades del material ya que el coeficiente de transferencia de calor depende del material (Nonhebel, *et al.* 1979).

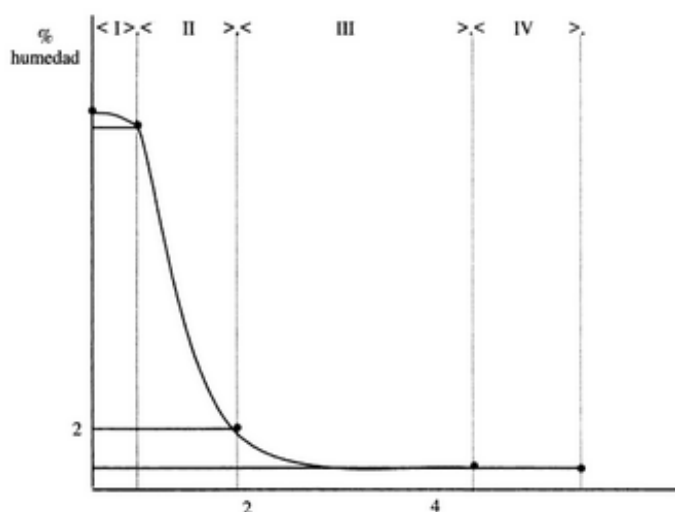
6. Secado por convección. Mecanismo en el cual el gas caliente sopla sobre la superficie del sólido húmedo, brindando energía en forma de calor y eliminando el vapor formado. El coeficiente de transferencia de calor es grande y no varía significativamente durante el proceso de secado. Sin embargo, la principal limitación de la velocidad de secado se encuentra por el coeficiente de transferencia de materia (Nonhebel, *et al.* 1979).

7. Mecanismos fundamentales en el proceso de secado. Durante el proceso de secado se debe tomar en cuenta dos mecanismos fundamentales: Transferencia de calor, ya que aporta la cantidad de energía necesaria capaz que las moléculas de agua cambien de fase, de estado líquido a vapor. Y la transferencia de masa, donde el vapor de agua es desplazado mediante difusión a través de la matriz, y al llegar a la superficie es evaporado al exterior (Gutiérrez, 2000).

Las metodologías para la eliminación del contenido acuoso en un alimento se puede realizar mediante dos vías: Vía mecánica, la cual permite la separación de un porcentaje no menor al 60% del contenido acuoso.

Vía térmica, la cual implica fenómenos de transferencia de masa y calor, donde es necesario brindar una activación de moléculas de agua previa a través del aporte de energía calorífica. Respecto al porcentaje de humedad del alimento, en relación con el tiempo del tratamiento térmico, se puede observar una curva representativa del proceso de secado, donde se pueden identificar varias etapas (Gutiérrez, 2000).

Figura 19 Representación gráfica de un proceso de desecación.



(Gutiérrez, 2000).

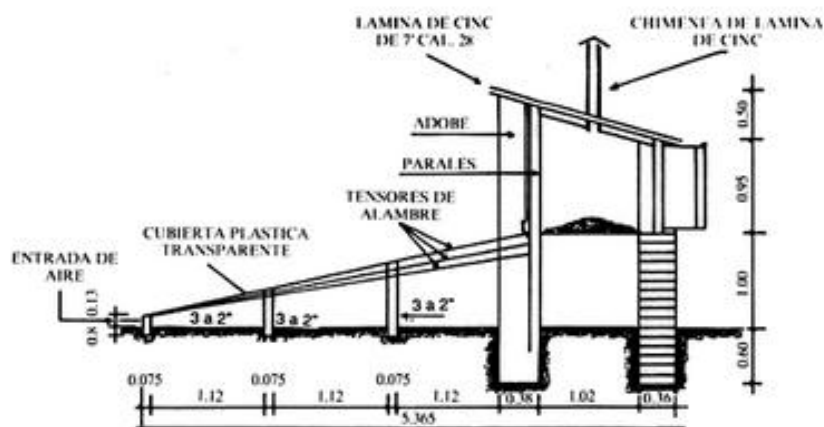
La Zona I es la de precalentamiento, donde es necesario que el agua contenida en el alimento logre alcanzar la temperatura de equilibrio con la presión de vapor del alimento y el ambiente. La Zona II, es la de velocidad constante, donde es necesario que las moléculas de agua de la superficie se evaporen con un flujo de masa constante, hasta llegar a la llamada *humedad crítica*. La zona III, es la de velocidad decreciente, donde la superficie del alimento alcanza el límite de higroscopicidad, de manera que la velocidad de secado se ve reducida, ya que la evaporación de las partículas es más difícil. Y la zona IV, donde la velocidad es

decreciente con tendencia asintótica a cero, en la cual se requiere un mayor esfuerzo para que el alimento pierda porcentaje de agua (Gutiérrez, 2000).

8. Características del aire de secado. Las condiciones de secado tienen un comportamiento propio durante la deshidratación dependiendo del producto. Mientras mayor sea la diferencia entre la temperatura y humedad en relación medio de calentamiento, el proceso de deshidratación será más rápido (Boucher, 1991).

Existen muchos diseños de secadores, diferenciados por su forma de calentamiento, evaporación de agua, manejo del producto, su termosensibilidad, y si es continuo o discontinuo (Boucher, 1991).

Figura 20. Ejemplo de secador solar tipo indirecto



(Boucher, 1991).

9. Secado de maíz. En Guatemala el maíz es cosechado del campo cuando el contenido de humedad se encuentra entre 20-24%, sin embargo, aún es necesaria la disminución de humedad para que no existan problemas durante el almacenaje. Para comprender la importancia del contenido de humedad existe una relación entre el contenido de humedad presente en el grano y el comportamiento de la semilla de maíz (FAO, 2001).

Cuadro 8. Efecto del contenido de humedad del grano sobre la fisiología de la semilla y la presencia de factores bióticos de estrés

| Contenido de humedad de la semilla (%) | Comportamiento de la semilla |
|--|---|
| >45-60 | Germina la semilla |
| >18-20 | Puede ocurrir calentamiento |
| >14-20 | Crece los mohos sobre y dentro la semilla |
| <9-8 | Escasa o ninguna actividad de insectos |
| <8-4 | Almacenamiento hermético más seguro |

(FAO, 2001).

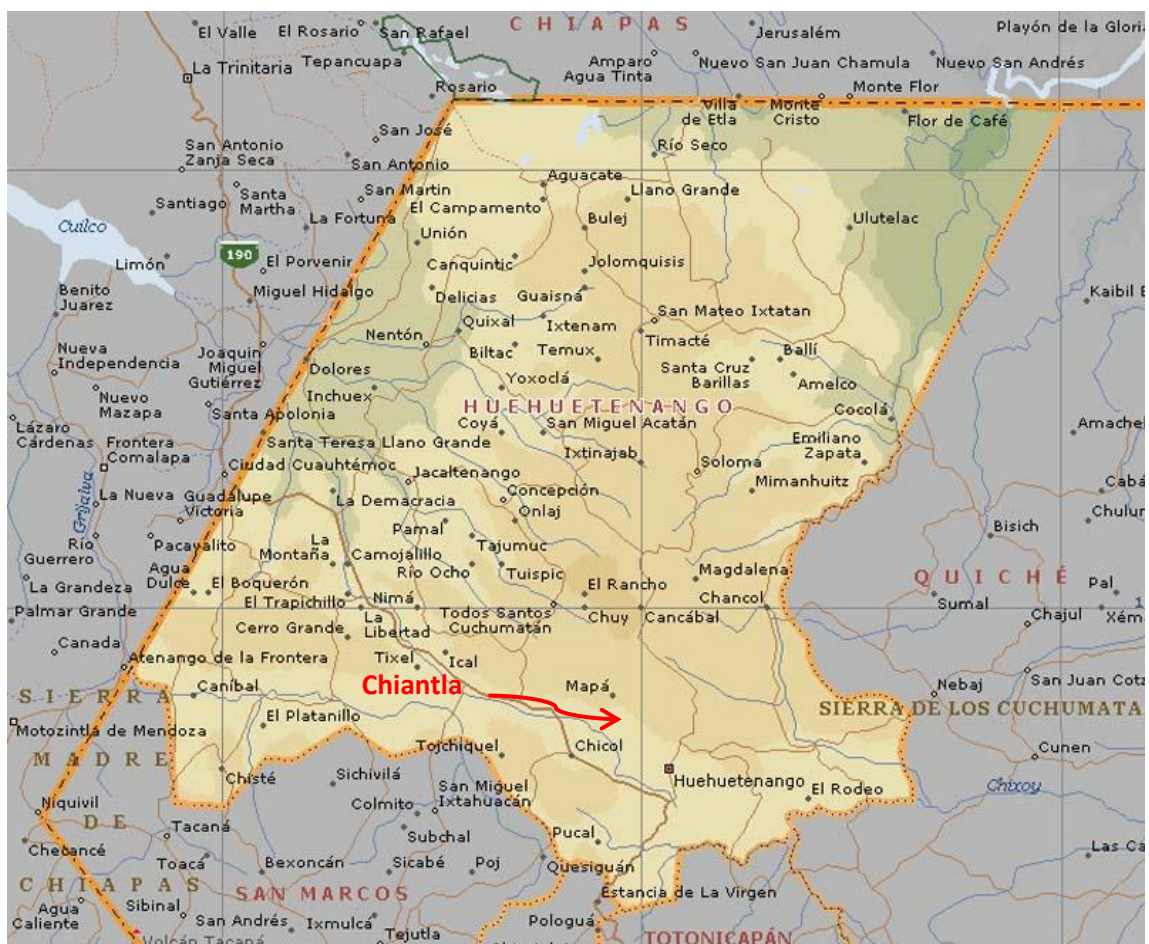
Para evitar que el maíz llegue a ser almacenado con un alto contenido de humedad de los granos, las mazorcas recién cosechadas son colocadas en cribas, para cumplir con la función de secado y almacenaje al mismo tiempo. Sin embargo, la mayoría de agricultores no tienen las facilidades para secar el maíz, y lo dejan en el campo para que se seque con el sol (FAO 2001).

X. Características geográficas y climáticas del municipio de Huehuetenango

El municipio de Huehuetenango está ubicado al noroccidente de la República de Guatemala. Tiene una extensión territorial de 204 kilómetros cuadrados, a una altura de 1,902 msnm, y está ubicado a 15°19'14'' latitud norte y 91°28'13'' longitud oeste del meridiano de Greenwich. El municipio está ubicado en la parte sur occidental del departamento de Huehuetenango, colinda con los municipios de Chiantla y Aguacatán (Huehuetenango) al norte, Malacatancito, Santa Lucía La Reforma (Totonicapán), San Pedro Jocopilas (Quiché) al sur, Aguacatán (Huehuetenango) al este, y al oeste con Santa Bárbara y San Sebastián (Huehuetenango) (Caal, 2008).

El departamento de Huehuetenango es de topografía quebrada, cuyas altitudes van de 300 msnm hasta los 3,700 msnm. Cuenta con diversidad de microclimas, debido a la variabilidad de sus regiones en cuanto a sus elevaciones. Los climas varían de templados y semifríos a semi-cálidos, son de carácter húmedo y semi-seco. El promedio de temperatura en el municipio de Huehuetenango se encuentra entre 6 y 25°C, y una media anual de 14°C (Caal, 2008).

Figura 21. Departamento de Huehuetenango.



(Weather forecast, 2015)

III. JUSTIFICACIÓN

El problema del maíz contaminado con aflatoxinas y fumonisinas producidas por mohos y levaduras ha sido estudiado y tratado desde diversas perspectivas, sin embargo, la problemática persiste y se acentúa tanto por las condiciones climáticas que afectan al cultivo *per se* como por la falta de implementación de tecnologías post-cosecha (University of Minnesota, 2013). El presente trabajo busca estudiar las principales variables que inciden en la calidad del grano con el fin de mejorar el manejo post-cosecha del maíz para la reducción de mohos y levaduras, y por ende, de las aflatoxinas y fumonisinas en dicho producto.

La contaminación por aflatoxinas y fumonisinas afecta la economía de las comunidades más vulnerables en Guatemala (Torres *et al.*, 2008). Los agricultores debido a las pérdidas post-cosecha no son capaces de sustentar las necesidades alimentarias de su familia por lo que inciden en comprar maíz de mala calidad que implica mayor contaminación. Aunado a esto el consumo de aflatoxinas interfiere con la adecuada absorción de nutrientes (Wu, 2013).

Mejoras en las tecnologías post-cosecha que incluyen el desgranado, secado y almacenamiento se consideran clave para tratar la problemática. Sin embargo para evaluar el impacto de estas tecnologías es indispensable tener una línea base en el estudio que señale las condiciones actuales post-cosecha y la calidad del grano cultivado. El conteo total de hongos y levaduras, y la detección y cuantificación de fumonisinas y aflatoxinas se consideran los principales indicadores de la calidad del grano de maíz (Pitt *et al.*, 2012).

Una línea base permite una comparación válida entre la calidad del maíz con las prácticas comunes y la calidad tras la implementación de mejoras. La línea base se debe realizar en la población objetivo, seis comunidades de Huehuetenango, dos comunidades por cada una de las tres altitudes definidas del departamento, ya que con este grupo de personas se introducirán las mejoras y por lo tanto se podrá validar su efecto en la calidad del grano (Hawkins *et al.*, 2007).

El problema en el mal manejo post-cosecha del grano de maíz es milenaria por lo que es indispensable tratar de mejorar los puntos de contaminación clave para lograr un avance en la reducción significativa de hongos y micotoxinas (Pitt *et al.*, 2012).

Por las implicaciones en la salud es indispensable establecer una línea base sobre las condiciones del grano que se consume en comunidades de Huehuetenango y así hacer notar la necesidad de las mejoras post-cosecha para reducir los riesgos a la salud del consumidor (MAGA, 2013).

En el año 2014 en Guatemala las pérdidas post-cosecha del maíz implicaron alzas en el precio por quintal de maíz entre Q40-180 según el departamento (MAGA, 2014), lo cual bloquea el desarrollo autosostenible de las comunidades. Entre otros efectos, se incrementa el consumo de maíz contaminado repercutiendo en la salud del consumidor (MAGA, 2013; Torres, 2014).

Los parámetros críticos en cuanto al manejo post cosecha del maíz son el secado del producto y el almacenamiento. (Cifuentes, 2005) Es por esto que mejorar e implementar este tipo de tecnologías en el manejo post cosecha del maíz ayudaría a disminuir considerablemente el nivel de toxinas en los granos y por ende los efectos en la población que los consume.

Este estudio enfocado en el departamento de Huehuetenango, Guatemala es esencial para identificar la situación actual respecto a las técnicas post cosecha y calidad del grano para que el enfoque a la problemática se realice sustentado en datos recientes, factibles y en colaboración a la población objetivo. Por ello, esta investigación inicial constituye los cimientos para en un futuro realizar las mejoras post-cosecha y a largo plazo evaluar el impacto no solo en la calidad del grano, sino también en la salud del consumidor.

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Analizar y proponer mejoras del manejo post cosecha de maíz (*Zea mays*) para la reducción de aflatoxinas y fumonisinas en el maíz cultivado y consumido en el departamento de Huehuetenango, Guatemala

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer una línea base sobre la calidad del grano de maíz producido o comprado que es consumido en el departamento de Huehuetenango, Guatemala en base a la cantidad de aflatoxinas y fumonisinas.
 - a. Cuantificar la concentración de aflatoxinas y fumonisinas en muestras de maíz tras la tapisca, el desgranado, el secado y durante el almacenamiento por medio de la técnica de inmunoensayo.
 - b. Evaluar las tendencias de aflatoxinas y fumonisinas en las muestras de maíz según la región en dónde se cultiva o almacena tras ser comprado.
 - c. Comparar la cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas con los límites permitidos por la FDA para maíz destinado para consumo humano.
 - d. Comparar el estimado de dosis diaria de aflatoxinas/fumonisinas (μg micotoxina/ (Kg peso corporal * día) en las comunidades estudiadas con la ingesta diaria tolerable máxima provisional dado por la JECFA (FAO/OMS, 2015).
2. Cuantificar la flora fúngica del maíz en las distintas etapas del manejo post-cosecha en dos municipios del departamento de Huehuetenango, Guatemala a diferentes alturas.
 - a. Describir cuantitativamente la flora fúngica del maíz en las distintas etapas de su cosecha y determinar su relación con la altura a la cual este es cosechado.

b. Cuantificar la flora fúngica de los distintos tipos de almacenamiento de maíz utilizados en los municipios de Chiantla y Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango.

c. Cuantificar la flora fúngica a distintos tiempos de almacenamiento de maíz utilizados en los municipios de Chiantla y Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango.

3. Diseñar, elaborar, y evaluar un secador que permita obtener las mejores condiciones de calidad del grano de maíz para su consumo e impacto en la salud humana.

a. Implementar en la Comunidad de San Antonio Las Nubes, Chiantla, Huehuetenango, un sistema de secado que permita optimizar la producción con condiciones óptimas de calidad.

b. Estandarización de condiciones de tiempo, temperatura y humedad óptimas para el maíz en base al secador construido.

c. Comparar distintos mecanismos de secado evaluando los factores a tomar en cuenta por los agricultores.

4. Evaluar secador de maíz, construido en la Universidad del Valle de Guatemala, en la comunidad de “San Antonio Las Nubes”, Chiantla, Huehuetenango buscando que el maíz alcance porcentajes de humedad adecuados para su posterior almacenamiento.

a. Evaluar el secador de maíz utilizando como fuente de combustible olotes para calentar el aire, permitiendo el aprovechamiento del mismo por parte de los agricultores de las comunidades de interés.

b. Evaluar el secador de maíz utilizando fuentes alternas de combustible para calentar el aire, tales como (madera y carbón).

c. Realizar una comparación todas las fuentes de combustible utilizadas para calentar el aire en el secador.

V. DISEÑO EXPERIMENTAL

A. Recurso Humano

1. Estudiantes Universidad del Valle de Guatemala.
2. Líder comunitario
3. Integrantes de Universidad Estatal de Kansas y Nebraska, Estados Unidos.

B. Recursos financieros

1. USAID programa Alimentando al Futuro en el departamento de Huehuetenango, Guatemala.
2. Universidad de Nebraska y Estatal de Kansas, Estados Unidos.
3. Departamento de Ingeniería en Ciencias de los Alimentos de la Universidad.

C. MÓDULO I y II

1. Diseño de muestreo

a. Sitios de procedencia de las muestras. El departamento de Huehuetenango se encuentra en la región nor-occidental de Guatemala, con una extensión territorial de 7403 kilómetros cuadrados. Está ubicado en la latitud $15^{\circ} 19' 14''$ y longitud $91^{\circ} 28' 13''$ y el monumento de elevación es de una altura de 1901.64 metros sobre el nivel del mar. Además es un departamento que posee gran variedad de ecosistemas, tales como humedales riparios, bosques secos, bosques tropicales húmedos, cenotes kársticos, bosques montanos y páramos sub-alpinos (Caal, 2008). Las muestras a analizar fueron obtenidas por los agricultores de dos distintos municipios de este departamento (Chiantla y Todo Santos Cuchumatán) a distintas alturas (promotores), y de dos distintas cadenas de acceso a maíz. Cada uno de los agricultores midió el porcentaje de humedad y la temperatura de cada una de las muestras enviadas para análisis.

b. Descripción de las cadenas de muestreo

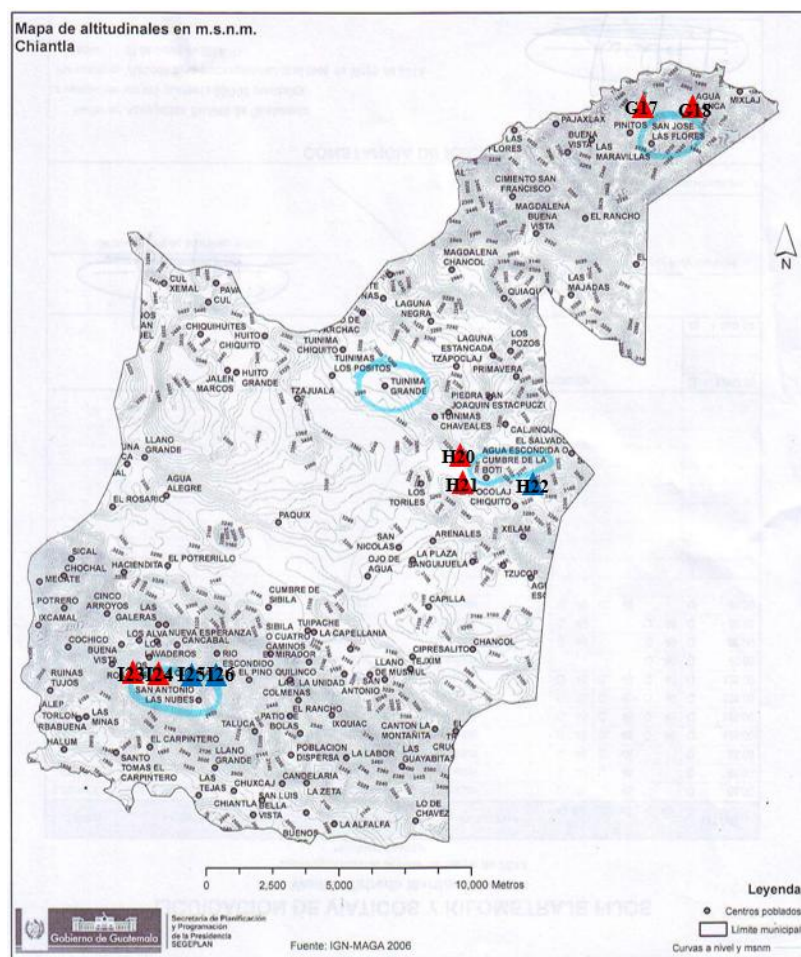
1. Cadena uno (C1): muestras de maíz provenientes de distintas etapas post-cosecha. Etapas: tapisca (T), selección (S) y durante el almacenamiento (A) desde el día cero hasta 180 días o hasta agotar el maíz cosechado. El tipo de maíz analizado fue criollo de color rojo, negro, pinto, amarillo y blanco (figura 46, apartado anexos).

2. Cadena dos (C2): muestras de maíz comprado para consumo humano. Muestreo durante etapa de almacenamiento (A) desde día cero hasta 180 días o hasta agotar el maíz comprado. El tipo de maíz analizado fue criollo e importado de color rojo, negro, pinto, amarillo y blanco (figura 46, apartado anexos).

c. Limitación geográfica del muestreo

A continuación la Figura 22 presenta el muestreo realizado en Chiantla, Huehuetenango. Los agricultores con código G17, G18, H20, H21, I23 e I24 corresponden a la cadena uno; cada código está sobre la comunidad a la que pertenece. Los códigos H22, I25 e I25 son de la cadena dos. El mapa presenta la altitud de cada comunidad estudiada.

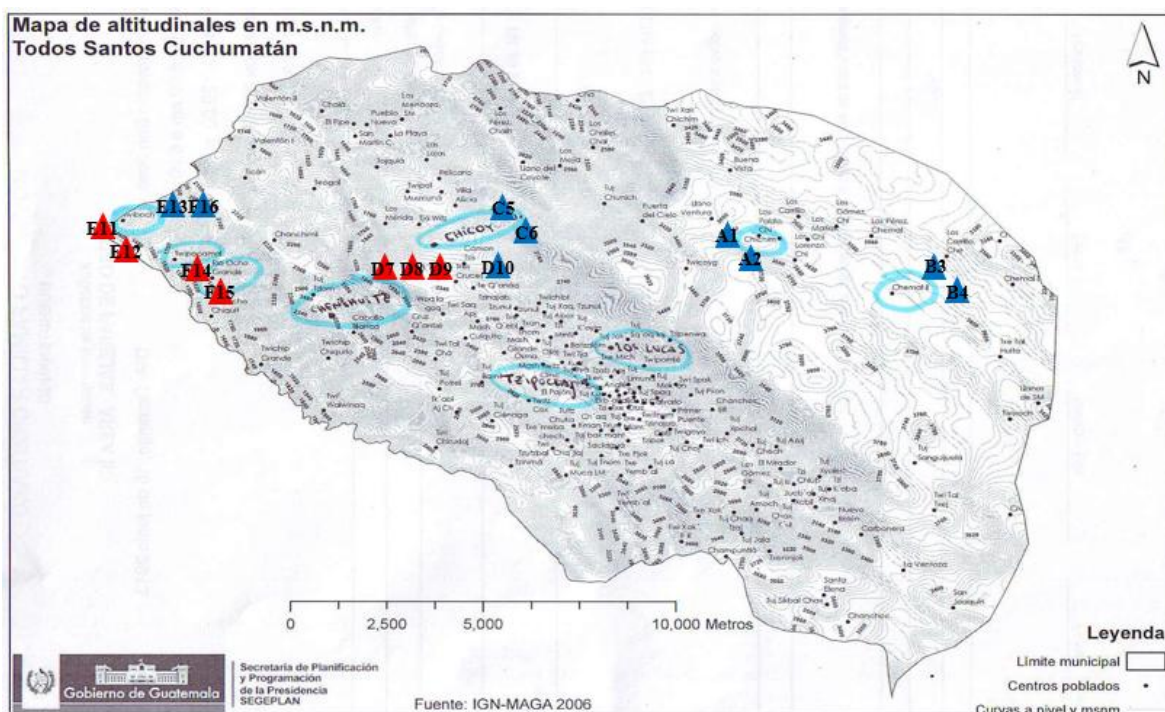
Figura 22. Mapa del muestreo en Chiantla, Huehuetenango, Guatemala.



La Figura 22 presenta el diseño de muestreo de Chiantla, Huehuetenango. El código de los agricultores está presentado como literal-numeral. Los códigos con triángulo rojo corresponden a los agricultores de cadena uno y los azules a la cadena dos.

A continuación la Figura 23 presenta el muestreo realizado en Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango. Los agricultores con código D7, D8, D9, E11, E12, F14 y F15 corresponden a la cadena uno; cada código está sobre la comunidad a la que pertenece. Los códigos A1, A2, B3, B4, C5, C6, D10, E13 y F16 son de la cadena dos. El mapa presenta la altitud de cada comunidad estudiada.

Figura 23. Mapa del muestreo en Chiantla, Huehuetenango, Guatemala.



La Figura 23 presenta el diseño de muestreo de Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango. El código de los agricultores está presentado como literal-numeral. Los códigos con triángulo rojo corresponden a los agricultores de cadena uno y los azules a la cadena dos.

Huehuetenango, Guatemala es un departamento con 7,4013 km² de extensión localizado en la región nor-occidente (latitud 15° 19' 14'' y longitud 91° 28' 13''). La elevación promedio del departamento es 1901.64 m.s.n.m.; sus municipios están a distintas alturas (diferentes microclimas) (Caal, 2008). Todas las muestras provinieron de Todos Santos Cuchumatán y Chiantla, Huehuetenango.

En la Figura 24 y 25 se muestra el esquema del diseño de muestreo para Chiantla y Todos Santos Cuchumatán respectivamente. Las comunidades están localizadas a tres alturas distintas con características climáticas en particular. A cada altura se le asignó un promotor que es el encargado de la recolección de muestras. Las tres alturas son: A – 3,600 m.s.n.m (clima frío); B – 2,700 m.s.n.m. (clima templado); C- 1,500 m.s.n.m. (clima templado a caluroso).

Figura 24. Esquema de muestreo en Chiantla, Huehuetenango según la cadena y altura de los agricultores. La Altura 1 corresponde al tipo A (clima frío), las dos al tipo B (clima templado) y las tres al tipo C (clima templado a cálido).

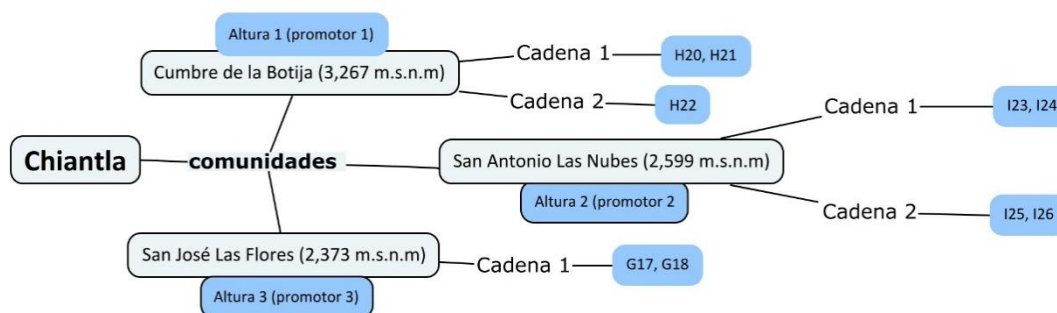
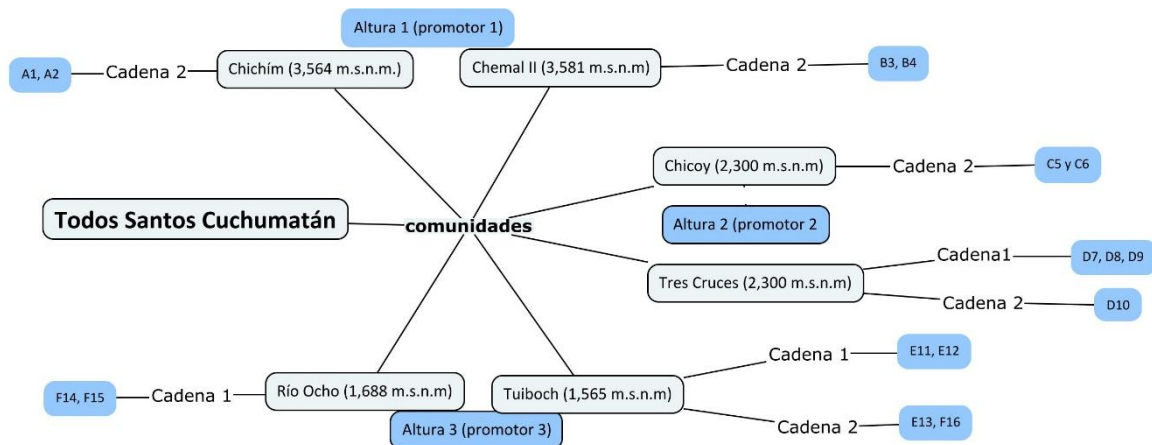


Figura 25. Esquema de muestreo en Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango según la cadena y altura de los agricultores. La Altura 1 corresponde al tipo A (clima frío), las dos al tipo B (templado) y las tres al tipo C (clima templado a cálido).



2. Metodología Módulo I

a. Repartición de la muestra: Cada muestra recibida está conformada por un rango de uno a dos kilogramos de grano de maíz de los cuales se tomaron 800 g para el análisis de aflatoxinas y fumonisinas. Para tomar una muestra representativa se utilizaron tres bandejas con diferente diámetro de manera que la de mayor diámetro (bandeja 1) contenía a la de un diámetro intermedio (bandeja 2) y esta a su vez a la de menor diámetro (bandeja 3). En la bandeja uno se colocó el total de maíz, se mezcló y dispersó empleando la bandeja dos colocada boca abajo.

Los granos fuera de la bandeja 2 se separaron y los contenidos en la misma se utilizarán para repetir el proceso con la bandeja tres. Los granos de maíz contenidos en la bandeja tres se utilizaron para medir los 800 g requeridos para una muestra representativa.

b. Molienda del maíz: Se realizó el molido de maíz para incluir las aflatoxinas y fumonisinas contenidas en la estructura interna del maíz. Entre cada muestra, al inicio y al final el molino fue limpiado para evitar contaminación cruzada entre las muestras. A partir de los 800 g de maíz, de forma aleatoria, se pesaron 150 g. La submuestra (150 g) de maíz se dividió en porciones menores para realizar el molido. Se introdujo una porción en la cámara de molienda y se cerró la tapa hasta la marca de cierre (<<lock>>). Se presionó hacia abajo el molino para iniciar el molido durante un minuto. Se repitió el proceso de molenda hasta que toda la submuestra fue molida. Esta se almacenó en bolsas ziploc hasta el siguiente análisis. El molino se limpió empleando una aspiradora, un cepillo y kimwipes.

c. Extracción de aflatoxinas y fumonisinas: Los equipos de prueba almacenados a temperatura ambiente se colocaron en el área de trabajo para iniciar el ensayo. De la muestra molida se transfirió 10 g a una bolsa Whirl-Pak® y añadió 20 mL de solución de extracción (metanol 70%). Se agitó vigorosamente un minuto y se dejó reposar dos minutos y medio para obtener el sobrenadante utilizado en la cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas.

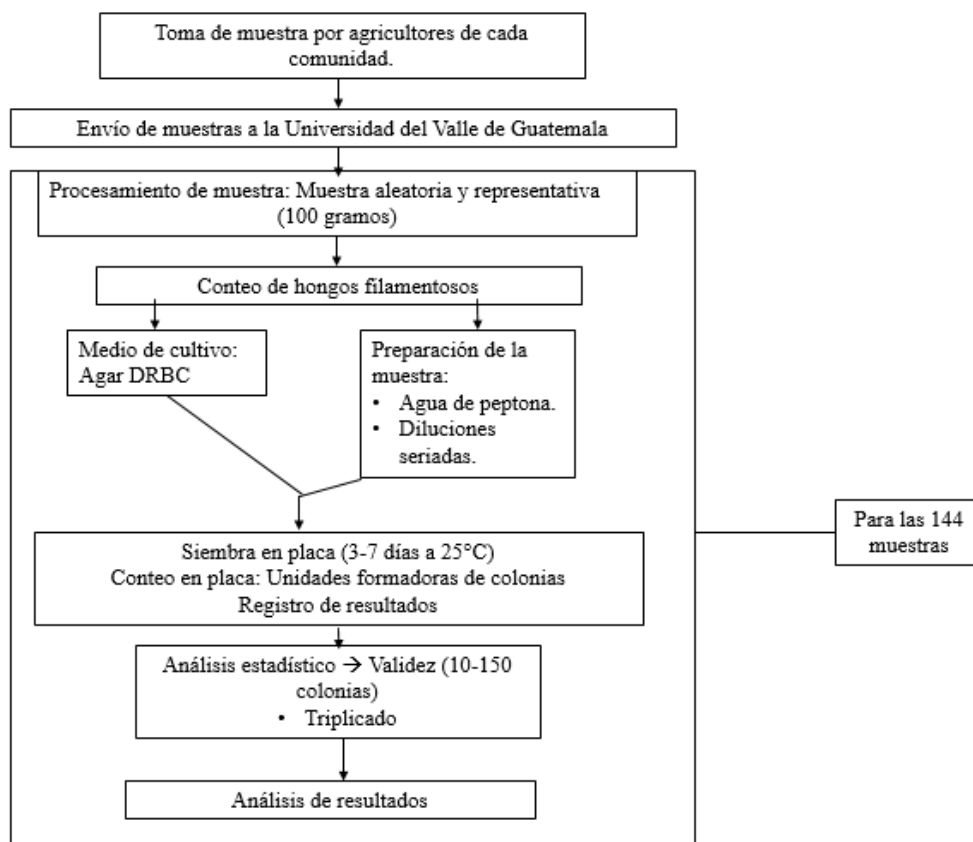
d. Cuantificación total de aflatoxinas: El extracto se diluyó 1:21 con el buffer de dilución (50 µL sobrenadante + 1000 µL buffer de dilución). Los pocillos de prueba se colocaron en un bloque de calor a 35°C. En el pocillo de prueba se añadió 100 µL de muestra diluida y se mezcló empleando la pipeta para disolver el sólido contenido en el mismo. Se colocó una tira (Afla Agra Strip) por cada pocillo y se incubó durante tres minutos en el bloque de calor. Se retiró la tira y se eliminó el exceso de humedad. En la placa del lector Agra Vision se colocó la tira, se sujetó con un seguro (imán) y se introdujo en el lector. La cuantificación de aflatoxinas por muestra se almacenó (en la memoria del equipo) e imprimió.

e. Cuantificación total de fumonisinas: El extracto se diluyó 1:20 con el buffer de dilución (50 µL sobrenadante + 950 µL buffer de dilución) e incubó durante 30 minutos a 35°C en un baño maría. Los componentes del kit, almacenados entre 2-8 °C, se llevaron temperatura ambiente de forma natural. Se colocó el pocillo conjugado en el bloque de calor a 35°C. Se añadió 50 µL de solución buffer de ensayo al pocillo y se incubó durante 30 segundos. Se

añadió 50 μL de la muestra diluida (tras incubación) y se mezcló. Se colocó una tira en el pocillo (Fumo Agra Strip) y se incubó durante tres minutos. Se retiraron las tiras y se eliminó el exceso de líquido. Se insertó la tira en la bandeja de lectura y se analizó con el lector Agra Vision. (ibídem Aflatoxinas).

f. Análisis estadístico: El conjunto de datos sobre la cuantificación de aflatoxinas y fumonisias en el maíz se sometió a pruebas de normalidad y varianza constante para poder utilizar estadística paramétrica. Se realizó estadística descriptiva, análisis de varianza de un factor (prueba *post hoc* LSD), gráficos de tallo y hojas y gráficos de medias para evaluar la tendencia de los datos y compararlos según los tratamiento. En todo se trabajó con un nivel de significancia de 0.05 empleando SPSS 20.0 para Windows 7. A partir de las muestras recolectadas por los agricultores, se llevó a cabo la detección y conteo de hongos filamentosos presentes en dichas muestras, como se muestra en la Figura 26.

Figura 26: Proceso de análisis realizado a cada una de las muestras de maíz provenientes del departamento de Huehuetenango, Guatemala.

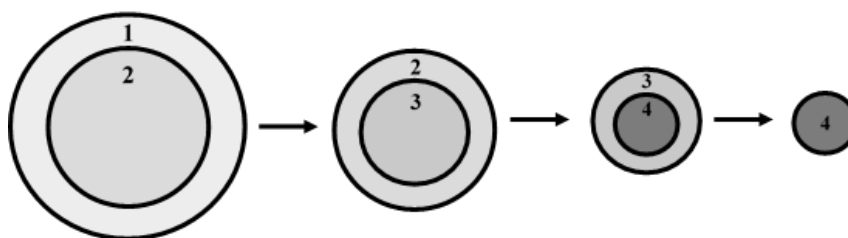


3. Metodología Módulo II

1. Conteo de mohos y levaduras mediante la técnica dilución en placa

a. Procesamiento de muestra

- Se colocan los granos de maíz de manera uniforme en una bandeja circular, extenderlos hasta que cubran toda la bandeja (Bandeja 1, figura 20).
- Se coloca otra bandeja circular, de diámetro más pequeño (Bandeja 2, figura 20) boca abajo. Los granos que quedaron fuera de la bandeja 2 se descartan.
- Los granos se mezclan y se dispersan de forma uniforme hasta cubrir toda la bandeja.
- Repetir el mismo procedimiento hasta la cantidad de granos deseada para el conteo de hongos y levaduras (100 g).

Figura 27: Esquema para la toma de muestra.

b. Conteo de hongos:

1. Preparación del agar Dicloran Rosa Bengala Cloranfenicol (DRBC, 100466 Merck):

a. Para la preparación de 1 L se utilizan las cantidades que se muestran en el cuadro 9.

b. Se debe medir el pH de la solución utilizando un potenciómetro. El pH debe estar a 5.6.

c. Se afora hasta llegar a 1 L, con agua destilada.

d. Se calienta para disolver el agar.

e. El medio se esteriliza, por medio de la autoclave a 121 ° C por 15 minutos.

Cuadro 9. Reactivos y cantidades para la preparación del agar DRBC.

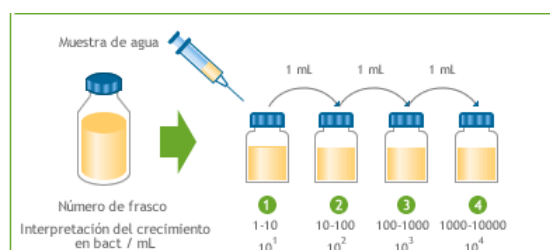
| Reactivo | Cantidad |
|---|----------|
| Glucosa | 10.0 g |
| Peptona bacteriológica | 5.00 g |
| Fosfato de potasio monobásico | 1.00 g |
| Sulfato de magnesio heptahidratado | 0.50 g |
| Rosa de bengala (5% solución w/v) | 0.50 ml |
| Solución de dicloran (0.2% w/v en etanol) | 1.00 ml |
| Cloranfenicol | 0.10 g |
| Agar | 15.0 g |
| Agua destilada | 2.1 ml |

(FDA, 2015).

2. Preparación de la muestra:

- a. Se analiza 25 g de cada muestra. Antes de realizar las diluciones seriadas, se debe mantener el grano en agua de peptona (250 ml) por 30 minutos.
- b. Se realizan las diluciones seriadas: Se debe agregar la cantidad apropiada de 0.1% de agua de peptona a la muestra para alcanzar una dilución de 10^{-1} .
- c. Se realizan las diluciones apropiadas 1:10 (1+9) en 0.1% de agua de peptona. Realizar diluciones de 10^{-6} (Figura 21).

Figura 28: Técnica de recuento de bacterias por dilución en placa.



(MAG Microbiología, 2013).

3. Siembra en placa e incubación de la muestra:

- a. Se agrega 0.1 ml de las diluciones, utilizando una pipeta graduada de 1ml, en cajas de Petri con agar DRBC.
- b. La muestra se debe esparcir por toda la caja de Petri, utilizando esparcidores celulares de vidrio. Evitar que se derrame el contenido.
- c. Cada dilución se sembrará en triplicado.
- d. Se incubará las placas en oscuridad a 25°C .

4. Conteo de placas:

- a. Las placas se cuentan después de 5 días de incubación. Si no hay crecimiento, incubar de nuevo las placas por otras 48 horas.
- b. No contar antes del período de incubación, ya que puede existir crecimiento de colonias secundarias por dispersión de esporas, causando un conteo inválido.
- c. Se debe contar las placas que contengan de 10 – 150 colonias.
- d. Se debe contar las colonias de mohos que presenten forma filamentosa de color variable (micelio).

- e. Por separado, se debe contar las colonias de levaduras, éstas se presentan como colonias opacas de color amarillo o blanco.
- f. Se reporta el resultado como UFC⁷/g o ml del producto.
- g. Se aproxima el resultado a dos cifras significativas: Si el tercer dígito es 6, 7, 8 o 9 agregar una unidad al segundo dígito. Si el tercer dígito es 1, 2, 3 o 4 solamente tomar en cuenta los dos primeros dígitos. Si el tercer dígito es 5, agregar una unidad al segundo dígito si es impar, cuando es dígito para mantener el segundo dígito. Para los demás dígitos de la derecha utilizar ceros.

c. Análisis de datos: Se llevó a cabo un análisis descriptivo del conteo microbiológico de hongos (mohos) para las muestras en las distintas etapas de cosecha del maíz, en los distintos tipos y tiempos de almacenamiento con el fin de determinar la calidad del grano cosechado en el departamento de Huehuetenango. Para cada muestra se realizaron cuatro diluciones, cada dilución fue realizada en triplicado, por lo tanto como resultado se utilizó el promedio de estas para cada muestra. Los datos fueron evaluados con el software SPSS 20.0; de las variables recuento de mohos y altitud se realizó una distribución de los datos para determinar los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los mismos. Debido a que ambos supuestos se cumplieron, se realizó un análisis de varianza para comparación entre las medias con un nivel de significancia de 0.05.

D. MÓDULO III

1. Descripción del secador: La base del diseño del secador fue obtenido del documento “Drying Technologies, AflaSTOP: Strag and Drying for the Prevention of Aflatoxin”, obtenido de USAID y la fundación Bill & Melinda Gates.

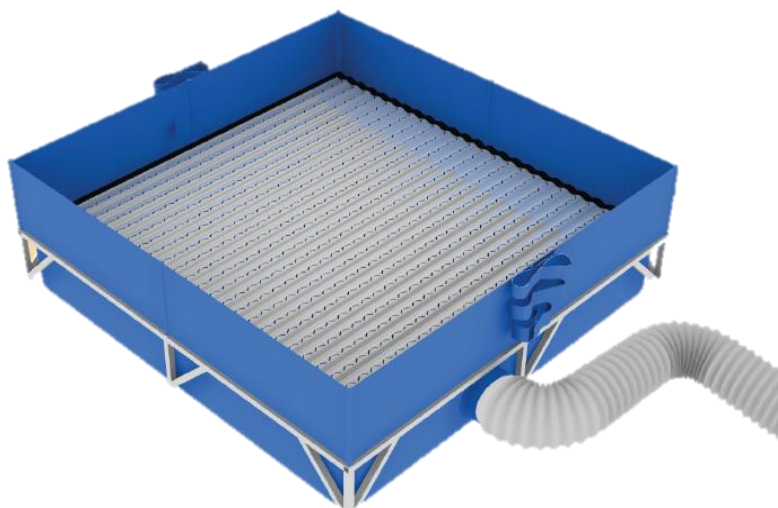
El diseño es un secador portátil de lecho poco profundo de aire forzado construido para el secado de granos de maíz adaptado para pequeños productores. Este consiste en dos partes principales.

2. Cama de secado: En esta parte se llevó a cabo el secado de los granos de maíz. Está fabricada como una estructura desmontable hecha de tubería de acero galvanizado y material PVC, la cual es cubierta con una manta vinílica para capturar el aire caliente que

⁷ Unidades Formadoras de Colonias.

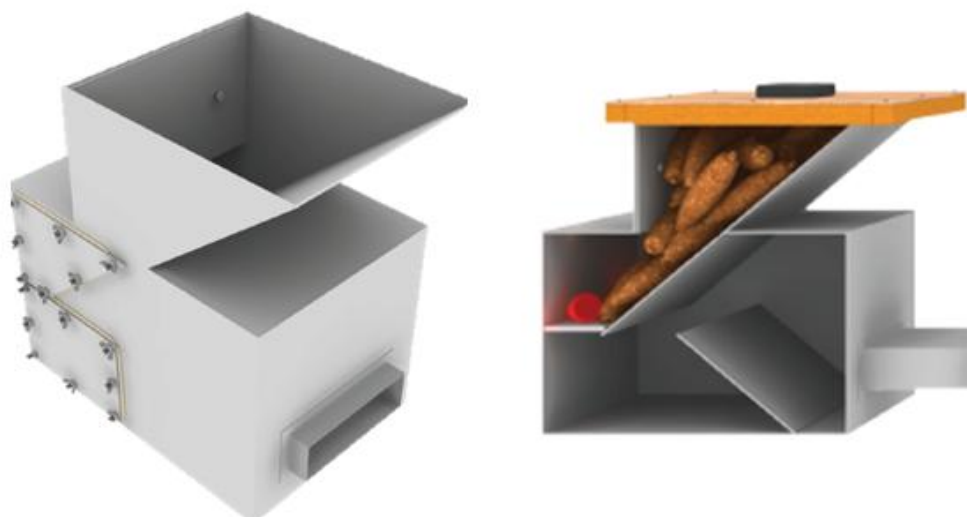
proviene del módulo de aire forzado. La cama cuenta con una barra que atraviesa la estructura; sobre la cual se colocan dos láminas corrugadas traslapadas donde son colocados los granos de maíz, estas cuentan con agujeros para permitir el flujo del aire caliente proveniente del módulo del aire forzado. En la parte inferior de las láminas, la manta vinílica tiene un agujero que permite el ingreso del aire caliente a través de un tubo flexible el cual conecta el módulo de aire forzado a la cámara de secado que contiene los granos de maíz.

Figura 29 Cámara de secado



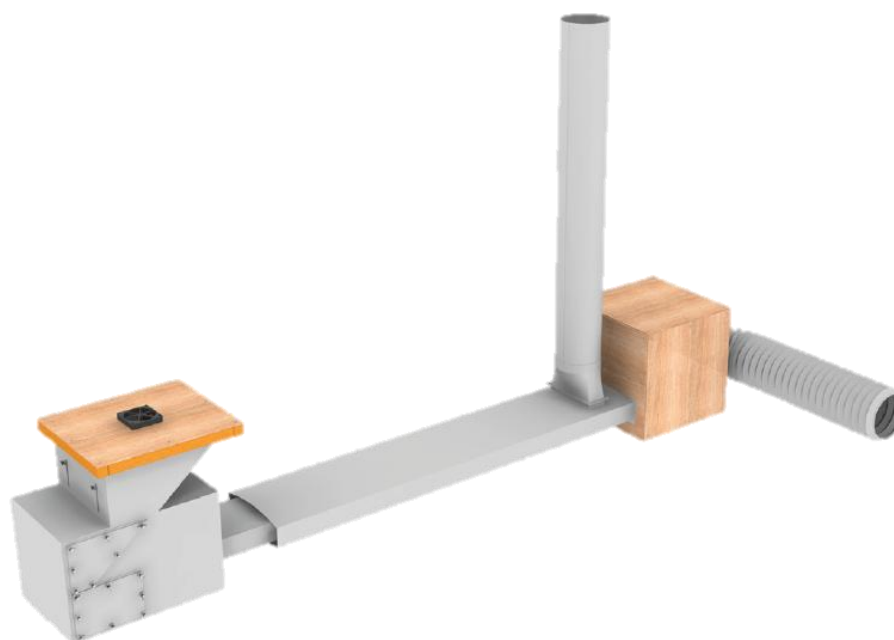
(AflaStop, 2014).

3. Módulo de aire forzado: Esta parte fue diseñada para ofrecer una fuente de calor eficiente y controlable para el secado del grano. Esta consiste en una cámara de combustión, la cual está cubierta por una tapa de madera con un ventilador de computadora de 12V DC, el cual permite el ingreso del aire a la cámara de combustión; necesario para proveer oxígeno al interior de la cámara donde es colocada la biomasa utilizada como combustible; la biomasa utilizada puede ser olote (mazorca sin los granos), carbón, madera seca, etc. Dentro de la caja se encuentra una parrilla para evitar el paso de los olotes, permitiendo únicamente el paso de las cenizas y el aire caliente empujado por el ventilador ubicado en la tapa. En la segunda sección de la cámara se encuentra una lámina inclinada que evita el paso de cenizas y permite dirigir el paso del aire calentado a la salida de escape que conecta al intercambiador de calor.

Figura 30. Cámara de combustión

(AflaStop, 2014).

El intercambiador de calor permite controlar y dirigir el calor obtenido por la cámara de combustión. Este consiste en dos piezas rectangulares, una en el interior de la otra; dentro de la pieza rectangular interna pasa el aire proveniente de la cámara de combustión, y es expulsado a través de una chimenea hacia el exterior. La pieza rectangular exterior está conectada a otra caja, la cual tiene un ventilador de 12V DC de radiador de carro en su interior. El objetivo del ventilador es introducir aire del ambiente al ducto de las piezas rectangulares, y a lo largo de dichas piezas producir el intercambio de calor, de manera que se caliente el aire succionado por el ventilador, y expulsado a la cámara de secado. La energía utilizada para hacer funcionar ambos ventiladores es mediante una batería de carro.

Figura 31 Módulo de aire forzado

(AflaStop, 2014).

4. Materiales utilizados

Cuadro 10. Materiales utilizados para la construcción del secador.

| | |
|----------------|--|
| Cama de secado | <ul style="list-style-type: none"> - 4 láminas galvanizadas de 25x25x1780mm - 8 láminas galvanizadas de 25x25x300mm - 12 piezas galvanizadas de 25x25x300mm (corte final de 45°) - 1 barra central galvanizada 50x50x1780mm - Tubería PVC de ¾ de pulgada - 1 manta vinílica de 3x3m <ul style="list-style-type: none"> - Tornillos y tuercas - 2 láminas corrugadas calibre 24 (1780x1000mm) |
|----------------|--|

Continuación **Cuadro 10.** Materiales utilizados para la construcción del secador.

| | |
|---------------------------------------|--|
| Módulo de aire forzado | <ul style="list-style-type: none"> - 2 láminas de acero suave de 60x60x10mm - 1 lámina de acero suave de 390x120x10mm - 1 lamina de acero suave de 2000x1000x4mm - 1 Pieza de madera de 480x560x5mm - 7 Piezas de madera de 500x500x5mm - 2 barras de madera de 40x40x480mm - 4 barras de madera de 40x40x480mm <ul style="list-style-type: none"> - 10 barras de madera de 40x40x420mm - 1 ventilador de carro (12V DC) - 1 ventilador de computadora (12V DC) |
| Alimentación de energía | <ul style="list-style-type: none"> - 2 baterías MAGNUM de carro <ul style="list-style-type: none"> - Cables de cobre - Cargador de batería de 15 AMP (fast charge) |
| Equipo utilizado para la construcción | <ul style="list-style-type: none"> - Lápiz - Pulidora - Sierra - Martillo y desarmador - Barreno y brocas <ul style="list-style-type: none"> - Alicata - Metro - Soldadora y estaño |

5. Construcción del secador: La construcción del secador fue llevada a cabo en cinco días hábiles, tomando en cuenta las dimensiones, tamaños y tipo de material establecidos para su correcto funcionamiento. Se realizaron algunas modificaciones con el objetivo de facilitar la movilidad del secador para los agricultores, principalmente en la estructura de la base donde se agregó una estructura de PVC para brindarle mayor estabilidad.

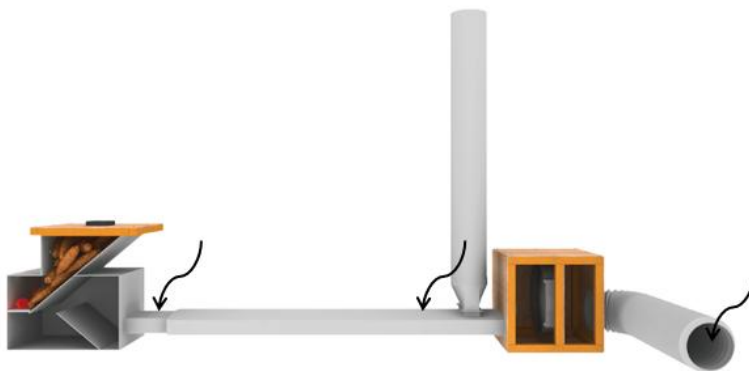
6. Implementación del secador

a. El secador fue implementado en la aldea San Antonio Las Nubes, ubicada en el municipio de Chiantla, en el departamento de Huehuetenango, los días 3, 4 y 5 de junio de 2015.

b. Se instaló el secador, iniciando con la estructura de secado de grano, posteriormente se instaló el módulo de aire forzado, y la instalación eléctrica para hacer funcionar los ventiladores.

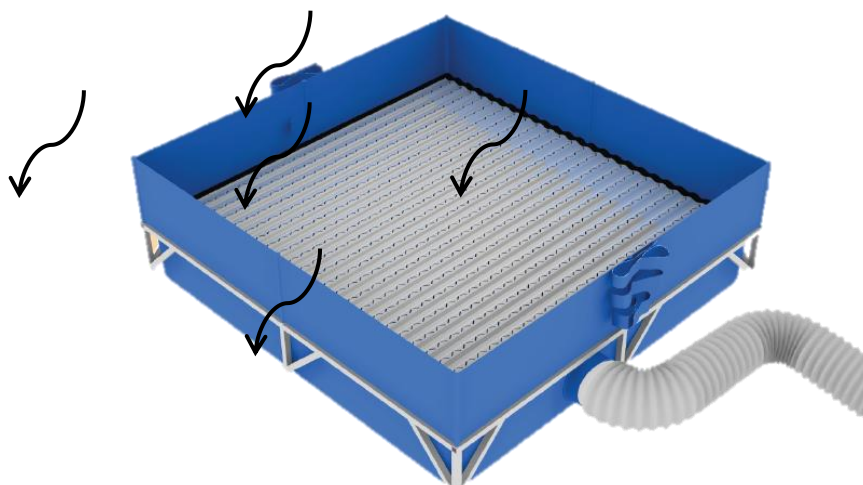
c. Se colocaron “termocuplas” en distintos puntos del secador para realizar las mediciones, y de esta manera controlar las temperaturas en las distintas regiones del secador. También se colocó un anemómetro en la entrada a la cama de secado para controlar la velocidad del aire.

Figura 32. Áreas donde fueron instaladas las “termocuplas” en el módulo de aire forzado



(AflaStop, 2014).

Figura 33. Áreas donde fueron instaladas las “termocouplas” en la cama de secado



(AflaStop, 2014).

7. Pruebas realizadas: Para las pruebas a realizar, se colocaron tres lotes (uno por día) distintos de maíz blanco previamente pesados; se calculó la humedad inicial de los granos de maíz con el equipo de conductividad John Deere ®. Se determinó la humedad inicial, así como las características del medio ambiente, incluyendo humedad relativa y temperatura. También se pesaron los olotes a utilizar como combustible para la generación de calor, y se contó el tiempo desde el inicio del proceso de secado hasta finalizar las pruebas.

E. MÓDULO IV

1. Ensamble del secador de maíz en Universidad del Valle de Guatemala: Se armó la base para colocar el maíz en la Universidad del Valle; uniendo las partes previamente enumeradas mediante la colocación de tuercas y tornillos. En este paso se validó que todas las piezas estuvieran completas y que todo en el secador cumpliera con las funciones requeridas en el diseño original. Se desarmó nuevamente y se almacenó para ser transportada a la comunidad de “San Antonio las Nubes” en Huehuetenango.

2. Transporte hacia “San Antonio las Nubes”: El secador desarmado se colocó en un pickup para ser transportado hacia la comunidad de “San Antonio las Nubes”; para esto fue requerido llevar todos los instrumentos de medición hasta esta misma comunidad; por lo que se transportaron medidores de humedad relativas, termocoplas, anemómetro, data loggers, entre otros. Una vez se llegó a la comunidad se procedió a descargar el secador e instrumentos de interés.

3. Ensamble de secador de maíz en “San Antonio las Nubes”: Se armó la base y los ductos del secador de maíz, tal y como se realizó en la Universidad del Valle; uniendo mediante tuercas y tornillos las partes con su respectiva numeración. Por otra parte se procedió a realizar 2 agujeros en la estructura del intercambiador para colocar termocoplas en la entrada y salida del aire de combustión. De igual forma se realizaron dos agujeros en la estructura posterior al ventilador para introducir termocoplas y determinar la temperatura del aire de secado. De igual forma se colocó un anemómetro en la parte posterior al ventilador para establecer la velocidad del aire durante el proceso.

Por otra parte se procedió a colocar seis termocoplas en la base para colocar maíz, se colocó una termocopla en cada esquina y dos en el centro; buscando tener una distribución adecuada en las mediciones.

4. Modo de operación en “San Antonio las Nubes”: Una vez que el secador fue armado y ensamblado, a este se le colocó la fuente de alimentación de los ventiladores (baterías de carro) y se procedió a iniciar la combustión utilizando como combustible olotes proporcionados por el agricultor de la comunidad. Para iniciar la combustión fue necesario utilizar “tuza” de maíz y fósforos. Una vez obtenido el fuego se mantuvo agregando olotes cuando la temperatura del aire de combustión disminuía notablemente.

Una vez encendido el fuego y los ventiladores se agregó el maíz en la cama de secado y se buscó una distribución adecuada con movimientos del grano cada 30 minutos. Al estar colocados los granos se procedió a colocar las termocoplas para la evaluación de la temperatura.

5. Mediciones realizadas en “San Antonio las Nubes”: Una vez el secador se encontraba en operación se esperó a que la temperatura se estabilizará por 10 minutos y se comenzó a realizar las mediciones de humedad relativa, velocidad de aire y temperatura de cada una de la termocoplas instaladas. Se realizaron distintas corridas tres días diferentes; en donde se aplicaron distintos intervalos de tiempo para realizar las mediciones, estos intervalos variaron desde cinco minutos hasta una hora; dependiendo la región en donde se encontrará la termocopla.

6. Transporte hacia Universidad del Valle de Guatemala: El secador desarmado se colocó en un pickup para ser transportado hacia la Universidad; de igual forma se regresaron los equipos tales como: medidores de humedad relativas, termocoplas, anemómetro, data loggers, entre otros utilizados para realizar las mediciones en la comunidad de Huehuetenango.

7. Modo de operación Universidad del Valle de Guatemala: El secador se volvió a ensamblar en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala y se procedió a realizar pruebas con combustibles distintos al olote. En este caso se utilizó madera y carbón para obtener mediciones del secador. En estas mediciones se omitió el uso de la cama de maíz; por lo que solamente se obtuvo datos del intercambiador y el aire después del ventilador. Para iniciar la combustión fue necesario utilizar fósforos. Una vez obtenido el fuego se mantuvo agregando combustible (madera o carbón según la corrida) cuando la temperatura del aire de combustión disminuía notablemente.

8. Análisis de datos de eficiencia del secador

a. Evaluación climática: Se realizaron mediciones de la temperatura ambiental y humedad relativa del área de prueba del secador. Con esto datos se elaborará una gráfica de Tiempo vs Humedad y Temperatura. Esto permitió ver de manera preliminar las condiciones en las cuales fue evaluado el secador. De este análisis se obtuvieron correlaciones y tendencias, las cuales se utilizaron para concluir sobre los datos de secado obtenidos en cada corrida.

b. Evaluación de temperaturas obtenidas: Se realizaron mediciones de la temperatura del aire en distintas posiciones del secador; estos datos se utilizaron para

obtener la eficiencia del intercambiador de calor del secador. Esta se obtuvo calculando la cantidad de calor transferida por convección entre la cantidad de calor generada por la combustión del material (combustible). Estos datos se relacionaron con los datos de la evaluación climática. Para este cálculo se asumió que todo el calor transferido se dio por medio de convección.

c. Evaluación de proceso de secado: Se realizó la curva de secado del maíz utilizando olotes como combustible para calentar el aire en “San Antonio las Nubes” Huehuetenango. Para esto se realizó un gráfico comparando la humedad obtenida en distintas posiciones de la cama de secado y el tiempo de secado. Al tener varias posiciones se compararon las curvas y se realizó una conclusión en base a esta comparación.

VI. RESULTADOS

A. MÓDULO I

1. Estructura de las cadenas de muestreo: El Cuadro 11 presenta la estructura de las cadenas de muestreo uno y dos en los municipios de Chiantla y Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala. La cadena dos (C2) corresponde a los agricultores que aportaron al estudio maíz que compraron y almacenaron. La cadena uno (C1) son los agricultores que proveyeron muestras desde la tapisca, selección y durante el almacenamiento de maíz.

Cuadro 11. Estructura de las cadenas de muestreo en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala.

| Municipio | Comunidad | Agricultor | Cadena |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|
| Chiantla | San José Las Flores (2373 msnm) | G17 | C1 |
| | | G18 | C1 |
| | Cumbre La Botija (3267 msnm) | H20 | C1 |
| | | H21 | C1 |
| | San Antonio Las Nubes (2599 msnm) | I23 | C1 |
| | | I24 | C1 |
| | Cumbre La Botija (3267 msnm) | H22 | C2 |
| | | San Antonio Las Nubes (2599 msnm) | I25 |
| | | | I26 |
| | Todos Santos Cuchumatán | Chichím (3564 msnm) | A1 |
| A2 | | | C2 |
| Chemal II (3581 msnm) | | B3 | C2 |
| | | B4 | C2 |
| Chicoy (2300 msnm) | | C5 | C2 |
| | | C6 | C2 |
| Tres Cruces (2300 msnm) | | D10 | C2 |
| Tuiboch (1565 msnm) | | E13 | C2 |
| | | F16 | C2 |
| Tres Cruces (2300 msnm) | | D7 | C1 |
| | | D8 | C1 |
| | | D9 | C1 |
| Tuiboch (1565 msnm) | | E11 | C1 |
| | | E12 | C1 |
| Río Ocho (1688 msnm) | | F14 | C1 |
| | F15 | C1 | |

En el Cuadro 11 cada agricultor es identificado según un código de trabajo interno basado en la comunidad a la que pertenece.

2. Resultados de cuantificación Chiantla: A continuación se presenta en el Cuadro 12 (cadena 1, C1) y Cuadro 5 (cadena 2, C2) los resultados de cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en distintas aldeas del municipio de Chiantla, Huehuetenango. La cuantificación de fumonisinas en la mayoría de las muestras de C1 (Cuadro 4) fue inferior al nivel detectado por el método (< 0.3 ppm). En cambio, para aflatoxinas se obtienen diversos valores entre $< 2 - 17.6$ ppb. En la C2 (Cuadro 5) la cuantificación de fumonisinas fluctuó entre $< 0.3 - 4.7$ ppm con un punto atípico de 150 ppm.

Cuadro 12. Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en maíz cosechado y almacenado (cadena 1) en aldeas del municipio de Chiantla, Huehuetenango, Guatemala.

| Aldea (altura) | Agricultor | Etap | Aflatoxina (ppb) | Fumonisin | Porcentaje de humedad % | Temperatura °C |
|---------------------------------|------------|---------|------------------|-----------|-------------------------|----------------|
| San José Las Flores (2373 msnm) | G17 | T | 9.32 | <0.3 | 29.8 | 17.8 |
| | | S | 7.32 | <0.3 | 29.3 | 11.6 |
| | | A_S 0 | <2 | <0.3 | 14.37 | 16.47 |
| | | A_S 30 | <2 | 4.7 | 14.83 | 15.4 |
| | | A_S 60 | 11 | <0.3 | 14.07 | 19 |
| | | A_S 90 | 17.9 | <0.3 | 14.63 | 18.77 |
| | | A_S 120 | 12.1 | <0.3 | 14.6 | 14.8 |
| | | A_S 150 | <2 | <0.3 | 14.8 | 18.57 |
| | | A_S 180 | 5.05 | <0.3 | NR | NR |
| | G18 | T | 4.6 | <0.3 | 25 | 18 |
| | | S | 8.35 | <0.3 | 25.9 | 13.9 |
| | | A_T 30 | 7.43 | <0.3 | 19.1 | 19.1 |
| | | A_T 60 | <2 | 1 | 17.6 | 12.8 |
| | | A_T 90 | 14.2 | 1.3 | 16.07 | 17.83 |
| | | A_T 120 | 3.75 | <0.3 | 15.77 | 19.77 |
| | | A_T 150 | 13,4 | <0.3 | 14.87 | 17.53 |
| | | A_T 180 | 14.7 | <0.3 | 15.4 | 16.8 |

Continuación **Cuadro 12.** Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en maíz cosechado y almacenado (cadena 1) en aldeas del municipio de Chiantla, Huehuetenango, Guatemala.

| Aldea (altura) | Agricultor | Etapa | Aflatoxina (ppb) | Fumonisinias (ppm) | Porcentaje de humedad % | Temperatura °C |
|--|------------|---------|---------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------|
| Cumbre La Botija (3267 msnm) | H20 | T | 3.89 | <0.3 | 29.8 | 10.4 |
| | | S | 3.79 | <0.3 | 28.5 | 23.2 |
| | | A_T 30 | 5.2 | <0.3 | 21.4 | 12.4 |
| | | A_T 60 | <2 | <0.3 | 15.4 | 11.6 |
| | | A_T 90 | 6.14 | <0.3 | 14.7 | 15.3 |
| | | A_T 120 | 7.44 | <0.3 | 14.53 | 16.23 |
| | | A_T 150 | <2 | <0.3 | 14 | 14.9 |
| | | A_T 180 | 16.3 | <0.3 | NR | NR |
| | H21 | T | 4.9 | <0.3 | 32.9 | 16.7 |
| | | S | 6.89 | <0.3 | 32 | 17.1 |
| | | A_T 30 | 10 | <0.3 | 22.9 | 13.6 |
| | | A_T 60 | <2 | <0.3 | 14.6 | 12 |
| | | A_T 90 | 12.3 | <0.3 | 13.07 | 13.6 |
| | | | | | | |
| San Antonio Las Nubes (2599 msnm) | I23 | T | 8.68 | <0.3 | 29.6 | 17.8 |
| | | A_T 0 | 7.22 | <0.3 | 23.8 | 16.3 |
| | | S_T 30 | 12.9 | <0.3 | 17.83 | 16.17 |
| | | A_T 60 | 14.3 | <0.3 | 17.8 | 15 |
| | | A_T 90 | 16.3 | <0.3 | 15.47 | 16.23 |
| | | S_T 150 | 9.53 | <0.3 | 15.67 | 15 |
| | | A_T 150 | 9.15 | <0.3 | 15.73 | 19.83 |
| | | A_T 180 | 12.1 | <0.3 | 15.57 | 17.1 |
| | I24 | T | 11.7 | <0.3 | 21.4 | 13.1 |
| | | S | <2 | <0.3 | 19.3 | 24.8 |
| | | A_T 30 | 4.99 | <0.3 | 15.2 | 11.9 |
| | | A_T 60 | 17.4 | <0.3 | 15.1 | 16.47 |
| | | A_T 90 | 10.6 | <0.3 | 14.77 | 19.2 |
| | | | | | | |

En el Cuadro 12 cada agricultor tiene un código de identificación (letra-número), si comparten la literal pertenecen a la misma aldea. En la etapa la letra T es tapisca; S, selección; A, almacenamiento. La combinación letra_letra número señala el tipo y tiempo (días) de almacenamiento. Si es A_T es almacenamiento en tapanco y A_S, en silo.

Cuadro 13. Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en maíz comprado y almacenado (cadena 2) en aldeas del municipio de Chiantla, Huehuetenango, Guatemala.

| Aldea (Altura) | Agricultor | Etapas | Aflatoxina (ppb) | Fumonisin (ppm) | Porcentaje de humedad % | Temperatura °C |
|--|------------|---------|------------------|-----------------|-------------------------|----------------|
| Cumbra La Botija (3267 msnm) | H22 | A_C 0 | 7.93 | <0.3 | 15.8 | 17.6 |
| | | A_C 30 | 6.99 | <0.3 | 14.7 | 9.6 |
| | | A_C 60 | 11.3 | <0.3 | 13.3 | 15.9 |
| | | A_C 90 | 18.6 | <0.3 | 14.1 | 13.63 |
| San Antonio Las Nubes (2599 msnm) | I25 | A_O 0 | 6.34 | 1.3 | 17 | 16.9 |
| | | A_C 30 | <2 | <0.3 | 16.3 | 13.4 |
| | | A_C 90 | 18.8 | <0.3 | 16.4 | 15.97 |
| | I26 | A_C 0 | 9.11 | 1.7 | 16.9 | 14.6 |
| | | A_C 30 | <2 | 4.4 | 16 | 15.4 |
| | | A_C 60 | 10.7 | 31 | 16 | 14.3 |
| | | A_C 90 | 13.8 | 4.7 | 15.4 | 17.27 |
| | | A_C 120 | 3.03 | 4 | 14.93 | 17.1 |
| A_C 150 | 10.7 | 150 | 15.6 | 17.13 | | |
| A_C 180 | 17.7 | 4.5 | 15 | 24.33 | | |

En el Cuadro 13 cada agricultor tiene un código de identificación (letra-número), si comparten la literal pertenecen a la misma aldea. En la etapa la A es almacenamiento. La combinación letra_letra número señala el tipo y tiempo (días) de almacenamiento. Si es A_C es almacenamiento es en costales y A_O, otro tipo de almacenamiento.

3. Resultados de cuantificación Todos Santos Cuchumatán: A continuación se presenta en el Cuadro 14 (cadena 1, C1) y Cuadro 15 (cadena 2, C2) los resultados de cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en distintas aldeas del municipio de Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango. La cuantificación de fumonisinas en todas las muestras de C1 (Cuadro 14) fue inferior al nivel detectado por el método (< 0.3 ppm). En cambio, para aflatoxinas se obtienen diversos valores entre < 2 – 17.6 ppb. En la C2 (Cuadro 15) la cuantificación de fumonisinas fluctuó entre < 0.3 – 4.3 ppm.

Cuadro 14. Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en maíz cosechado y almacenado (cadena 1) en aldeas del municipio de Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala.

| Municipio (Altura) | Agricultor | Etapa | Aflatoxinas (ppb) | Fumonisinias (ppm) | Porcentaje de humedad % | Temperatura °C |
|--------------------------------|------------|---------|-------------------|--------------------|-------------------------|----------------|
| Tres Cruces (2300 msnm) | D7 | S | 8.72 | <0.3 | 16.6 | 11.3 |
| | | A | 3.57 | <0.3 | 19.1 | 20.5 |
| | | A_S 0 | <2 | <0.3 | 15.77 | 19.67 |
| | | A_S 30 | 13 | <0.3 | 16.57 | 1.1 |
| | | A_S 60 | 14.1 | <0.3 | 23.33 | 17.07 |
| | | A_S 90 | 5.55 | <0.3 | 19.34 | 15.31 |
| | | A_S 120 | <2 | <0.3 | 15.4 | 14.17 |
| | | A_S 150 | 11.1 | <0.3 | 15.23 | 13.73 |
| | D8 | T | <2 | <0.3 | 31.3 | 12 |
| | | S | <2 | <0.3 | 15.6 | 11.5 |
| | | A_T 30 | 7.81 | <0.3 | 14.3 | 12.1 |
| | | A_T 60 | 5.36 | <0.3 | 15.37 | 10.47 |
| | | A_T 90 | <2 | <0.3 | 16.27 | 12.8 |
| | D9 | T | 4.69 | <0.3 | 20.5 | 13.1 |
| | | A_T 0 | 3.74 | <0.3 | 23.4 | 16.4 |
| | | A_T 30 | <2 | <0.3 | 14.3 | 11.4 |
| | | A_T 30 | <2 | <0.3 | 14.1 | 16.2 |
| | | A_T 60 | 19.1 | <0.3 | 13.6 | 20.3 |
| A_T 90 | | 10.5 | <0.3 | NR | NR | |
| Tuiboch (1565 msnm) | E11 | T | 10.4 | <0.3 | 29.1 | 18.3 |
| | | S | 3.45 | <0.3 | 23.8 | 16.2 |
| | | A_O 30 | 12.3 | <0.3 | 14.9 | 21.1 |
| | | A_O 60 | 9.56 | <0.3 | 14.5 | 16.8 |
| | | A_O 90 | 11.2 | <0.3 | 14.2 | 20.5 |
| | | A_O 120 | 7.59 | <0.3 | 12.37 | 19.73 |
| | | A_O 150 | 13 | <0.3 | NR | NR |
| | | A_O 180 | <2 | <0.3 | NR | NR |
| | E12 | T | 5.82 | <0.3 | 35.8 | 24.1 |
| | | S | 17.6 | <0.3 | 14.9 | 16.2 |
| | | A_O 30 | <2 | <0.3 | 17.1 | 18.7 |
| | | A_O 60 | 6.87 | <0.3 | 16 | 21.2 |
| | | A_O 90 | 7.71 | <0.3 | NR | NR |

Continuación **Cuadro 14.** Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en maíz cosechado y almacenado (cadena 1) en aldeas del municipio de Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala.

| Municipio (Altura) | Agricultor | Etapa | Aflatoxinas (ppb) | Fumonisinias (ppm) | Porcentaje de humedad % | Temperatura °C |
|-----------------------------|------------|--------|-------------------|--------------------|-------------------------|----------------|
| Río Ocho (1688 msnm) | F14 | T | <2 | <0.3 | 22.5 | 17.87 |
| | | S | 9.86 | <0.3 | 20.03 | 17.47 |
| | | A_C 30 | <2 | <0.3 | 15.1 | 17.5 |
| | | A_C 60 | 10.7 | <0.3 | 15.73 | 18.27 |
| | | A_C 90 | 17.5 | <0.3 | 17.03 | 20.17 |
| | F15 | T | 4.51 | <0.3 | 23.97 | 25.17 |
| | | S | 13 | <0.3 | 21.33 | 19.03 |
| | | A_C 30 | 12.7 | <0.3 | 15.3 | 24.4 |
| | | A_C 60 | 10.8 | <0.3 | 16.03 | 18.7 |
| | | A_C 90 | 11.9 | <0.3 | 17.13 | 19.7 |

En el Cuadro 14 cada agricultor tiene un código de identificación (letra-número), si comparten la literal pertenecen a la misma aldea. En la etapa la letra T es tapisca; S, selección; A, almacenamiento. La combinación letra_letra número señala el tipo y tiempo (días) de almacenamiento. Si es A_T es almacenamiento en tapanco; A_S, en silo; A_O, otro tipo de almacenamiento.

Cuadro 15. Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en maíz cosechado y almacenado (cadena 2) en aldeas del municipio de Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala.

| Municipio (Altura) | Agricultor | Etapa | Aflatoxina (ppb) | Fumonisinias (ppm) | Porcentaje de humedad % | Temperatura °C |
|----------------------------|------------|--------|------------------|--------------------|-------------------------|----------------|
| Chichím (3564 msnm) | A1 | A_C 0 | 7.2 | 1.4 | 12.6 | 10.7 |
| | | A_C 30 | 10.6 | 1.2 | 15.4 | 13.43 |
| | | A_C 60 | <2 | 3.3 | 14.53 | 14 |
| | | A_C 90 | 15 | 0.8 | 15.9 | 16.03 |
| | A2 | A_C 0 | 6.03 | 2.9 | 15.7 | 9.3 |
| | | A_C 30 | 4.59 | 3.3 | 14.7 | 9.87 |
| | | A_C 60 | <2 | <0.3 | 15 | 12.6 |
| | | A_C 90 | 8.56 | 1.1 | 15.53 | 13.8 |

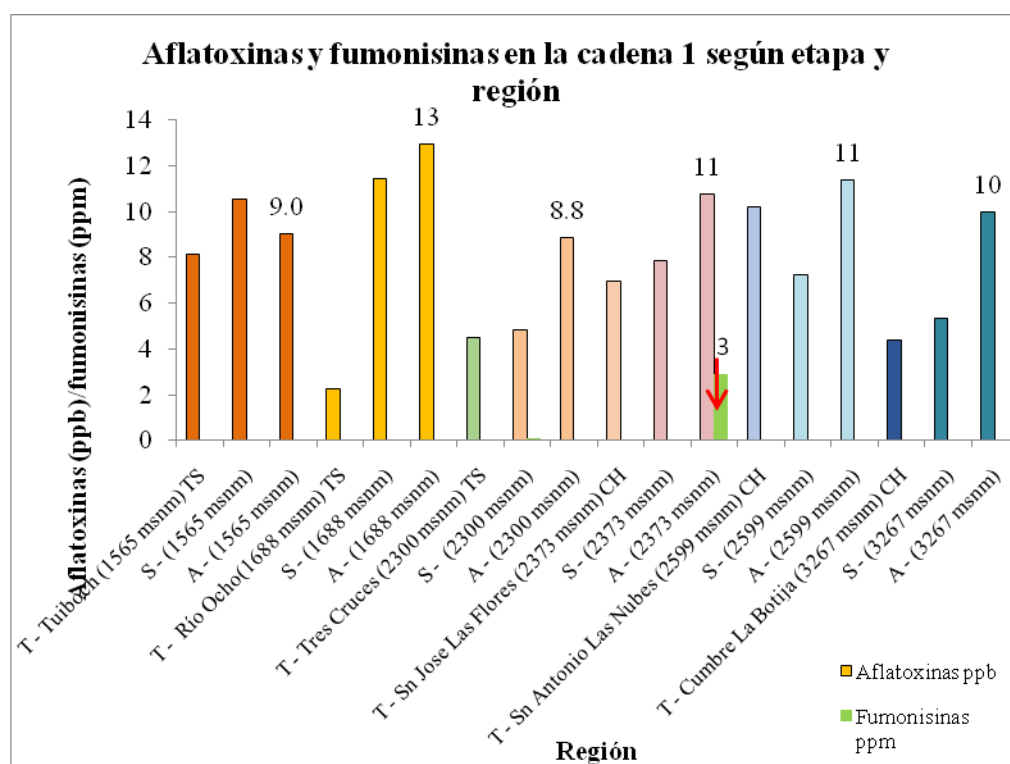
Continuación **Cuadro 15.** Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en maíz cosechado y almacenado (cadena 2) en aldeas del municipio de Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala.

| Municipio (Altura) | Agricultor | Etapas | Aflatoxina (ppb) | Fumonisinias (ppm) | Porcentaje de humedad % | Temperatura °C |
|--------------------------------|------------|---------|------------------|--------------------|-------------------------|----------------|
| Chemal II (3581 msnm) | B3 | A_C 0 | 8.92 | 3.4 | 16.6 | 10.8 |
| | | A_C 30 | 12.8 | 1.6 | 17.03 | 15.2 |
| | | A_C 60 | 8.8 | 1.3 | 17 | 11.3 |
| | | A_C 90 | 12.7 | 1 | 16.47 | 11.83 |
| | B4 | A_C 0 | <2 | <0.3 | 15.7 | 10.3 |
| | | A_C 30 | 10.6 | 0.4 | 14.5 | 9 |
| | | A_C 60 | 24.7 | 1.7 | 14.27 | 14.37 |
| | | A_C 90 | <2 | 4.3 | 13.5 | 12.77 |
| Chicoy (2300 msnm) | C5 | A_C 0 | 5.38 | 5 | 15.1 | 16.3 |
| | | A_C 30 | 13.3 | 1.4 | 15.07 | 14.43 |
| | | A_C 60 | 7.95 | 1.9 | 14.93 | 19.03 |
| | | A_C 90 | 16.5 | 3.5 | 15.03 | 18.1 |
| | | A_C 120 | 14.4 | <0.3 | 14.4 | 17.33 |
| | | A_C 150 | <2 | <0.3 | 14.65 | 16.43 |
| | | A_C 180 | 11.9 | 0.4 | 13.97 | 15.6 |
| | C6 | A_C 0 | <2 | 0.8 | 15.6 | 18 |
| | | A_C 30 | 10.8 | 2.1 | 13.43 | 16.47 |
| | | A_C 60 | 13.5 | 0.7 | 15.07 | 16.33 |
| | | A_C 90 | 18.1 | 2.9 | 14.4 | 15.97 |
| | | | | | | |
| Tres Cruces (2300 msnm) | D10 | A_S 0 | <2 | 0.6 | 18.7 | 12.7 |
| | | A_S 30 | <2 | 1.1 | 18.5 | 11.4 |
| | | A_S 60 | 12.4 | 2.6 | 17.5 | 11.5 |
| | | A_S 90 | 10 | 1.8 | 18.63 | 8.87 |
| Tuibocho (1565 msnm) | E13 | S | 8.18 | 1.2 | 14.4 | 17.7 |
| | | A_S 0 | 4.72 | <0.3 | 14.4 | 17.7 |
| | | A_S 30 | <2 | 0.9 | 14.7 | 16.2 |
| | | A_S 60 | 9.64 | <0.3 | 16 | 21.23 |
| | F16 | A_S 0 | 12.9 | 0.9 | 15.1 | 18.07 |
| | | A_S 30 | 4.07 | <0.3 | 15.1 | 23.73 |
| | | A_S 60 | 11.9 | <0.3 | 15.3 | 21.53 |
| | | A_S 90 | 85.3 | 2 | 15.1 | 21.07 |

En el Cuadro 15 cada agricultor tiene un código de identificación (letra-número), si comparten la literal pertenecen a la misma aldea. En la etapa la A es almacenamiento. La combinación letra_letra número señala el tipo y tiempo (días) de almacenamiento. Si es A_C es almacenamiento es en costales y A_S, en silo.

4. Gráficos de medias de cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en c1 y c2: El Gráfico 1 presenta las medias de cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas de la cadena uno de los agricultores de Chiantla y Todos Santos Cuchumatán. Los valores son fluctuantes, la mayoría se concentra entre 3 y 13 ppb para aflatoxinas. En general en las etapas de almacenamiento se observa un incremento en aflatoxinas respecto a la etapa de tapisca. La media más baja fue para Río Ocho en la etapa de tapisca (2.3 ppb). Los datos se presentaron según la región en orden creciente de altitud para identificar alguna tendencia. Los valores mostrados de la cuantificación de aflatoxinas en la etapa de almacenamiento no muestran ninguna tendencia creciente conforme incrementa la altura de la región. Las columnas de color naranja y amarillo corresponden a los climas cálidos; las de tonos rosa a clima templado – frío; las de tonos azules son las ubicadas a mayor altura y climas más fríos. Fumonisinas fueron detectadas en dos de las seis comunidades estudiadas. En San José las Flores, Chiantla (2373 msnm) etapa de almacenamiento fue el único sitio en el cual se detectaron fumonisinas (3 ppm) por encima de 2 ppm. En Tres Cruces, Todos Santos en la etapa de selección también se detectó fumonisinas (1.2 ppm) por debajo de 2 ppm.

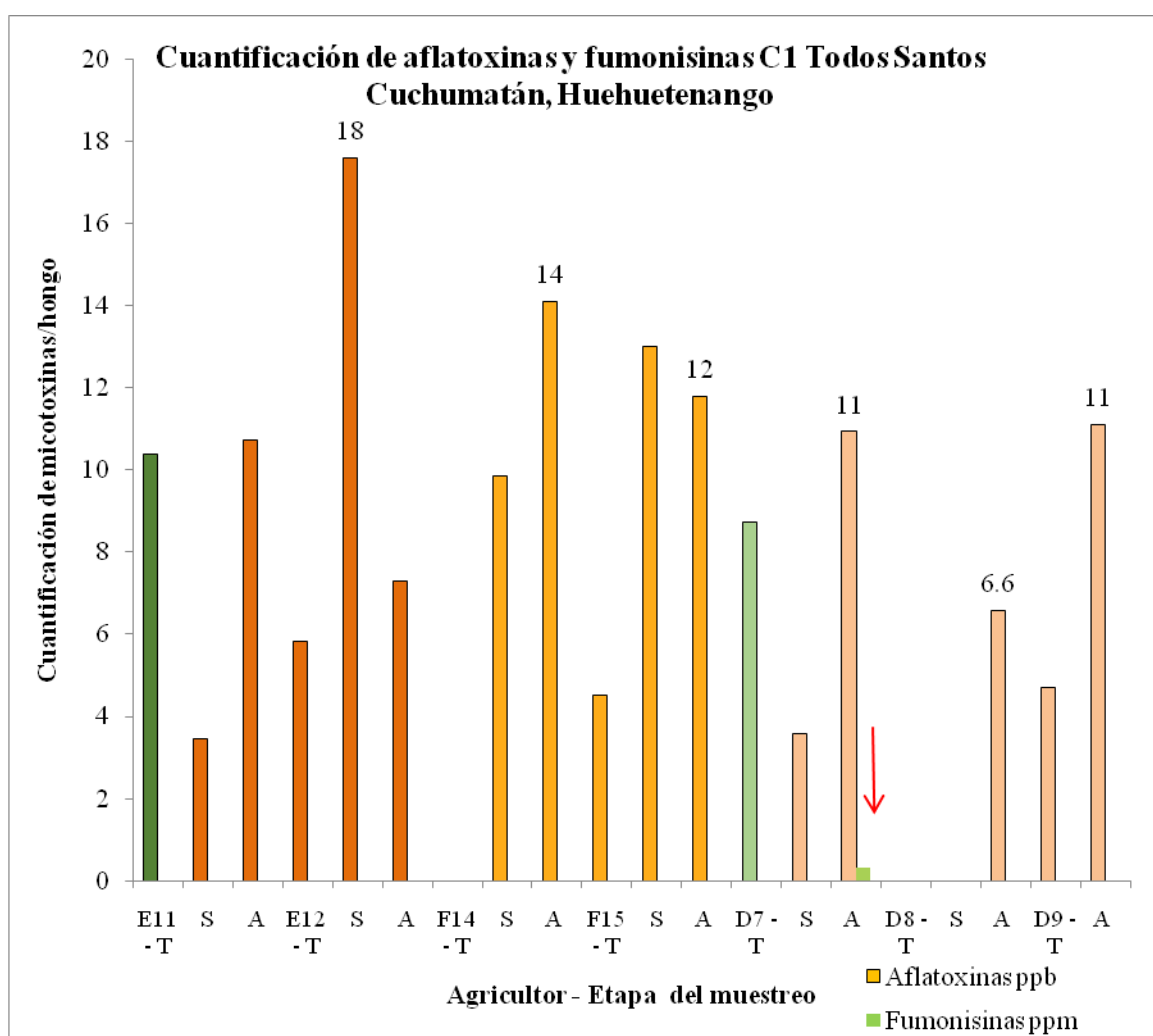
Gráfico 1. Medias de Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas de la cadena uno en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala.



En el Gráfico 1 T es la etapa tapisca; S, selección y A almacenamiento.

El Gráfico 2 y 3 presentan la cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en la cadena uno en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán. De los 13 agricultores del estudio solo a las muestras de los agricultores D7, G17 y G18 se les detectó fumonisinas por encima del límite de detección 0.3 ppm. Para aflatoxinas los valores fluctúan de 3 ppb a 18 ppb. Los agricultores están presentados en orden ascendente según la altura a la que cosechan. No se observó ningún patrón sobre micotoxinas en relación a la altura post cosecha de maíz.

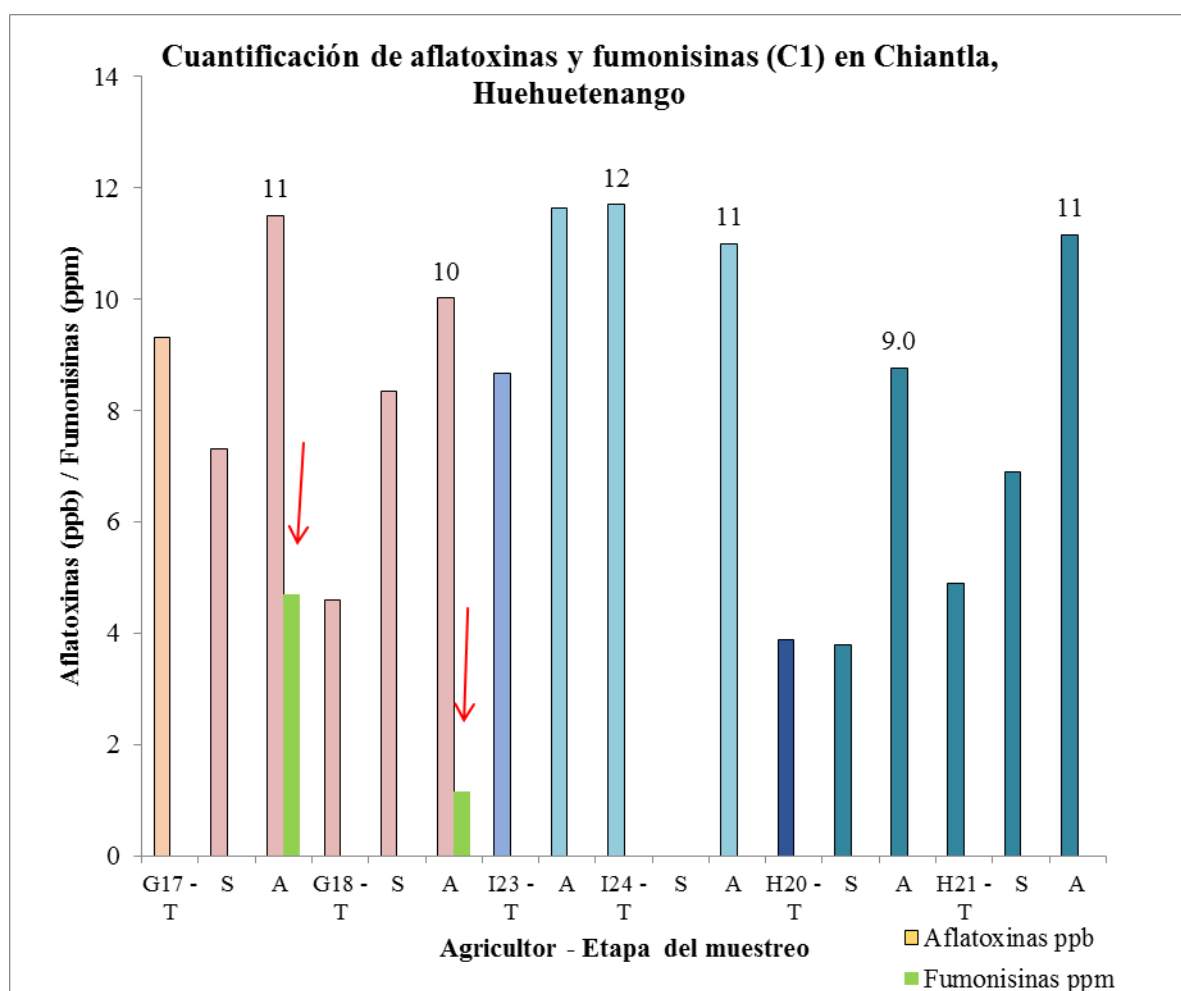
Gráfico 2. Medias de cuantificación de fumonisinas y aflatoxinas en la cadena uno según el agricultor y la etapa en Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala.



En el Gráfico 2 T es la etapa tapisca; S, selección y A almacenamiento. Los colores representan el tipo de clima cálido – templado (naranja y amarillo) y templado frío (rosa pálido).

El Gráfico 3 presenta la aflatoxinas y fumonisinas según el agricultor y la etapa post cosecha. Las aflatoxinas durante el almacenamiento no presentan tendencia creciente o decreciente según el tipo de clima – altura. En 6/6 de los agricultores en la etapa de almacenamiento las aflatoxinas igualan o superan las 9.0 ppb. Las fumonisinas fueron superiores a 1 ppm para 2/6 agricultores (G17 y G18) durante el almacenamiento.

Gráfico 3. Medias de cuantificación de fumonisinas y aflatoxinas en la cadena uno según el agricultor y la etapa en Chiantla, Huehuetenango, Guatemala.

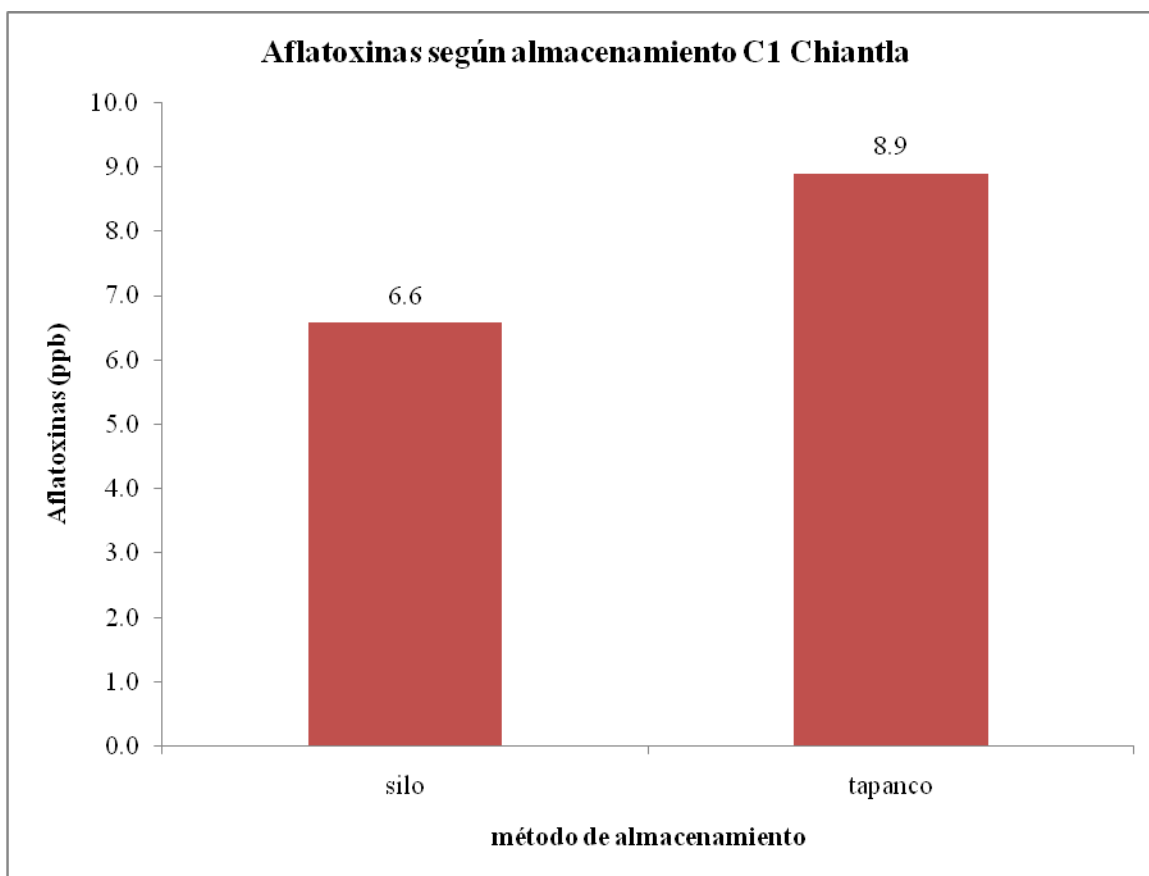


En el Gráfico 3 T es la etapa tapisca; S, selección y A almacenamiento. Los colores representan el tipo de clima templado (rosa) y frío (rosa azules).

El Gráfico 4 muestra datos sobre tipo de almacenamiento en Chiantla cadena uno. La media de aflatoxinas es aproximadamente un 25% mayor si el maíz es almacenado en tapanco comparado con el almacenamiento en un silo.

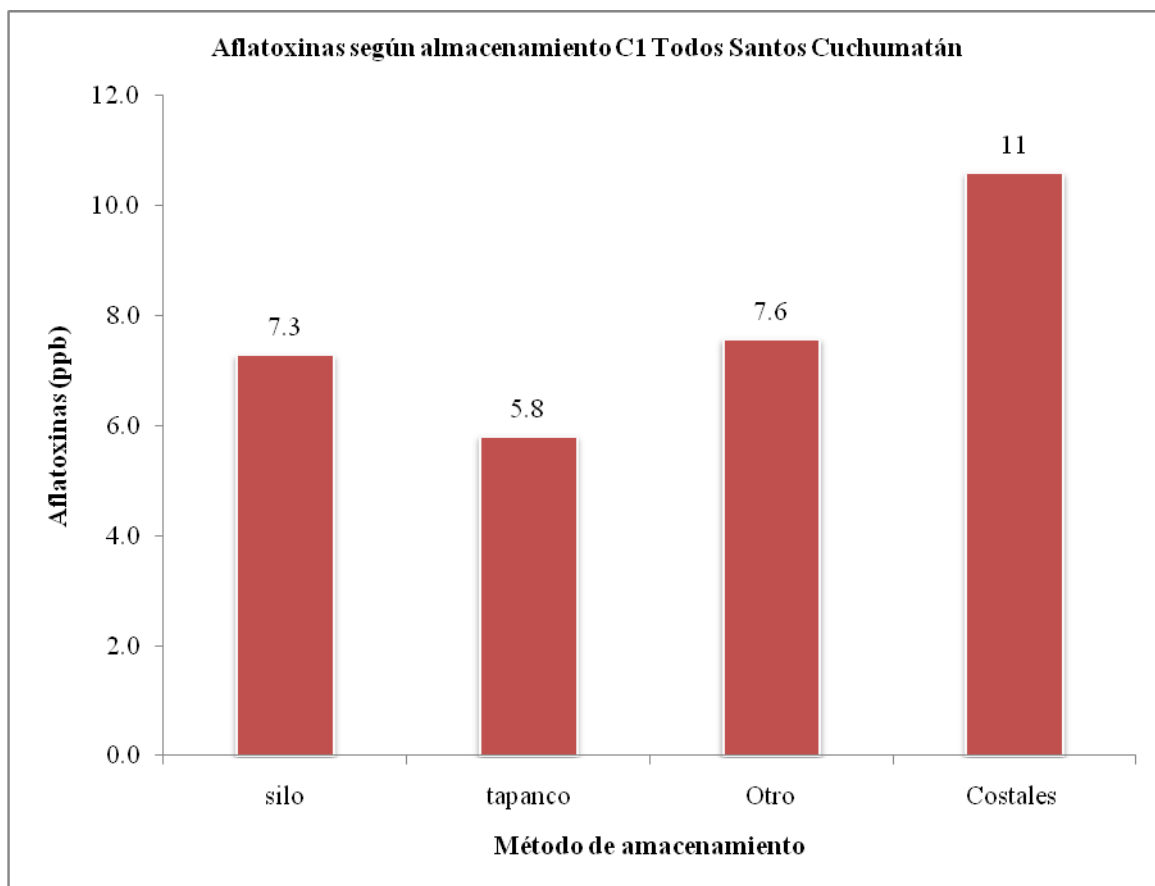
Gráfico 4. Medias de cuantificación de aflatoxinas en la cadena uno según el tipo de almacenamiento en Chiantla, Huehuetenango, Guatemala.

En el Gráfico 4 el silo y el tapanco son las dos técnicas de almacenamiento post cosecha de maíz.



El Gráfico 5 muestra datos sobre tipo de almacenamiento en Todos Santos Cuchumatán cadena uno. La media de aflatoxinas es mayor si el maíz es almacenado en costales comparado con el almacenamiento en costales o un silo. El otro tipo de almacenamiento se refiere a maíz colocado sobre vigas de madera. El silo comparado con los costales presenta una media de aflatoxinas (7.3 ppb) ~ 45% menor. El silo y el otro método de almacenamiento (vigas) son muy similares. El tapanco es el almacenamiento con menos aflatoxinas, presenta un 21% menos respecto al silo y un 53% respecto a los costales.

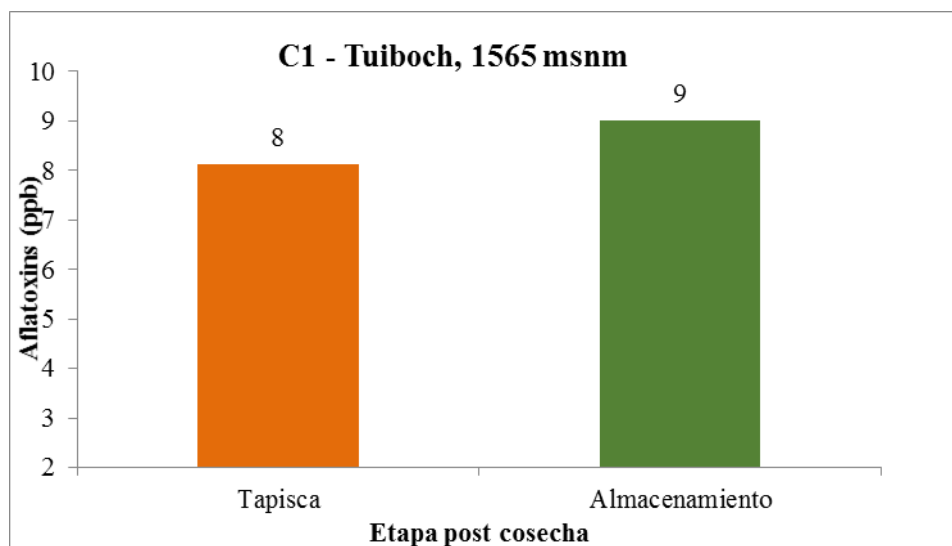
Gráfico 5. Medias de cuantificación de aflatoxinas en la cadena uno según el tipo de almacenamiento en Todos Santos Chuchumatán, Huehuetenango, Guatemala.



En el Gráfico 5 otro se refiere al almacenamiento de maíz sobre vigas de madera.

A partir del Gráfico 6 al 11 se presentan los resultados sobre cuantificación de aflatoxinas al inicio (tapisca) y durante el almacenamiento de maíz para la cadena uno en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán. En general en todas las comunidades durante la etapa de almacenamiento hubo un alza en la cantidad de aflatoxinas. En Tuiboch, 1565 msnm (Gráfico 6) durante el almacenamiento hubo un incremento del 12% de aflatoxinas, respecto a la tapisca.

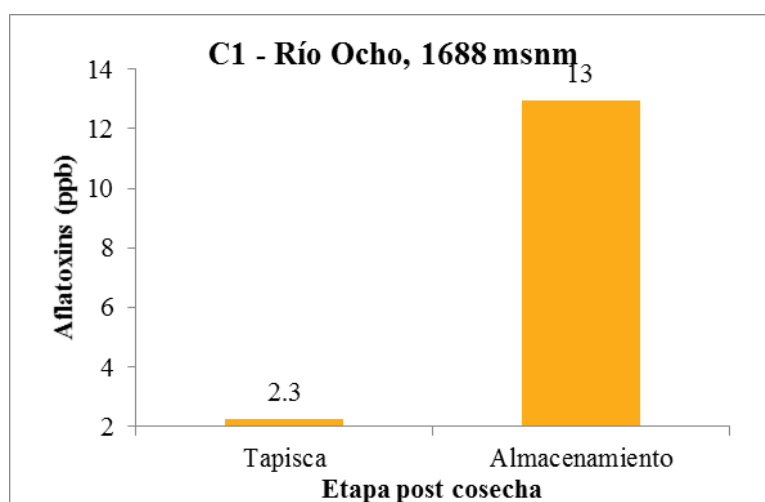
Gráfico 6. Comparación de la cantidad de aflatoxinas entre la tapisca y almacenamiento de maíz en Tuiboch C1 (1565 msnm).



En la Gráfica 6 la tapisca se refiere al corte de la mazorca cuando está lista y el almacenamiento a todo el tiempo durante el cual se conservó el maíz para consumo.

En Río Ocho, 1688 msnm (Gráfico 7) durante el almacenamiento las aflatoxinas incrementaron un 5.7 veces (567%), respecto a la tapisca.

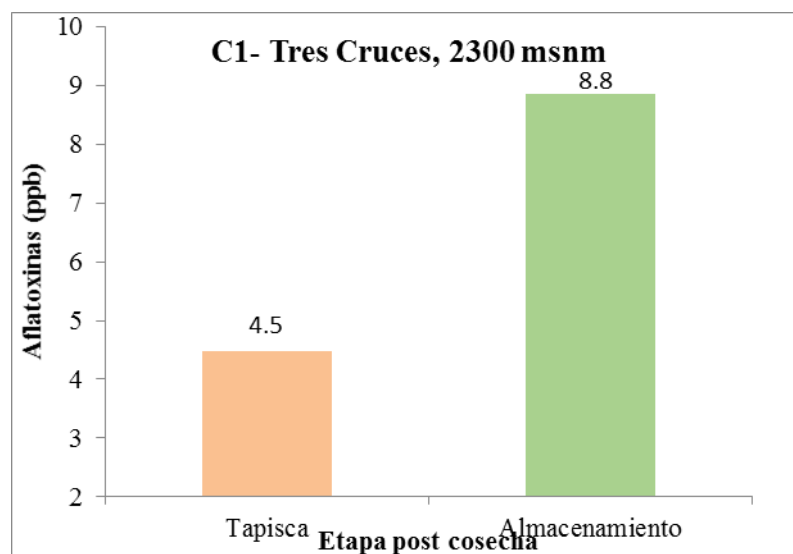
Gráfico 7. Comparación de la cantidad de aflatoxinas entre la tapisca y almacenamiento de maíz en Río Ocho C1 (1688 msnm).



En la Gráfica 7 la tapisca se refiere al corte de la mazorca cuando está lista y el almacenamiento a todo el tiempo durante el cual se conservó el maíz para consumo.

En Tres Cruces, 2300 msnm (Gráfico 8) durante el almacenamiento las aflatoxinas incrementaron un 95%, respecto a la tapisca.

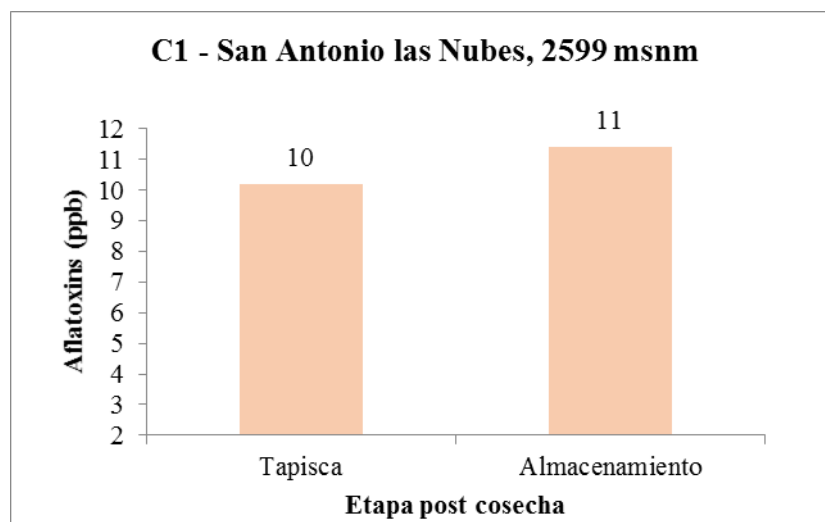
Gráfico 8. Comparación de la cantidad de aflatoxinas entre la tapisca y almacenamiento de maíz en Tres Cruces C1 (2300 msnm).



En la Gráfica 8 la tapisca se refiere al corte de la mazorca cuando está lista y el almacenamiento a todo el tiempo durante el cual se conservó el maíz para consumo.

En San Antonio las Nubes, 2599 msnm (Gráfico 9) durante el almacenamiento las aflatoxinas incrementaron un 10%, respecto a la tapisca.

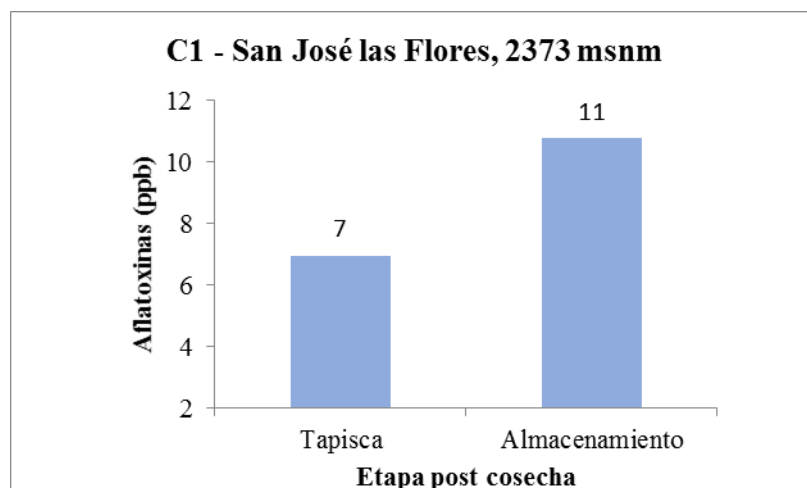
Gráfico 9. Comparación de la cantidad de aflatoxinas entre la tapisca y almacenamiento de maíz en San Antonio las Nubes C1 (2599 msnm).



En la Gráfica 9 la tapisca se refiere al corte de la mazorca cuando está lista y el almacenamiento a todo el tiempo durante el cual se conservó el maíz para consumo.

En San José las Flores, 2373 msnm (Gráfico 10) durante el almacenamiento las aflatoxinas incrementaron un 57%, respecto a la tapisca.

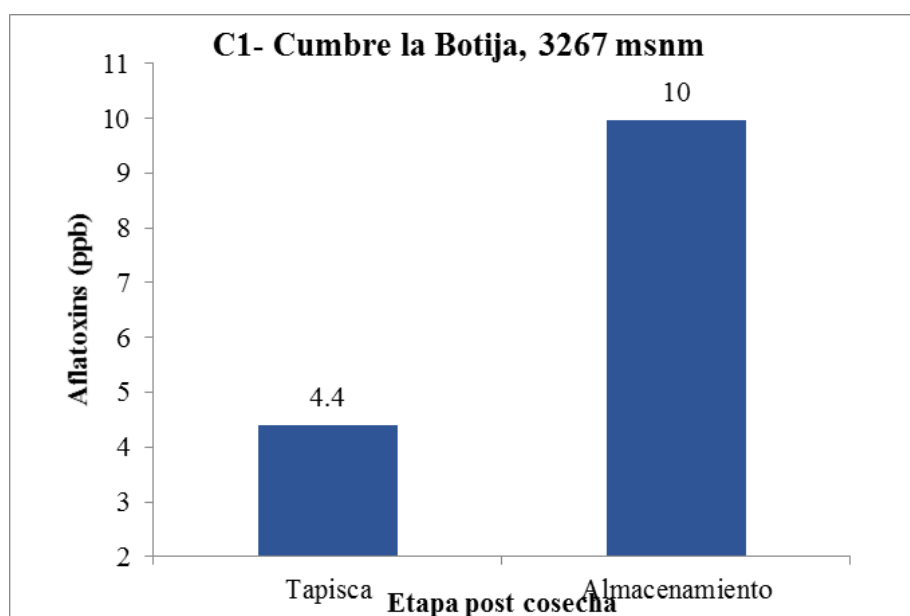
Gráfico 10. Comparación de la cantidad de aflatoxinas entre la tapisca y almacenamiento de maíz en San José las Flores C1 (2373 msnm).



En la Gráfica 10 la tapisca se refiere al corte de la mazorca cuando está lista y el almacenamiento a todo el tiempo durante el cual se conservó el maíz para consumo.

En Cumbre la Botija, 2373 msnm (Gráfico 11) durante el almacenamiento las aflatoxinas incrementaron un 227% (~2.3 veces) respecto a la tapisca.

Gráfico 11. Comparación de la cantidad de aflatoxinas entre la tapisca y almacenamiento de maíz en Cumbre la Botija C1 (3267 msnm).

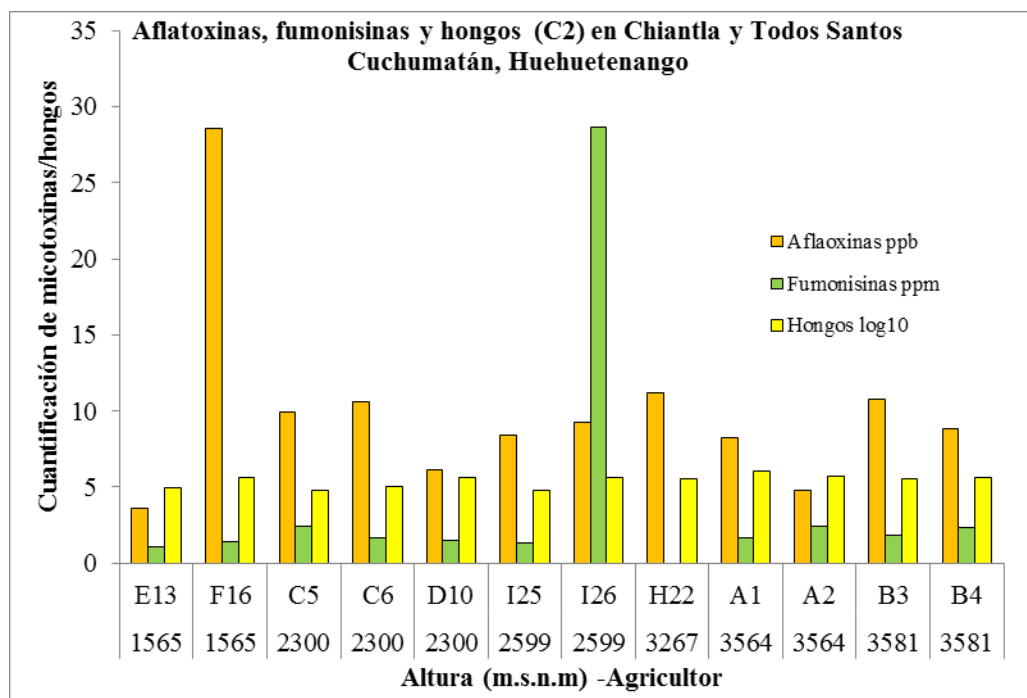


En la Gráfica 11 la tapisca se refiere al corte de la mazorca cuando está lista y el almacenamiento a todo el tiempo durante el cual se conservó el maíz para consumo.

A continuación en el Gráfico 12 presenta la cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en la cadena dos que corresponde a maíz comprado y almacenado. Los valores de fumonisinas se mantienen por encima del límite de cuantificación del equipo (>0.3 ppm). Para aflatoxinas hay fluctuaciones entre 5 y 15 ppb. Hay puntos que sobrepasan a todos los datos; estos son para aflatoxinas y fumonisinas con el agricultor F16 e I26 respectivamente.

En la gráfica se incluye el log10 del conteo fúngico, el conjunto de datos no señala ningún tipo de correlación. La cantidad de hongos permanece sin cambios drásticos. En función de la altura de almacenamiento no hay ningún patrón, los datos van del sitio más bajo hasta el de mayor altitud (m.s.n.m).

Gráfico 12. Medias de Cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas de la cadena dos en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala.

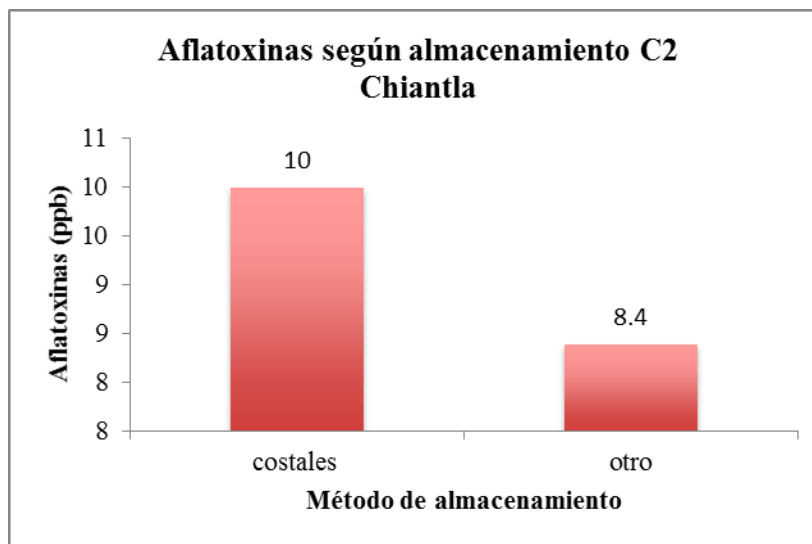


El Gráfico 12 presenta en el eje x a los agricultores según su código de trabajo interno referirse al Cuadro 3 para verificar su localización (altitud).

A partir del Gráfico 13 al 16 se presentan los resultados sobre cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas según el tipo de almacenamiento de maíz para la cadena dos en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán. En general en todas las comunidades el maíz almacenado en silo y vigas de madres (otro) presenta una menor cantidad de aflatoxinas.

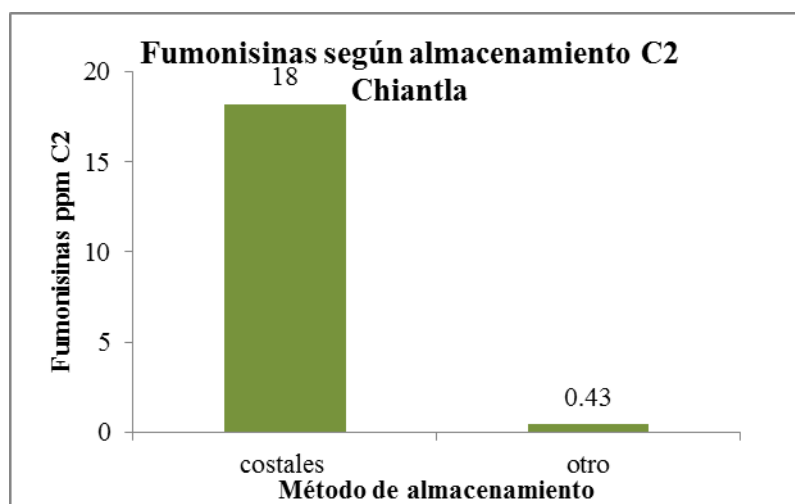
El Gráfico 13 señala que el maíz almacenado en costales presenta un 19% más de aflatoxinas que el almacenado sobre vigas de madera (otro).

Gráfico 13. Aflatoxinas según el tipo de almacenamiento en la cadena dos Chiantla, Huehuetenango.



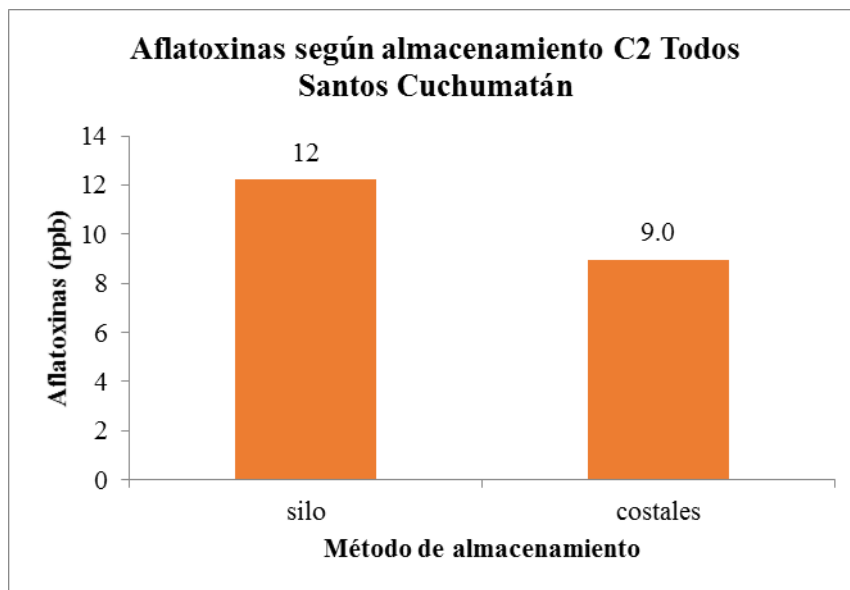
El Gráfico 14 señala que el maíz almacenado en costales presenta 42 veces más fumonisinas que el almacenado sobre vigas de madera (otro).

Gráfico 14. Fumonisinas según el tipo de almacenamiento en la cadena dos Chiantla, Huehuetenango.



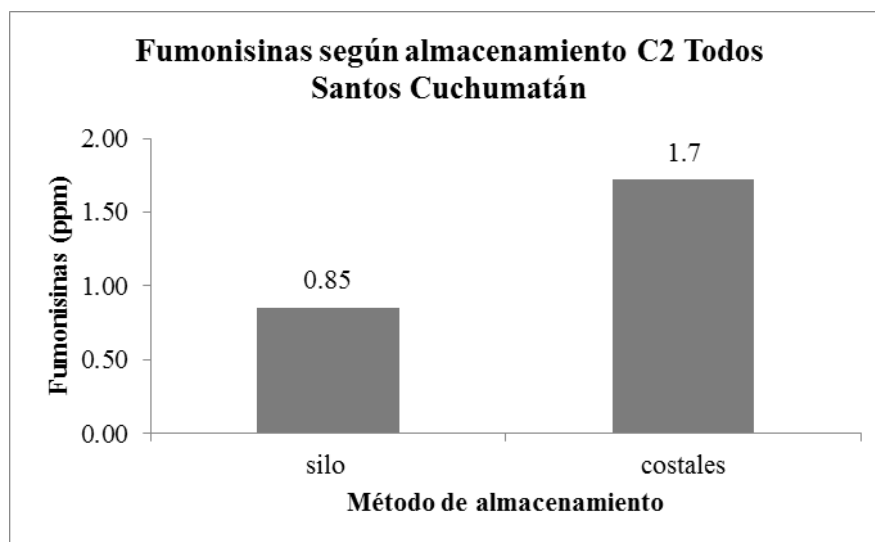
El Gráfico 15 señala que el maíz almacenado en silo tiene 33% más de aflatoxinas que el almacenado sobre vigas de madera (otro).

Gráfico 15. Aflatoxinas según el tipo de almacenamiento en la cadena dos en Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango.



El Gráfico 16 señala que el maíz almacenado en silo tiene 100% más de aflatoxinas que el almacenado sobre vigas de madera (otro).

Gráfico 16. Fumonisinias según el tipo de almacenamiento en la cadena dos en Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango.



5. Pruebas de normalidad, varianza constante e independencia: A continuación se presenta el Cuadro 16 que incluye los resultados sobre pruebas de normalidad y homocedasticidad para la cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en C1 y C2. A partir de la conclusión de la prueba se indica que solo los resultados sobre aflatoxinas para C1 y C2 cumplen con presentar una distribución normal y varianza constante. En base a los supuestos de normalidad y homocedasticidad se realizaron las pruebas paramétricas.

Cuadro 16. Evaluación de normalidad y varianza constante para la cuantificación de Aflatoxinas y fumonisinas en la cadena uno y dos.

| Prueba | Kolmogorov-Smirnov | Shapiro-Wilk | Levene | Conclusión |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------|------------------|--|
| Criterio a evaluar | Normalidad | Normalidad | homocedasticidad | |
| Valor-p Aflatoxinas C1 | > 0.2 | > 0.952 | 0.743 | Normalidad- Varianza constante |
| Valor-p Fumonisinas C1 | <0.05 | < 0.05 | 0.286 | No normalidad- varianza constante |
| Valor-p Aflatoxinas C2 | > 0.2 | > 0.05 | 0.870 | Normalidad- varianza constante |
| Valor-p Fumonisinas C2 | <0.05 | < 0.05 | 0.718 | No Normalidad – varianza constante |

El Cuadro 16 presenta los resultados de las pruebas de normalidad y homocedasticidad empleando alfa de 0.05. Para las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk se trabajó con H_0 : datos se ajustan a una distribución normal. En la prueba de Levene H_0 : datos presentan varianza constante.

6. Estadística descriptiva: A continuación se presenta la estadística descriptiva sobre la cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas en la cadena uno. Los valores promedio de aflatoxinas fueron 7.78 ppb y para fumonisinas 0.161 ppm. Según el promedio de las 85 muestras analizadas las aflatoxinas y fumonisinas no superan los límites permitidos por la FDA.

Cuadro 17. Estadística descriptiva Aflatoxinas y Fumonisinias en la cadena uno de Chiantla y Todos Santos Cuchumatán.

| | | Descriptivos | Estadístico |
|--------------|---|-----------------|-------------|
| Aflatoxinas | Media | | 7.78±0.684 |
| C1 | Intervalo de confianza para la media al 95% | Límite inferior | 6.39 |
| | | Límite superior | 9.17 |
| | Mediana | | 8.52 |
| | Desv. típ. | | 4.22 |
| | Rango | | 17.60 |
| | Asimetría | | -.178 |
| | Curtosis | | -.287 |
| Fumonisinias | Media | | .161±0.126 |
| C1 | Intervalo de confianza para la media al 95% | Límite inferior | -.094 |
| | | Límite superior | .418 |
| | Mediana | | .0000 |
| | Desv. típ. | | .779 |
| | Rango | | 4.70 |
| | Asimetría | | 5.67 |
| | Curtosis | | 33.26 |

La estadística descriptiva se basa en el resumen presentado al realizar un análisis de varianza de una vía en SPSS.

A continuación se presenta la estadística descriptiva sobre la cuantificación de aflatoxinas y fumonisinias en la cadena dos. Los valores promedio de aflatoxinas fueron 9.93 ± 1.65 ppb y para fumonisinias 4.79 ± 2.80 ppm. En este grupo de 59 muestras de maíz, solo el promedio de fumonisinias superan el límite máximo permitido por la FDA (2 ppm). Específicamente, 16/59 muestras superan las 2 ppm de fumonisinias permitidas por la FDA.

Cuadro 18. Estadística descriptiva Aflatoxinas y Fumonisinias en la cadena dos (C2) de Chiantla y Todos Santos Cuchumatán.

| | | Descriptivo | Estadístico |
|-------------|---|-----------------|-------------|
| Aflatoxinas | Media | | 9.93±1.65 |
| C2 | Intervalo de confianza para la media al 95% | Límite inferior | 6.63 |
| | | Límite superior | 13.24 |
| | Mediana | 9.02 | |
| | Desv. típ. | 12.09 | |
| | Rango | 85.30 | |
| | Asimetría | 4.67 | |
| | Curtosis | 28.88 | |
| | Fumonisinias | Media | |
| C2 | Intervalo de confianza para la media al 95% | Límite inferior | -8.19 |
| | | Límite superior | 10.42 |
| | Mediana | 1.20 | |
| | Desv. típ. | 20.58 | |
| | Rango | 150.00 | |
| | Asimetría | 6.92 | |
| | Curtosis | 49.23 | |

La estadística descriptiva se basa en el resumen presentado al realizar un análisis de varianza de una vía en SPSS.

7. Análisis de varianza y comparación entre medias: El Cuadro 19 presenta una prueba t para las medias de aflatoxinas según distintos criterios (etapa post cosecha, tipo de almacenamiento y altura). A un nivel de confianza del 95% se determinó que existe diferencias estadísticamente significativas para aflatoxinas entre la etapa de tapisca y almacenamiento tanto para la cadena uno como para la dos. Respecto al tipo de almacenamiento en la cadena uno el análisis de varianza dio una probabilidad mayor a 0.05 señalando que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los métodos de almacenamiento. Se determinó que sí existe diferencia significativa entre el silo el tapanco y los costales. En cuanto a las alturas no se detectó diferencias estadísticamente significativas (valor $-p$ menor a alfa de 0.05) entre las tres alturas.

Cuadro 19. Prueba T para evaluar diferencias en aflatoxinas en cadena uno (C1) según etapa, tipo de almacenamiento y altura.

| Criterio de comparación | Etapa – Almacenamiento - Altura | Media cuadrática-principal (ppb) | Desviación estándar-principal | Nivel de Sigificancia |
|---------------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| AFLATOXINAS | Etapa (Prueba T muestras relacionadas) | Etapa | 5.9±1.0 | < 0.05 |
| | Almacenamiento | 8.1±0.67 | 3.7 | |
| Tipo de almacenamiento (ANOVA) | Silo | 6.9±0.35 | 0.49 | > 0.05 |
| | Tapanco | 8.1±0.10 | 2.6 | |
| | Costales | 11±1.2 | 1.7 | |
| | Otro | 6.9±2.0 | 2.9 | |
| Altura (msnm) (ANOVA) | H1 (1565 – 1688 msnm) | 7.0±1.4 | 3.9 | > 0.05 |
| | H2 (2300, 2373, 2599 msnm) | 7.5±0.87 | 3.3 | |
| | H3 (3267 msnm) | 5.5±0.75 | 1.5 | |

El Cuadro 19 se presenta los resultados del análisis de comparación de medias a un nivel de significancia de 0.05 como criterio de rechazo. Ho= igualdad de medias. Ha: las medias no son iguales.

El Cuadro 20 presenta los resultados de comparación entre etapa, tipo de almacenamiento y altura para aflatoxinas en la cadena dos. Para la etapa se obtuvieron los mismos resultados que en la cadena uno indicando que durante el almacenamiento aumenta la cantidad de aflatoxinas significativamente. En contraste, la probabilidad de diferencia según el tipo de almacenamiento y altura señalaron que aunque sí existe una diferencia al evaluar sus medias esta no es estadísticamente significativa.

Cuadro 20. Prueba T para evaluar diferencias en aflatoxinas en cadena dos (C2) según etapa, tipo de almacenamiento y altura.

| Criterio de comparación Aflatoxinas C2 | Etapa – Almacenamiento - Altura | Media cuadrática (ppb) | Desviación estándar | Nivel de Sigificancia |
|--|---------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------------------|
| Etapa (Prueba T muestras relacionadas) | Almacenamiento (t= 0) | 6.0±1.2 | 4.1 | <0.05 |
| | Almacenamiento (final) | 11±2.2 | 7.7 | |
| Tipo de almacenamiento (ANOVA) | Silo | 11±4.9 | 12 | > 0.05 (Valor-p mayor a alfa) |
| | Costales | 8.0±1.0 | 4.0 | |
| | Otro | 7.9±1.5 | 2.2 | |
| Altura (msnm) (ANOVA) | H1 (1565 – 1688 msnm) | 15±7.0 | 13 | >0.05 (Valor p > alfa) |
| | H2 (2300, 2373, 2599 msnm) | 7.2±1.4 | 4.5 | |
| | H3 (3267 msnm) | 7.9±1.2 | 3.8 | |

El Cuadro 20 se presenta los resultados del análisis de comparación de medias a un nivel de significancia de 0.05 como criterio de rechazo. Ho= igualdad de medias. Ha: las medias no son iguales.

8. Estimación de ingesta diaria de aflatoxinas y fumonisinas: En el Cuadro 21 se presenta la ingesta diaria estimada de aflatoxinas y fumonisinas en hombres y mujeres en la cadena uno. Las dosis diaria de aflatoxinas para hombres y mujeres se mantienen por encima de 0.001 $\mu\text{g} / (\text{kg peso corporal} * \text{d})$, con un rango entre 0.001 y 0.065 $\mu\text{g} / (\text{kg peso corporal} * \text{d})$. En cambio, la dosis de fumonisinas oscila entre 0 y 13.7 ($\mu\text{g} / (\text{kg peso corporal} * \text{d})$).

Cuadro 21. Estimación de Ingesta diaria de Aflatoxinas y fumonisinas en hombres y mujeres de la cadena uno en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán.

| Micotoxina | Etapa -Región (altura) | N | Media | Dosis diaria en hombres ($\mu\text{g} / (\text{kg peso corporal} * \text{d})$) | Dosis diaria en mujeres ($\mu\text{g} / (\text{kg peso corporal} * \text{d})$) |
|--|--------------------------------|---|-------|--|--|
| Aflatoxinas C1 (ppb, $\mu\text{g}/\text{Kg}$) | T - Tres Cruces (2300 msnm) TS | 3 | 4.47 | 0.022 | 0.01 |
| | S - (2300 msnm) | 3 | 4.84 | 0.024 | 0.01 |
| | A - (2300 msnm) | 2 | 8.85 | 0.044 | 0.03 |
| | T – Tuiboch (1565 msnm) TS | 2 | 8.11 | 0.041 | 0.02 |
| | S - (1565 msnm) | 2 | 10.53 | 0.053 | 0.03 |
| | A - (1565 msnm) | 2 | 9.01 | 0.045 | 0.03 |

Continuación **Cuadro 21.** Estimación de Ingesta diaria de Aflatoxinas y fumonisinas en hombres y mujeres de la cadena uno en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán.

| Micotoxina | Etapa -Región (altura) | N | Media | Dosis diaria en hombres (µg / (kg peso corporal * d) | Dosis diaria en mujeres (µg / (kg peso corporal * d) |
|---------------------------------------|---|--------------------------------|-------|--|--|
| Aflatoxinas C1 (ppb, µg/Kg) | T - Río Ocho (1688 msnm) TS | 2 | 2.26 | 0.011 | 0.01 |
| | S - (1688 msnm) | 2 | 11.43 | 0.057 | 0.03 |
| | A - (1688 msnm) | 2 | 12.95 | 0.065 | 0.04 |
| | T - Sn Jose Las Flores (2373 msnm) CH | 2 | 6.96 | 0.035 | 0.02 |
| | S - (2373 msnm) | 2 | 7.84 | 0.039 | 0.02 |
| | A - (2373 msnm) | 2 | 10.77 | 0.054 | 0.03 |
| | T - Cumbre La Botija (3267 msnm) CH | 2 | 4.4 | 0.022 | 0.01 |
| | S - (3267 msnm) | 2 | 5.34 | 0.027 | 0.02 |
| | A - (3267 msnm) | 2 | 9.96 | 0.05 | 0.03 |
| | T - Sn Antonio Las Nubes (2599 msnm) CH | 2 | 10.19 | 0.051 | 0.03 |
| | S - (2599 msnm) | 1 | 7.22 | 0.036 | 0.02 |
| | A - (2599 msnm) | 2 | 6.19 | 0.031 | 0.02 |
| | Total | 37 | 7.69 | 0.706 | 0.02 |
| | Fumonisinias C2 (ppm,µg/g) | T - Tres Cruces (2300 msnm) TS | 3 | 0 | 0 |
| S - (2300 msnm) | | 3 | 0.1 | 0.46 | 0.26 |
| A - (2300 msnm) | | 2 | 0 | 0 | 0 |
| T - Tuiboch (1565 msnm) TS | | 2 | 0 | 0 | 0 |
| S - (1565 msnm) | | 2 | 0 | 0 | 0 |
| A - (1565 msnm) | | 2 | 0 | 0 | 0 |
| T - Río Ocho(1688 msnm) TS | | 2 | 0 | 0 | 0 |
| S - (1688 msnm) | | 2 | 0 | 0 | 0 |
| A - (1688 msnm) | | 2 | 0 | 0 | 0 |
| T - Sn Jose Las Flores (2373 msnm) CH | | 2 | 0 | 0 | 0 |
| S - (2373 msnm) | | 2 | 0 | 0 | 0 |
| A - (2373 msnm) | | 2 | 2.93 | 13.46 | 7.68 |

Continuación **Cuadro 21.** Estimación de Ingesta diaria de Aflatoxinas y fumonisinas en hombres y mujeres de la cadena uno en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán.

| Micotoxina | Etapa -Región (altura) | N | Media | Dosis diaria en hombres ($\mu\text{g} / (\text{kg peso corporal} * \text{d})$) | Dosis diaria en mujeres ($\mu\text{g} / (\text{kg peso corporal} * \text{d})$) |
|--|--|----|--------|--|--|
| Fumonisin C2 (ppm, $\mu\text{g}/\text{g}$) | T - Cumbre La Botija (3267 msnm) CH | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | S - (3267 msnm) | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | A - (3267 msnm) | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | T - Sn Antonio Las Nubes (2599 msnm) CH | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | S - (2599 msnm) | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | A - (2599 msnm) | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | Total | 37 | 0.1662 | 0.765 | 0.44 |

Los cálculos de ingesta diaria para hombres están basados en un consumo promedio de 600 g de maíz y un peso corporal de 60 kg. Para las mujeres se asume un consumo promedio de 0.314 g de maíz y un peso corporal de 55 kg. Se consideró que el maíz consumido fue previamente nixtamalizado suponiendo una reducción de aflatoxinas del 50% y un 54% para fumonisinas (Fuente: Torres *et al*, 2007; Palencia *et al*, 2003; FAO, 2015).

En el Cuadro 22 se presenta la ingesta diaria estimada de aflatoxinas y fumonisinas en hombres y mujeres en la cadena dos. Las dosis diaria de aflatoxinas para hombres y mujeres se mantienen por encima de 0.01 $\mu\text{g} / (\text{kg peso corporal} * \text{d})$. En cambio la dosis de fumonisinas oscila entre 0 y 131.6 ($\mu\text{g} / (\text{kg peso corporal} * \text{d})$).

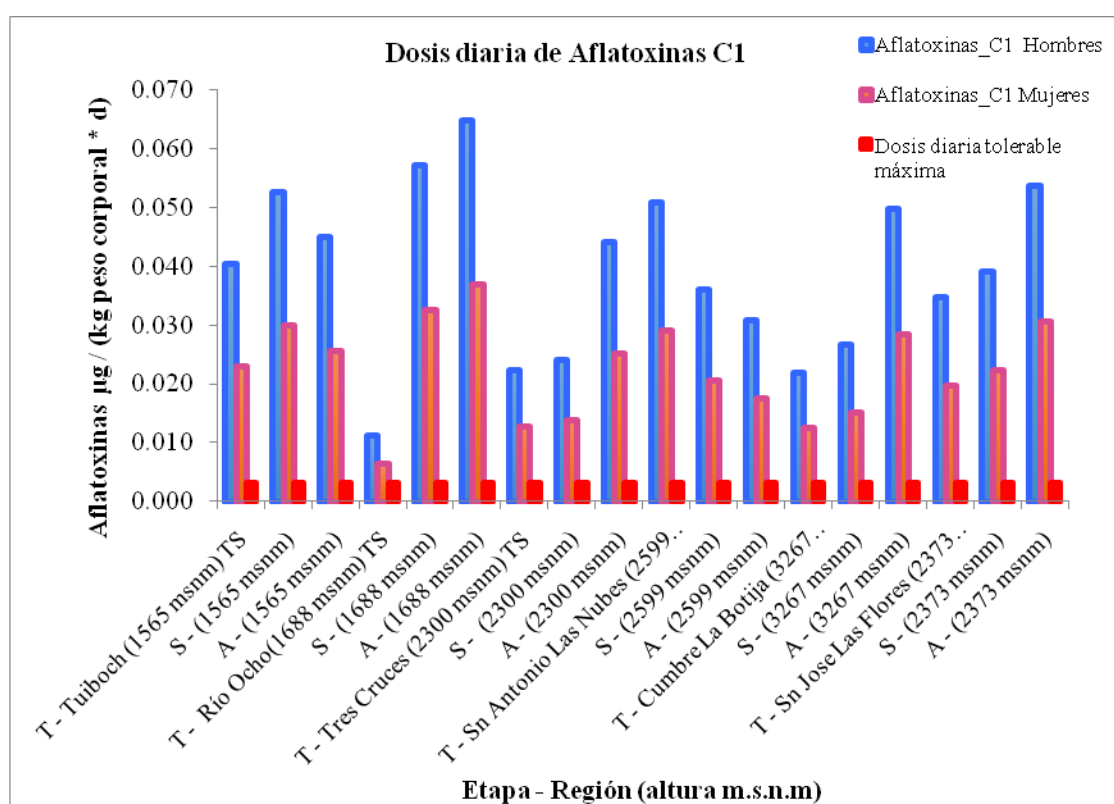
Cuadro 22. Estimación de Ingesta diaria de Aflatoxinas y fumonisinas en hombres y mujeres de la cadena dos en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán.

| Micotoxina | Etapa -Región (altura) | N | Media | Dosis diaria en hombres ($\mu\text{g} / (\text{kg peso corporal} * \text{d})$) | Dosis diaria en mujeres ($\mu\text{g} / (\text{kg peso corporal} * \text{d})$) |
|--|------------------------|----|---------|--|--|
| Aflatoxinas C2 (ppb, $\mu\text{g/Kg}$) | A1 | 4 | 8.2 | 0.041 | 0.02 |
| | A2 | 4 | 4.795 | 0.024 | 0.01 |
| | B3 | 4 | 10.805 | 0.054 | 0.03 |
| | B4 | 4 | 8.825 | 0.044 | 0.03 |
| | C5 | 7 | 9.9186 | 0.05 | 0.03 |
| | C6 | 4 | 10.6 | 0.053 | 0.03 |
| | D10 | 5 | 6.116 | 0.031 | 0.02 |
| | E13 | 4 | 3.59 | 0.018 | 0.01 |
| | f16 | 4 | 28.5425 | 0.143 | 0.08 |
| | H22 | 4 | 11.205 | 0.056 | 0.03 |
| | I25 | 3 | 8.38 | 0.042 | 0.02 |
| | I26 | 7 | 9.2914 | 0.046 | 0.03 |
| | Total | 54 | 9.9341 | 0.05 | 9.93 |
| Fumonisinias C2 (ppm, $\mu\text{g/g}$) | A1 | 4 | 1.675 | 7.705 | 5.6 |
| | A2 | 4 | 1.825 | 8.395 | 6.11 |
| | B3 | 4 | 1.825 | 8.395 | 6.11 |
| | B4 | 4 | 1.6 | 7.36 | 5.35 |
| | C5 | 7 | 1.7429 | 8.01734 | 5.83 |
| | C6 | 4 | 1.625 | 7.475 | 5.44 |
| | D10 | 5 | 1.46 | 6.716 | 4.88 |
| | E13 | 4 | 0.225 | 1.035 | 0.75 |
| | f16 | 4 | 0.725 | 3.335 | 2.43 |
| | H22 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| | I25 | 3 | 0.4333 | 1.99318 | 1.45 |
| | I26 | 7 | 28.6143 | 131.62 | 95.73 |
| | Total | 54 | 4.7981 | 22.07 | 16.05 |

Los cálculos de ingesta diaria para hombres están basados en un consumo promedio de 600 g de maíz y un peso corporal de 60 kg. Para las mujeres se asume un consumo promedio de 314 g de maíz y un peso corporal de 55 kg. Se consideró que el maíz consumido fue previamente nixtamalizado suponiendo una reducción de aflatoxinas del 50% y un 54% para fumonisinas (Fuente: Torres *et al*, 2007; Palencia *et al*, 2003; FAO, 2015).

9. Comparación con la ingesta diaria tolerable máxima provisional de aflatoxinas y fumonisinas: El Gráfico 17 muestra que según la estimación de la dosis diaria para aflatoxinas en C1 ninguno de los valores cumple con el límite máximo tolerable de consumo diario. Los valores están encima de $0.0034 \mu\text{g AF}/(\text{Kg} * \text{día})$ o $3.4 \text{ ng AF} / (\text{Kg} * \text{día})$ para aflatoxinas. La dosis diaria estimada supera entre 2 y 12 veces el límite máximo de consumo diario determinado por JECFA (FAO/WHO, 2015).

Gráfico 17. Estimación de la dosis diaria de aflatoxinas en la cadena uno en Chiantla (CH) y Todos Santos Cuchumatán (TS).

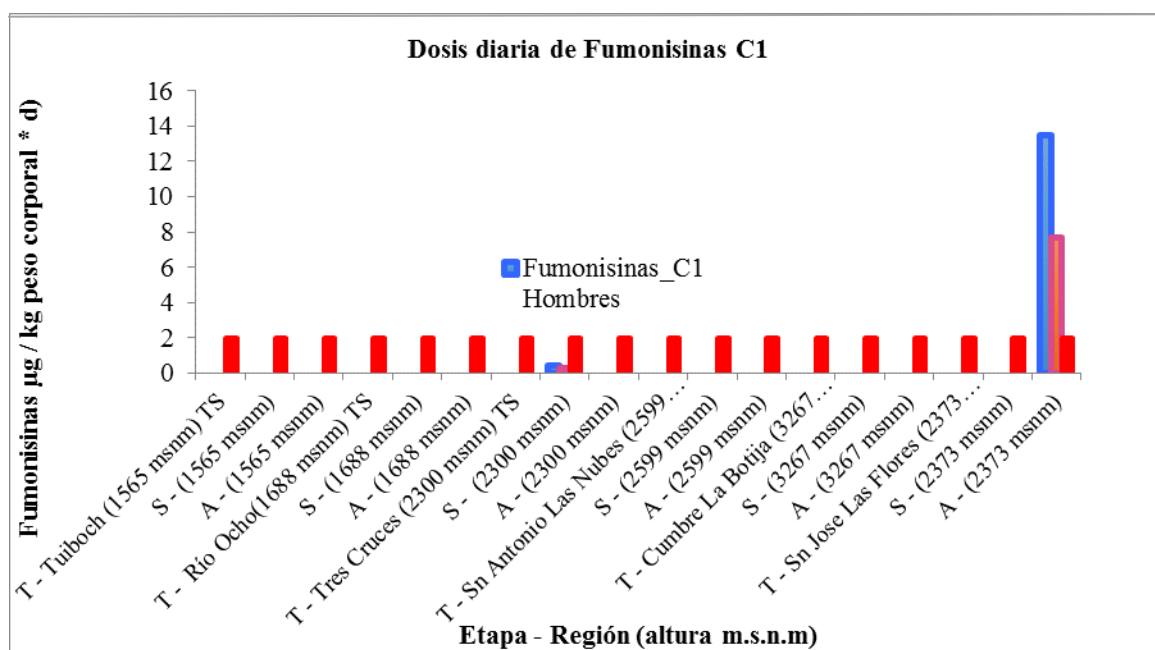


El Gráfico 17 presenta de forma visual los datos mostrados en el Cuadro 10, mismo supuestos de consumo diario de maíz y peso corporal de hombres y mujeres.

A continuación el Gráfico 18 muestra que según la estimación de la dosis diaria para fumonisinas en C1 la mayoría de los valores cumple con el límite máximo tolerable de consumo diario de $2 \mu\text{g F}/(\text{Kg} * \text{día})$. La excepción son las muestras en la etapa de almacenamiento en San

José Las Flores, una de las seis comunidades muestreadas, que presenta valores estimados por encima de $7 \mu\text{g F} / (\text{Kg} * \text{día})$, superando hasta 3.8 veces el máximo permitido por la JECFA (FAO/WHO).

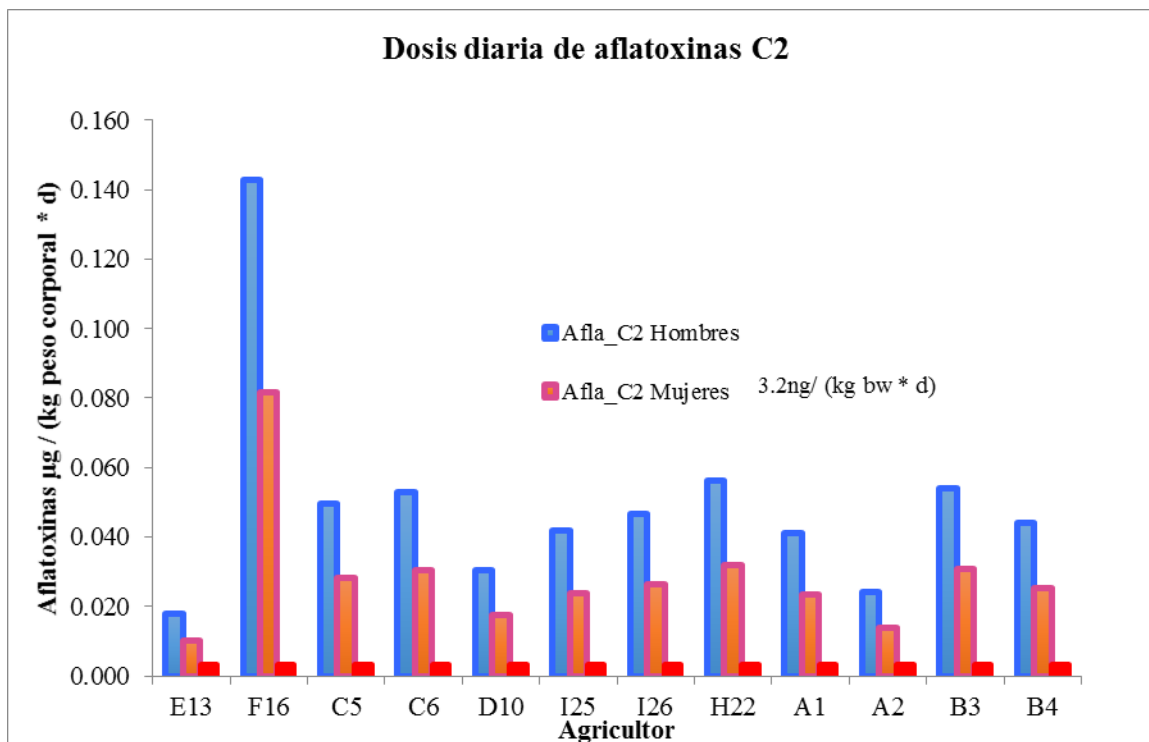
Gráfico 18. Estimación de la dosis diaria de fumonisinas en la cadena uno en Chiantla (CH) y Todos Santos Cuchumatán (TS).



El Gráfico 18 presenta de forma visual los datos mostrados en el Cuadro 10, mismo supuestos de consumo diario de maíz y peso corporal de hombres y mujeres.

A continuación el Gráfico 19 muestra que según la estimación de la dosis diaria para aflatoxinas en C2. Todos las muestras (59/59) están por encima de los permisible de $0.0034 \mu\text{g AF} / (\text{Kg} * \text{día})$ o $3.4 \text{ ng AF} / (\text{Kg} * \text{día})$ para aflatoxinas combinadas. El estimado de la ingesta diaria supera entre 3 – 25 veces el límite máximo para los 12/12 agricultores incluidos en el estudio – cadena dos.

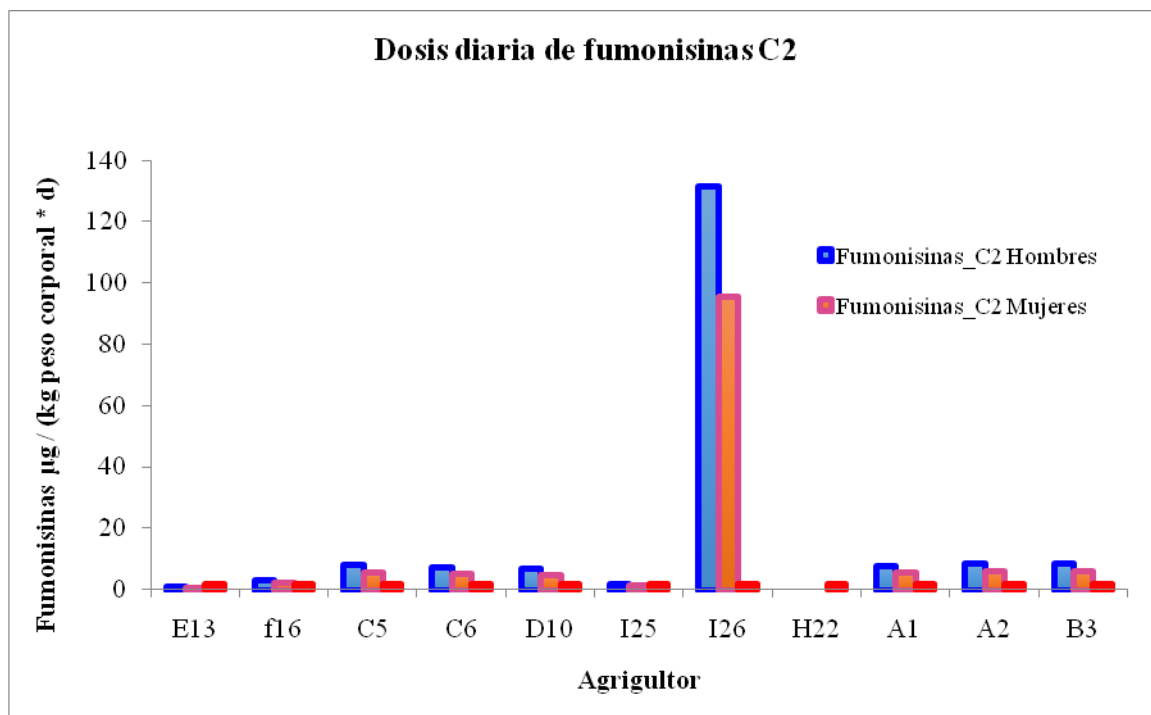
Gráfico 19. Estimación de la dosis diaria de aflatoxinas en la cadena dos en Chiantla (CH) y Todos Santos Cuchumatán (TS).



El Gráfico 19 presenta de forma visual los datos mostrados en el Cuadro 11, mismo supuestos de consumo diario de maíz y peso corporal de hombres y mujeres.

El Gráfico 20 muestra que según la estimación de la dosis diaria para fumonisinas en la cadena dos 7 de 11 agricultores tienen maíz para consumo que supera entre 2 – 48 veces el límite máximo tolerable de consumo diario de 2 µg F/ (Kg * día). El agricultor I26 fue el que presentó la mayor exposición a fumonisinas; hombres: 131.6 y mujeres 95.73 µg F/ (Kg * día). Tres de los 11 agricultores (E13, I25 y H22) son los que almacenaron maíz con fumonisinas debajo del límite máximo 2 µg F/ (Kg * día) según la JECFA (FAO/WHO).

Gráfico 20. Estimación de la dosis diaria de fumonisinas en la cadena dos en Chiantla (CH) y Todos Santos Cuchumatán (TS).



El Gráfico 20 presenta de forma visual los datos mostrados en el Cuadro 11, mismo supuestos de consumo diario de maíz y peso corporal de hombres y mujeres.

B. MÓDULO II

Se recibieron 144 muestras de maíz provenientes de 25 agricultores de los municipios Chiantla y Todos Santos Cuchumatán del departamento de Huehuetenango, Guatemala. Se trabajó con dos cadenas, en la cadena 1 se evaluó la calidad del grano cosechado de acuerdo a la cantidad de mohos presente en el mismo, en las distintas etapas de cosecha (tapisca, selección y almacenamiento) y en los distintos tipos y tiempos de almacenamiento. Mientras que en la cadena 2 se evaluó la calidad del grano cosechado con base en la cantidad de mohos presente en el mismo, en los distintos tipos y tiempos de almacenamiento.

En el Cuadro 15 se muestra el recuento total de mohos en muestras proporcionadas por los agricultores del municipio de Chiantla a las diferentes alturas de cosecha.

Cuadro 23. Recuento total de mohos presentes en las distintas muestras del municipio de Chiantla, junto con el porcentaje de humedad de las mismas.

| Comunidad/Altura (msnm) | Agricultor | Etapa | Humedad (%) | Mohos (log UFC/g) |
|-----------------------------------|------------|---------|-------------|-------------------|
| CADENA I | | | | |
| San José Las Flores (2373 msnm) | G17 | T | 29.80 | 5.55 |
| | | S | 29.30 | 4.99 |
| | | A_S 0 | 14.37 | 4.27 |
| | | A_S 30 | 14.83 | 5.82 |
| | | A_S 60 | 14.07 | 5.61 |
| | | A_S 90 | 14.63 | 4.09 |
| | | A_S 120 | 14.60 | 4.62 |
| | | A_S 150 | 14.80 | 4.73 |
| | A_S 180 | 14.55 | - | |
| | G18 | T | 25.00 | 5.68 |
| | | S | 25.90 | 5.29 |
| | | A_T 30 | 19.10 | 6.17 |
| | | A_T 60 | 17.60 | 5.04 |
| | | A_T 90 | 16.07 | 4.84 |
| A_T 120 | | 15.77 | 5.38 | |
| A_T 150 | | 14.87 | 6.14 | |
| Cumbre La Botija (3267 msnm) | H20 | T | 29.80 | 5.56 |
| | | S | 28.50 | 6.02 |
| | | A_T 30 | 21.40 | 6.52 |
| | | A_T 60 | 15.40 | 4.79 |
| | | A_T 90 | 14.70 | 4.48 |
| | | A_T 120 | 14.53 | 4.52 |
| | | A_T 150 | 14.00 | 5.75 |
| | H21 | T | 32.90 | 4.45 |
| | | S | 32.00 | 5.12 |
| | | A_T 30 | 22.90 | - |
| | | A_T 60 | 14.60 | 4.61 |
| | | A_T 90 | 13.07 | 6.06 |
| | | A_T 120 | 13.07 | 6.06 |
| San Antonio Las Nubes (2599 msnm) | I23 | T | 29.60 | 5.08 |
| | | A_T 0 | 23.80 | 5.63 |

Continuación **Cuadro 23.** Recuento total de mohos presentes en las distintas muestras del municipio de Chiantla, junto con el porcentaje de humedad de las mismas.

| Comunidad/Altura (msnm) | Agricultor | Etapa | Humedad (%) | Mohos (log UFC/g) |
|-----------------------------------|------------|---------|-------------|-------------------|
| CADENA I | | | | |
| San Antonio Las Nubes (2599 msnm) | I23 | S_T 30 | 17.83 | 4.64 |
| | | A_T 60 | 17.80 | 4.84 |
| | | A_T 90 | 15.47 | 5.41 |
| | | S_T 150 | 15.67 | 4.57 |
| | | A_T 150 | 15.73 | 4.74 |
| | | A_T 180 | 15.57 | 4.24 |
| | I24 | T | 21.40 | 5.65 |
| | | S | 19.30 | 6.10 |
| | | A_T 30 | 15.20 | 5.98 |
| | | A_T 60 | 15.10 | 5.72 |
| A_T 90 | | 14.77 | 6.01 | |
| CADENA II | | | | |
| Cumbra La Botija (3267 msnm) | H22 | A_C 0 | 15.80 | 5.82 |
| | | A_C 30 | 14.70 | 5.56 |
| | | A_C 60 | 13.30 | 5.67 |
| | | A_C 90 | 14.10 | 5.34 |
| San Antonio Las Nubes (2599 msnm) | I25 | A_O 0 | 17.00 | 5.13 |
| | | A_C 30 | 16.30 | 4.06 |
| | | A_C 90 | 16.40 | 5.23 |
| | I26 | A_C 0 | 16.90 | 5.65 |
| | | A_C 30 | 16.00 | 5.02 |
| | | A_C 60 | 16.00 | 5.80 |
| | | A_C 90 | 15.40 | 5.90 |
| | | A_C O | 14.93 | 5.49 |
| | | A_C O | 15.60 | 5.93 |
| A_C O | 15.00 | 5.49 | | |

*T:Tapisca, S: Selección, A: Almacenamiento, S: Silo, T:Tapanco, C: Costales, O: Otro.

En el Cuadro 24 se muestra el recuento total de mohos en muestras proporcionadas por los agricultores del municipio de Todos Santos Cuchumatán a las diferentes alturas de cosecha.

Cuadro 24. Recuento total de mohos presentes en las distintas muestras del municipio de Todos Santos Cuchumatán, junto con el porcentaje de humedad de las mismas.

| Comunidad/Altura (msnm) | Agricultor | Etapas | Humedad (%) | Mohos (log UFC/g) |
|-------------------------|------------|---------|-------------|-------------------|
| Cadena I | | | | |
| Tres Cruces (2300) | D7 | T | 16.60 | 5.53 |
| | | S | 19.10 | 6.09 |
| | | A_S 0 | 15.77 | 6.00 |
| | | A_S 30 | 16.57 | 5.41 |
| | | A_S 60 | 23.33 | 6.15 |
| | | A_S 90 | 19.34 | 5.65 |
| | | A_S 120 | 15.40 | 4.95 |
| | | A_S 150 | 15.23 | 5.15 |
| Tres Cruces (2300) | D8 | T | 31.30 | 5.51 |
| | | S | 15.60 | 4.01 |
| | | A_T 30 | 14.30 | 5.53 |
| | | A_T 60 | 15.37 | 5.55 |
| | | A_T 90 | 16.27 | 6.07 |
| Tres Cruces (2300) | D9 | T | 20.50 | 6.43 |
| | | A_T 0 | 23.40 | 6.46 |
| | | A_T 30 | 14.30 | 4.82 |
| | | A_T 60 | 14.10 | 6.45 |
| | | A_T 90 | 13.60 | 5.48 |
| Tuiboch (1565) | E11 | T | 29.10 | 4.83 |
| | | S | 23.80 | 5.56 |
| | | A_O 30 | 14.90 | 5.53 |
| | | A_O 60 | 14.50 | 5.73 |
| | | A_O 90 | 14.20 | 6.83 |
| | | A_120 | 12.37 | 5.85 |
| | | A_150 | 14.53 | 5.57 |
| | | A_180 | 13.69 | 4.78 |
| Tuiboch (1565) | E12 | T | 35.80 | 4.79 |
| | | S | 14.90 | 6.65 |
| | | A_O 30 | 17.10 | 5.69 |
| | | A_O 60 | 16.00 | 5.02 |
| | | A_O 90 | 16.55 | 4.74 |
| Río Ocho (1688) | F14 | T | 22.50 | 4.31 |
| | | S | 20.03 | 3.62 |
| | | A_C 30 | 15.10 | 6.11 |

Continuación **Cuadro 24.** Recuento total de mohos presentes en las distintas muestras del municipio de Todos Santos Cuchumatán, junto con el porcentaje de humedad de las mismas.

| Comunidad/Altura (msnm) | Agricultor | Etapas | Humedad (%) | Mohos (log UFC/g) |
|--------------------------------|-------------------|---------------|--------------------|--------------------------|
| Cadena I | | | | |
| Río Ocho (1688) | F14 | A_C 60 | 15.73 | 5.73 |
| | | A_C 90 | 17.03 | 5.69 |
| Río Ocho (1688) | F15 | T | 23.97 | 6.45 |
| | | S | 21.33 | 5.08 |
| | | A_C 30 | 15.30 | 5.51 |
| | | A_C 60 | 16.03 | 5.41 |
| | | A_C 90 | 17.13 | 4.73 |
| Cadena II | | | | |
| Chichím (3564) | A1 | A_C 0 | 12.60 | 5.85 |
| | | A_C 30 | 15.40 | 5.82 |
| | | A_C 60 | 14.53 | 6.41 |
| | | A_C 90 | 15.90 | 5.79 |
| Chichím (3564) | A2 | A_C 0 | 15.70 | 5.51 |
| | | A_C 30 | 14.70 | 6.21 |
| | | A_C 60 | 15.00 | 5.11 |
| | | A_C 90 | 15.53 | 6.16 |
| Chemal II (3581) | B3 | A_C 0 | 16.60 | 4.72 |
| | | A_C 30 | 17.03 | 5.91 |
| | | A_C 60 | 17.00 | 5.82 |
| | | A_C 90 | 16.47 | 5.70 |
| Chemal II (3581) | B4 | A_C 0 | 15.70 | 5.72 |
| | | A_C 30 | 14.50 | 5.51 |
| | | A_C 90 | 13.50 | 5.60 |
| Chicoy (2300) | C5 | A_C 0 | 15.10 | 4.72 |
| | | A_C 30 | 15.07 | 5.62 |
| | | A_C 60 | 14.93 | 5.43 |
| | | A_C 90 | 15.03 | 4.54 |
| | | A_C 120 | 14.40 | 5.90 |
| | | A_C 150 | 14.65 | 3.87 |
| | | A_C 180 | 13.97 | - |
| Chicoy (2300) | C6 | A_C 0 | 15.60 | 4.74 |
| | | A_C 30 | 13.43 | 4.90 |
| | | A_C 60 | 15.07 | 4.68 |
| | | A_C 90 | 14.40 | 5.72 |

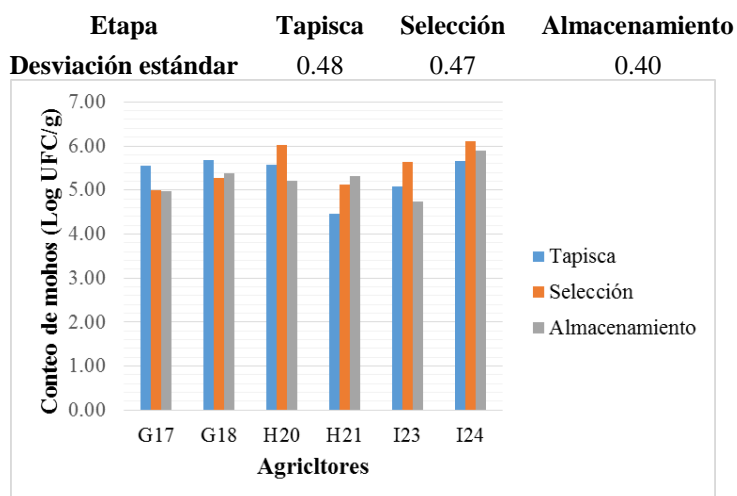
Continuación **Cuadro 24**. Recuento total de mohos presentes en las distintas muestras del municipio de Todos Santos Cuchumatán, junto con el porcentaje de humedad de las mismas.

| Comunidad/Altura (msnm) | Agricultor | Etapas | Humedad (%) | Mohos (log UFC/g) |
|-------------------------|------------|--------|-------------|-------------------|
| Cadena I | | | | |
| Tres Cruces (2300) | D10 | A_S 0 | 18.70 | 5.98 |
| | | A_S 30 | 18.50 | 5.69 |
| | | A_S 60 | 17.50 | 6.05 |
| | | A_S 90 | 18.63 | 4.83 |
| Tuiboch (1565) | E13 | S | 14.40 | 4.61 |
| | | A_S 0 | 14.40 | 4.92 |
| | | A_S 30 | 14.70 | 5.01 |
| | | A_S 60 | 16.00 | 5.06 |
| | | A_S 90 | 14.88 | 5.25 |
| Tuiboch (1565) | F16 | A_S 0 | 15.10 | 5.06 |
| | | A_S 30 | 15.10 | 5.57 |
| | | A_S 60 | 15.30 | 5.61 |
| | | A_S 90 | 15.07 | 6.35 |

*T: Tapisca, S: Selección, A: Almacenamiento, S: Silo, T: Tapanco, C: Costales, O: Otro.

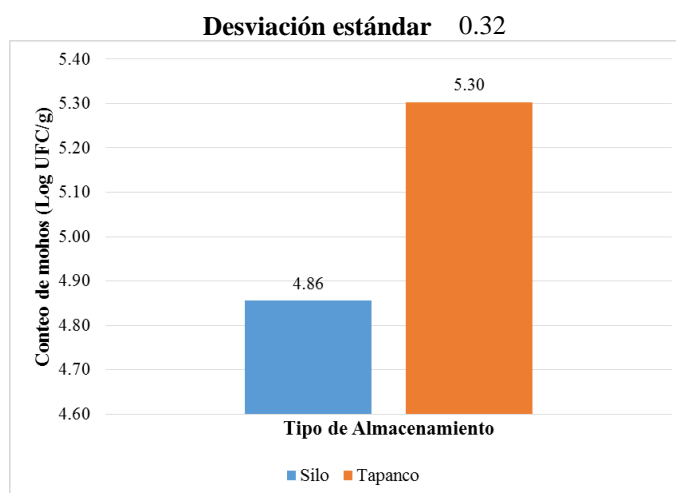
En el gráfico 21 se puede observar que el agricultor H21 tiene mejores prácticas de cosecha en relación a los demás, ya que presenta menor cantidad total de mohos en la etapa de tapisca y selección, 4.45 log UFC/g y 5.12 log UFC/g respectivamente.

Gráfico 21. Calidad del grano de maíz cosechado por los agricultores de la cadena 1 del municipio Chiantla, en las tres distintas etapas estudiadas.



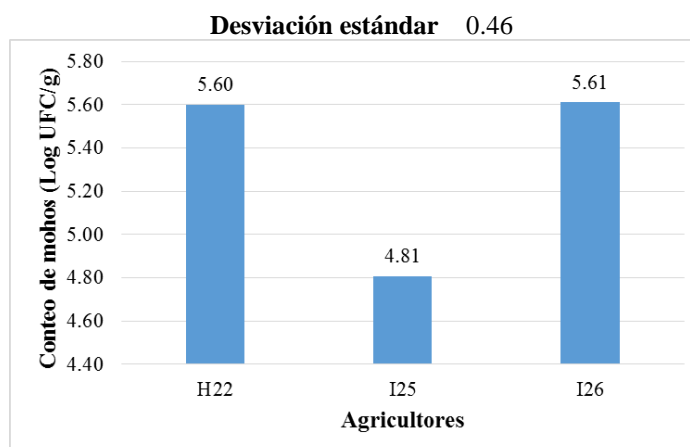
En el gráfico 22 se puede observar que el grano almacenado en silo presenta menor cantidad de mohos, un promedio de 4.86 log UFC/g, mientras que el que es almacenado en tapanco presenta mayor cantidad, 5.30 log UFC/g.

Gráfico 22. Calidad del grano de maíz almacenado en silo y tapanco por los agricultores de la cadena 1 del municipio Chiantla.



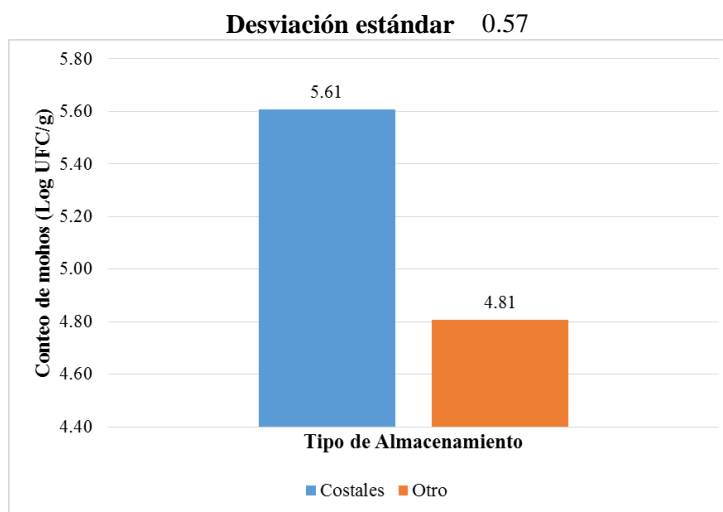
En el Gráfico 23 se observa que el agricultor I25 desarrolla mejores prácticas de almacenamiento, ya que el grano almacenado por el mismo presentó menor cantidad de mohos (4.81 log UFC/g).

Gráfico 23. Calidad del grano de maíz almacenado por los agricultores de la cadena 2 del municipio Chiantla.



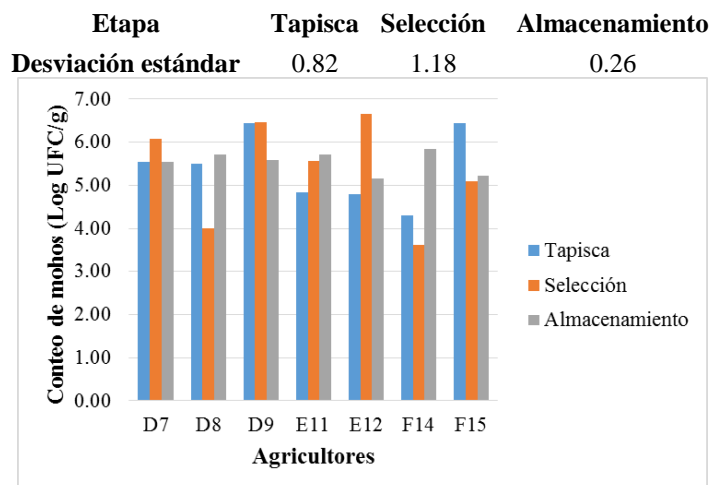
En el Gráfico 24 se puede observar que el grano almacenado en otro tipo de almacenamiento (caja de cartón) presenta menor cantidad de mohos, log 4.81 log UFC/g, mientras que el que es almacenado en costales presenta mayor cantidad, log 5.61 log UFC/g.

Gráfico 24. Calidad del grano de maíz almacenado en costales y vigas de madera por los agricultores de la cadena 2 del municipio Chiantla.



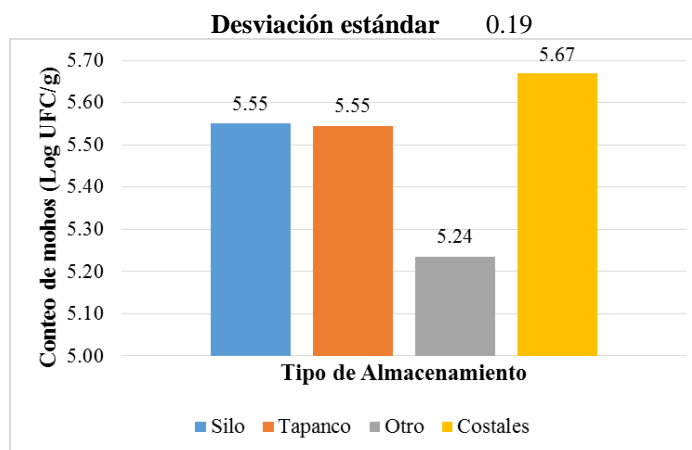
En el Gráfico 25 se puede observar que el agricultor F14 tiene mejores prácticas de cosecha en relación a los demás, ya que presenta menor cantidad total de mohos en la etapa de tapisca y selección, 4.31 log UFC/g y 3.62 log UFC/g respectivamente. En relación al almacenamiento, el grano cultivado por el agricultor E12 fue el que presentó menor cantidad de mohos (5.15 log UFC/g).

Gráfico 25. Calidad del grano de maíz cosechado por los agricultores de la cadena 1 del municipio Todos Santos Cuchumatán, en las tres distintas etapas estudiadas.



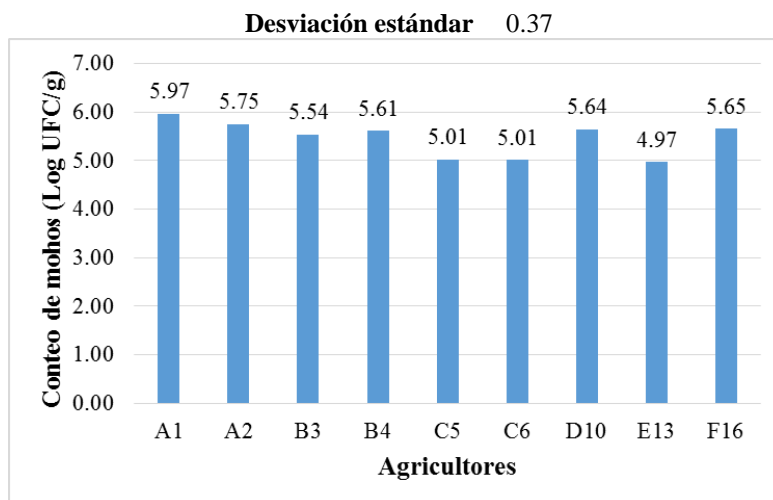
En el Gráfico 26 se puede observar que el grano almacenado en otro tipo de almacenamiento (colgado de la viga) presenta menor cantidad de mohos, 5.24 log UFC/g, mientras que el que es almacenado en costales presenta mayor cantidad, 5.67 log UFC/g.

Gráfico 26. Calidad del grano de maíz almacenado en distintos tipos de almacenamiento por los agricultores de la cadena 1 del municipio Todos Santos Cuchumatán.



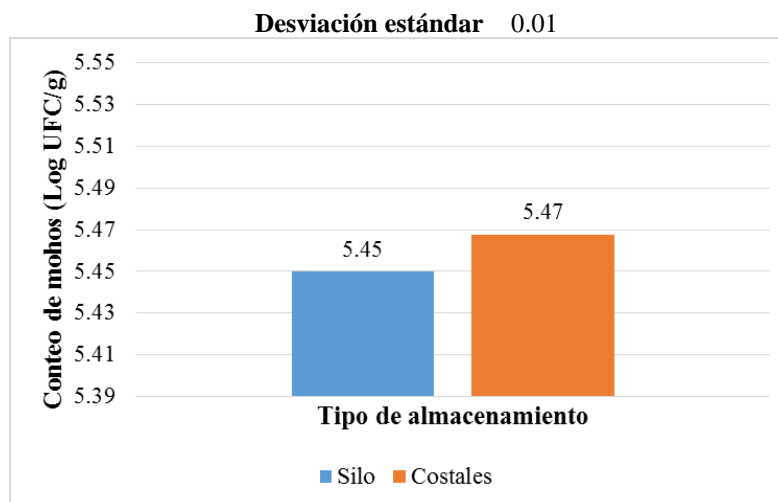
En el Gráfico 27 se observa que los agricultores C5, C6 y E13 desarrollan mejores prácticas de almacenamiento, ya que el grano almacenado presentó menor cantidad de mohos, 5.01, 5.01 y 4.97 log UFC/g, respectivamente.

Gráfico 27. Calidad del grano de maíz almacenado por los agricultores de la cadena 2 del municipio Todos Santos Cuchumatán.



En el Gráfico 28 se puede observar que el grano almacenado en silo y costales presenta una cantidad de mohos similar, el almacenado en silo presenta 5.45 log UFC/g, mientras que el que es almacenado en costales presenta, 5.47 log UFC/g.

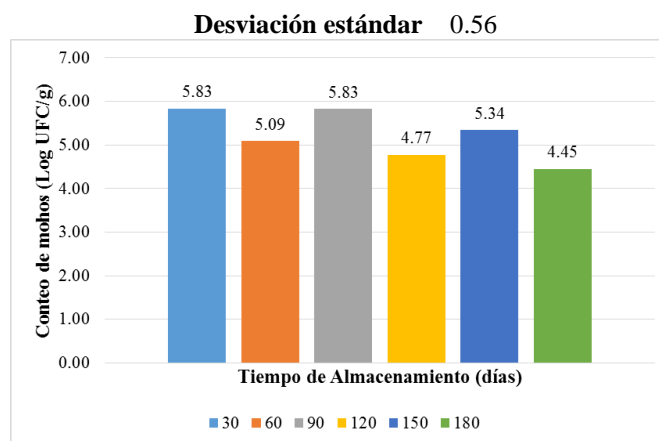
Gráfico 28. Calidad del grano de maíz almacenado en silo y costales por los agricultores de la cadena 2 del municipio Todos Santos Cuchumatán.



Para determinar la cantidad de mohos en los distintos tiempos de almacenamiento, se realizó un análisis descriptivo.

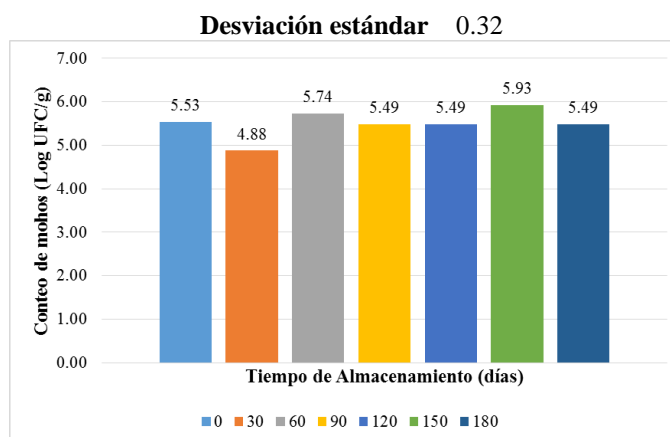
En el Gráfico 29 se observa que el grano de maíz no presenta grandes diferencias en la cantidad de mohos a distintos tiempos. El maíz almacenado por 180 días presenta menor cantidad de mohos (4.45 log UFC/g).

Gráfico 29. Calidad del grano de maíz almacenado a distintos tiempos, por los agricultores de la cadena 1 del municipio de Chiantla.



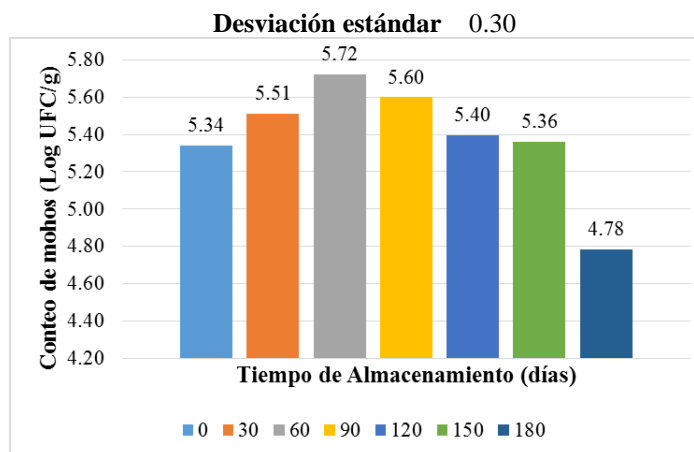
En el Gráfico 30 se observa que el grano de maíz no presenta grandes diferencias en la cantidad de mohos a distintos tiempos. El maíz almacenado por 30 días presenta menor cantidad de mohos (4.88 log UFC/g).

Gráfico 30: Calidad del grano de maíz almacenado a distintos tiempos, por los agricultores de la cadena 2 del municipio de Chiantla.



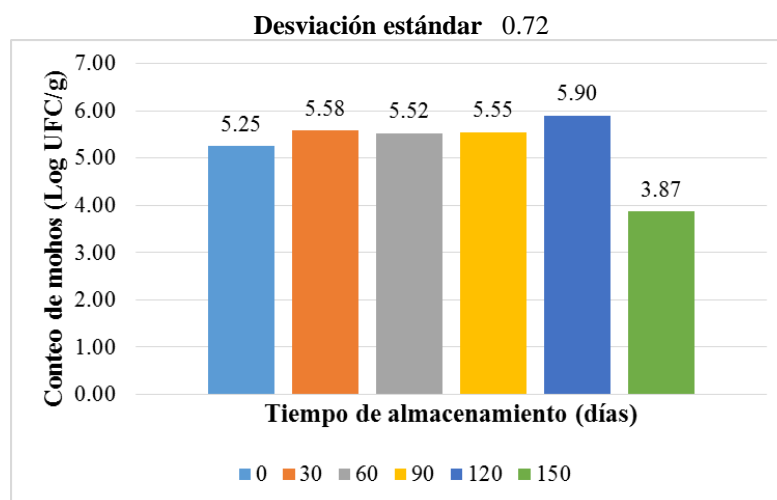
En el Gráfico 31 se observa que el grano de maíz no presenta grandes diferencias en la cantidad de mohos a distintos tiempos. El maíz almacenado por 180 días presenta menor cantidad de mohos (4.78 log UFC/g)

Gráfico 31. Calidad del grano de maíz almacenado a distintos tiempos, por los agricultores de la cadena 1 del municipio de Todos Santos Cuchumatán.



En el Gráfico 32 se observa que el grano de maíz no presenta grandes diferencias en la cantidad de mohos a distintos tiempos. El maíz almacenado por 150 días presenta menor cantidad de mohos (3.87 log UFC/g).

Gráfico 32. Calidad del grano de maíz almacenado a distintos tiempos, por los agricultores de la cadena 2 del municipio de Todos Santos Cuchumatán.



Para determinar la relación entre la cantidad de mohos y la altura a la cual el grano fue cosechado, los datos se agruparon por agricultor y altura y como réplicas se utilizó cada una de las etapas post-cosecha. Con el software SPSS 20.0 se analizó la normalidad de los datos (Cuadro 17) y la igualdad de las varianzas (prueba de Levene, Cuadro 18).

Para las pruebas de normalidad la hipótesis nula fue que la variable (cantidad de mohos) sigue una distribución normal y para la prueba de Levene, la hipótesis nula fue que la variable es homogénea. Además también se realizaron gráficas Q-Q para determinar si los datos siguen o no una distribución normal (figura 22 y figura 23 en el apartado anexos).

Como se observa en el Cuadro 25, la variable de interés presenta valores p mayores al nivel de significancia (0.05), por lo tanto se acepta la hipótesis nula, es decir que los datos de ambas cadenas se distribuyen normalmente.

Cuadro 25. Pruebas de normalidad sobre la cantidad de hongos en las distintas etapas post-cosecha del maíz de los agricultores de la cadena 1 y 2.

| Cadena | Variable | Réplica | Significancia | |
|--------|-------------------|---------|--------------------|--------------|
| | | | Kolmogorov-Smirnov | Shapiro-Wilk |
| 1 | Cantidad de mohos | 1 | 0.169 | 0.367 |
| | | 2 | 0.200 | 0.461 |
| | | 3 | 0.200 | 0.546 |
| 2 | Cantidad de mohos | 1 | 0.200 | 0.131 |
| | | 2 | 0.059 | 0.223 |
| | | 3 | 0.200 | 0.999 |
| | | 4 | 0.200 | 0.764 |

Como se observa en el Cuadro 26, la variable de interés presenta un valor p mayor o igual al nivel de significancia (0.05), por lo tanto se acepta la hipótesis nula, es decir que la variable es homogénea, los datos presentan varianzas iguales.

Cuadro 26: Prueba de Levene de la cantidad de hongos en las distintas etapas post-cosecha del maíz de los agricultores de la cadena 1 y 2.

| Cadena | Variable | Significancia Prueba de Levene |
|--------|-------------------|--------------------------------|
| 1 | Cantidad de mohos | 0.500 |
| 2 | Cantidad de mohos | 0.847 |

Al comprobar los supuestos de normalidad se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para la variable estudiada (cantidad de mohos) en relación a las distintas alturas en que el maíz fue cosechado. En donde la hipótesis nula es: No existe diferencia en la cantidad de mohos a distintas alturas; y la hipótesis alternativa es: La cantidad de mohos a distintas alturas es realmente diferente.

Como se observa en el Cuadro 27, el valor del estadístico de prueba para la cadena 1 es igual a 1.223, y para la cadena 2 es igual a 2.436; ambos valores son significativamente distintos a 1, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, es decir que la cantidad de mohos a distintas alturas es diferente.

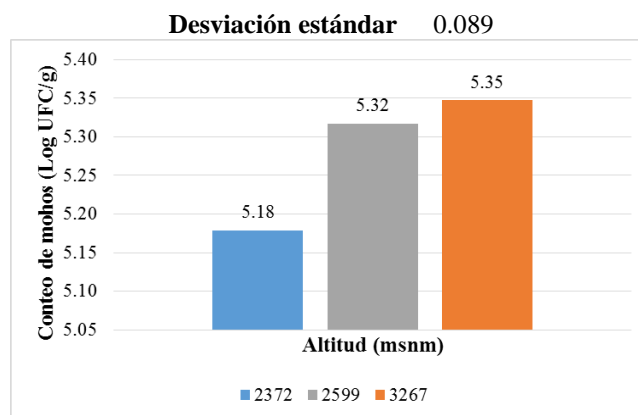
Cuadro 27: Análisis de varianza de un factor de la variable estudiada en las distintas cadenas.

| Cadena | | Grados de libertad | F |
|--------|--------------|--------------------|-------|
| 1 | Inter-grupos | 12 | 1.223 |
| | Intra-grupos | 26 | |
| | Total | 38 | |
| 2 | Inter-grupos | 11 | 2.436 |
| | Intra-grupos | 34 | |
| | Total | 45 | |

También se llevó a cabo un análisis descriptivo en relación a las distintas alturas estudiadas en cada municipio.

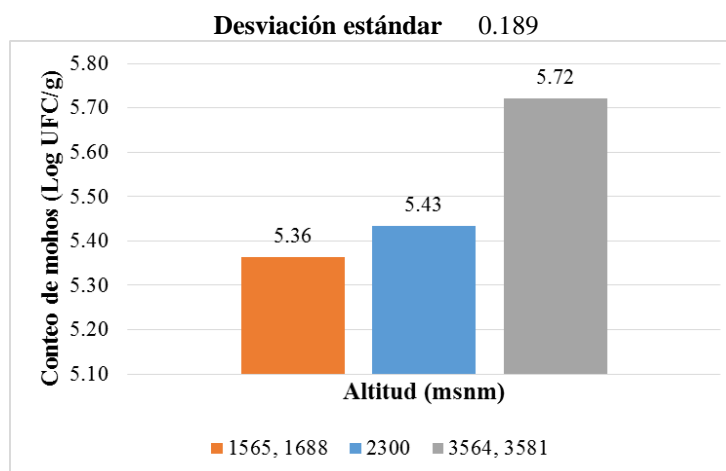
Como se muestra en la Figura 33, la comunidad ubicada en la altura más alta fue la que presentó mayor cantidad de mohos (5.35 log UFC/g).

Gráfico 33. Cantidad de mohos presente a las distintas alturas del municipio de Chiantla.



Como se muestra en el Gráfico 34, las comunidades ubicadas en las alturas más altas fueron las que presentaron mayor cantidad de mohos (5.72 log UFC/g).

Gráfico 34. Cantidad de mohos presente a las distintas alturas del municipio de Todos Santos Cuchumatán.



Para determinar si el cambio de la cantidad de mohos fue significativo en las distintas etapas estudiadas de ambas cadenas y de ambos municipios, y en los distintos tipos y tiempos de almacenamiento se llevó a cabo un análisis de comparación de medias a un nivel de significancia de 0.05, la hipótesis nula fue que existe igualdad de medias.

Con base en el Cuadro 28, con un nivel de significancia de 0.05 se determinó que existe una diferencia significativa entre las distintas etapas estudiadas de la cadena 1 (tapisca, selección y almacenamiento), ya que el valor-p es menor a 0.05. En relación al tipo y tiempo de almacenamiento, la diferencia no es significativa ya que el valor-p es mayor a 0.05.

Cuadro 28. Pruebas realizadas para determinar las diferencias significativas en la cantidad de mohos de la cadena 1, en las distintas etapas, tipos de almacenamiento y tiempo de almacenamiento.

| Criterio estudiado | | Media | Desviación estándar | Sig. |
|---|-----------------------|--------------|----------------------------|-------------|
| Etapas estudiadas (prueba t) | Tapisca | 5.370 | 0.662 | <0.05 |
| | Selección | 5.432 | 0.893 | |
| | Almacenamiento | 5.405 | 0.348 | |
| Tipo de almacenamiento (ANOVA) | Silo | 5.200 | 0.490 | >0.05 |
| | Tapanco | 5.420 | 0.170 | |
| | Costales | 5.670 | 0.650 | |
| | Otro | 5.240 | 0.770 | |
| Tiempo de almacenamiento (ANOVA) | 30 días | 5.585 | 0.346 | >0.05 |
| | 60 días | 5.300 | 0.297 | |
| | 90 días | 5.775 | 0.078 | |

Según el Cuadro 29 con un nivel de significancia de 0.05 se determinó que existe una diferencia significativa entre el inicio y el final de la etapa de almacenamiento, ya que el valor-p es menor a 0.05. En relación al tipo y tiempo de almacenamiento, la diferencia no es significativa ya que el valor-p es mayor a 0.05.

Cuadro 29. Pruebas realizadas para determinar las diferencias significativas en la cantidad de mohos de la cadena 2, en las distintas etapas, tipos de almacenamiento y tiempo de almacenamiento.

| Criterio estudiado | | Media | Desviación estándar | Sig. |
|---|--------------------------------------|--------------|----------------------------|-------------|
| Etapas estudiadas (prueba t) | Almacenamiento (inicial, t=0) | 5.370 | 0.226 | <0.05 |
| | Almacenamiento (final, t=90) | 5.520 | 0.042 | |
| Tipo de almacenamiento (ANOVA) | Silo | 5.495 | 0.205 | >0.05 |
| | Costales | 5.540 | 0.099 | |
| | Otro | 4.81 | 0.00 | |
| Tiempo de almacenamiento (ANOVA) | 30 días | 5.390 | 0.201 | >0.05 |
| | 60 días | 5.230 | 0.495 | |
| | 90 días | 5.630 | 0.150 | |

C. MÓDULO III

1. Evaluación y selección de secador. En el siguiente cuadro se muestra una evaluación donde son analizados los principales factores a tomar en cuenta para la implementación de un secador en el departamento de Huehuetenango, San Antonio Las Nubes. La ponderación es de 1 a 10, siendo 10 el factor óptimo para su implementación, y 1 el factor más desfavorable respecto al modelo a evaluar. Se evalúan dos modelos diferentes, analizando distintas formas de obtención de energía para el funcionamiento de los ventiladores, y es comparado con un modelo cuyo funcionamiento es basado en la radiación solar, pintando piedras de negro que brinden un mayor aporte energético para el secado de granos.

Cuadro 30. Evaluación de modelos de secador con distintas fuentes de energía

| <i>Modelo</i> | <i>Costo</i> | <i>Portabilidad</i> | <i>Efectividad</i> | <i>Durabilidad</i> | <i>Facilidad de Uso</i> | <i>Disponibilidad de materiales</i> | <i>Total</i> |
|--|--------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------|
| Secador AflaStop (Batería de carro) | 7 | 8 | 8 | 9 | 8 | 7 | 47 |
| Secador AflaStop (Celdas solares) | 2 | 3 | 5 | 7 | 4 | 2 | 23 |
| Secador AflaStop (Energía eléctrica) | 9 | 9 | 8 | 9 | 9 | 2 | 46 |
| Secador Solar por Radiación(piedras pintadas) | 10 | 2 | 3 | 5 | 7 | 7 | 34 |

2. Proceso de construcción. El proceso de construcción consistió en cuatro etapas; la construcción de las partes a base de lámina galvanizada del secador, la construcción de caja de madera con ventilador en su interior y tapadera de madera para la cámara de combustión con ventilador en el medio, la elaboración de base y manta vinílica y la perforación de las láminas.

a. Etapa 1-Construcción de las partes a base de lámina galvanizada del secador. Se construyeron las partes individuales del secador elaboradas en lámina galvanizada calibre 16 en para la cámara de combustión. Lámina galvanizada calibre 26 para la chimenea y los ductos utilizados para el intercambiador de calor.

En las siguientes imágenes se puede observar el proceso de construcción de las partes individuales del secador.

Figura 34. Proceso de construcción de piezas de hojalata



b. Etapa 2- Construcción de caja de madera con ventilador en su interior y tapadera de madera para la cámara de combustión con ventilador en el medio. Se llevó a cabo la construcción de la caja de madera con un ventilador de radiador de carro de 30cm de diámetro, 12V DC en el interior de la caja. Esta caja es la que conecta el intercambiador de calor de lámina galvanizada con el tubo flexible que se inserta a la cámara de secado. El objetivo del ventilador dentro de la caja es succionar de manera forzada el aire del ambiente, el cual se calienta en el recorrido al atravesar el intercambiador de calor.

Figura 35. Caja de madera con ventilador en su interior



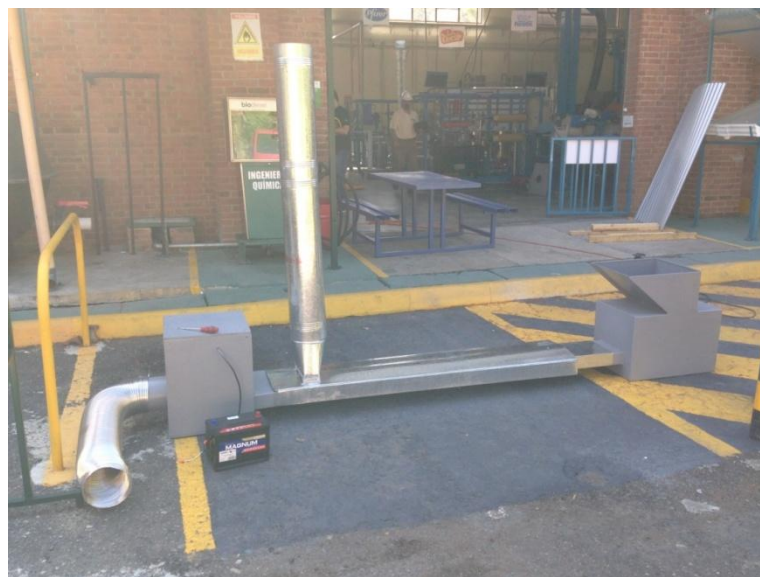
Se llevó a cabo la elaboración de la tapadera de madera para cubrir la cámara de combustión. La razón por la cual se realizó de madera y no de lámina galvanizada fue para disminuir la transferencia de calor en la tapadera y no dañar el ventilador que se encuentra en el medio. Se le colocaron dos agarradores en los extremos para facilitar la movilidad de la tapa al momento de alimentar la cámara con más biomasa. El ventilador colocado en el centro fue obtenido de una computadora desechable, de 12V DC.

Figura 36. Tapadera de cámara de combustión



La parte del área de calentado del secador concluye con estas dos etapas, teniendo como resultado la siguiente imagen.

Figura 37. Región de calentado mediante aire forzado del secador



c. Etapa 3- Elaboración de base y manta vinílica. La estructura base para la cámara de secado se realizó de manera desmontable para facilitar su transporte. Esta fue realizada de tubería galvanizada de 1 pulgada x 1 pulgada para las cuatro vigas de los extremos, y de 2 pulgadas x 2 pulgadas para la viga central de soporte. Se realizaron 8 perforaciones en la parte superior de las vigas para colocar los tubos PVC.

Se colocaron números en cada viga para identificarla y facilitar el proceso de armado, al indicar cuales piezas son las que se unen entre sí utilizando tornillos para el ensamblaje de la base.

Figura 38. Vigas desmontables para la estructura base de secador



Figura 39. Estructura base armada



Sobre dicha base, se colocó una manta vinílica de 3m x 3m, cortada en los cuatro extremos, y cocida para unir las paredes de la base, permitiendo cubrir la base metálica con la manta vinílica. Además, en todo el perímetro superior de la manta, se realizó una cocida extra, dejando un espacio para lograr introducir los tubos PVC que le brindaron firmeza y soporte a la base de la cámara de secado.

Figura 40. Cortes, dobleces y cocidas (línea punteada) de manta vinílica

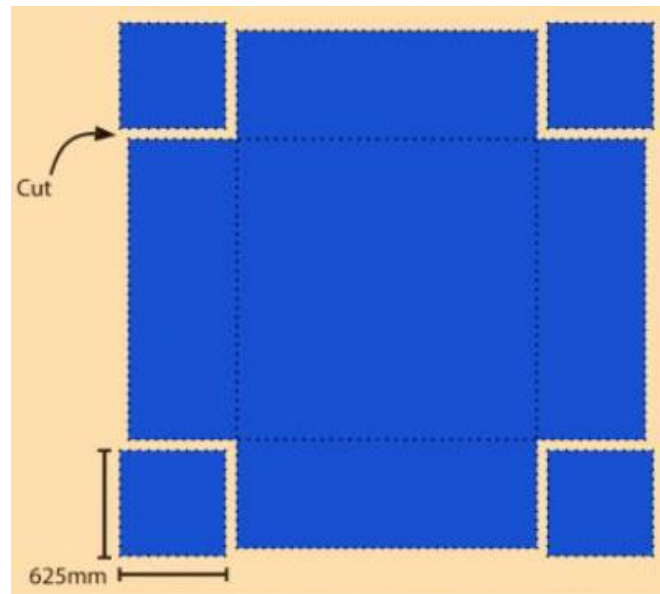


Figura 41. Manta vinílica colocada en estructura base

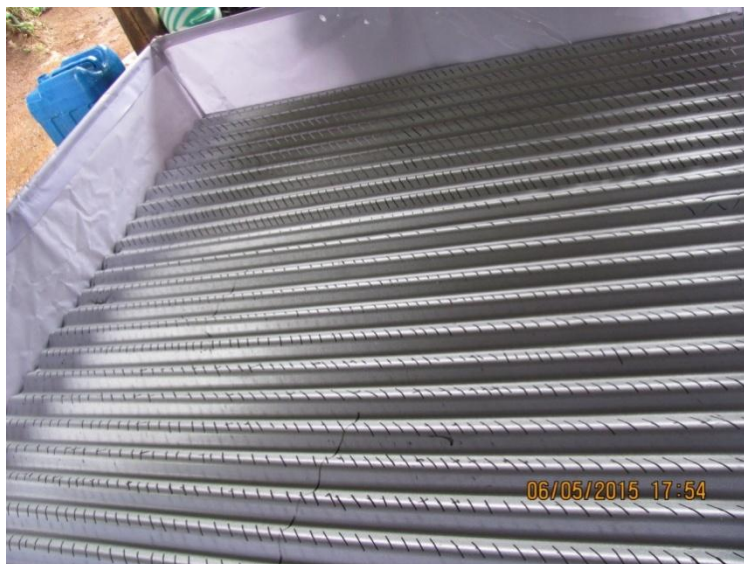


d. Etapa 4- Perforación de Láminas. Se utilizaron láminas acanaladas calibre 26, de ancho total de 1.06m, y ancho útil de 0.99m. Las láminas fueron perforadas con agujeros en forma de diagonal a lo largo de toda la superficie de la lámina utilizando una pulidora de metal, para permitir el paso del aire caliente a través de la cámara de secado.

Figura 42. Proceso de perforación de lámina



Figura 43. Lámina perforada sobre cámara de secado



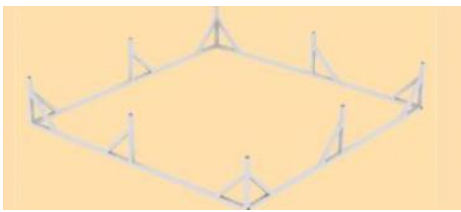

3. Implementación del secador. La implementación fue realizada los días 3, 4 y 5 de junio de 2015, donde fue trasladado el secador del campus de la Universidad del Valle, hacia la aldea de San Antonio Las Nubes, ubicada en Todos Santos, Huehuetenango, Guatemala.

El secador, junto con los materiales y equipo de medición a utilizar fue trasladado en un pick-up por parte de la ONG SHARE Guatemala, encargada de la organización y logística de la visita e implementación del secador en la aldea.




Figura 44. Traslado de secador





Cuadro 31. Procedimiento para armar el secador

| Paso | Procedimiento | Especificación |
|------|---|---|
| 1 | <p>Armar la base metálica</p>  | <p>Unir las cuatro vigas entre sí con los tornillos, identificando según el número que coincidan entre sí.</p> |
| 2 | <p>Colocar 8 tubos PVC sobre la base metálica</p>  | <p>Colocar cada tubo, en el respectivo agujero de la base metálica, según la identificación numerada de cada pieza.</p> |




Continuación **Cuadro 31**. Procedimiento para armar el secador

| Paso | Procedimiento | Especificación |
|-------------|--|--|
| 3 | Colocar la manta vinílica  | Colocar dentro de la base metálica la manta vinílica |
| 4 | Colocar 8 tubos PVC  | Colocar los tubos PVC dentro del agujero que se encuentra a lo largo del perímetro de la manta, y unir los tubos con juntas (tes y codos) para darle firmeza y estabilidad a la manta sobre el soporte metálico. |
| 5 | Colocar viga central  | Colocar la viga central dentro del área de la manta, para utilizarla como soporte de las láminas corrugadas. Unirla mediante tres tornillos en cada extremo con el soporte metálico, atravesando la manta |


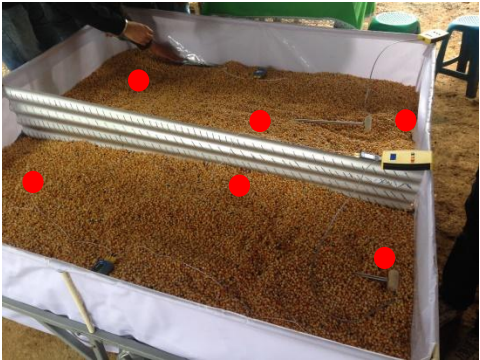

Continuación **Cuadro 31**. Procedimiento para armar el secador

| Paso | Procedimiento | Especificación |
|------|---|---|
| 6 | <p>Introducir tubo flexible</p>  | <p>Realizar un corte en la manta en forma de cruz, debajo de la base metálica, del diámetro del tubo flexible a colocar. Introducir el tubo y pegar con cinta adhesiva, evitando espacios que permitan la salida de aire.</p> |
| 7 | <p>Colocar soportes para láminas</p>  | <p>Colocar bloques dentro del área de la manta, que estén a la altura de la viga central, para darle un soporte adecuado a las láminas.</p> |
| 8 | <p>Colocar láminas</p>  | <p>Colocar las láminas dentro de la cámara, cuidando que estén correctamente soportadas por la viga y los bloques colocados. Se pueden realizar divisiones dentro del área, según los lotes o tipos de maíz que se vayan a secar.</p> |


Continuación Cuadro 31. Procedimiento para armar el secador

| Paso | Procedimiento | Especificación |
|------|---|---|
| 9 | Unión de lámina con manta  | Unir la lámina con la manta vinílica con cinta adhesiva, para evitar que los granos de maíz se caigan por los espacios perimetrales. |
| 10 | Unión de cámara de combustión con ducto intercambiador de calor  | Realizar el proceso de ensamblaje de la cámara de combustión, y la caja con el ventilador en el interior con el ducto intercambiador de calor. Colocar la chimenea sobre el ducto, y el tubo flexible que conecta la cámara de secado con el sistema de aire forzado. |
| 11 | Instalación eléctrica  | Con cables de cobre, unir ambos ventiladores a una batería de carro (65 Amps/h, 790CC), utilizando bornes para su unión. (Revisar que ambos ventiladores estén girando en la dirección correcta) |

Continuación Cuadro 31. Procedimiento para armar el secador

| Paso | Procedimiento | Especificación |
|------|--|--|
| 12 | <p>Colocar maíz</p>  | <p>Colocar los granos de maíz dentro de la región de secado, sobre las láminas. Sin exceder un límite de 575kg.</p> |
| 13 | <p>Colocar indicadores</p>  | <p>Colocar medidores de temperatura y humedad en la cámara de secado, ubicando los dispositivos en distintos puntos para resultados más significativos. (Los puntos rojos son una sugerencia de ubicación de dispositivos)</p> |
| 14 | <p>Colocar termocuplas</p>  | <p>Colocar las termocuplas para llevar un control de la temperatura en todo el proceso de calentamiento de aire mediante un módulo forzado. (Los puntos rojos indican los lugares donde se colocan las termocuplas)</p> |

Continuación **Cuadro 31**. Procedimiento para armar el secador

| Paso | Procedimiento | Especificación |
|------|--|---|
| 15 | <p>Iniciar proceso de combustión</p>  | Colocar en la cámara de combustión el olote como fuente de alimentación de energía para calentar el aire. Colocar la tapa con ventilador funcionando en dirección de introducir aire a la cámara. |

4. Costos de materiales utilizados en secador

Cuadro 32. Costos de materiales

| Costos para construcción de Cama de Secado | | | | | |
|--|----------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Materiales | Cantidad | Valor unitario | Total (Q) | Total (USD)* | Proveedor |
| Estructura desmontable galvanizada (base) | 1 | Q1,700.00 | Q1,700.00 | \$217.95 | Hojalateria ISM |
| Manta vinílica cosida (3mx3m) | 1 | Q600.00 | Q600.00 | \$76.92 | OVERprint, S.A. |
| Tubería PVC para base (metro) | 14 | Q4.50 | Q63.00 | \$8.08 | Novex |
| Tes de PVC | 4 | Q1.50 | Q6.00 | \$0.77 | Novex |
| Codos de PVC | 4 | Q1.25 | Q5.00 | \$0.64 | Novex |
| Lámina Galvanizada C26 | 2 | Q91.00 | Q182.00 | \$23.33 | Ferromax |
| Costo total | | | Q2,556.00 | \$327.69 | |
| | | | *Q7.8----- USD1.00 | | |

Continuación **Cuadro 32.** Costos de materiales

| Costos para construcción de Sistema de Secado | | | | | |
|--|-----------------|-----------------------|------------------|---------------------|------------------|
| Materiales | Cantidad | Valor unitario | Total (Q) | Total (USD)* | Proveedor |
| Caja de combustión | 1 | Q1,800.00 | Q1,800.00 | \$230.77 | Hojalatería ISM |
| Ventilador de radiador de carro (12V-DC) | 1 | Q350.00 | Q350.00 | \$44.87 | Hojalatería ISM |
| Ventilador de computadora (12V-DC) | 3 | Q50.00 | Q150.00 | \$19.23 | Hojalatería ISM |
| Caja de madera para ventilador | 1 | Q1,000.00 | Q1,000.00 | \$128.21 | Hojalatería ISM |
| Tapa de madera para caja de combustión | 1 | Q200.00 | Q200.00 | \$25.64 | Hojalatería ISM |
| Intercambiador de calor, chimenea y tubo flexible | 1 | Q1,200.00 | Q1,200.00 | \$153.85 | Hojalatería ISM |

| | | |
|---------------------------|------------------|-----------------|
| Costo total | Q4,700.00 | \$602.56 |
| *Q7.8----- USD1.00 | | |

| | | |
|---|------------------|-----------------|
| COSTO TOTAL DE SECADOR (sin energía) | Q7,256.00 | \$930.26 |
| *Q7.8----- USD1.00 | | |

| Costo Fuente de Energía | | | | | |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|------------------|---------------------|------------------|
| Materiales | Cantidad | Valor unitario | Total (Q) | Total (USD)* | Proveedor |
| Batería MAGNUM 65 Amps/h | 2 | Q1,529.00 | Q3,058.00 | \$392.05 | CEMACO |
| Cargador de Batería | 1 | Q1,000.00 | Q1,000.00 | \$128.21 | CEMACO |

| | | |
|---------------------------|------------------|-----------------|
| Costo total | Q4,058.00 | \$520.26 |
| *Q7.8----- USD1.00 | | |

| | | |
|---|-------------------|-------------------|
| COSTO TOTAL DE SECADOR (con fuente de energía) | Q11,514.00 | \$1,476.15 |
| *Q7.8----- USD1.00 | | |

D. MÓDULO IV

1. Capacidad de secado

Cuadro 33. Capacidad de secado obtenida en base a dimensiones y flujo de aire

| |
|--|
| Capacidad de secado (m ³ /min*ton) |
| <i>0.40</i> |

En el cuadro anterior se muestra la capacidad de secado obtenida, está se calculó con base en el flujo de aire generado por el ventilador y una altura de la cama de maíz de 0.20 m de altura.

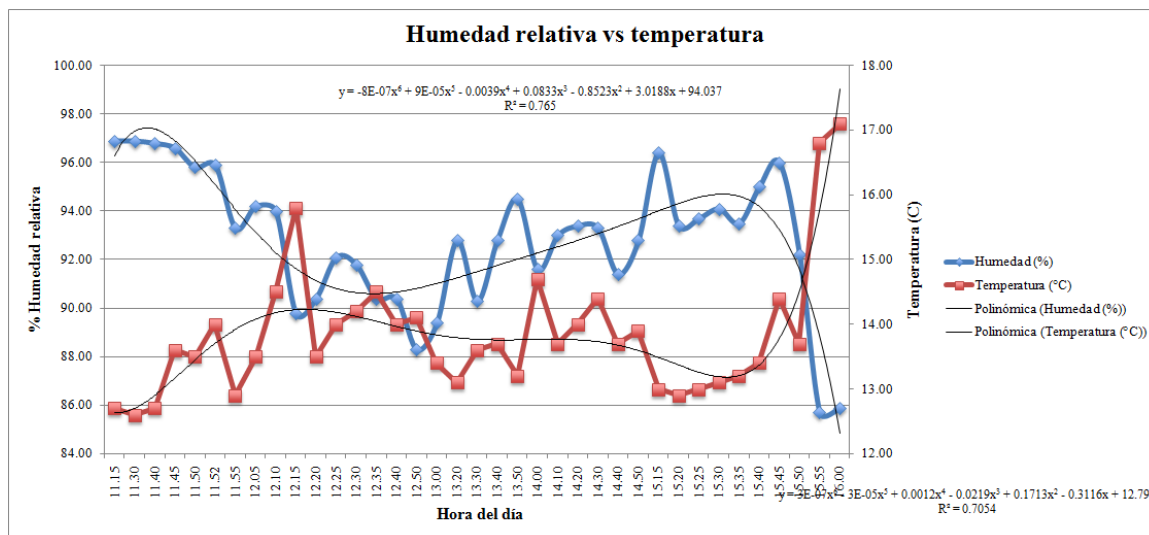
2. Evaluación No. 1 de Secador en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango.

Cuadro 34. Resumen evaluación No. 1 de secador en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango.

| Dato evaluado | Temperatura aire combustión (°C) | Temperatura aire chimenea (°C) | Temperatura aire ventilador (°C) | Velocidad del aire (m/s) | Temperatura ambiente (°C) | Humedad (%) | Temperatura ingreso cámara secado (°C) |
|---------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------|--|
| Promedio | 312.35 | 125.77 | 29.43 | 7.92 | 13.87 | 92.72 | 28.17 |
| Desviación Estándar | 111.22 | 52.75 | 7.54 | 0.20 | 0.99 | 2.79 | 7.16 |
| Máximo | 478.50 | 202.67 | 43.80 | 8.24 | 17.10 | 96.90 | 42.00 |
| Mínimo | 89.10 | 29.50 | 17.50 | 7.47 | 12.60 | 85.70 | 17.20 |

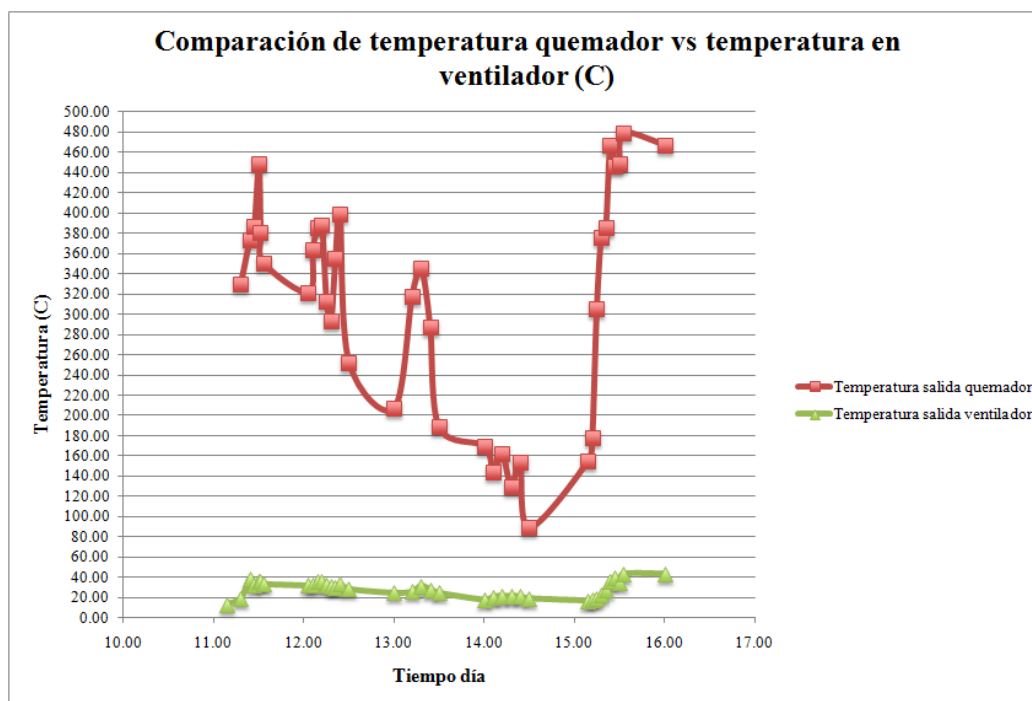
En el cuadro anterior se muestra un resumen de los parámetros medidos en el secador evaluado en la comunidad de San Antonio Las Nubes, Huehuetenango; durante la evaluación 1.

Gráfico 35. Comparación entre humedad y temperatura ambiente durante la evaluación No. 1 de Secador en “San Antonio las nubes”, Huehuetenango.



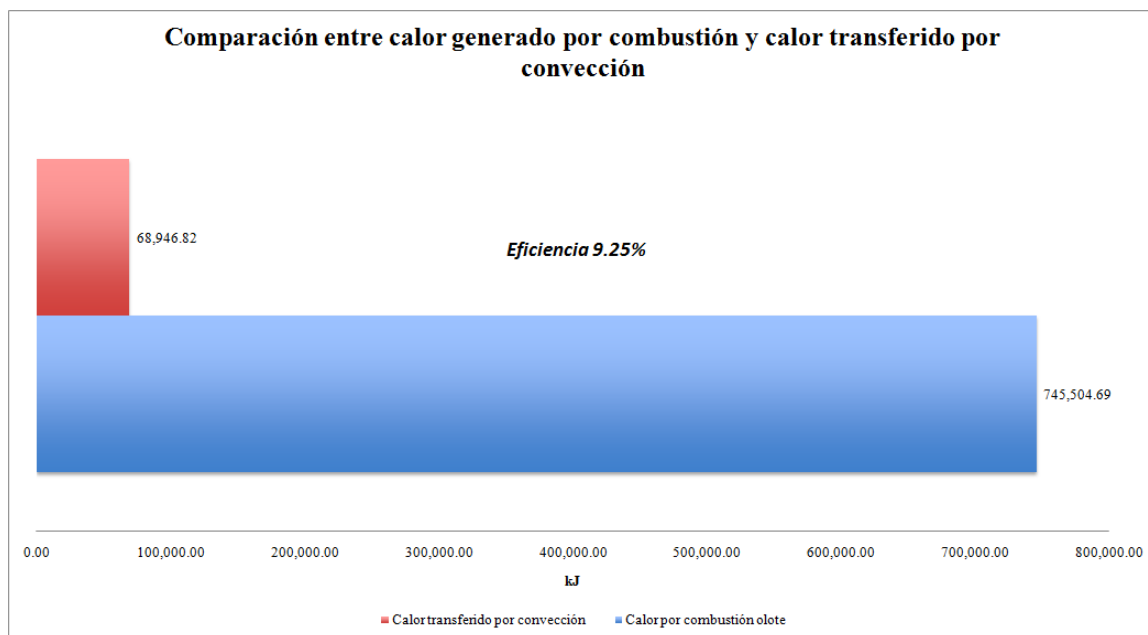
En el gráfico anterior se muestra una comparación entre la humedad relativa (%) y la temperatura ambiente (°C) de “San Antonio las nubes”, Huehuetenango el día de la evaluación No. 1 del secador. La serie roja se refiere a temperatura y la azul a humedad relativa.

Gráfico 36. Comparación entre temperatura alcanzada en quemador de olote y temperatura del aire en el ventilador.



En el gráfico anterior se muestra la diferencia de temperatura que se obtuvo en el aire del quemador y el aire que pasaba por el ventilador antes de ingresar a la cámara de secado.

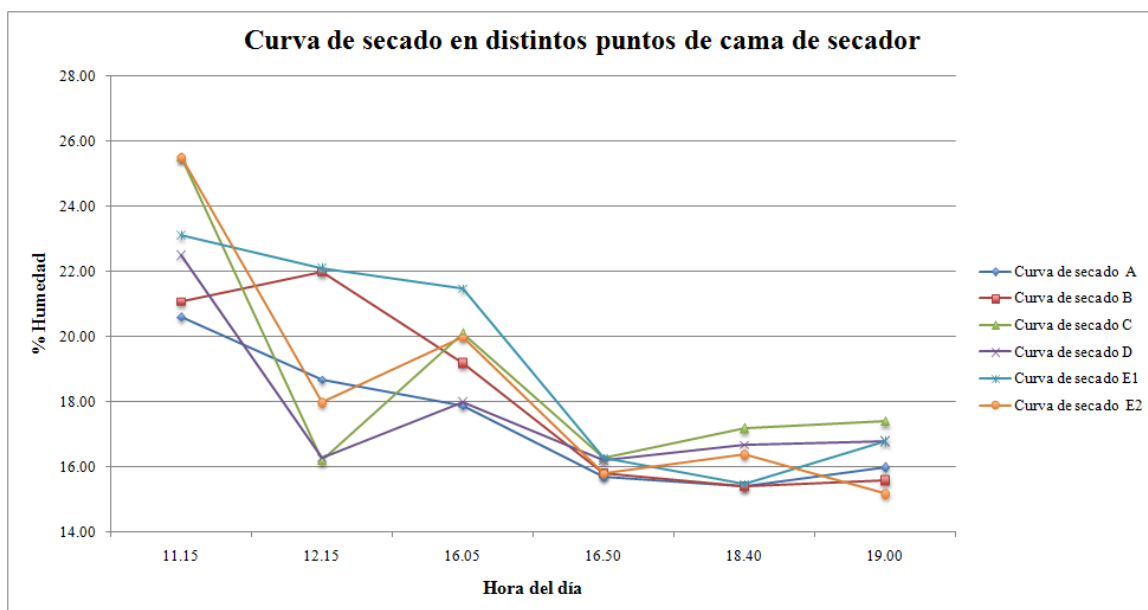
Gráfico 37. Comparación entre el calor generado por la combustión del olote y el calor transferido por convección en el secador.



En el gráfico anterior se muestra la comparación entre el calor generado por la combustión del olote y el calor transferido en el proceso de secado. De igual forma se muestra la eficiencia obtenida en la Evaluación No. 1.

Cuadro 35. Cantidad de olote utilizado en Evaluación No. 1

| Promedio olote utilizado (lb/min) | Desviación estándar entre datos obtenidos |
|-----------------------------------|---|
| 0.199 | 0.197 |

Gráfico 38. Curva de secado obtenida en los distintos puntos de la cama de secado de maíz.

En el gráfico anterior se muestran las curvas de secado obtenidas en la Evaluación No. 1 realizada en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango. Para observar donde se distribuyen cada punto en la cama de secado observar anexos distribución de termocoplas.

Cuadro 36. Velocidad de secado calculada en cada punto de la cama de secado en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango.

| | |
|--------------------------------------|------|
| Velocidad de secado “A” (%/hora) | 1.05 |
| Velocidad de secado “B” (%/hora) | 0.09 |
| Velocidad de secado “C” (%/hora) | 4.15 |
| Velocidad de secado “D” (%/hora) | 2.88 |
| Velocidad de secado “E1” (%/hora) | 0.58 |

Continuación **Cuadro 36.** Velocidad de secado calculada en cada punto de la cama de secado en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango.

| | |
|--------------------------------------|------|
| Velocidad de secado “E2” (%/hora) | 3.49 |
| Promedio (%/hora) | 2.04 |
| Desviación estándar | 1.68 |

Para observar donde se distribuyen cada punto en la cama de secado observar anexos distribución de termocoplas.

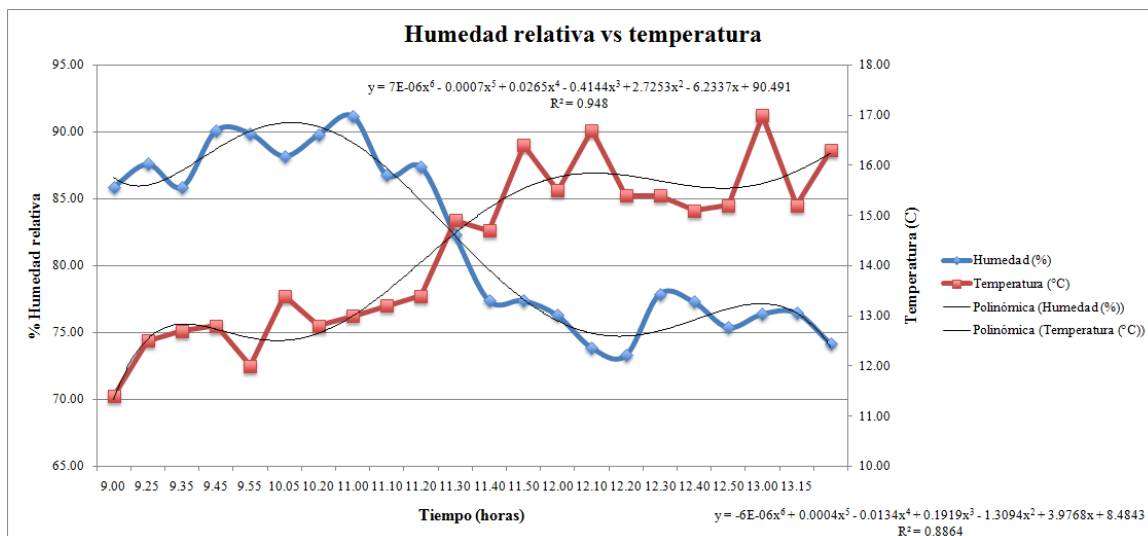
3. Evaluación No. 2 de Secador en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango.

Cuadro 37. Resumen evaluación No. 2 de secador en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango.

| Dato evaluado | Temperatura aire combustión (°C) | Temperatura aire chimenea (°C) | Temperatura aire ventilador (°C) | Velocidad del aire (m/s) | Temperatura ambiente (°C) | Humedad (%) | Temperatura ingreso cámara secado (°C) |
|---------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------|--|
| Promedio | 321.09 | 113.26 | 29.73 | 7.75 | 14.56 | 81.38 | 28.78 |
| Desviación Estandar | 72.86 | 35.62 | 4.41 | 0.16 | 1.52 | 6.46 | 4.06 |
| Máximo | 436.90 | 187.00 | 38.10 | 8.11 | 17.00 | 91.20 | 36.60 |
| Mínimio | 161.60 | 47.30 | 19.00 | 7.47 | 12.00 | 73.30 | 19.10 |

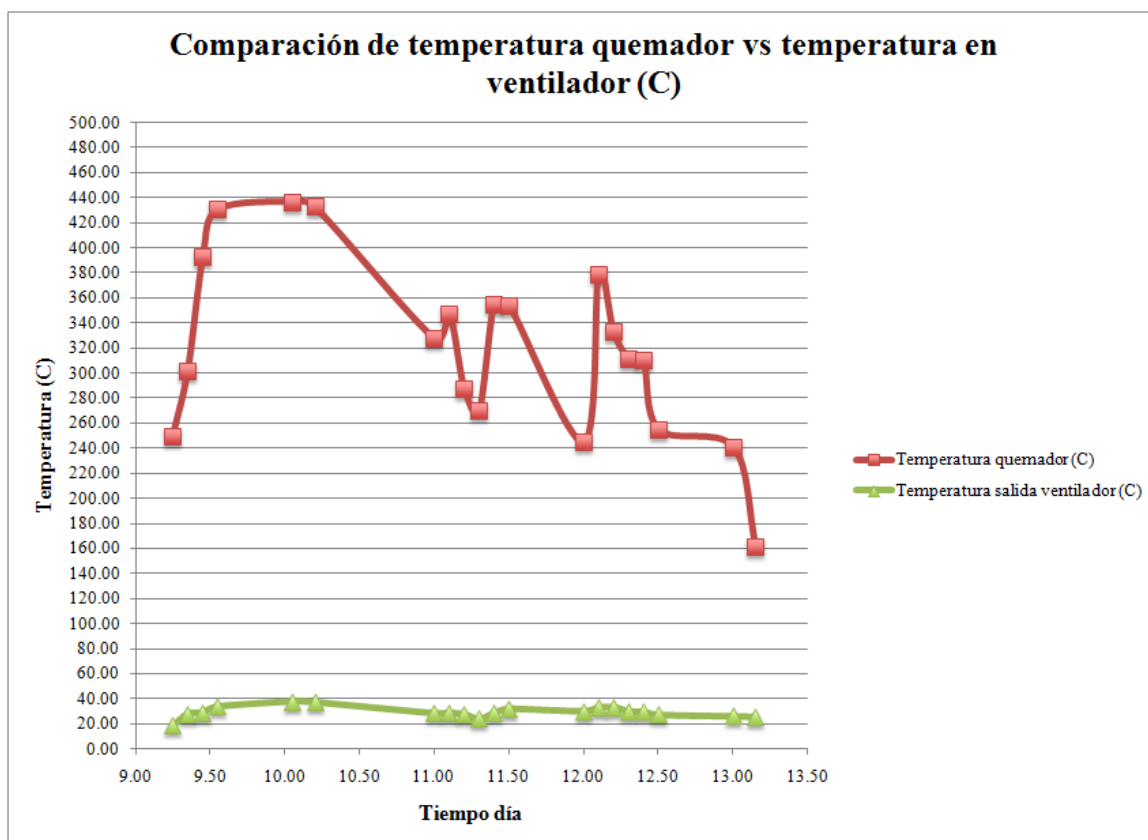
En el cuadro anterior se muestra un resumen de los parámetros medidos en el secador evaluado en la comunidad de San Antonio Las Nubes, Huehuetenango; durante la evaluación No.2

Gráfico 39. Comparación entre humedad relativa y temperatura ambiente durante la evaluación No. 2 de Secador en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango.



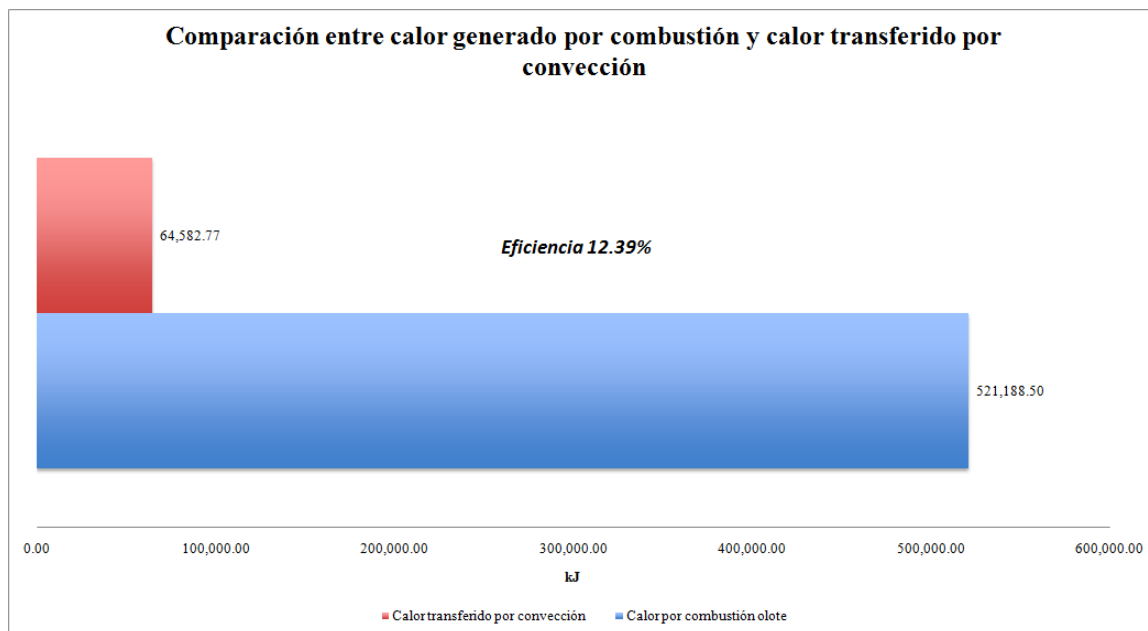
En el gráfico anterior se muestra una comparación entre la humedad relativa (%) y la temperatura ambiente (°C) de “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango el día de la evaluación No. 2 del secador.

Gráfico 40. Comparación entre temperatura alcanzada en quemador de olote y temperatura del aire en el ventilador.



En el gráfico anterior se muestra la diferencia de temperatura que se obtuvo en el aire del quemador y el aire que pasaba por el ventilador antes de ingresar a la cámara de secado.

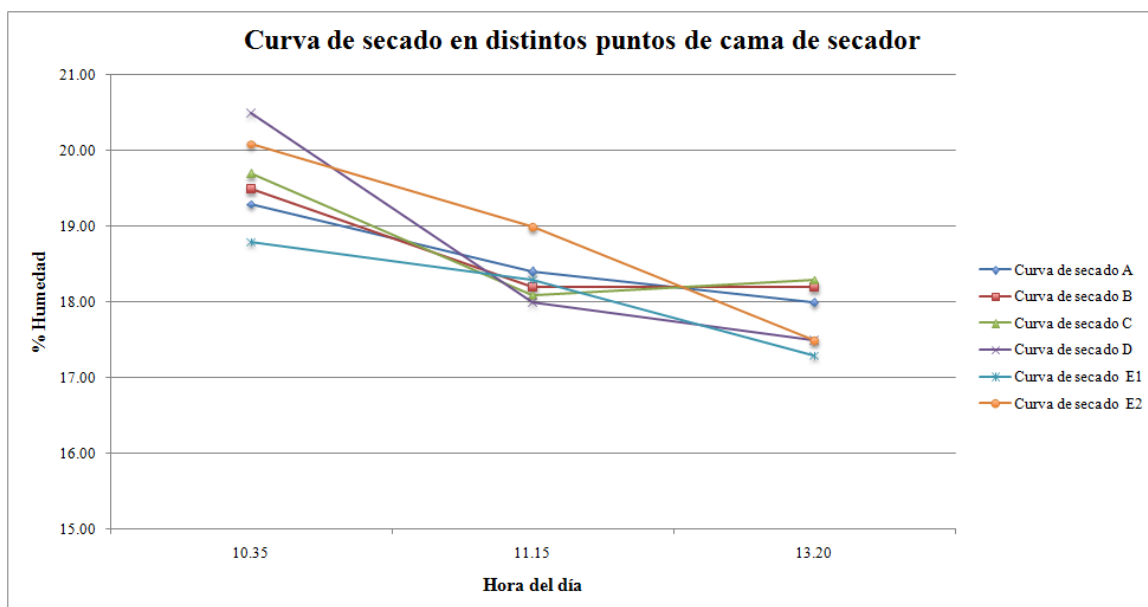
Gráfico 41. Comparación entre el calor generado por la combustión del olote y el calor transferido por convección en el secador.



En el gráfico anterior se muestra la comparación entre el calor generado por la combustión del olote y el calor transferido en el proceso de secado. De igual forma se muestra la eficiencia obtenida en la Evaluación No. 2.

Cuadro 38. Cantidad de olote utilizado en Evaluación No. 2

| Promedio olote utilizado (lb/min) | Desviación estándar entre datos obtenidos |
|-----------------------------------|---|
| 0.186 | 0.118 |

Gráfico 42. Curva de secado obtenida en los distintos puntos de la cama de secado de maíz.

En el gráfico anterior se muestran las curvas de secado obtenidas en la Evaluación No. 2 realizada en “San Antonio las nubes”, Huehuetenango. Para observar donde se distribuyen cada punto en la cama de secado observar anexos distribución de termocoplas

Cuadro 39. Velocidad de secado calculada en cada punto de la cama de secado en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango.

| | |
|-------------------------------------|------|
| Velocidad de secado “A” (%/hora) | 0.90 |
| Velocidad de secado “B” (%/hora) | 1.30 |
| Velocidad de secado “C” (%/hora) | 1.60 |

Continuación **Cuadro 39.** Velocidad de secado calculada en cada punto de la cama de secado en “San Antonio las Nubes”, Huehuetenango.

| | |
|--------------------------------------|------|
| Velocidad de secado “D” (%/hora) | 2.50 |
| Velocidad de secado “E1” (%/hora) | 0.50 |
| Velocidad de secado “E2” (%/hora) | 1.10 |
| Promedio (%/hora) | 1.32 |
| Desviación estándar | 0.69 |

Para observar donde se distribuyen cada punto en la cama de secado observar anexos distribución de termocoplas.

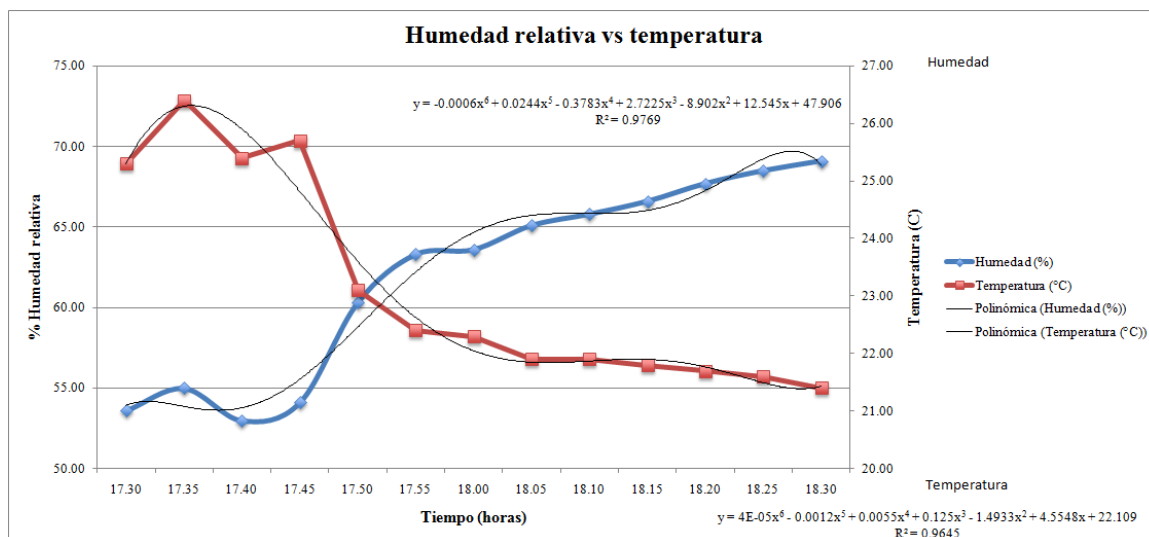
4. Evaluación de combustibles alternativos en Universidad del Valle de Guatemala.

Cuadro 40. Resumen de combustible alternativo “carbón” en intercambiador.

| Dato evaluado | Temperatura aire combustión (°C) | Temperatura aire chimenea (°C) | Temperatura aire ventilador (°C) | Velocidad del aire (m/s) | Temperatura ambiente (°C) | Humedad (%) | Temperatura ingreso cámara secado (°C) |
|---------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------|--|
| Promedio | 306.35 | 115.05 | 40.22 | 8.80 | 26.92 | 53.24 | 34.19 |
| Desviación Estandar | 38.02 | 11.41 | 2.41 | 0.42 | 1.59 | 3.04 | 2.59 |
| Máximo | 354.00 | 133.10 | 44.20 | 9.43 | 30.10 | 58.50 | 38.00 |
| Mínimio | 230.70 | 96.30 | 35.50 | 8.10 | 24.70 | 48.40 | 30.20 |

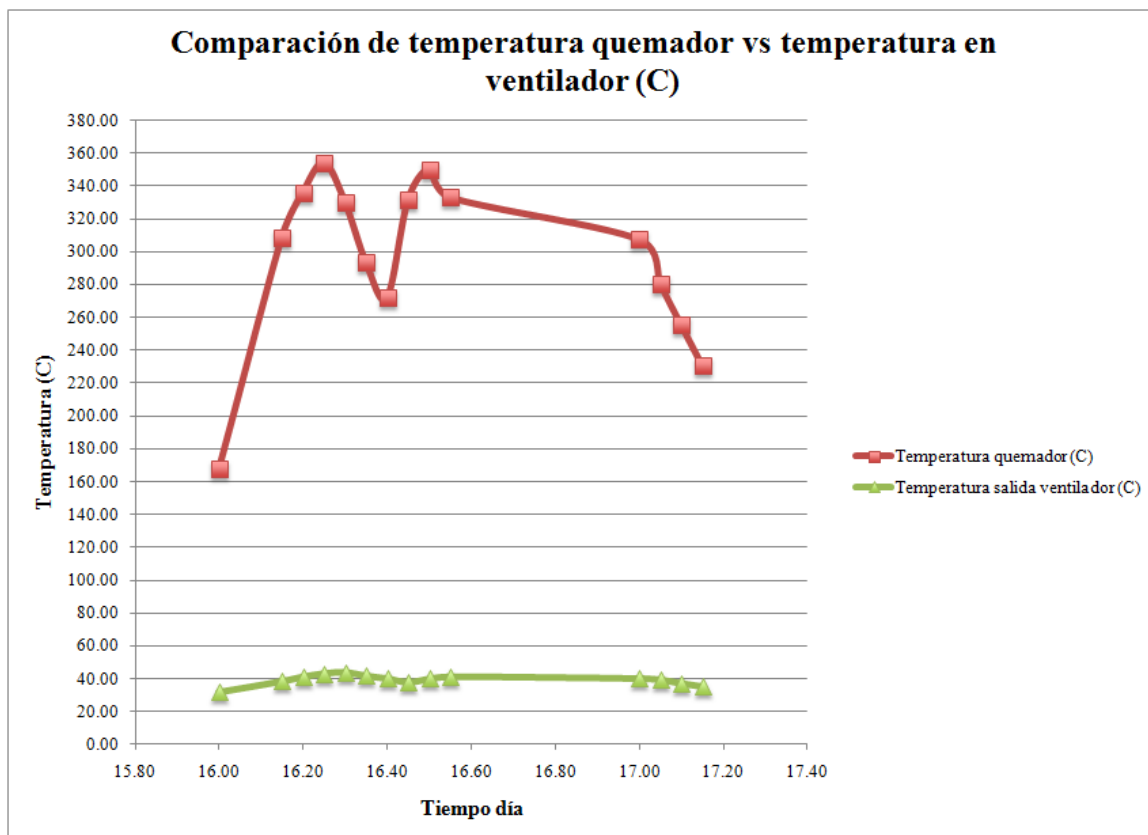
En el cuadro anterior se muestra un resumen de los parámetros medidos en el secador evaluado en la Universidad del Valle de Guatemala utilizando carbón como combustible alternativo.

Gráfico 43. Comparación entre humedad y temperatura ambiente durante la evaluación de combustible alternativo “carbón” en Universidad del Valle de Guatemala.



En el gráfico anterior se muestra una comparación entre la humedad relativa (%) y la temperatura ambiente (°C) de la Universidad del Valle de Guatemala.

Gráfico 44. Comparación entre temperatura alcanzada en quemador de carbón y temperatura del aire en el ventilador.



En el gráfico anterior se muestra la diferencia de temperatura que se obtuvo en el aire del quemador y el aire que pasaba por el ventilador antes de ingresar a la cámara de secado.

Gráfico 45. Comparación entre el calor generado por la combustión del carbón y el calor transferido por convección en el secador.



En el gráfico anterior se muestra la comparación entre el calor generado por la combustión del carbón y el calor transferido en el proceso de secado. De igual forma se muestra la eficiencia obtenida con el uso de carbón.

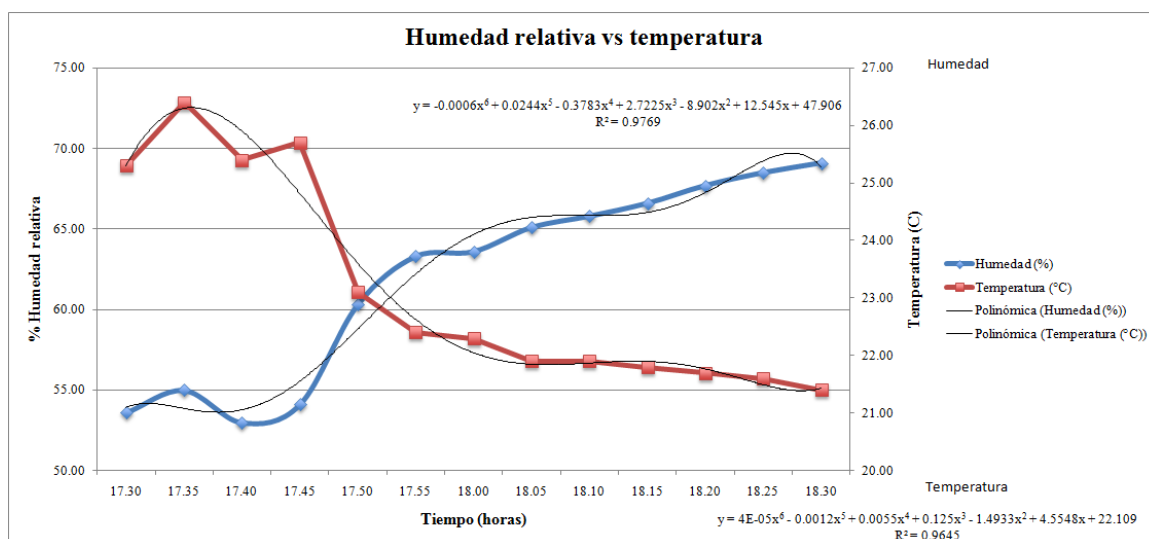
Cuadro 41. Cantidad carbón utilizado en prueba de combustible alternativo.

| Promedio olote utilizado (lb/min) |
|-----------------------------------|
| 0.03 |

Cuadro 42. Resumen de combustible alternativo “Leña” en intercambiador.

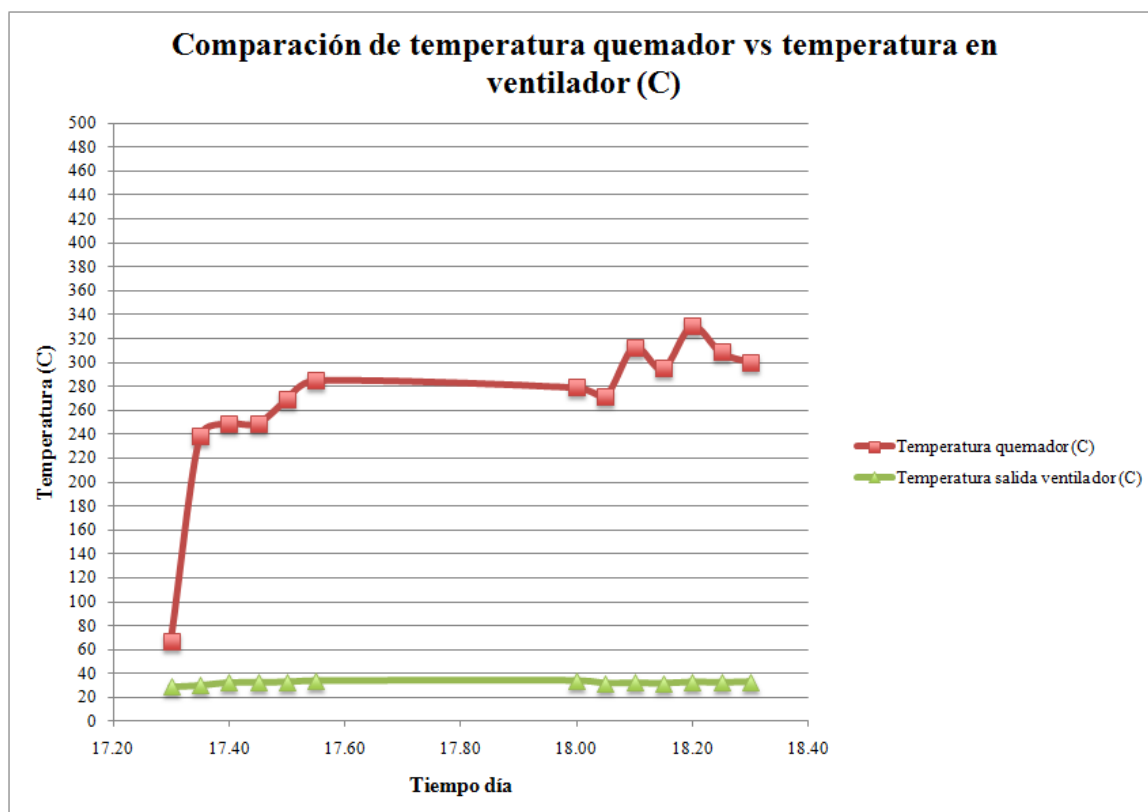
| Dato evaluado | Temperatura aire combustión (°C) | Temperatura aire chimenea (°C) | Temperatura aire ventilador (°C) | Velocidad del aire (m/s) | Temperatura ambiente (°C) | Humedad (%) | Temperatura ingreso cámara secado (°C) |
|---------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------|--|
| Promedio | 282.42 | 103.52 | 32.82 | 8.60 | 22.97 | 62.68 | 28.41 |
| Desviación Estandar | 28.51 | 52.36 | 1.10 | 0.35 | 1.80 | 5.76 | 1.05 |
| Máximo | 330.70 | 265.00 | 34.40 | 9.09 | 26.40 | 69.10 | 30.30 |
| Mínimo | 238.20 | 63.70 | 30.20 | 8.03 | 21.40 | 53.00 | 27.00 |

En el cuadro anterior se muestra un resumen de los parámetros medidos en el secador evaluado en la Universidad del Valle de Guatemala utilizando leña como combustible alternativo.

Gráfico 46. Comparación entre humedad y temperatura ambiente durante la evaluación de combustible alternativo “leña” en Universidad del Valle de Guatemala.

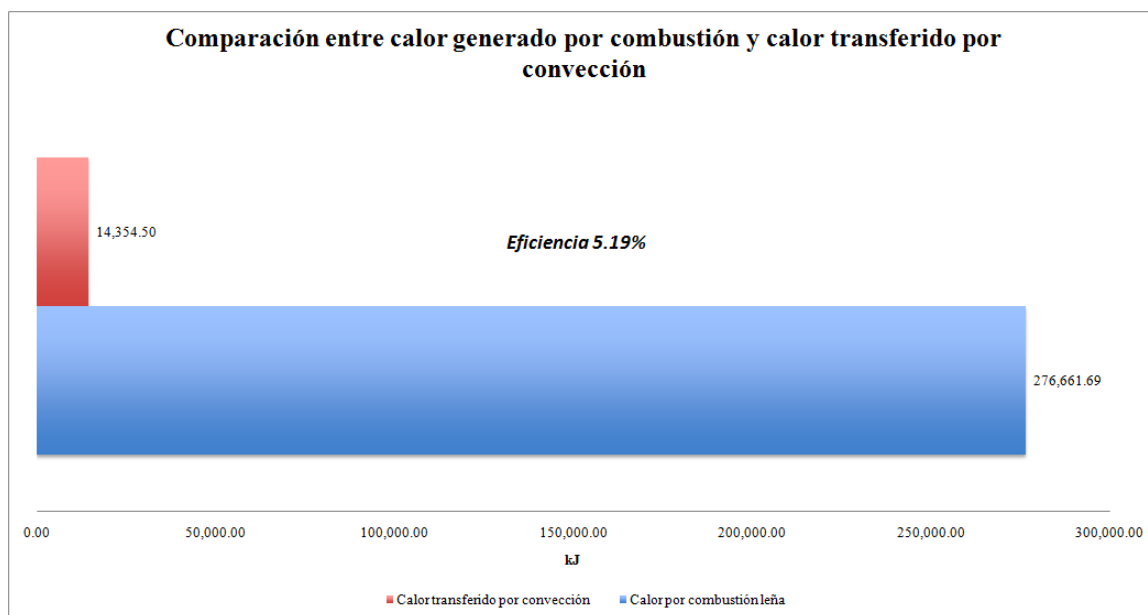
En el gráfico anterior se muestra una comparación entre la humedad relativa (%) y la temperatura ambiente (°C) de la Universidad del Valle de Guatemala.

Gráfico 47. Comparación entre temperatura alcanzada en quemador de leña y temperatura del aire en el ventilador.



En el gráfico anterior se muestra la diferencia de temperatura que se obtuvo en el aire del quemador y el aire que pasaba por el ventilador antes de ingresar a la cámara de secado.

Gráfico 48. Comparación entre el calor generado por la combustión de la leña y el calor transferido por convección en el secador.



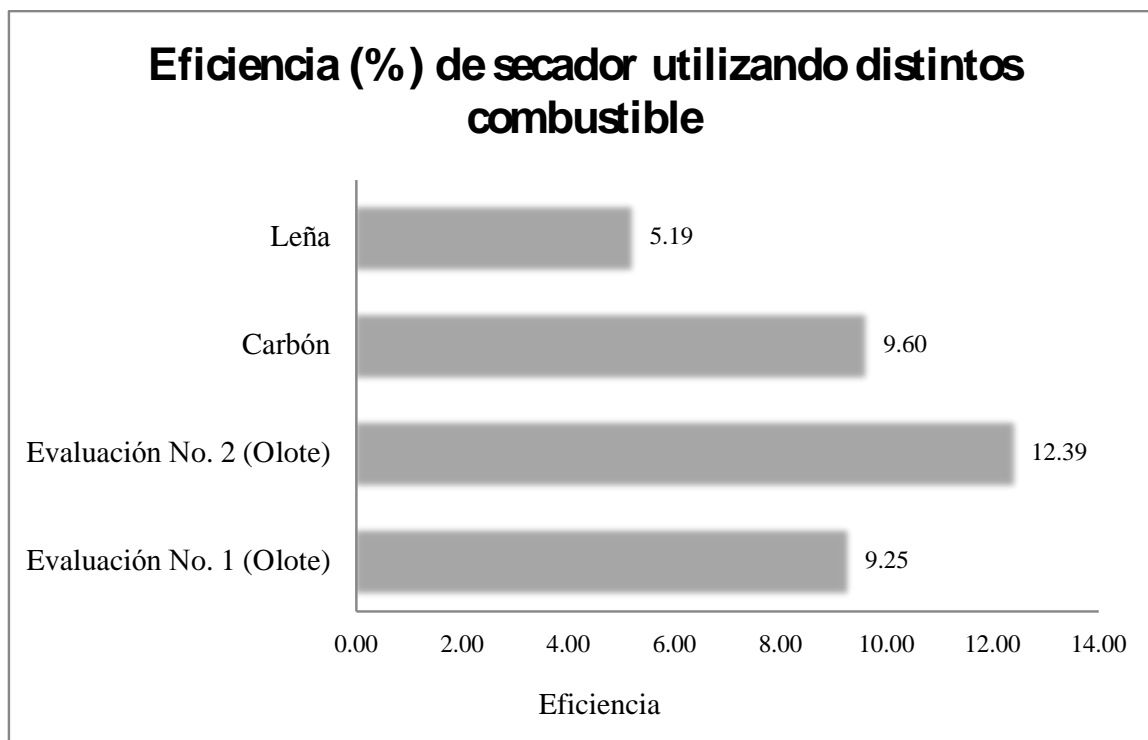
En el gráfico anterior se muestra la comparación entre el calor generado por la combustión de la leña y el calor transferido en el proceso de secado. De igual forma se muestra la eficiencia obtenida con el uso de carbón.

Cuadro 43. Cantidad carbón utilizado en prueba de combustible alternativo.

| |
|-----------------------------------|
| Promedio olote utilizado (lb/min) |
| 0.008 |

5. Evaluación de eficiencias de intercambiador con los distintos combustibles empleados.

Gráfico 49. Comparación entre eficiencias de secador utilizando distintos combustibles.



En el gráfico anterior se muestra en forma resumida las eficiencias mostradas en cada prueba realizada de evaluación del secador y/o el intercambiador de calor del mismo.

VII. DISCUSIÓN

A. MÓDULO I

El objetivo general de este proyecto fue analizar y proponer mejoras del manejo post cosecha de maíz (*Zea mays*) para la reducción de aflatoxinas y fumonisinas en el maíz cultivado y consumido en el Departamento de Huehuetenango, Guatemala. Para realizar una propuesta de mejoras post-cosecha se consideró indispensable establecer una línea base sobre la cantidad de aflatoxinas y fumonisinas en el maíz. En el proyecto se trabajó con dos cadenas, la cadena uno que es el grupo de agricultores que aportan maíz que ellos tapiscan, seleccionan y almacenan. Este grupo de agricultores permite evaluar todo el proceso post-cosecha del maíz y determinar en qué etapa se da el mayor deterioro de la calidad del grano. Así mismo, se incluyó una cadena dos que abarca a los agricultores que compran maíz ya sea criollo o importado y lo almacenan durante cierto tiempo hasta su consumo total. La cadena dos aporta información sobre el almacenamiento independientemente de cuál haya sido el proceso de tapisca y selección.

Se trabajó con los municipios Chiantla y Todos Santos Cuchumatán ya que sus comunidades enriquecen el estudio. Las comunidades estudiada están a distintas alturas, temperaturas y porcentaje de humedad promedio por lo que permiten evaluar otras variables que pueden afectar la calidad del grano de maíz (Shmale and Mundvold, 2003). Con base en lo anterior se constituyeron las tres alturas: A – 3,600 m.s.n.m (clima frío); B – 2,700 m.s.n.m. (clima templado); C- 1,500 m.s.n.m. (clima templado a caluroso). Tanto la altura como el clima son variables importantes ya que pueden suponer condiciones de estrés para los hongos productores de aflatoxinas y fumonisinas (Abbas *et al.*, 2006).

Los aportes de la cadena uno inician desde la etapa de tapisca hasta el almacenamiento pasando por un proceso de selección que supone ser un filtro para eliminar el maíz de mala calidad. En el contexto del estudio los agricultores separan el maíz que está podrido o dañado físicamente (picado) para agruparlo como maíz tipo "multo" o "multillo". Según el agricultor D7 localizado a una altura tipo A (Tres Cruces - 2300 msnm) este maíz es utilizado como

alimento para los animales. No obstante, también indicó que en caso se les termine el maíz seleccionado como "bueno" (no podrido) utilizarían el "multo" o "multillo" para consumo propio (Entrevista Oral en visita guiada Junio, 2015). Esto indica que sería importante extender la línea base hasta este maíz que por su descripción se espera presente mayor contaminación con aflatoxinas, fumonisinas u hongos (Pitt *et al.*, 2009).

Los resultados para la cuantificación de aflatoxinas en la cadena uno fueron muy variados entre etapa-región, el Cuadro 21 presenta el análisis de varianza para la altura y tipo de almacenamiento señalando que no hubo diferencias estadísticamente significativas. No obstante, los gráficos 6 – 11 presentan diferencias visuales según el método de almacenamiento. La falta de significancia de la diferencia pudo darse por las altas desviaciones de los datos (Cuadro 21). Las fumonisinas en la cadena uno en su mayoría fueron no detectadas (< 0.3 ppm) (Ver Cuadro 12 y 15, sección Resultados Módulo I). Esto podría deberse a que las fumonisinas son consideradas producidas por hongos del género *Fusarium* ante estrés ambiental (durante la cosecha) y son más problemáticas en tierras bajas y maíz de México (Torres *et al.*, 2007). Es importante considerar que para la cadena uno el mayor aporte de muestra fue proveniente de Chiantla, Huehuetenango con la participación de siete agricultores (G17, G18, H20, H21, I23 e I24) a dos alturas distintas. En Todos Santos Cuchumatán a pesar que hubo siete agricultores la cantidad de muestras fueron menos. Para fumonisinas el único punto atípico (ver Gráfico 2, Resultados, Módulo I) fue para el aporte de los agricultores de San José las Flores en la etapa de almacenamiento. Específicamente, el agricultor G18 en el día 60 y 90 presentó una alza en la cuantificación de fumonisinas, 1 y 1.3 ppm respectivamente. En este caso este agricultor corresponde al clima B con una altura de 2373 m.s.n.m. y temperaturas entre 12 -20 °C constituyendo un clima templado.

A diferencia del otro agricultor que estaba bajo las mismas condiciones climáticas el agricultor G18 tuvo almacenado su maíz en tapanco. El agricultor G17 de San José Las Flores almacenó su maíz en silo que se considera más efectivo para evitar daño del grano por insectos o roedores y aislar del ambiente cambiante que supone estrés para el hongo (Shmale and Mundvold, 2003).

Las aflatoxinas fueron detectadas en la mayoría de las muestras de la cadena uno, es decir su cuantificación fue superior a 3 ppb. El Gráfico 1 que presenta las medias de cuantificación de aflatoxinas en la cadena uno señala que los valores fueron desde 3 ppb hasta las 12.50 ppb.

En las distintas etapas la cantidad de aflatoxinas varía. Las comunidades de Todos Santos Cuchumatán y Chiantla presentaron tendencias similares en las que la cuantificación incrementó hasta su máximo durante el almacenamiento. Los Gráficos del 16 al 21 presentan el promedio según la tapisca y almacenamiento por comunidad. Se observan diferencias, específicamente un aumento durante el almacenamiento. La diferencia se evaluó mediante una prueba T de medias relacionadas (Cuadro 21) indicando que sí existe diferencia significativa según la etapa (cadena uno). Respecto a la etapa de selección (cadena uno) valores inclusive más altos que durante el almacenamiento. Lo anterior se debe a que durante la selección se incluye el grano más dañado que posteriormente es separado. Las variaciones de aflatoxinas durante el muestreo se infiere ocurrieron ya que el área de almacenamiento era demasiado extensa dificultando un muestreo representativo (Smith *et al.*, 2011).

No se esperaba una reducción de aflatoxinas entre una muestra y otra del mismo agricultor puesto que son sumamente estables, e inclusive soportan en un 50% el proceso de nixtamalización (Palencia *et al.*, 2003; Torres *et al.*, 2007). El descenso en la cuantificación pudo darse por un muestreo no representativos durante el almacenamiento. Una muestra representativa es una limitante ya que los agricultores no son autosuficientes en su producción y su prioridad es consumir el maíz que cosechan (no comprar). El agricultor identificado con el código D7 de Tres Cruces, Todos Santos Cuchumatán indicó que el maíz criollo es más grande y sabe dulce comparado con el importado (Entrevista Oral en visita guiada Junio, 2015).

Las medias más bajas para la cuantificación de aflatoxinas en la cadena uno fueron de los agricultores de Río Ocho, Todos Santos Cuchumatán en la etapa de tapisca. Al no estar aún en la etapa de almacenamiento se esperaba un maíz más libre de aflatoxina (Marasas 2003). En Río Ocho el clima es tipo C -1688 m.s.n.m con temperaturas entre 17 -25 °C (Ver Cuadro 16, Resultados Módulo I). Estas condiciones climáticas son menos estresantes para el hongo y no hay humedad excesiva que favorezca la colonización fúngica. Por ende, las condiciones no favorecen la producción de aflatoxinas (Pitt *et al.*, 2009).

En la cadena dos a diferencia de la cadena uno la cuantificación de fumonisinas fue superior al límite de detección 0.3 ppm. Específicamente, para las comunidades de Todos Santos Cuchumatán la tendencia de cuantificación fue mayor para los nueve agricultores incluidos (A1, A2, B3, B4, C5, C6, D10, E13 y F16). No obstante, el punto atípico más alto

fue para el agricultor I26 de Chiantla con 150 ppm de fumonisinas en el día 150 de almacenamiento en costales. Este agricultor al igual que los demás de la cadena dos de Chiantla (H22 e I25) almacena el maíz que compran en costales. En cambio, los agricultores de Chiantla de la cadena uno almacenan su maíz en silo y tapanco. El resto de los agricultores de la cadena dos que están localizados en Todos Santos Cuchumatán, también almacenan su maíz en costales.

Los Gráficos 12 – 16 sobre el tipo de almacenamiento es clave para justificar la necesidad de implementar una mejora en la tecnología de almacenamiento post-cosecha (Iowa University, 2012). La implementación de silos metálicos es una propuesta para cambiar la tecnología de almacenamiento de maíz y así reducir su exposición al ambiente cambiante y a su deterioro físico (daños mecánicos) (Hawkins *et al*, 2007).

Con la finalidad de comprender el porqué de las diferencias tan drásticas en la cuantificación de fumonisinas entre la cadena uno y dos es indispensable conocer la procedencia del maíz comprado. El grupo de agricultores de la cadena dos refleja no ser autosuficientes en el cultivo de maíz. Esto puede considerarse como un indicador de su situación económica. Por lo tanto, si no pueden cultivar su propio maíz lo compran; pero, qué tipo de maíz compran para poder costearlo. Torres *et al*, (2007) realizó un estudio muestreando maíz de mercados en el altiplano del año 2000 – 2003. Sus resultados indicaron un promedio de 13.79 ppm (n = 5) de fumonisinas. En contraste en este estudio para la cadena dos el promedio fue de 4.79 ppm (n=54) de fumonisinas. La diferencia entre los valores pudo darse ya que en este estudio se analizaron 54 muestras contra cinco del otro estudio. Además, en el otro estudio emplearon la técnica de HPLC acoplada a un detector de masas que es un método cuantitativos más exacto y preciso que el inmunoensayo usado en este proyecto.

El análisis de varianza (Cuadro 21 - 22) a un nivel de significancia de 0.05 indicó que no existe diferencia estadísticamente significativa en la cuantificación de aflatoxinas tanto en la región como tipo de almacenamiento para la cadena uno y dos. Se esperaba que los niveles de aflatoxinas en cada muestreo fueran crecientes o constantes pero que no disminuyan ya que una disminución señala un muestreo no representativo. Estas tendencias no esperadas contribuyeron a que no hubiera una diferencia estadísticamente válida entre alturas o tecnología de almacenamiento. Previo a realizar el análisis de varianza se verificó que los

datos cumplieran con los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia para no cometer pseudoreplicación (Cuadro 18, Resultados Módulo I).

La estadística descriptiva (Cuadro 19 y Cuadro 20) señaló que la cuantificación en general (aflatoxinas y fumonisinas) fue mayor para la cadena dos que la uno. Esto se debe a que los agricultores que no son autosuficiente en la producción de maíz deben recurrir a la compra de este pero el de menor calidad por su bajo precio (FAO, 2005). Los rangos de cuantificación para aflatoxinas son bajos ya que la mayoría de datos fueron fluctuantes pero superiores al límite de detección del equipo (2 ppb). En cambio, para fumonisinas los rangos son amplios ya que existen valores atípicos como la cuantificación en C2 con el agricultor I26 (150 ppm).

En base a los promedios calculados para la cuantificación de aflatoxinas en la cadena uno y dos, 7.78 ± 0.684 ppb y 9.93 ± 1.65 ppb respectivamente, se cumplen los límites permitidos por la FDA. Según la FDA el maíz destinado para consumo humano no debe superar las 20 ppb por lo que en base a este parámetro el maíz cumple con la calidad esperada para consumo humano. Así mismo, para fumonisinas los promedios fueron 1.61 ± 0.126 ppm para C1 y 4.79 ± 2.80 para C2. El límite de la FDA para fumonisina es de 2 ppm por lo que también se cumple con la normativa (FDA, 2011).

La normativa de la FDA da un estándar de lo máximo que debe presentar el maíz de aflatoxinas y fumonisinas. Sin embargo, para países con alto consumo de maíz como Guatemala estos límites resultan ser muy bajos al calcular la dosis de exposición según el consumo de maíz diario. A partir del Gráfico 17 al 20 se presenta la estimación de la dosis diaria para aflatoxinas y fumonisinas en la cadena uno y dos. La estimación se basa en el promedio de la cuantificación de la micotoxina, el peso promedio de hombres y mujeres del área rural (Bressani, 2009), la reducción de micotoxinas tras nixtamalización (Torres *et al.*, 2007) y el promedio del consumo diario de tortillas en el área rural (Palencia *et al.*, 2003; Torres *et al.*, 2007; Fuentes *et al.*, 2005).

La estimación de ingesta diaria de aflatoxinas para la cadena uno señaló que todos los sitios muestreados están en alto riesgo ya que superan el límite máximo tolerable de consumo diario de $3.4 \text{ ng AF} / (\text{Kg} * \text{día})$ dado por la JECFA (FAO/WHO, 2007). El único sitio que está en el límite para hombres y mujeres es Río Ocho en la etapa de tapisca. El las demás

etapas – regiones los valores superan inclusive en más del 100% a los límites según la JECFA. La tendencia de las dosis estimada sigue el patrón del gráfico de medias para la cuantificación de aflatoxinas en la cadena uno. Para hombres la curva es superior que para las mujeres ya que a pesar que su peso promedio es mayor (60 kg) su ingesta diaria de maíz es superior a la de las mujeres en un 50%. Esto denota la importancia que tiene una dieta balanceada ya que es el alto consumo de maíz lo que expone la salud de los pobladores (Magrine *et al.*, 2011).

Para la cadena dos se observa el mismo patrón para las aflatoxinas. En C2 el agricultor F16 es el que más expuesto está ante una dosis de $160 \text{ ng} / (\text{kg bw} \cdot \text{d})$. En contraste los agricultores E13, A2 y D10 son los que menos expuestos están a la ingesta diaria de aflatoxinas. Los agricultores D10 y E13 tienen en común un almacenamiento en silo que refuerza la necesidad de mejorar el almacenamiento (Gráfico 19, Resultados Módulo I).

Respecto a fumonisinas la estimación de dosis diaria para la cadena uno se mantiene por debajo del límite máximo tolerable de consumo diario de $2 \mu\text{g F} / (\text{Kg} \cdot \text{día})$ dado por la JECFA (FAO/WHO, 2011). Solo un valor que es en la etapa de almacenamiento en San José de las Flores supera el límite permitido poniendo en riesgo la salud del agricultor y lo que consumen su maíz (Gráfico 5, Resultados Módulo I).

La estimación de fumonisinas para la cadena dos denota que los agricultores A1, A2, B3, B4, C5, C6 y D10 superan por el doble más el límite máximo. El agricultor F16 está cercano a estar en el límite máximo. Los agricultores E13 y H22 se mantienen debajo del límite máximo. Los agricultores A1, A2, B3, B4, C5, C6, D10 y F16 que tanto en aflatoxinas como en fumonisinas superan los límites de consumo están en alto riesgo por la sinergia entre estas micotoxinas (Marasas, 1997).

Los resultados sobre la exposición diaria a aflatoxinas y fumonisinas señalan que en Chiantla y Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango los pobladores están en alto riesgo según el maíz que consumen. Lo que potencia el riesgo de los agricultores es su dieta ya que principalmente se alimentan de maíz por requerir menos horas laborales (una hora) (Fuentes *et al.*, 2005). Las aflatoxinas son potentes teratógenos mutágenos y carcinógenos asociados a cáncer hepático (Magrine *et al.*, 2011). Por ello, el maíz consumido que supera el máximo permisible de aflatoxinas posiciona a los consumidores en alto riesgo. Para las fumonisinas se

presenta el mismo escenario solo que con riesgos renales, hepáticos, defectos en el desarrollo del tubo neural y alteraciones en la producción de esfingolípidos (Gerderblom *et al.*, 2001).

La línea base sobre la calidad del grano de maíz en términos de aflatoxinas y fumonisinas señala que es indispensable implementar mejoras en las tecnologías post-cosecha. Así mismo, se evidencia que aunque los niveles de micotoxinas sean bajos si el consumo de maíz es elevado la exposición es alta. Por ello, se recomienda en paralelo balancear la dieta del agricultor con productos complementarios (*e.g.* papa, hierbas, huevos).

B. MÓDULO II

El objetivo del módulo fue determinar la calidad microbiológica del grano de maíz que es cultivado en dos municipios de Huehuetenango a distintas alturas con el fin de proponer mejoras para el manejo post-cosecha de maíz, debido a esto fue importante establecer una línea base sobre la cantidad de mohos presentes en el maíz. Se trabajó con tres comunidades del municipio de Chiantla y con seis comunidades del municipio de Todos Santos Cuchumatán, las comunidades se seleccionaron en base a la altura y a la cadena de acceso de maíz (1 y 2).

Como se muestra en los Cuadros 23 y 24 en el apartado de resultados, en el grano de maíz de ambos municipios estudiados hay presencia de hongos filamentosos (mohos), tanto hongos de campo como hongos de almacenaje. Los primeros son los que invaden las semillas mientras el cultivo está en el campo, la presencia de estos hongos se debe al alto porcentaje de humedad del grano en la etapa de tapisca, el cual es mayor a 20 - 21%, que requieren estos hongos para su crecimiento; en cuanto a los segundos, estos invaden los granos durante el almacenamiento, es decir que estos se presentan en la etapa de selección (0 días de almacenamiento) y en almacenamiento, la presencia de estos se debe a que el porcentaje de humedad se encuentra entre 13 - 18%, lo cual es requerido para su crecimiento (Rebuffel, 2006).

La calidad del grano que es cosechado en el municipio de Chiantla por los agricultores de la cadena 1 se puede observar en el Gráfico 21, en donde el grano de maíz cosechado por el agricultor H21 de la comunidad Cumbre La Botija (3267 msnm) es el que presenta menor

cantidad de mohos en la etapa de tapisca (4.45 log UFC/g) y selección (5.12 log UFC/g); mientras que en la etapa de almacenamiento presenta mayor cantidad que el agricultor I23 y G17 de las comunidad San Antonio Las Nubes (2599 msnm) y San José, Las Flores (2373 msnm) respectivamente, esto se debe a que la altitud a la que el maíz del agricultor H21 es cosechado es del tipo A, es decir que el clima es más frío (temperaturas bajas, cuadro 21 apartado anexos) por lo tanto existe mayor porcentaje de humedad en la muestra lo que hace que los hongos se propaguen más fácilmente. Además, otra de las razones es que el agricultor H21 utiliza el tapanco como tipo de almacenamiento mientras que el agricultor G17 utiliza silo; este último es el tipo de almacenamiento más eficiente ya que permite mantener las condiciones óptimas de almacenaje para el grano, siempre y cuando la humedad del producto sea menor al 13%, es decir que permite un mejor control de la temperatura, humedad, mohos y micotoxinas (Lindblad y Druben, 1979; Ramírez, 1982).

Por otro lado, el grano que presenta mayor cantidad de mohos en las tres etapas fue el cosechado por el agricultor I24 de la comunidad San Antonio Las Nubes (2599 msnm). Esto se debe a que en la etapa de selección que equivale a 0 días de almacenamiento presentó mayor cantidad de mohos (6.10 log UFC/g) en comparación a los demás, y el porcentaje de humedad en esta etapa también fue alto por lo tanto, el grano fue almacenado con un porcentaje de humedad mayor al 13% en un tapanco lo que contribuyó a la propagación de los mohos en la muestra durante los 90 días de almacenamiento.

Los agricultores del municipio de Chiantla de la cadena 1 almacenan el grano de maíz en silos y tapancos, como se observa en el Gráfico 22, el tipo de almacenamiento más eficiente es el silo principalmente porque en este se mantienen las condiciones óptimas de almacenaje. Los agricultores de la cadena 2 (Gráfico 24), utilizan costales y cajas de cartón; el que presenta mayor cantidad de mohos es el grano almacenado en costales debido a que la mayoría de estos son realizados de yute y fibras sintéticas, las cuales no protegen contra la humedad, insectos y roedores; además tienen poca duración, pueden romperse y así causar pérdidas del producto y facilitar la contaminación por distintas plagas (Lindblad y Druben, 1979).

Se determinó la calidad del grano de tres agricultores de la cadena 2, es decir que son agricultores que no cosechan el maíz, solamente lo compran para su consumo, debido a esto solamente se evaluó la cantidad de mohos presente en la etapa de almacenamiento. Como se

muestra en el Gráfico 23 el grano de maíz almacenado por el agricultor I25 de la comunidad San Antonio Las Nubes (2599 msnm) es el que presenta menor cantidad de mohos (4.81 log UFC/g) esto es debido a que el grano es almacenado en cajas de cartón, el cual a comparación de los costales es más eficiente.

La calidad del grano cosechado por los agricultores del municipio de Todos Santos Cuchumatán de la cadena 1 se puede observar en el Gráfico 25, en donde el agricultor F14 de la comunidad Río Ocho (1688 msnm) es el que presenta menos cantidad de mohos en la etapa de tapisca (4.31 log UFC/g) y selección (3.62 log UFC/g), este debido a que la altura a la que es cosechado es del tipo B es decir que el clima es templado por lo tanto las temperaturas de cosecha son más altas a comparación de las otras comunidades (17.5 – 25.2 °C, cuadro 22 apartado anexos), lo que disminuye la propagación de los mohos. En relación a la etapa de almacenamiento, no fue el que presentó menor cantidad de mohos, ya que el grano fue almacenado en costales. Como se muestra en el Gráfico 26, el tipo de almacenamiento menos eficiente es el costal debido a que no proporciona protección contra la humedad. El maíz almacenado por el agricultor E12 fue el que presentó menor cantidad de mohos (5.15 log UFC/g), esto debido a que la forma de almacenamiento fue colgado en la viga, el maíz que se almacenó de esta forma por los agricultores de la cadena 1 (Gráfico 26) fue el que presentó menor cantidad de mohos (5.24 log UFC/g), esto se debe a que el maíz fue cosechado en la comunidad Tuiboch que pertenece a la altura tipo C, por lo tanto la propagación de mohos fue menor debido a las altas temperaturas (16.2 – 24.1 °C) y a los porcentajes de humedad cercanos al 13%.

La cantidad de mohos presente en el maíz almacenado por los agricultores de la cadena 2 del municipio de Todos Santos Cuchumatán fue similar (Gráfico 27), el maíz almacenado de los agricultores C5, C6 y E13 son los que presentan menor cantidad de mohos, debido a que a la altura en que se encontraba es de tipo B, es decir que en estas comunidades (Chicoy y Tuiboch) el maíz se expone a temperaturas más altas que las otras comunidades (Cuadro 22, apartado anexos), lo que disminuye la propagación de los mohos. En relación al tipo de almacenamiento utilizado por los agricultores, el más eficiente fue el silo en comparación a los costales (Gráfico 28), aunque la diferencia no fue mayor, es decir que los agricultores de la cadena 2 no llevan a cabo buenas prácticas de almacenamiento. En relación al tiempo de almacenamiento del maíz cosechado y almacenado en ambos municipios (Gráfico 29, 30, 31, 32 y 33), no existe gran diferencia en la cantidad de mohos ya que al almacenarlo la calidad

del grano no se mejora, solo se mantiene. Es decir que el almacenamiento no mejora la calidad del grano si este ha sido cosechado con un alto porcentaje de humedad y si no se seca por completo (FAO, 1993). En el municipio de Chiantla, el maíz almacenado por los agricultores de la cadena 1 (Gráfico 29) durante 180 días fue el que presentó menor cantidad de mohos (4.45 log UFC/g), esto se debe a que mientras mayor es el tiempo de almacenamiento, los porcentajes de humedad del grano pueden disminuir, por lo tanto el grano almacenado por menos tiempo presenta menor cantidad de mohos. Lo mismo ocurre con el maíz almacenado durante 180 y 150 días (Gráficos 31 y 32) por los agricultores del municipio de Todos Santos Cuchumatán.

Para determinar la relación entre la cantidad de mohos (variable dependiente) y los distintos tratamientos (altura) se analizó los supuestos de normalidad y de homocedasticidad de los datos en relación a las réplicas. La cantidad de mohos en la cadena 1 presenta una distribución normal (Gráfico 54, apartado anexos) ya que la mayoría de los datos se apegan a la línea de tendencia, y con las pruebas de normalidad (Cuadro 27) se acepta la hipótesis nula ya que los valores p son mayores al nivel de significancia (0.05). Lo mismo ocurre con los datos de la cadena 2 (Gráfico 55, apartado anexos), la mayoría de los datos se apegan a la línea de tendencia y se acepta la hipótesis nula; es decir que los datos de ambas cadenas se distribuyen normalmente. El otro supuesto analizado fue el de homocedasticidad, este se cumple si las varianzas son homogéneas (varianzas iguales), como se observa en el Cuadro 18 la prueba de Levene no es significativa ya que el valor p es mayor al valor de significancia, es decir que la dispersión de los datos es similar entre los tratamientos ya que no se rechaza la hipótesis nula. Debido a que ambos supuestos se cumplen, los datos se analizaron mediante una prueba paramétrica ya que las réplicas son independientes entre sí.

El contraste de medias se realizó con un análisis de varianza de un factor, como se muestra en el Cuadro 29, para ambas cadenas el valor estadístico (F) es distinto a 1, lo que significa que la cantidad de mohos a distintas alturas es diferente. Además se realizó un diagrama de caja y bigotes para cada una de las cadenas (Gráficos 56 y 57 apartado anexos), en ambas figuras se observa que las medias de cada tratamiento aparecen dispersas a distintos niveles lo que significa que la media de la cantidad de mohos es diferente en los distintos tratamientos (alturas). También se realizó un análisis descriptivo de la cantidad de mohos a las distintas alturas estudiadas de cada municipio, en Chiantla (Gráfico 33) se presentó mayor cantidad de mohos en la comunidad Cumbre La Botija con una altura de tipo A (3267 msnm),

esto se debe a que mientras más altura menor es la temperatura y por lo tanto mayor es la humedad, lo que facilita la propagación de los hongos en el maíz cosechado y almacenado. Lo mismo ocurre en Todos Santos Cuchumatán (Gráfico 34), ya que las comunidades ubicadas a mayor altura (Chichím y Chemal II) presentaron mayor cantidad de mohos en el maíz. En el presente estudio se analizó la calidad del grano de maíz en base a la cantidad de mohos presente en el mismo a distintas alturas las cuales se relacionaron con el porcentaje de humedad y la temperatura de la muestra; para estudios futuros es recomendable medir la actividad del agua de la muestra con el fin de determinar la disponibilidad del agua para la actividad biológica del grano y de los microorganismos que lo atacan (FAO, 1993). Debido a que todas las muestras analizadas presentaron mohos es probable que la actividad del agua se mantuviera entre 0.65 – >0.70 ya que a estos valores, la actividad biológica de los granos y de los microorganismos es más rápida, es decir que la velocidad de crecimiento de los hongos y deterioro del grano es más rápida (FAO. 1993).

Con base en las pruebas de comparación de medias (Cuadros 29 y 30), se puede observar que la diferencia en la cantidad de mohos en las distintas etapas estudiadas de la cadena 1 (tapisca, selección y almacenamiento) si existe una diferencia significativa, al igual que en la cadena 2 (almacenamiento a 0 días y a 90 días). En relación a tipo y tiempo de almacenamiento no existe una diferencia significativa, esto se debe a que los granos de maíz son almacenados con altos porcentajes de humedad por lo tanto los silos no actúan de forma eficiente, aunque según el promedio si son el tipo de almacenamiento en lo que el grano presenta menor cantidad de mohos. En relación al tiempo de almacenamiento, la diferencia no es significativa ya que en esta etapa la calidad del grano solo se mantiene, para este análisis no se tomaron en cuenta las muestras almacenadas por más de 90 días, ya que no todos los agricultores muestrearon más de esos días. A pesar de que no existe diferencia significativa, si existe una diferencia visual, esto se debe a las altas desviaciones de los datos con respecto a la media.

El principal problema del maíz que es cosechado y almacenado en el departamento de Huehuetanango es la mala calidad del mismo ya que como se observa en los resultados, este se encuentra contaminado por hongos filamentosos y por ende también está contaminado por micotoxinas las cuales son producidas por los hongos bajo condiciones de alta humedad ambiental y humedad del grano mayor al 13% (Rebuffel, 2006), como se observa en los Cuadros 15 y 16, todas las muestras presentan porcentajes de humedad mayor al 13%. La

presencia de micotoxinas en el grano de maíz presenta un gran efecto negativo en la calidad del mismo y en la salud humana de los consumidores, los agricultores de la cadena 2 de ambos municipios que consumen el grano almacenado contaminado con hongos filamentosos se exponen crónicamente a estas (principalmente aflatoxinas y fumonisinas), lo cual puede causar cirrosis hepática, cáncer hepático, desnutrición, cáncer de esófago, afectar el crecimiento infantil y la muerte (Castillo y Durán de Bazúa, 2006; FAO, 2014). Debido a que las condiciones de humedad del grano se encuentran en el porcentaje requerido para el crecimiento de hongos de campo y de almacenaje (Cuadros 23 y 24), existe una doble exposición de aflatoxinas y fumonisinas en la población de ambos municipios del departamento de Huehuetenango, es decir que los efectos dañinos se potencializan. Para evitar la exposición a las micotoxinas, los agricultores deben contar con tecnologías post-cosecha para disminuir la contaminación del grano de maíz que es cosechado y almacenado.

La principal razón de la presencia de mohos y micotoxinas es que los agricultores del departamento de Huehuetenango no tienen acceso a tecnologías post-cosecha para realizar buenas prácticas, principalmente en la etapa de secado y almacenamiento, tales como almacenamiento del grano limpio, sano, seco y fresco, control de insectos, no retrasar el proceso de secado y ventilar adecuadamente el maíz (Orozco, 2014). De los 25 agricultores estudiados, solamente cinco de ellos utilizan el silo, el cual es el tipo de almacenamiento más eficiente y 10 utilizan costales, el cual es el menos eficiente; en relación al secado ninguno de los agricultores tiene acceso a un secador eficiente, por lo tanto a la hora de almacenar el maíz, la humedad del mismo es alta lo que ayuda a la propagación de hongos. Para evitar la contaminación del grano de maíz, es importante que este sea almacenado en condiciones de humedad menores al 13% y utilizar estructuras de almacenamiento herméticas como lo son los silos; en relación a la exposición de micotoxinas, es importante la variación de la dieta, para que la exposición sea menor, esta puede incluir brócoli y plantas similares que son capaces de inhibir la acción de las micotoxinas (Orozco, 2014).

Por último, es importante mencionar que en el departamento de Huehuetenango las mujeres preparan el maíz de distintas formas, principalmente como tortillas las cuales se consumen en el desayuno, almuerzo y cena (FAO, 2001). Esta es la principal forma a la que las personas se exponen a las micotoxinas por lo tanto es recomendable tomar en cuenta el proceso de nixtamalización en estudios futuros para cuantificar las micotoxinas que son

consumidas por las personas, en donde el límite según la FAO es de 20 ppb para aflatoxinas y 4 ppm de fumonisinas (Requema *et al.*, 2005).

C. MÓDULO III

Con el principal objetivo de analizar y proponer mejoras del manejo post cosecha del maíz, se inició el proyecto evaluando y analizando los distintos métodos de secado que se pueden aplicar a los granos de maíz, o bien en mazorca.

Para la correcta selección del tipo de secador a construir e implementar se tomaron en cuenta varios factores que impactan de forma directa en las comunidades donde se desea implementar. El factor económico fue la variable más importante a involucrar, buscando aquellos materiales más accesibles para las comunidades, así como su efectividad y durabilidad permitiendo un secado que logre llegar al porcentaje deseado (13% de humedad) según indica el FDA, para que durante el almacenamiento se logre tener una disminución de micotoxinas en los granos de maíz.

Al tratarse de un secador que debe cumplir con el volumen cosechado por agricultor ya sea una o dos veces al año, fue importante tomar en cuenta su capacidad; donde el secador logre secar lotes de 575 kg de maíz aproximadamente. Además, la selección del secador tuvo como principal desafío el fácil uso e instalación por parte de los agricultores, así como su portabilidad para no generar espacio extra cuando no esté en uso, o en caso que se quiera utilizar por otros agricultores, sea fácil de transportar.

De igual forma fue importante tomar en cuenta el mecanismo de secado, el cual se encuentra directamente relacionado con el costo del secador, así como la fuente de energía; pudiendo aprovechar la biomasa que no es utilizada por los agricultores, ya que luego de cosechar y desgranar la mazorca de forma manual, producen grandes volúmenes de olotes, siendo utilizados algunos para alimentación a vacas, caballos o algunos otros animales, sin embargo, el resto es desechado y quemado. Además se tomó en cuenta que algunas comunidades carecen de energía eléctrica, siendo el secador capaz de generar energía sin depender de instalaciones eléctricas en los hogares de los agricultores. Además se evaluó la posibilidad de utilizar celdas solares para la generación de energía capaz generar calor

suficiente para secar los granos de maíz, sin embargo, el precio obtenido utilizando esta tecnología fue muy elevado para la construcción de un secador, así como su uso y manipulación por parte de los agricultores. También se analizó la idea de un secador cuyo principio de calentamiento es la radiación solar, obtenido por piedras pintadas de negro capaces de capturar la energía solar y transferirla a la cámara de secado. Sin embargo, para este modelo se necesita de mucha energía solar, siendo una condición climática difícil de lograr en la región de Huehuetenango; ya que la implementación del secador es en regiones de gran altitud, cubierta por las nubes la mayor parte del año, de manera que dicho modelo fue descartado.

Tomando en cuenta los factores mencionados anteriormente, se encontró que el modelo más apropiado para construir e implementar en la comunidad de Huehuetenango fue el AflaStop, obtenido del documento de “Drying Technologies”, implementado en África como proyecto proveído por la fundación “Bill & Melinda Gates”. Dicho modelo cumple con los requisitos y características más apropiadas para su implementación en las comunidades, ya que los materiales a utilizar son de bajo costo, donde la cámara de secado es elaborada a base de una estructura metálica simple sobre la cual se coloca una manta. En relación al mecanismo de secado, se utiliza hojalata como principal material, así como cajas de madera, siendo materiales de alta disponibilidad y de bajo costo. Respecto a la fuente de energía, dicho modelo aprovecha los olotes obtenidos por los agricultores luego de desgranar las mazorcas de maíz, el cual regularmente es quemado o esparcido en el suelo como abono. Y para introducir el aire, se aprovechan ventiladores de computadora o radiador de carro que se puedan reutilizar.

El procedimiento de elaboración del secador fue de un total de cinco días hábiles, donde se contó con soporte externo para la fabricación de la estructura metálica, así como el intercambiador de calor de hojalata, y las cajas de combustión y de aire forzado con el ventilador en su interior.

Para el proceso de construcción se realizaron varias modificaciones en relación al modelo original. Entre dichas modificaciones se puede mencionar que se construyó un soporte para la base metálica de material de policloruro de vinil (PVC), con el objetivo de brindar firmeza a la manta vinílica donde fueron colocadas las láminas metálicas corrugadas. El diseño y estructura del soporte fue introduciendo los tubos de PVC dentro de las barras metálicas,

ensamblando los tubos entre sí utilizando codos de 90° y “tes” para conectar los tubos horizontales con el tubo vertical. Por otro lado, se colocaron ladrillos dentro de la cama de secado, para brindarle un mejor soporte a las láminas corrugadas, evitando de esta manera que el peso de los granos de maíz sobre las láminas las doblara y cayeran los granos dentro de la manta.

En relación a la instalación eléctrica de los ventiladores, fueron utilizados bornes para conectarlos a las baterías Magnum de 65Amps/h, donde se utilizó una batería para la conexión del ventilador pequeño de 12V DC, y otra batería para la conexión del ventilador de radiador utilizado para la succión de aire del ambiente a través del intercambiador de calor. Respecto a este procedimiento, es recomendable conectar ambos ventiladores a una sola batería, para disminuir los costos de fuente de energía.

Respecto a las láminas corrugadas, fueron perforadas utilizando una pulidora de metal que permitió hacer los agujeros, para promover el ingreso del aire caliente hacia los granos colocados sobre las láminas. Es importante tomar en cuenta respecto a estas perforaciones que tuvieran el tamaño adecuado para evitar que los granos de maíz se fueran por los agujeros, afectando de esta manera en el rendimiento del secado de los granos. En relación al uso de láminas para la división entre la cámara de aire caliente y los granos de maíz, es recomendable utilizar otro material que permita un mejor contacto del aire con los granos de maíz, sin embargo, de un tamaño adecuado que no permita el paso de los granos. Una alternativa para las láminas es utilizar malla de alambre con agujeros que permitan el paso del aire y eviten el paso de los granos de maíz.

En el proceso de combustión se pudo identificar una alta pérdida de energía al ser distribuida en toda la estructura de la caja donde se lleva a cabo la combustión. De manera que para aprovechar dicha energía, los olotes fueron colocados alrededor de la cámara de combustión para que el calor generado durante el proceso de combustión permitiera secar los olotes, previamente de ser ingresados dentro de la cámara para la generación de calor que permita calentar el aire. Otra alternativa para aprovechar el calor generado por la cámara de combustión, es rediseñar la caja para poder colocar ollas o utensilios utilizados por la familia de los agricultores para calentar su comida, mientras se está llevando a cabo el proceso de secado.

Durante el proceso de implementación del secador, se observó que al alimentar con biomasa (olotes) como combustible la cámara de combustión, al colocar la tapa con el ventilador pequeño sobre la caja, la energía calórica fue transferida a la tapa de madera con el ventilador, haciendo que luego de 30 minutos aproximadamente, el ventilador empezara a fallar, y las hélices se movieran de su lugar, disminuyendo la velocidad de revoluciones del ventilador y por lo tanto, la capacidad de direccionar el aire hacia el interior de la cámara disminuyera. Por este motivo, el ventilador fue colocado sobre un cilindro de lámina colocado sobre la tapa, para alejarlo de la fuente de combustión de olote, permitiendo direccionar el aire correctamente sin dañar el ventilador con el calor producido por el proceso de combustión del olote o la biomasa utilizada.

En cuanto a la portabilidad o transporte del secador, el diseño y forma de construcción permitió una instalación eficiente en el área donde se realizó el secado de los granos, requiriendo el proceso de instalación un tiempo estimado de 25 minutos, con 4 personas encargadas de armarlo. Por lo tanto, para los agricultores, en caso que no cuenten con apoyo para la instalación del secador, se demorarían en un tiempo estimado de 1 hora para tener listo el secador para su funcionamiento. Además, las piezas de la basa para la cámara de secado, fueron marcadas con números para que el agricultor pueda identificar cuáles son las piezas que se deben unir, siendo un proceso efectivo para armar la base metálica. En relación a las piezas para el proceso de calentamiento y movilidad del aire, la instalación es más simple, requiriendo únicamente de conectar el intercambiador de calor con las dos cajas, colocar la chimenea sobre el intercambiador de calor, y conectar con el tubo flexible, el sistema de calentamiento de aire con la cámara de secado.

En relación a los costos del secador, el costo de la cámara de secado fue de Q2,756.00 y el costo del sistema de secado fue de Q4,700.00, teniendo el secador un valor total de Q7,456.00. Respecto a los costos de la cámara de secado, que corresponden a un 37% del costo total del secador, se puede analizar en base al proceso de construcción, instalación y funcionamiento del secador, que se pueden reducir los costos de manera significativa, al modificar la base o soporte metálico, utilizando únicamente láminas para la construcción de la base, y una malla de alambre para colocar los granos de maíz.

Además, el costo del suministro de energía fue de Q4,058.00, siendo el costo total del secador con su fuente de energía de Q11,514.00. Sin embargo, se pudo identificar corriente eléctrica en la casa del agricultor donde fue instalado el secador, por lo cual, este costo se puede omitir, en caso los agricultores dispongan de fuente eléctrica instalada en sus hogares. , tomando en cuenta que los ventiladores a utilizar fueran AC para poder utilizar la energía eléctrica de la casa. En este caso se podrían utilizar ventiladores de pie convencionales utilizados en los hogares, cuyo costo se encuentra entre Q300.00 y Q400.00, con un precio similar al ventilador de radiador de carro que tuvo un costo de Q350.00, ya que en relación a las especificaciones dichos ventiladores se encuentran entre 1500 y 2000 RPM, el cual está dentro del rango del ventilador de carro utilizado (1800 RPM). Otra alternativa es utilizar los mismos ventiladores 12V DC, sin embargo, utilizar un inversor de voltaje de DC a AC para poder conectarlo a la energía eléctrica de la casa, donde se debe evaluar el costo adicional del inversor de corriente de 12V a 110V, que se encuentra entre Q300.00 y Q500.00, los requeridos para dicho fin.

D. MÓDULO IV

El objetivo principal de esta investigación era evaluar el secador de maíz construido en la Universidad del Valle de Guatemala para ser utilizado en la comunidad de “San Antonio Las Nubes”, Chiantla; buscando que el maíz alcance porcentajes de humedad adecuados (12-13%) para su posterior almacenamiento.

Se comenzó evaluando la capacidad del secador; esto con el fin de garantizar que los equipos del secador proporcionarían un flujo adecuado de aire y así poder llevar a cabo la operación de secado, ya que sí desde el principio el flujo era inadecuado el proceso sería ineficiente y por ende no podría cumplir el objetivo. Por tanto se analizaron las dimensiones del secador y el flujo del aire y se determinó que el secador tiene una capacidad de secado de aproximadamente $0.40 \text{ m}^3/\text{min} \cdot \text{ton}$ (tal como se observa en Cuadro 33). Para realizar este cálculo (observar Cuadro 33) fue necesario obtener el flujo de aire que el ventilador producía (expresado en pies cúbicos por minuto) y relacionarlo directamente con el volumen de maíz que se utilizaría en la prueba (expresado en bu). Con este valor se logró obtener la capacidad de secado expresada en $\text{m}^3/\text{min} \cdot \text{ton}$ (Ver Anexos).

Una vez se logró establecer que el flujo de aire era adecuado para llevar a cabo el proceso de secado se procedió a realizar las evaluaciones al secador. Se sabe que la eficiencia y funcionamiento del secador dependerán de las condiciones del lugar en donde se realice la prueba, por tanto se decidió realizar un constante monitoreo de la humedad y temperatura durante todas las pruebas realizadas. Desde el comienzo de las evaluaciones se pudo notar que la altitud elevada produciría altos valores de humedad y por bajas temperaturas en el ambiente; por tanto en la evaluación No. 1 se obtuvo una temperatura ambiental promedio de 13.87°C con una desviación estándar de 0.99°C ; así como una humedad ambiental de 92.72% con una desviación estándar de 2.79°C .

La primera evaluación del secador se realizó en “San Antonio Las Nubes”, Chiantla; en donde el primer día al observar el gráfico 1 se observa que la humedad y temperatura no se comportan de una forma lineal durante el proceso; lo cual puede influir de forma directa en la transferencia de calor del intercambiador y por ende en la eficiencia del secador haciendo que a menor temperatura ambiente se pierda mayor cantidad de energía; así como en la humedad del grano de maíz, ya que a mayor humedad relativa ambiente el grano puede ganar humedad y hacer el proceso de secado más difícil. De igual forma el análisis de datos realizado no permite establecer una correlación adecuada entre los datos, por lo que se podría proyectar algún dato pero se tendría un margen de error bastante elevado.

Al observar el Cuadro 34 se hace notar que la temperatura promedio alcanzada en el aire de combustión fue de 312.35°C con una desviación estándar de 111.22°C ; lo cual nos indica que el proceso de combustión no fue estable y no logró mantener la temperatura estable durante su evaluación ya que la desviación estándar es muy elevada. Por otra parte estos datos se pueden visualizar en la gráfica 36 en donde se observa que la temperatura del aire de combustión presenta picos y no una distribución lineal y/o estable. Por otra parte se puede ver en el mismo cuadro que la temperatura del aire en el secador (ya calentado por el intercambiador de calor) presentó una temperatura máxima de 29.43°C con una desviación estándar de 7.54°C ; lo cual nos indica una mayor estabilidad en esta medida en comparación con la del aire de combustión; la misma tendencia se ve reflejada en la gráfica 36 en donde se observa el comportamiento lineal de la misma.

De igual forma se observa en el Cuadro 34 que siempre se logró calentar el aire de secado; ya que al tomar la temperatura ambiente máxima se obtiene 13.87°C y la temperatura mínima

del aire de secado se obtiene 17.50°C ; en donde se observa un incremento. A pesar de que en esta corrida siempre se logró calentar el aire durante su paso por el intercambiador, al realizar el análisis de calor generado por la combustión y el calor transferido por convección del aire en el intercambiador se obtuvo que el secador presentó una eficiencia de 9.25% (tal como se observa en el Gráfico 37); lo cual es ineficiente para lograr un adecuado aprovechamiento de la energía generada en el proceso de combustión.

Durante esta primera corrida se buscó utilizar olotes como fuente de energía y así poder aprovechar este desperdicio que los agricultores generan al desgranar el olote. Por tanto solamente se agregó este combustible para generar el calor y así calentar el aire. Al determinar cuánto olote se debe agregar para el funcionamiento del secador se obtuvo que se agregaron cerca de 0.199 lb/min de olote con una desviación estándar de 0.197 lb/min. Esta variación se debe a que la cantidad de olote no fue cuantificada en tiempo, sino que se realizó de forma visual, lo que ocasionó que en ocasiones se agregará más y en otras menos en distintos intervalos de tiempo. Esta variación se debió a que la cámara de combustión se saturaba al agregar mucha cantidad de olote, lo cual impedía el paso del aire y por ende la combustión; ocasionando que el fuego se apagara. Desde este punto se observó la necesidad de rediseñar la cámara de combustión por otra que tuviera más área superficial y por ende más espacio para que pasara el aire.

Al analizar la cama de secado de esta corrida se obtuvieron las curvas de secado mostradas en la Gráfica 38 en donde se muestran que la mayoría presentan la misma tendencia; observando que por lo general presentan el punto crítico de humedad cerca de los 12:15 horas; a pesar de esto se puede mencionar que las gráficas de secado no muestran la tendencia normal de otras curvas, lo cual influye en la velocidad de secado de los distintos puntos de la cama, tal como se observa en el cuadro 36. Realizando un análisis completo de la cama de secado se obtuvo que en promedio la velocidad de secado es de 2.05 %/hora con una desviación estándar de 1.68 %/hora; la cual es elevada en comparación con el valor promedio obtenido; esto demuestra que el proceso de secado no es uniforme en toda la cama de maíz y por tanto no es el esperado, ya que en promedio se obtuvo una humedad final del grano de 15.26%, lo cual no se encuentra dentro del rango deseado (12-13%). Este valor se mejoraría al lograr aumentar la temperatura del aire de ingreso a la cámara de secado; ya que el aire lograría remover una mayor cantidad de humedad del grano. Por tanto el rediseño de la

cámara de combustión y del intercambiador de calor contribuirían a aumentar la velocidad de secado y por ende a obtener un valor de humedad menor.

La segunda evaluación del secador se realizó en “San Antonio Las Nubes”, Chiantla; en el mismo lugar de la primera. A pesar de esto se continuaron evaluando las condiciones ambientales para poder tener un valor de comparación. Al ver la humedad relativa y temperatura de esta corrida se observa que presentan un comportamiento más estable que la evaluación anterior. Esto se ve reflejado en la gráfica 39; donde se observa que los valores de correlación son mayores que la evaluación realizada anteriormente, lo cual permite obtener estimaciones con un margen de error mucho menor al de la primera evaluación. Esta diferencia se podría deber a que en la evaluación No. 2 del secador se tuvo una temperatura ambiental de 14.56°C con una desviación estándar de 1.52°C ; la cual fue mayor a la obtenida en la evaluación No.1 (13.87°C). De igual forma se obtuvo un valor de humedad ambiental de 81.38% con una desviación estándar de 6.46%; la cual fue menor a la obtenida en la evaluación No. 2 (92.72%).

En esta evaluación se obtuvo que la temperatura promedio alcanzada en el aire de combustión fue de 321.09°C con una desviación estándar de 72.86°C ; esta temperatura fue mayor que la obtenida en la primera corrida, de igual forma se obtuvo una desviación estándar menor, lo cual se puede relacionarse con una mayor estabilidad en las condiciones ambientales del día. En la corrida anterior se observó que el intercambiador calentó el aire de secado en todo momento, ya que se obtuvo una temperatura ambiental máxima de 17°C y una temperatura de aire de secado en el ventilador (ya calentado por el intercambiador de calor) de 19°C , observando que siempre fue mayor. A pesar de que en esta corrida siempre se logró calentar el aire durante su paso por el intercambiador, al realizar el análisis de calor generado por la combustión y el calor transferido por convección del aire en el intercambiador se obtuvo que el secador presentó una eficiencia de 12.39% (tal como se observa en el gráfico 41); lo cual es ineficiente para lograr un adecuado aprovechamiento de la energía generada en el proceso de combustión, pero es mayor a la eficiencia obtenida en la primera evaluación.

En la Gráfica 40, donde se observó que la temperatura del aire de secado (ya calentado por el intercambiador) continua presentado un comportamiento lineal en comparación con el del aire del quemador que presenta un comportamiento variado. Estos datos en combinación con los de la primera evaluación permiten establecer que la temperatura del aire de combustión no

es uniforme en comparación al aire de secado; lo cual se puede relacionar directamente con un problema en el diseño del equipo, ya que no permite una adecuada combustión y por ende una temperatura cercana a un comportamiento lineal y/o uniforme durante el proceso de secado.

Al igual que en la primera corrida se buscó utilizar los olotes que se obtienen del proceso de desgranado del maíz como combustible. Al determinar cuánto olote se debe agregar para el funcionamiento del secador se obtuvo que se agregaron cerca de 0.186 lb/min de olote con una desviación estándar de 0.118 lb/min (ver Cuadro 38). Esta variación se debe a que la cantidad de olote no fue cuantificada en tiempo, sino que se realizó de forma visual, lo que ocasionó que en ocasiones se agregará más y en otras menos en distintos intervalos de tiempo. A pesar de esto se observó que la cantidad de combustible promedio utilizado disminuyó con respecto a la primera evaluación; así como la desviación estándar. Esto solamente afirma que el intercambiador fue mejor en la segunda corrida que en la primera. Esto se puede deber a los factores ambientales, como temperatura y humedad ambiental que fueron descritos anteriormente; lo cual favoreció el intercambio de calor en la evaluación No. 2.

Al realizar el análisis de la cama de secado de esta evaluación se obtuvo una distribución muy parecida en todos los puntos de la cama, lo cual se puede observar en la gráfica 42; siendo esta distribución mucho más uniforme que la obtenida en la primera corrida del secador. Esto se puede confirmar al momento de observar la desviación estándar del cuadro 13, 0.69, la cual es considerablemente menor que la de la primera corrida. Se observó que en la mayoría de curvas se obtuvieron los parámetros críticos a las 11:15 horas del día; por lo que este valor se utilizó para realizar el cálculo de velocidad de secado, obteniendo 1.32 %/hora (ver Cuadro 39), una velocidad de secado promedio más baja que la de la primera prueba.

A pesar de que la segunda evaluación del secador fue más estable que la primera se obtuvo un porcentaje de humedad promedio de 17.38% al analizar todos los puntos de la cama; lo cual esta notablemente fuera del rango de seguridad para realizar un correcto almacenamiento del grano. De igual forma se pudo observar que se encuentra por arriba de la humedad promedio obtenida en la primera evaluación. Esto se debe principalmente a la diferencia en tiempo de evaluación de cada prueba, ya que la primera se realizó la evaluación por

aproximadamente 7 horas 45 minutos y la segunda por aproximadamente 2 horas 45 minutos; por lo que se evidencia una gran diferencia entre ambas.

La razón por la que no se pudo prolongar la segunda evaluación fue el tiempo, ya que por cuestiones de logística se debía volver a la ciudad capital. Pero al evaluar los datos se podría asegurar que con la segunda corrida se habrían obtenido mejores datos de humedad que con la primera; a pesar de esto no se puede asegurar la obtención del rango adecuado para el almacenamiento, ya que las condiciones ambientales varían en el transcurso del día.

Una vez terminadas las evaluaciones completas del secador y observar que no se logró alcanzar el rango deseado para almacenar el maíz se decidió evaluar la parte del intercambiador, ya que esta se considera la parte más inestable y por ende la que se debe readecuar en el diseño; a pesar de esto se decidió evaluar sí al utilizar otra fuente de energía se podría obtener un mejor rendimiento y eficiencia en la transferencia de calor por convección. En esta prueba se utilizaron los combustibles alternativos más comunes observados en la comunidad de “San Antonio las Nubes”: carbón y leña. Esta prueba se realizó en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala por cuestiones de logística.

En estas dos pruebas también se realizaron mediciones de humedad relativa y temperatura ambiente, ya que se deseaba tener un parámetro de referencia que se pudiera relacionar con el funcionamiento del intercambiador. Al observar los datos se obtuvo que la temperatura y humedad relativa ambiente no se comportan de manera lineal, lo cual muestra que hubieron variaciones durante el proceso de operación del intercambiador. A pesar de esto se observó que la humedad relativa y temperatura ambiente eran más favorables que las obtenidas en “San Antonio de las Nubes”, ya que la humedad del aire era menor (53.24% en promedio) y la temperatura ambiente era mayor (26.92%) a las obtenidas en ambas pruebas (en Huehuetenango).

En las pruebas realizadas con carbón se obtuvo que la temperatura promedio del aire de combustión fue de 306.35 °C con una desviación estándar de 38.02°C. Al analizar la desviación estándar se muestra que el uso de carbón produjo un proceso más estable que al usar como combustible olote; de igual forma se puede ver este resultado en el Gráfico 44, en donde se observa que la gráfica presenta una tendencia más estable que en las corridas con olote. De igual forma se observa que el intercambiador en todo momento logró calentar el aire

de secado; ya que la temperatura ambiente mayor fue de 30.10°C y la temperatura del aire de secado del ventilador (después de pasar por el intercambiador) era de 35.50°C . A pesar de que se logró calentar el aire de secado se obtuvo una eficiencia de aproximadamente 9.60%; lo cual está por debajo de la eficiencia obtenida en la evaluación dos realizada con olote.

Este dato nos indicó que el proceso de estabilidad de la temperatura es un problema, y que el intercambiador también era ineficiente, ya que se estaba perdiendo una gran cantidad de energía a pesar de que el proceso de combustión logro mantenerse relativamente estable. Para esta prueba se utilizó cerca de 0.03 lb/min de carbón, lo cual es mucho menor en comparación con el flujo requerido de olote. Esto se debe a que el carbón posee una capacidad calorífica mucho mayor a la del olote, lo cual hace que se requiera menos para obtener la misma cantidad de energía.

Al realizar el mismo análisis con la leña se debió volver a analizar las condiciones climatológicas, ya que estas varían dependiendo la hora del día. Al analizar la humedad relativa y temperatura ambiental se obtuvo que fueron las que tuvieron un comportamiento más estable de todas las evaluaciones realizadas; esto se observa en la gráfica 46 que muestra el comportamiento con tendencia lineal. Al igual que con el carbón, en esta evaluación se tuvieron condiciones ambientales más favorables que en “San Antonio de las Nubes” para evaluar el secador, ya que se obtuvo un promedio de 62.68% de humedad relativa y 22.97°C de temperatura ambiental.

Cabe mencionar que con este combustible o fuente de energía se logró obtener una temperatura promedio del aire de combustión de 282.42°C ; a pesar de que esta temperatura fue la más baja de todos los combustibles fue la que menor desviación estándar tuvo entre medición (28.51°C); lo cual muestra que es el combustible con mayor estabilidad durante el proceso de secado (ver gráfico 13). De igual forma se observa que con este combustible siempre se obtuvo un aumento en la temperatura del aire de secado, ya que la máxima ambiental fue de 26.40°C y la mínima del aire de secado fue de 30.20°C .

A pesar de ser el proceso de combustión más estable de todos fue con el que menor eficiencia se obtuvo 5.19%; por lo que se denota la ineficiencia del intercambiador utilizado y las grandes cantidades de energía perdida en el ambiente (ver Gráfico 48). Por otra parte se obtuvo que durante el proceso de secado se utilizó 0.008 lb/min de leña (ver Cuadro 43); lo

cual demuestra que este combustible es el que se debe agregar en menor cantidad durante el tiempo. De igual forma se observó que la temperatura máxima fue menor a la del carbón, lo cual se puede deber a que el poder calorífico de la leña es menor a la del carbón.

Por último se procedió a analizar las eficiencias del intercambiador dependiendo del combustible utilizado; en la Gráfica 49 se observó que la mayor eficiencia se obtuvo en la evaluación 2 utilizando olote, seguido por la evaluación con carbón, seguido por la evaluación 1 utilizando olote y por último la evaluación con leña como combustible. Cabe mencionar que estos datos se compararon pero no fueron realizados bajo las mismas condiciones climatológicas; sabiendo que el funcionamiento está relacionado con estos mismos y pueden variar dependiendo del lugar, hora, altitud y clima en donde sean realizadas las evaluaciones.

Al finalizar la investigación se determinó que el equipo no logró secar el maíz hasta un porcentaje de humedad adecuado para su posterior almacenamiento durante las horas de evaluación. Por lo que al evaluar las posibles causas se determinó que se debe de rediseñar la cámara de combustión y el intercambiador de calor; buscando que el proceso de combustión sea más estable durante el proceso y no se deba de tener tanto cuidado por parte del agricultor; así como para aprovechar la energía generada por la combustión para calentar el aire de secado y así aumentar la velocidad de secado y poder alcanzar los porcentajes de humedad requeridos en el maíz para su almacenamiento. De igual forma se recomienda mejorar el sistema que proporciona aire a la cámara de combustión ya que por las altas temperaturas se quemaba constantemente.

VIII. CONCLUSIONES

- A. El promedio de 144 muestras analizadas para aflatoxinas y fumonisinas señala que cumplen con la normativa de la FDA, sin considerar el estimado de consumo diario. Mientras que para hongos, el total de muestras analizadas sobrepasan el límite máximo permitido de 10,000 UFC/g (4.00 log UFC/g) según la FDA.
- B. Con base en el límite máximo provisional de consumo diario de fumonisinas de 2 $\mu\text{g F/ (Kg * día)}$ ningún agricultor de la cadena dos de Todos Santos Cuchumatán y el agricultor I26 de Chiantla debería consumir el maíz que almacenan.
- C. De acuerdo a límite máximo provisional de consumo diario de aflatoxinas combinadas de 0.0034 $\mu\text{g AF/ (Kg * día)}$ ningún agricultor de la cadena uno y dos debería consumir el maíz proporcionado en el muestreo.
- D. En la cadena uno la dosis estimada de fumonisinas de la mayoría de etapas – región cumple con el límite máximo provisional de consumo diario de fumonisinas de 2 $\mu\text{g F/ (Kg * día)}$; a excepción de la etapa de almacenamiento en la región de San José Las Flores.
- E. El contraste entre el límite de aflatoxinas y fumonisinas en el maíz dado por la FDA y el límite máximo provisional de consumo diario señala la relevancia de considerar la ingesta diaria de maíz promedio.
- F. Se determinó que, en términos de la cantidad de aflatoxinas, fumonisinas y hongos en las 144 muestras analizadas, el maíz consumido e Chiantla y Todos Santos Cuchumatán no cumple con los estándares de calidad e inocuidad.
- G. La evaluación de la calidad microbiológica del grano de maíz cultivado en el municipio de Chiantla y Todos Santos Cuchumatán indica que a mayor altura mayor será la cantidad de hongos filamentosos que contaminan el grano, ya que la temperatura es menor y el porcentaje de humedad es mayor. En contraste para aflatoxinas y fumonisinas no hubo una diferencia estadísticamente significativa según altura.

H. Se obtuvo un aumento estadísticamente significativo para hongos y aflatoxinas entre la etapa de tapisca y durante el almacenamiento.

I. El maíz almacenado en silos por los agricultores de la cadena uno de ambos municipios fue el que presentó menor cantidad de hongos y aflatoxinas. Mientras que en la cadena dos, el silo no fue el tipo de almacenamiento más eficiente.

J. En relación al tiempo de almacenamiento, no se presentan grandes diferencias de hongos filamentosos presentes en las muestras debido a que en la etapa de almacenamiento la calidad del grano se mantiene, no mejora.

K. La dosis estimada de ingesta diaria para aflatoxinas y fumonisinas señala que la población de estudio compromete su salud al consumir maíz que cosechan.

L. La mala calidad del grano que se cosecha en el departamento de Huehuetenango se debe a que los agricultores no tienen acceso a tecnologías post-cosecha para realizar un secado y almacenamiento correcto.

M. El secador construido en la Universidad del Valle de Guatemala tuvo un costo total de Q11,514.00 (incluyendo fuente de energía) y una eficiencia máxima de 12.39% (utilizando olote como combustible) siendo evaluado en “San Antonio Las Nubes, Huehuetenango”.

N. Se determinó que el equipo no logró secar el maíz hasta el porcentaje de humedad requeridos (12-13%) debido a deficiencias en el diseño de la cámara de combustión e intercambiador de calor, reflejadas en fluctuación de temperatura (cámara de combustión) y pérdidas en ambiente a lo largo de módulo de aire forzado.

O. Se determinó que el secador tiene una capacidad de secado de aproximadamente $0.40 \text{ m}^3/\text{min} * \text{ton}$; lo cual es adecuado para el proceso que se llevó a cabo.

P. El proceso de combustión más estable se da al utilizar como combustible leña; ya que se mostró la desviación estándar más baja (28.51°C) entre cada medición.

Q. Se obtuvo un flujo másico 0.199 lb/min de olote con una desviación estándar de 0.197 lb/min para la primera evaluación y 0.186 lb/min olote con una desviación estándar de 0.118 lb/min en la segunda evaluación.

R. Se determinó que el secador AflaStop utilizando batería de carro como suministro de energía para funcionamiento de ventiladores fue el más adecuado en base al proceso de selección del método de secado; el cual toma en cuenta todo los factores que impactan directamente sobre el agricultor.

S. Las modificaciones realizadas al diseño del secador permitieron la mejora del secador, mejorando su instalación, firmeza a la cámara de secado y su durabilidad.

T. Para la selección de los materiales de construcción se tomó en cuenta su disponibilidad y bajo costo, portabilidad, así como la efectividad y el correcto funcionamiento.

U. En relación al costo total del secador se puede observar una oportunidad de construirlo con materiales más económicos, así como prescindir del uso de baterías de carro, en caso el agricultor cuente con instalación eléctrica en su hogar, donde pueden ser utilizados ventiladores caseros AC, o bien, un inversor de corriente de 12V a 110v .

IX. RECOMENDACIONES

- A. Extender la línea base sobre la calidad del grano de maíz para incluir muestras que son parte del denominado *mulco* y *mulquillo*, maíz eventualmente consumido.
- B. Rastrear el origen del maíz aportado por los agricultores de la cadena dos para relacionarlo con la cuantificación de aflatoxinas y fumonisinas.
- C. Realizar charlas persuasivas a las comunidades de Huehuetenango, Guatemala para concientizar sobre el impacto en la salud que tiene el consumo de aflatoxinas y fumonisinas.
- D. En paralelo a la introducción de mejoras en las etapas post-cosecha se debe implementar planes para fomentar una dieta balanceada con productos complementarios.
- E. Medir el tamaño de las partículas de maíz generadas tras la molienda para validar la metodología de extracción de aflatoxinas y fumonisinas.
- F. Contrastar los resultados obtenidos con un método de análisis secundario para identificar posibles variaciones.
- G. Es recomendable que al continuar con las siguientes fases del megaproyecto se mantenga contacto constante con las comunidades para promover el intercambio de información entre agricultores y participantes del proyecto.
- H. Analizar la actividad del agua del maíz que es cosechado y almacenado, y relacionarla con la temperatura del mismo para determinar la estabilidad del maíz y los riesgos del deterioro del mismo.
- I. Rediseñar la cámara de combustión para evitar elevadas fluctuaciones en temperatura; mediante la forma de alimentación de combustible, área superficial de combustión y aislante térmico.
- J. Rediseñar el intercambiador de calor del secador para evitar la pérdida de energía al medio ambiente sea menor; agregando placas deflectoras para aumentar área superficial y colocando aislante térmico a lo largo del intercambiador.

K. Rediseñar la fuente de alimentación del aire de combustión, ya que al estar cerca de la cámara de combustión se quema con facilidad y deja de alimentar aire a la cámara.

L. Realizar las evaluaciones en un mismo lugar (clima, altura, entre otros), ya que las condiciones ambientales pueden ser determinantes en los resultados obtenidos.

M. Realizar pruebas mezclando olote con leña, buscando obtener las altas temperaturas y estabilidad en el proceso de secado.

N. Realizar una inversión menor en los materiales de la cámara de secado, sin una estructura tan elaborada que requiera de más tiempo de instalación. Esta puede ser únicamente de láminas corrugadas para realizar la cámara de secado (sin la estructura metálica y la de PVC) debido a su precio accesible y alta disponibilidad en el área donde se instalará el secador.

O. Se recomienda instalar una malla metálica con agujeros suficientemente pequeños que eviten el paso de los granos de maíz, tras identificar la dificultad de paso de aire caliente a través de la lámina que fue perforada con una pulidora, para permitir un mejor contacto entre los granos de maíz, y por lo tanto un mejor secado.

P. Es importante conocer la región donde será implementado el secador, si se dispone con instalación eléctrica para el funcionamiento de los ventiladores, o bien, optar por el uso de baterías de carro que permitan el funcionamiento de los ventiladores para calentar el aire.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Aceituno, M. (2006). *Informe final de Tesis: Evaluación de la calidad microbiológica en sombra de ojos, tipo polvo compacto de un laboratorio de producción nacional, según método de referencia Pharmacopea USP 2005*. Citado en línea en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2356.pdf [Con acceso el 13/03/2015].
- Acosta, R., (2009). *El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. Cultivos Tropicales*. Vol. 30. No. 2. p. 113-120. Citado en línea en: <http://scieloprueba.sld.cu/pdf/ctr/v30n2/ctr160209.pdf> [Con acceso el 11/02/2015].
- Adams, T., Wieser, J. y J. Yu. (1998). *Asexual Sporulation in Aspergillus nidulans*. *Microbiol Mol. Biol Rev.* 62(1): 35-54.
- Anderson, D., Sweeney, D. y T. Williams. (2011). *Estadística para negocios y economía*. Onceava edición. Editorial Cengage Learning. México. 1080 pp.
- Arbeláez, G. (2000). *Algunos aspectos de los hongos del género Fusarium y de la especie Fusarium xysporum*. *Agronomía Colombiana*. 17: 11-22.
- Arderiu, X., Castiñeiras, M. y J. Queraltó. (1998). *Bioquímica clínica y Patología molecular*. Segunda edición. Editorial Reverté. España. 604 pp.
- Balcarce, E.,(2006). *Calidad del Grano de Maíz*. Citado en línea en: http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/80-grano_maiz.pdf [Co acceso el 09/03/2015]
- Baquero, J., Torrenegra, R. y M. Bayona. (2008). *Un metabolito secundario antibacteriano de Penicillium verrucosum*. Pontificia Universidad Javeriana. Citado en línea en: <http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Ciencias/gifuj/METABOLITOS%20DE%20P.pdf> [Con acceso el 14/03/2015].
- Boucher, F. (1991). *Tecnología Alimentaria y Agroindustria Rural*. Primera Edición. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Editorial CELATER Bogotá, 103 pp.

- Barón, F. y F. Téllez. (2009). *Capítulo 5: Diferencias que presenta una variable numérica entre varios grupos*. Citado en línea en: <http://www.bioestadistica.uma.es/baron/apuntes/ficheros/cap05.pdf> [Con acceso el 09/07/15].
- Bello, A., (1983). *Aplicación de la energía solar en el secado de granos*. *Ingeniería e Investigación*. Citado en línea en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=4902913>. [Con acceso el 11/02/2015].
- Beuchat, L. (1992). *Media for detecting and enumerating yeast and molds*. *International Journal of Food Microbiology*. 17: 145-158.
- Bennett, J. y M. Klich. (2003). *Mycotoxins*. *Clinical Microbiology Review*. 16: 497-516.
- Bernal, J., Cipriano, A., y D. Díaz., (2005). *Tecnología para el cultivo de la curuba*. Manual Técnico 6. Corpoica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Colombia. 180 pp.
- Brenndorfer B. Kennedy L., Oswin-Bateman C D., Trim D S., Mrema G C and Wereko- Brobby C (1985). *Solar Dryers - their role on Post-harvest Technology*. London: Commonwealth Science Council. 337 pp.
- Bin, M. (2011). Thesis: *Isolation of microorganism from oil palm sap*. University Malaysia Pahang. Citado en línea en: http://umpir.ump.edu.my/3254/1/CD5489_MUHAMMAD_RIDZUAN_KAMARUZAMA_N.pdf [Con acceso el 04/03/2015].
- Bioser. (2011). *Métodos rápidos para el screening de alérgenos y micotoxinas en productos e instalaciones*. Citado en línea en: <http://jornades.uab.cat/workshopmrama/sites/jornades.uab.cat/workshopmrama/files/Bioser.pdf> [Con acceso el 06/03/2015].
- Blackwell, B. A., O. E. Edwards, A. Fruchier, J. W. ApSimon, and J. D. Miller. 1996. *NMR structural studies of fumonisin B1 and related compounds from Fusarium moniliforme*, p.

75-91 In L. S. Jackson, J. W. DeVries, and L. B. Bullerman (ed.), *Fumonisin in food*. Plenum Press, New York, N.Y. [PubMed]

Bressani, R. (1990). *Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas*. *Food Reviews International*. 41 pp. doi 10.1080/87559129009540868.

Bressani R, Rooney LW, Serna-Saldivar SO. *Fortification of corn masa flour with iron and/or other nutrients: a literature and industry experience review*. Washington: SUSTAIN; 1997. p. 179.

Caal, C. (2008). *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión. Tesis*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Económicas.

Carillo, H. (1999). *Evaluación de la caseta secadora como una alternativa para el secado del maíz en Poptún, Petén*. Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía.

Carrillo, L. y M. Audisio. (2007). *Manual de Microbiología de los Alimentos*. Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Agrarias. Perú. 194 pp.

Castillo, P. y C. Durán de Bazúa. (2006). *Las micotoxinas: metabolitos secundarios de los hongos filamentosos*. *Ciencia-Tecnología-Sociedad*. Educación química. 122-128.

Chúa, C., (2006). *Anomalías del Tubo Neural en Guatemala*. Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Humanidades.

Lafitte, H., (1994) *Identificación de problemas en la producción de maíz tropical: Guía de Campo*. *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo*. México, 122 pp.

Cullen, J. M., and P. N. Newberne. 1994. *Acute hepatotoxicity of aflatoxins*, p. 3-26. In D. L. Eaton and J. J. Groopman (ed.), *The toxicity of aflatoxins. Human health, veterinary, and agricultural significance*. Academic Press, San Diego.

- Cotton, R., (1979). *Silos y granos, plagas y desinfección*. España. Editorial Reverté. 328 pp.
- Dall'Asta, C., Falavigna, C., Galaverna, G., Dossena, A. And R. Marchelli. (2010). *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 58(1), 12042-12047. DOI:10.1021/jf103799q
- Daohong, Z., Li, P., Zhang, Q. Adn W. Zhang. (2010). *Ultrasensitive nanogols probe- based immunochromatografic assay for simultaneous detection of total aflatoxins in peanuts. Biosensors and Bioelectronics*, 26(6), 2877-2882.
- Deak, T. (1995). *Methods for the rapid detection and identification of yeast in foods*. Trends in Food Science & Technology. 6: 287-292.
- Dovicicova, M., Tancinova, D., Labuda, R. y M. Sulyok. (2012). *Aspergillus parasiticus from Wheat Grain of Slovak Origin and its Toxigenic Potency*. Czech J. Food Sco. 30(5): 483-487.
- Dziedzic, J. (1987). *Yeast and Yeast Derivates: Definitions, Characteristics and Processing*. Food Technology. 41(2): 104-121.
- Doebley, J. Stec, A., Wendel, J., & Edwards, M. (1990). *Genetic and morphological analysis of a maize-teosinte F2 population: Implications for the origin of maize*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 87, 9888-9892.
- Dutton MF. (1996). *Pharmacol Ther.* 1996; 70(2):137-61.
- Eaton, D. L., and J. D. Groopman (ed.). 1994. *The toxicology of aflatoxins: human health, veterinary, and agricultural significance*. Academic Press, San Diego, California.
- Elliott, C. (1994). *Reproduction in Fungi: Genetical and Physiological Aspects*. J. Genet. 73(1): 55-56.
- FAO., (1993). *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación*. Chile. Citado en línea en:<http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S00.htm#Contents> [Con acceso el 03/04/2015].

- FAO., (1996). *Secado de granos y secadoras. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.* Chile. Citado en línea en: <http://www.fao.org/docrep/x5028s/x5028s00.htm> [Con acceso el 03/04/2015].
- FAO., (1993). *Manual de manejo post cosecha de granos a nivel rural. Editorial Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.* Chile. Citado en línea en: <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S00.htm#Contents> [Con acceso el 11/10/2015].
- FAO., (1998). *Animal feeding and food safety. En: Report of an FAO Expert Consultation Rome, 10-14 March 1997.* Citado en línea en: <http://www.fao.org/docrep/w8901e/w8901e00.htm> [Con acceso el 13/03/2015].
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2001). *El papel de la mujer en la conservación de los recursos genéticos del maíz. Guatemala.* Citado en línea en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/y3841s/Y3841s00.pdf> [Con acceso el 11/10/2015].
- FAO., 2001. *El papel de la mujer en la conservación de los recursos genéticos del maíz. Género y manejo de los recursos genéticos.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Instituto Internacional para los recursos Fitogenéticos. Roma. Pp. 68.
- FAO., (2004). *Reglamentos a nivel mundial para las micotoxinas en los alimentos y en las raciones en el año 2003.* Roma. Citado en línea en: <http://www.fao.org/docrep/007/y5499s/y5499s00.htm> [Con acceso el 14/04/2015]
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2014). *Enumeration of yeast and molds and production of toxins.* Citado en línea en: <http://www.fao.org/docrep/x5036e/x5036e0o.htm> [Con acceso el 15/03/2015].
- Fernández, J., Gómez, R. y A. Carmona. (1993). *Water Activity in Selected High- Moisture Foods.* Journal of Food Composition and Analysis 6, 364-369.

- FAO/WHO. (2007). *Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): Aflatoxinas*. WHO – JECFA.
- FAO/WHO. (2011). *Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): Fumonisin B2*. WHO – JECFA.
- FDA. (2013). *Ora Laboratory Manual: Mycotoxins Analysis, Section 7*. Volume IV, Orientation and Training.
- Fuentes, M., (2013). *Elementos para mejorar competitividad del maíz en zonas del trópico bajo de Guatemala*. Universidad del Valle de Guatemala. Citado en línea en: http://uvg.edu.gt/investigacion/resultados/19_Presentacion_maiz_Ing_Mario_Fuentes.pdf [Con acceso el 30/03/2015].
- Frazier, W. (1993). *Microbiología de los alimentos*. 4° edición. Editorial Acribia S. A. España. 698 pp.
- Fuentes-Lopez MR, van Etten J, Vivero-Pol JL, Ortega-Aparicio A. *Maíz para Guatemala*. Guatemala City (Guatemala): United Nations FAO; 2005. p. 150.
- Gibson, L. y G. Benson. (2002) *Origin, History, and Uses of Corn (Zea mays)*. Iowa State University, Department of Agronomy.
- Giraldo, G. et al., (2000). *Manual para el Manejo Pre y Poscosecha de Semilla Producida de Manera Artesanal Bajo el Esquema de Pequeñas Empresas de Semillas*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Editorial Graficentro. Colombia, 61 pp.
- Gómez, J. (2007). *Clave determinativa de las especies del género Aspergillus*. Citado en línea en: <http://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/6483/1/N%203%20Clave%20determinativa%20de%20las%20especies%20del%20genero%20Aspergillus.pdf> [Con acceso el 04/03/2015].
- Goncalves, A., Paterson, R. y N. Lima. (2006). *Survey and significance of filamentous fungi from tap water*. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 209: 257-264.

- Gots, R., Layton, N. y S. Pirages. (2003). *Indoor health: Background levels of fungi*. AIHA Journal. 62: 427-438.
- Gourama, H. y L. Bullerman. (1995). *Detection of molds in foods and feeds: Potential rapid and selective methods*. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 58: 1389-1394.
- Gutiérrez, J., (2000) *Ciencia bromatológica: Principios generales de los alimentos*. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España. 596 pp.
- Harberer, G., Young, S., Bharti, A.K., Gundlach, H., Raymond, C., Fuks, G., Butler, Ed., Wing, R., Rounsley, S., Birren, B., Nushaum, C., Mayer, K. and J. Messing. (2005). *Structure and Architecture of the Maize Genome1*. *Plant Physiol*. Dec 2005; 139(4): 1612–1624. doi: 10.1104/pp.105.068718
- Hassan, Y. et al. (2013). *Analysis of Aflatoxin B1 in Iranian Foods Using HPLC and a Monolithic Columns and Estimation of its Dietary Intake*. Iranian Journal of Pharmaceutical Research 12(suplemente): 83-89.
- Hatch. D. 2015. *Las pérdidas poscosecha en América Latina y El Caribe: desafíos y oportunidades*. IICA. Citado en línea en: <http://www.iica.int/Esp/prensa/IICAConexion/IICAConexion2/2013/N08/secundaria7.aspx> [Con acceso el 28/01/2015].
- Hawkins, N. et al. (2007). *The Multiple Baseline Design for Evaluating Population-Based Research*. *American Journal of Preventing Medicine*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.amepre.2007.03.020>.
- Hedayatu, M., Pasqualotto, A., Warn, P., Bowyer, P. y D. Denning. (2007). *Aspergillus flavus; human pathogen, allergen and mycotoxin producer*. Microbiology 153: 1677-1692.
- Herrman, J.L y R. Walker. (2015). *Risk analysis of mycotoxins by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)*. FAO Corporate Document Repository. Food, nutrition and agriculture. 12 pp.

- Huybrechts, B. (2011). *Evaluation of immunoassay kits for aflatoxin determination in corn and rice*. CODA-CERVA, Veterinary and Agrochemical Research Centre. 53 pp.
- IICA., (1972). *Curso para Formación de técnicos e Manejo de Plantas de Silos*. Tomo III. Bogotá. 391 pp.
- IICA., (2012). *Mapeo de Actores de la innovación tecnológica en las cadenas de valor del Maíz y Frijol*. Costa Rica. 35 pp.
- IICA., (1989). *Compendio de Agronomía Tropical*. Tomo II. San José Costa Rica, 671 pp.
- ICTA., (2002). *El cultivo del Maíz en Guatemala*. Una guía para su manejo agronómico. Guatemala. 45 pp.
- INSIVUMEH., (2015). *Estación de Huehuetenango. Humedad Relativa Media*. Citado en línea en: http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/HUEHUETENANGO/_Huehuetenango/hum.%20relativa%20%20HUEHUETENANGO.htm el día 12 julio de 2015 [Con acceso el 12/07/2015].
- International Agency for Research on Cancer. 1982. *The evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans*. IARC Monograph Supplement 4. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.
- Iowa State University. (2012). *Aflatoxins in Corn* PM 1800 Reviewed August 2012.
- Jacinto, E., (2005). *Determinación de las plagas asociadas a maíz almacenado, en trojes tradicionales, en dos estrados altitudinales de Patzún, Chimaltenango*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 49 pp.
- Jarvis, B., Seiler, D., Ould, A. y A. Williams. (1983). *Observations on the enumeration of moulds in food and feedingstuffs*. Journal of Applied Bacteriology. 55: 325-336.

- Jerez, L. (2006). *Evaluación y mejoramiento de la calidad microbiológica de crema fresca a base de leche no pasteurizada, elaborada artesanalmente y comercializada en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Citado en línea en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2450.pdf [Con acceso el 13/03/2015].
- Kane, N. & Rieseberg, L. (2005). *Maize genetics: the treasure of the Sierra Madre*. *Current Biology*, 15 (4), R137-R139.
- Koenning, S. y G. Payne. (2000). *Mycotoxins in corn*. University of North Carolina. College of agriculture and life science.
- Koneman, E., Winn., Allen., Janda., Procop., Schreckenberger. y Woods. (2008). *Koneman Diagnóstico microbiológico texto y atlas en color*. 6° ed. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires. 1696 pp.
- Kovács, G. (2013). *Chapter 8. Fungi: Reproduction of fungi*. Citado en línea en: http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/plants_fungi/ch08s04.html [Con acceso el 04/03/2015].
- Krnajaja, V., Levic, J.T., Stankovic, S., Petrovic, T.. and M. Lukic. (2013). *Molds and mycotoxins in freshly harvested maize*. *Jour. Nat. Sci, Matica Srpska*. 124(11), 111—119, 2013 . doi 10.2298/ZMSPN1324111K
- Larios, R. 2012. *Se reportan pérdidas del 60% en cultivos de maíz*. Prensa Libre. Guatemala. Citado en línea en: http://www.prensalibre.com/economia/reportan-perdidas-maiz_0_709729021.html [Con acceso el 15/03/2015].
- Li FQ, Yoshizawa T, Kawamura O, Luo XY, Li . YWJ Agric Food Chem. 2001 Aug; 49(8):4122-6.
- Lindblad, C. y L. Druben. (1979). *Almacenamiento del grano: Manejo, secado, silos, control de insectos y roedores*. Editorial Concepto. México. 331 pp.

- Lücking, R., Huhndorf, S., Pfister, D., Rivas, E. y H. Thorsten. (2009). *Fungi evolved right on track*. Mycologia. 101(6): 810-822.
- MAGA., (2014). *Situación del Maíz Blanco*. Citado en línea en: <http://web.maga.gob.gt/download/info-maiz-feb.pdf> [Con acceso el 18/02/2015]
- MAGA., (2011). *Boletín Gabinete Económico: situación de precios del maíz en Guatemala*. Información maíz blanco en Guatemala. Guatemala. 9 pp. Citado en línea en: http://www.banguat.gob.gt/publica/prensa/boletin_final.pdf [Con acceso el 03/04/2015].
- MAG Microbiología. (2013). *Técnica de Recuento por Dilución*. Citado en línea en: <http://www.laboratoriomag.com.ar/sitio2/index.php/tecnicas-recomendadas/tecnica-de-recuento-por-dilucion> [Con acceso el 15/03/2015].
- Magrine, I.C.O. *et al.* (2011). *Intake of aflatoxins through the consumption of peanut products in Brazil*. Food Additives and Contaminants: Part B: Surveillance. Tylor & Francis, London, UK. Doi: 10.80/19393210.2011.561931.
- Marroquín, R. (2012). *Matriz operacional de la variable y matriz de consistencia*. Citado en línea en: <http://www.une.edu.pe/diapositivas3-matriz-de-consistencia-19-08-12.pdf> [Con acceso el 15/03/2015].
- Martínez, E. (2003). *Estudios de especies micotoxígenas del género Penicillium: Penicillium verrucosum Dierckx*. Citado en línea en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5598/emb1de1.pdf?sequence=1> [Con acceso el 04/03/2015].
- Martínez, E. y Benavides, C., (1988). *Manual para la identificación de hongos en granos y sus derivados*. UNAM. México, 109 pp.
- McGonigle, T. y M. Miller. (1995). *Development of Fungi below ground in association with plants growing in disturbed and undisturbed soils*. Soil Biol. Biochem. 28(3): 263-269.
- Mendizabal, J. (2000). *Detección de aflatoxinas en el maíz almacenado en silos*. Universidad San

Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Messing J (2005) *Maize genomics*. In D Leister, ed, *Plant Functional Genomics*. Haworth's Food Products Press, Binghamton, NY, pp 279–303.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA). (2014). *Informe de situación del maíz blanco*. Gobierno de Guatemala. 22pp.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2011). *Situación actual de maíz blanco en Guatemala*. Citado en línea en: http://www.pesacentroamerica.org/pesa_ca/situacion_maiz_gt.pdf [Con acceso el 15/03/2015].

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación., (2013). *Informe de situación del maíz Blanco*. Gobierno de Guatemala. Guatemala. 22 pp.

Moore, D. (1998). *Fungal Morphogenesis*. Cambridge University Press. Cambridge.

Moral, J., Mazón, J. y R. Santiago. (1986). *Plyctaena vagabunda* Desm. v. *Arx* y *Fusarium moniliforme* Sheldon, nuevos patógenos de la aceituna en España. Bol. San. Veg. Plagas. 12: 9-17.

Mora, F. & C. Scapim., (2007). *Predicción de valores Genéticos del Efecto de Poblaciones de maíz evaluadas en Brasil y Paraguay*. Agricultura Técnica. Chile. 67(2): 139-146. Citado en línea en: <http://www.scielo.cl/pdf/agrtec/v67n2/at03.pdf> [Con acceso el 30/03/2015].

Murray, P., Rosenthal, K. y M. Pfaller. (2009). *Microbiología médica*. 6° edición. Editorial Elsevier Mosby. España. 947 pp.

Narpinder, S., Kaur, A., and K. Shevkani. (2014). *Maize: Grain Structure, Composition, Milling, and Starch Characteristics*. *Maize: Nutrition Dynamics and Novel Uses*. 2014, pp 65-76 Date: 23 Oct 2013

- Neogen Corporation. (2011). *DRBC Agar (7591)*. Citado en línea en: http://www.lablinsan.cl/imagenes_ficha_2/fichasWeb2_15.pdf [Con acceso el 05/03/2015].
- Nonhebel, G. y Moss, A., (1979). *El secado de sólidos en la industria química*. Ed. Reverté. Barcelona, 375 pp.
- Ohara, T. y T. Tsuge. (2004). *FoSTUA, Encoding a Basic Helix-Loop-Helix Protein, Differentially Regulates Development of Three Kinds of Asexual Spores, Macroconidia, Microconidia, and Chlamydospores, in the Fungal Plant Pathogen Fusarium oxysporum*. *Eukaryot Cell*. 3(6): 1412-1422.
- Orozco, A. (2014). *Pocos agricultores saben cuidar grano. Secado del maíz no cumple requisitos*. Prensa Libre Realidades. Guatemala 27 de abril de 2014.
- Pacin, A. (1996). *Importancia sanitaria y económica de las micotoxinas en los granos poscosechados, para consumo humano y animal*. Citado en línea en: <http://www.ictbdelacruz.org.ar/documentos/Importancia%20sanitaria.pdf> [Con acceso el 05/03/2015].
- Paliwal, R., (2001). *El maíz en los Trópicos*. Mejoramiento y producción. FAO. Roma. 392 pp.
- Pérez, M. (2010). *Metodología seis sigma a través de Excel*. Editorial RC Libros. España. 368 pp.
- Peterson, S. W., Y. Ito, B. W. Horn, and T. Goto. 2001. *Aspergillus bombycis, a new aflatoxigenic species and genetic variation in its sibling species, A. nomius*. *Mycologia* 93:689-703.
- Pitt, J., Wild, C., Baan, R., Gelderblom, W., Miller, J., Riley, R. y F. Wu. (2012). *Improving Public Health Through Mycotoxin Control*. IARC Scientific publication No. 158. Lyon France: International Agency for Research on Cancer.
- Piva, G., Galvano, F., Pietri, A., and A. Piva. (1995). *Detoxification methods of aflatoxins. A review*. *Nutrition Research*, 15(5), 767-777.

- Ramagnoli, M. y P. Silva. (2009). Las Micotoxinas. *¿Qué sabemos sobre esta problemática?*
Citado en línea en: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/27/2AM27.htm>
[Con acceso el 15/03/2015].
- Ramírez, G. (1982). *Almacenamiento y conservación de granos y semillas*. Editorial CECSA.
México. 300 pp.
- Rebuffel, A. (2006). Desarrollo de hongos en los granos. *Seminario Postcosecha de Granos en la Zona Sur*. Citado en línea en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/seriesinia/NR06360.pdf> [Con acceso el 09/10/2015].
- Requena, F., Saume, E. y A. León. (2005). *Micotoxinas: Riesgos y prevención*. Zootecnia Tropical. 23(4): 393-410.
- Richar J. (2008). *Discovery of aflatoxins and significant historical features*. *Toxins Reviews*, 27(3-4), 171-201.
- Rheeder JP, Marasas WF, Vismar HF *Appl Environ Microbiol*. 2002 May; 68(5):2101-5.
- Rodríguez, E. *et al.* (2000). *Manual de toxicología básica*. Ediciones Díaz de Santos, Madrid. 904 pp.
- Salazar, L. (2008). *Informe final de Tesis: Determinación de la presencia de aflatoxinas en granos de maíz (Zeamays) 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)*. Citado en línea en: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2684.pdf [Con acceso el 14/03/2015].
- Segura, L., (2008). *Evaluación de 19 Híbridos de Maíz Blanco (Zea mays) Procedentes de diferentes localidades de Latinoamérica, en los campos del centro experimental docente de agronomía (CEDA), Facultad de agronomía Zona 12 Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Pp. 68. Citada en línea en:

http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2399.pdf [Con acceso el 14/03/2015].

- Schmale, D. y G. Munkvold. (2014). *Mycotoxins in Crops: A Threat to Human and Domestic Health*. Citado en línea en: <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/topics/Mycotoxins/Pages/EconomicImpact.aspx> [Con acceso el 05/03/2015].
- Scott, P. (1993). *Fumonisin*. *International Journal of Food Microbiology*, 18(4), 257-270.
- Shmale, D. And G. Munkvold. (2003). *Mycotoxins in Crops: A Threat to Human and Domestic Animal Health*. Iowa State University, Ames, I. *AClin Microbiol Rev*. Jul 2003; 16(3): 497–516. doi: 10.1128/CMR.16.3.497-516.2003
- Stickney R E., Shukla B D y Manali I., (1983). *Paddy Drying in Bukidon, Indonesia. Proceedings of 6th Annual Workshop on Grain Post-harvest*.
- Sutherland J W y Ghaly T F., (1990). *Rapid Fluid Bed Drying of Paddy Rice in the Humid Tropics. Proceedings of 13th ASEAN Seminar on Grain Post-harvest Technology, Surabaya. Manila: South East Asia Co-operative Post-harvest Research and Development Programme*.
- Speck, M. (1984). *Compendium of methods for the microbiological examination of foods*. Estados Unidos de América. American public health association. 692 pp.
- Stevens VL, Tang J. Fumonisin B1-induced sphingolipid depletion inhibits vitamin uptake via the glycosylphosphatidylinositol-anchored folate receptor. *J Biol Chem*. 1997;272:18020–5.
- Taylor, J., Jacobson, D. y M. Fisher. (1999). *The Evolution of Asexual Fungi: Reproduction, Speciation and Classification*. *Annu. Rev. Phytopathol*. 37: 197-246.
- Technology., Bogor, 3-6 May., (1983). *Manila: South East Asia Co-operative Post-harvest Research and Development Programme*.
- Torres, O., Riley, R. y J. Matute. (2013). *Aflatoxin in Guatemalan Maize: First exposure*

estimate, 2012. Agriculture and Nature Global Learning and Evidence Exchange (AgN-GLLEE). Guatemala.

Torres, O., Palencia, E., Lopez de Pratdesaba, L., Grajeda, R., Fuentes, M., Speer, M., Merrill A., O'Donnell K., Bacon, C., Glenn, A. and Ronald T. Riley. (2007). *Estimated Fumonisin Exposure in Guatemala Is Greatest in Consumers of Lowland Maize.*

Torres, O. (2014). *Toxina en maíz afecta a la niñez. Prensa Libre.* Guatemala, febrero 28, 2014.

Trucksess, M.W., Dombink-Kurtzman, M.A., Tournas, V.H. and K.D. White. (2002). *Occurrence of aflatoxins and fumonisins in Incaparina from Guatemala.* Food Additives and Contaminants, 19(7), 671-675.

Tumaming J A and Driscoll R H., (1991). *Modelling the Performance of a Continuous Fluidised Bed Dryer for Rapid Pre-drying of Paddy. Proceedings of 14th ASEAN Seminar on Grain Post-harvest Technology, Manila, 5-8 November 1991.* Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research.

Tzean, S. y L. Chen. (1990). *Aspergillus ochraceus.* Citado en línea en: http://www.bcrc.firdi.org.tw/fungi/fungal_detail.jsp?id=FU200802220006 [Con acceso el 05/06/2015].

Universidad de Castilla-La Mancha. (2012). *Anova un factor y Kruskal-Wallis.* Citado en línea en: http://www.uclm.es/profesorado/mdsalvador/58109/teoria/anova_un_factor-lectura.pdf [Con acceso el 09/02/15].

Universidad de Coruña (2003). *Homocedasticidad de los errores.* Citado en línea en: http://dm.udc.es/asignaturas/estadistica2/sec4_4.html [Con acceso el 09/07/15].

Universidad de Navarra. (2009). *Microbiología Industrial, factores ambientales que afectan al crecimiento: Actividad de agua.* Citado en línea en: <http://www.unavarra.es/genmic/micind-2-7.htm> [Con acceso el 07/07/15].

- Universidad Nacional de La Plata. (2006). *Sección I: Aislamiento e identificación de Fusarium spp. a partir de grano de trigo. Relación entre ocurrencia de la especie y la incidencia de la enfermedad.* Citado en línea en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/18266/I_-_Aislamiento_e_identificaci%C3%B3n_de_Fusarium_spp._a_partir_de_granos_de_trigo.pdf?sequence=6 [Con acceso el 05/05/2015].
- University of Illinois. (2001). *Field Crop Diseases.* Citado en línea en: <http://cropdisease.cropsci.illinois.edu/corn/Fusariumkernelandearrot.html> [Con acceso el 06/06/2015].
- University of Minnesota. (2013). *Post-Harvest Handling of Crops. Bioproducts and Biosystem engineering.*
- Valdés, B. (2007). *Informe final de Tesis: Aplicación de diferentes técnicas analíticas para evaluar la contaminación fúngica de alimentos y superficies.* Citado en línea en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5690/bevd1de1.pdf?sequence=1> [Con acceso el 14/03/2015].
- Vares, F. (1984). *Algunas enfermedades criptogámicas del maíz. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.* Citado en línea en: http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1984_08.pdf [Con acceso el 15/03/2015].
- Vincelli, P., G. Parker and S. McNeil. (1995). *Aflatoxins in Corn. University of Kentucky. College of Agriculture.* Issued 2-84; Revised/Printed 11-95.
- Wa, F. (2013). *Aflatoxins: finding solutions for improved food safety. Research program: Agriculture for Nutrition and Health.* Vision 2020. Focus 20-Brief 3- November, 2013.
- Wang, H., Nussbaum-Wagler, T., Li, B., Zhao, Q., Vigourous, Y., Faller, M., Bomblies-Yant, K., Lukens, L. & Doebley, J. (2005). *The origin of the naked grains of maize. Nature, 436, 714-719.*

- Warnock, D. (2007). *Taxonomy and classification of fungi*. In Murray PR, et al (eds): *Manual of Clinical Microbiology*. 9th ed. Washington, DC, ASM Press.
- Wayne State University. (2015). *S. M. A. R. T. Objectives*. Citado en línea en: <http://hr.wayne.edu/leads/phase1/smart-objectives.php> [Con acceso el 14/03/2015].
- Wu, F (2009). “*Aflatoxin: Economic & Health Impacts.*” *Gates Foundation Stakeholders Inception Workshop, Nairobi, Kenya, 27 March 2009.*
- Xot, L. (2014). *Advierten de riesgos nutricionales por hongo en maíz. Siglo 21*. Guatemala 23 de abril de 2014.

XI. ANEXOS

1. Condiciones ambientales

Gráfico 50. Condiciones ambientales del muestreo en Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango, Guatemala.

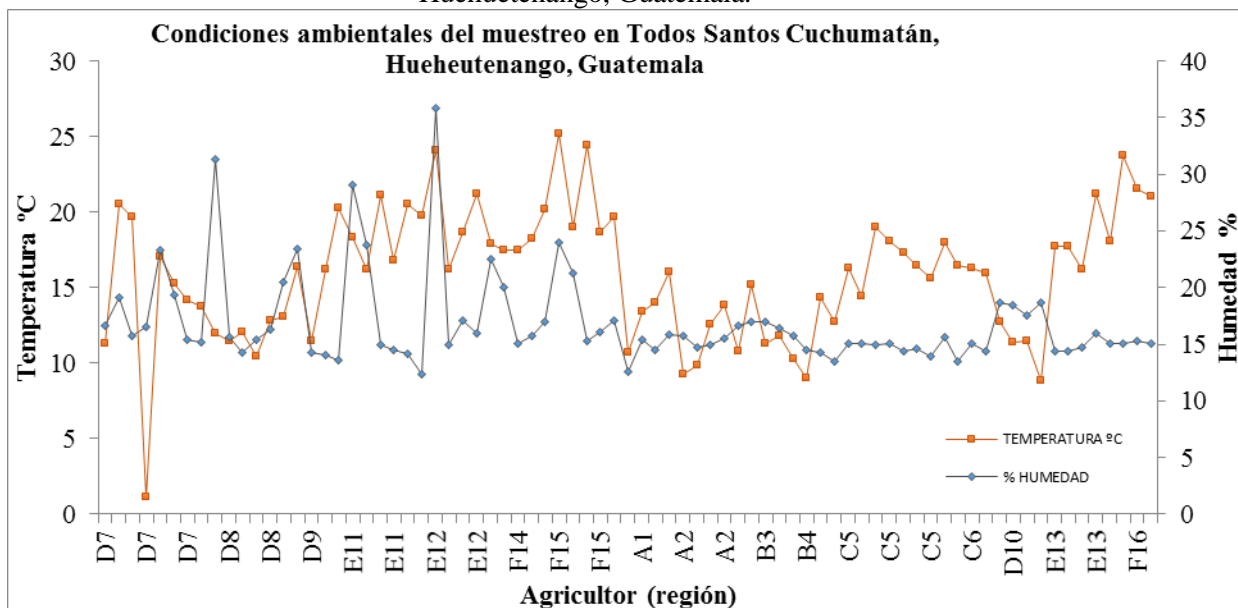
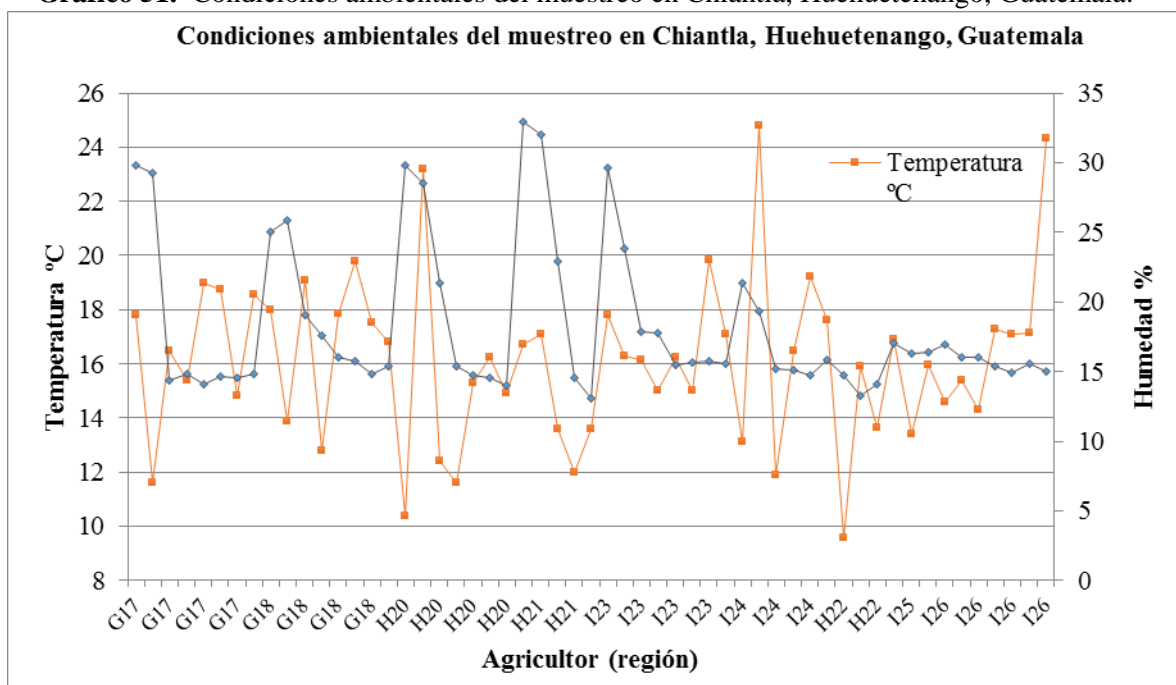
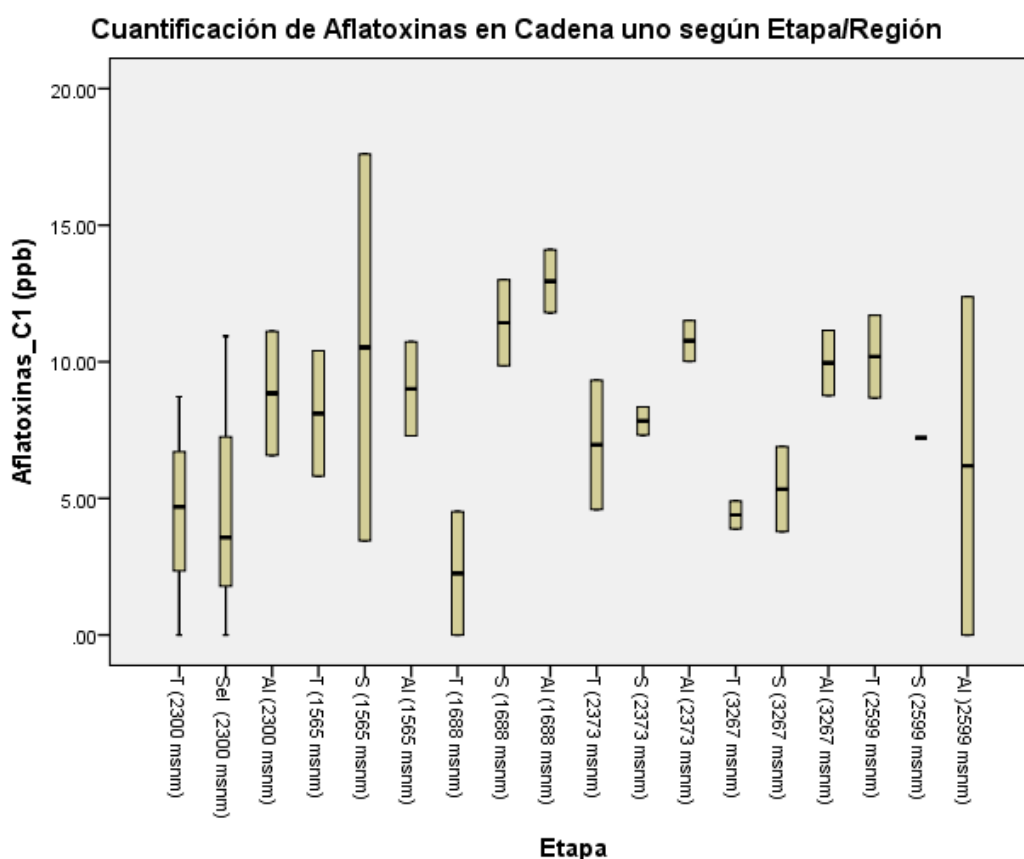


Gráfico 51. Condiciones ambientales del muestreo en Chiantla, Huehuetenango, Guatemala.



2. Gráficos de tallo y hojas. El Gráfico 52 presenta la posición de los datos de cuantificación de aflatoxinas en la cadena uno. En las regiones a 1688 msnm, 2300 msnm, 2373 msnm y 3267 msnm en la etapa de almacenamiento la mediana de Aflatoxinas es más alta y los datos señalan baja dispersión por la uniformidad de las cajas. Solamente a la altura de 2300 msnm en las etapas tapisca y selección se observan tallos que señalan datos más dispersos. Ningún cuartil superior llega a las 20 ppb de aflatoxinas que es el límite permitido por la FDA. En la región a 2599 msnm se observa una tendencia decreciente en las medianas de la cuantificación señalando disminución de aflatoxinas.

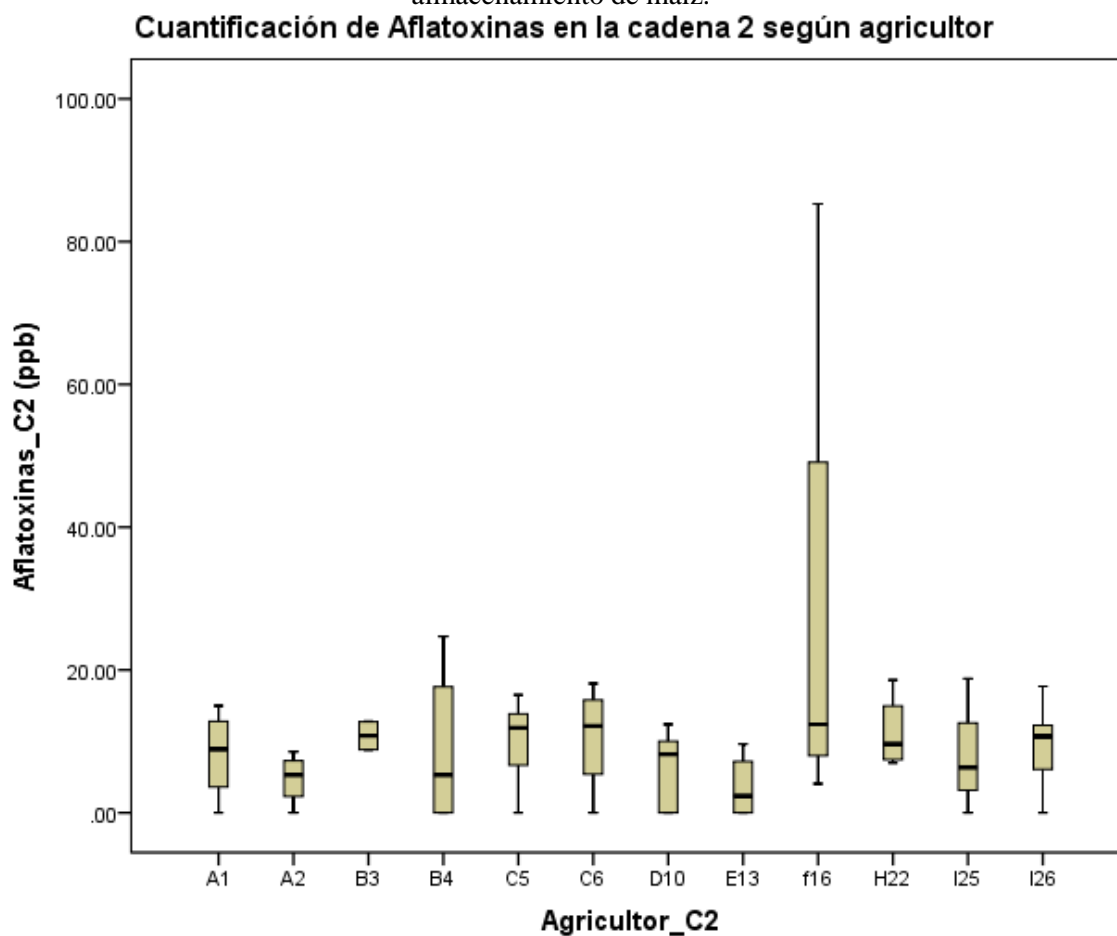
Gráfico 52. Cuantificación de Aflatoxinas en la Cadena uno según la etapa-región. El gráfico 52 de tallo y hoja se muestra visualmente la disposición de los datos según la etapa y altura. La letra T se refiere a la etapa tapisca; Sel, selección y Al almacenamiento.



El Gráfico 53 presenta la dispersión de los datos según el agricultor. En este caso todas las cajas presentan tallo lo cual señala una menor concentración de los datos en torno a la mediana. En este

gráfico vemos que el extremo del cuartil superior para varios agricultores señala valores de aflatoxinas iguales o mayores a las 20 ppb que es el límite permitido por la FDA.

Gráfico 53. Cuantificación de Aflatoxinas en la cadena dos según el agricultor durante el almacenamiento de maíz.



El Gráfico 53 de tallo y hoja muestra la disposición de los datos según el agricultor que almacenó el maíz en la cadena dos.

3. Resultados SPSS

a. Pruebas de Normalidad C1

Cuadro 44. Pruebas de normalidad C1 aflatoxinas y fumonisinas

| | Réplica | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------|---------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
| | | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Aflatoxinas_C1 | 1 | .156 | 18 | .200* | .952 | 18 | .462 |
| | 2 | .154 | 18 | .200* | .955 | 18 | .510 |
| | 3 | .260 | 2 | . | | | |
| Fumonisinias_C1 | 1 | .538 | 18 | .000 | .253 | 18 | .000 |
| | 2 | .538 | 18 | .000 | .253 | 18 | .000 |
| | 3 | .260 | 2 | . | | | |

b. Pruebas de normalidad C2

Cuadro 45. Pruebas de normalidad C2 aflatoxinas y fumoisinias

| Agricultor_C2 | | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|---------------|-----|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
| | | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| AFLA_C2 | A1 | .187 | 4 | . | .983 | 4 | .922 |
| | A2 | .227 | 4 | . | .968 | 4 | .827 |
| | B3 | .301 | 4 | . | .753 | 4 | .042 |
| | B4 | .275 | 4 | . | .854 | 4 | .241 |
| | C5 | .205 | 7 | .200* | .940 | 7 | .643 |
| | C6 | .260 | 4 | . | .938 | 4 | .643 |
| | D10 | .255 | 5 | .200* | .850 | 5 | .193 |
| | E13 | .282 | 4 | . | .863 | 4 | .270 |
| | f16 | .410 | 4 | . | .722 | 4 | .020 |
| | H22 | .243 | 4 | . | .877 | 4 | .325 |

| Continuación Cuadro 45. Pruebas de normalidad C2 aflatoxinas y fumoisinas | | | | | | | |
|--|---------------|-------------------------------------|------------------|-------|-------------------|-------------------------------------|------|
| | Agricultor_C2 | Kolmogoro v-Smirnov ^a | Shapiro- Wilk | | Agricultor_ C2 | Kolmogoro v-Smirnov ^a | |
| FUMO_c2 | I26 | .202 | 7 | .200* | .955 | 7 | .779 |
| | A1 | .348 | 4 | . | .827 | 4 | .161 |
| | A2 | .256 | 4 | . | .917 | 4 | .521 |
| | B3 | .333 | 4 | . | .828 | 4 | .163 |
| | B4 | .232 | 4 | . | .890 | 4 | .384 |
| | C5 | .188 | 7 | .200* | .887 | 7 | .257 |
| | C6 | .281 | 4 | . | .882 | 4 | .346 |
| | D10 | .233 | 5 | .200* | .954 | 5 | .768 |
| | E13 | .441 | 4 | . | .630 | 4 | .001 |
| | f16 | .277 | 4 | . | .858 | 4 | .253 |
| | I25 | .385 | 3 | . | .750 | 3 | .000 |
| | I26 | .384 | 7 | .002 | .569 | 7 | .000 |

Cuadro 45. Pruebas de normalidad C2 aflatoxinas y fumoisinas

| Agricultor_C2 | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | | |
|---------------|---------------------------------|------|------|--------------|------|------|------|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. | |
| AFLA_C2 | A1 | .187 | 4 | . | .983 | 4 | .922 |
| | A2 | .227 | 4 | . | .968 | 4 | .827 |
| | B3 | .301 | 4 | . | .753 | 4 | .042 |
| | B4 | .275 | 4 | . | .854 | 4 | .241 |

Continuación Cuadro 45. Pruebas de normalidad C2 aflatoxinas y fumoisinas

| Agricultor_C2 | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|---------------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| C5 | .205 | 7 | .200* | .940 | 7 | .643 |
| C6 | .260 | 4 | . | .938 | 4 | .643 |
| D10 | .255 | 5 | .200* | .850 | 5 | .193 |
| I26 | .202 | 7 | .200* | .955 | 7 | .779 |
| A1 | .348 | 4 | . | .827 | 4 | .161 |
| A2 | .256 | 4 | . | .917 | 4 | .521 |
| B3 | .333 | 4 | . | .828 | 4 | .163 |
| B4 | .232 | 4 | . | .890 | 4 | .384 |
| C5 | .188 | 7 | .200* | .887 | 7 | .257 |
| FUMO_c2 C6 | .281 | 4 | . | .882 | 4 | .346 |
| D10 | .233 | 5 | .200* | .954 | 5 | .768 |
| E13 | .441 | 4 | . | .630 | 4 | .001 |
| f16 | .277 | 4 | . | .858 | 4 | .253 |
| I25 | .385 | 3 | . | .750 | 3 | .000 |
| I26 | .384 | 7 | .002 | .569 | 7 | .000 |

c. Prueba de Levene C1

Cuadro 46. Prueba de homogeneidad de varianzas C1 aflatoxinas y fumonisinas

| | Estadístico de Levene | gl1 | gl2 | Sig. |
|-----------------|-----------------------|-----|-----|------|
| Aflatoxinas_C1 | .299 | 2 | 35 | .743 |
| Fumonisinias_C1 | 1.298 | 2 | 35 | .286 |

d. Prueba de Levene C2

Cuadro 47. Prueba de homogeneidad de varianzas C1 aflatoxinas y fumonisinas

| | Estadístico de Levene | gl1 | gl2 | Sig. |
|---------|-----------------------|-----|-----|------|
| AFLA_C2 | .028 | 1 | 10 | .870 |
| FUMO_c2 | .138 | 1 | 10 | .718 |

e. Análisis de Varianza de un Factor
Cadena uno**Cuadro 48.** ANOVA de un factor C1 aflatoxinas y fumonisinas

| | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Aflatoxinas_C1 | Inter-grupos | 300.815 | 17 | 17.695 | .969 | .523 |
| | Intra-grupos | 346.959 | 19 | 18.261 | | |
| | Total | 647.773 | 36 | | | |
| Fumonisinias_C1 | Inter-grupos | 16.119 | 17 | .948 | 2.832 | .015 |
| | Intra-grupos | 6.361 | 19 | .335 | | |
| | Total | 22.480 | 36 | | | |

Cadena dos

Cuadro 49. ANOVA de un factor C2 aflatoxinas y fumonisinas

| | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| AFLA_C2 | Inter-grupos | 1762.967 | 11 | 160.270 | 1.124 | .368 |
| | Intra-grupos | 5989.713 | 42 | 142.612 | | |
| | Total | 7752.680 | 53 | | | |
| | Inter-grupos | 4581.700 | 11 | 416.518 | .979 | .480 |
| Continuación Cuadro 49. ANOVA de un factor C2 aflatoxinas y fumonisinas | | | | | | |
| FUMO_c2 | Intra-grupos | 17867.729 | 42 | 425.422 | | |
| | Total | 22449.430 | 53 | | | |

f. Pruebas *post Hoc* LSD

Cadena dos

Cuadro 50. Comparaciones múltiples C1 aflatoxinas y fumonisinas

| DMS | | | | | |
|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|--------------|------|
| Variable dependiente | (I) Agricultor_C2 | (J) Agricultor_C2 | Diferencia de medias (I-J) | Error típico | Sig. |
| AFLA_C2 | A1 | A2 | 3.40500 | 8.44429 | .689 |
| | | B3 | -2.60500 | 8.44429 | .759 |
| | | B4 | -.62500 | 8.44429 | .941 |
| | | C5 | -1.71857 | 7.48507 | .820 |
| | | C6 | -2.40000 | 8.44429 | .778 |
| | | D10 | 2.08400 | 8.01096 | .796 |
| | | E13 | 4.61000 | 8.44429 | .588 |
| | | f16 | -20.34250* | 8.44429 | .020 |

Continuación **Cuadro 50.** Comparaciones múltiples C1 aflatoxinas y fumonisinas

| Variable dependiente | (I) Agricultor_C2 | (J) Agricultor_C2 | Diferencia de medias (I-J) | Error típico | Sig. |
|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|--------------|------|
| | | C6 | -5.80500 | 8.44429 | .496 |
| | | D10 | -1.32100 | 8.01096 | .870 |
| | | E13 | 1.20500 | 8.44429 | .887 |
| | | f16 | -23.74750* | 8.44429 | .007 |
| | | H22 | -6.41000 | 8.44429 | .452 |
| | | I25 | -3.58500 | 9.12088 | .696 |
| | | I26 | -4.49643 | 7.48507 | .551 |
| | B3 | A1 | 2.60500 | 8.44429 | .759 |
| | | A2 | 6.01000 | 8.44429 | .481 |
| | | B4 | 1.98000 | 8.44429 | .816 |
| | | C5 | .88643 | 7.48507 | .906 |
| | | C6 | .20500 | 8.44429 | .981 |
| | | D10 | 4.68900 | 8.01096 | .561 |
| | | E13 | 7.21500 | 8.44429 | .398 |
| | | f16 | -17.73750* | 8.44429 | .042 |

4. Temperatura del maíz cosechado

Cuadro 51. Temperaturas del maíz cosechado por los distintos agricultores a distintas alturas, de la cadena 1 y 2 del municipio de Chiantla del departamento de Huehuetenango.

| Comunidad/Altura (msnm) | Agricultor | Etapa | Temperatura (°C) |
|-----------------------------------|------------|---------|------------------|
| CADENA I | | | |
| San José Las Flores (2373 msnm) | G17 | T | 17.8 |
| | | S | 11.6 |
| | | A_S 0 | 16.47 |
| | | A_S 30 | 15.4 |
| | | A_S 60 | 19 |
| | | A_S 90 | 18.77 |
| | | A_S 120 | 14.8 |
| | | A_S 150 | 18.57 |
| | A_S 180 | 17.17 | |
| | G18 | T | 18 |
| | | S | 13.9 |
| | | A_T 30 | 19.1 |
| | | A_T 60 | 12.8 |
| | | A_T 90 | 17.83 |
| A_T 120 | | 19.77 | |
| Cumbre La Botija (3267 msnm) | H20 | T | 10.4 |
| | | S | 23.2 |
| | | A_T 30 | 12.4 |
| | | A_T 60 | 11.6 |
| | | A_T 90 | 15.3 |
| | | A_T 120 | 16.23 |
| | | A_T 150 | 14.9 |
| | H21 | T | 16.7 |
| | | S | 17.1 |
| | | A_T 30 | 13.6 |
| San Antonio Las Nubes (2599 msnm) | I23 | A_T 60 | 12 |
| | | A_T 90 | 13.6 |
| | | T | 17.8 |
| | | A_T 0 | 16.3 |

Cuadro 52. Temperaturas del maíz cosechado por los distintos agricultores a distintas alturas, de la cadena 1 y 2 del municipio de Todos Santos Cuchumatán del departamento de Huehuetenango.

| Comunidad/Altura (msnm) | Agricultor | Etapas | Temperatura (°C) |
|-------------------------|------------|---------|------------------|
| Cadena I | | | |
| Tres Cruces (2300) | D7 | T | 11.3 |
| | | S | 20.5 |
| | | A_S 0 | 19.67 |
| | | A_S 30 | 14.1 |
| | | A_S 60 | 17.07 |
| | | A_S 90 | 15.31 |
| | | A_S 120 | 14.17 |
| | | A_S 150 | 13.73 |
| Tres Cruces (2300) | D8 | T | 12 |
| | | S | 11.5 |
| | | A_T 30 | 12.1 |
| | | A_T 60 | 10.47 |
| | | A_T 90 | 12.8 |
| Tres Cruces (2300) | D9 | T | 13.1 |
| | | A_T 0 | 16.4 |
| | | A_T 30 | 11.43 |
| | | A_T 60 | 16.2 |
| | | A_T 90 | 20.3 |
| Tuiboch (1565) | E11 | T | 18.3 |
| | | S | 16.2 |
| | | A_O 30 | 21.1 |
| | | A_O 60 | 16.8 |
| | | A_O 90 | 20.5 |
| | | A_120 | 19.73 |
| | | A_150 | 19.47 |
| | | A_180 | 19.9 |
| Tuiboch (1565) | E12 | T | 24.1 |
| | | S | 16.2 |
| | | A_O 30 | 18.7 |
| | | A_O 60 | 21.2 |
| | | A_O 90 | 19.95 |
| Río Ocho (1688) | F14 | T | 17.87 |
| | | S | 17.47 |

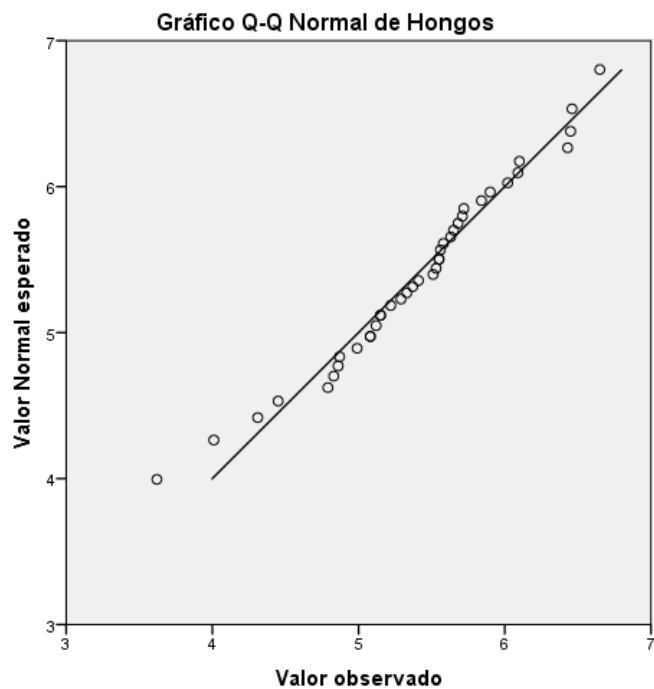
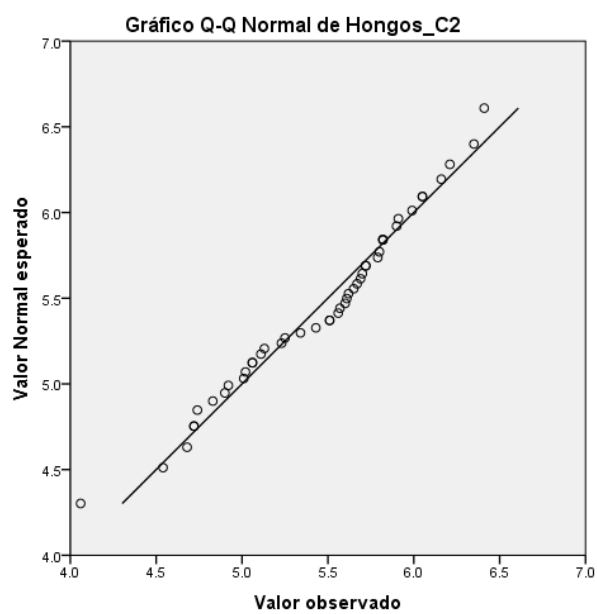
Continuación **Cuadro 52.** Temperaturas del maíz cosechado por los distintos agricultores a distintas alturas, de la cadena 1 y 2 del municipio de Todos Santos Cuchumatán del departamento de Huehuetenango.

| Comunidad/Altura (msnm) | Agricultor | Etapa | Temperatura (°C) |
|-------------------------|------------|--------|------------------|
| Cadena I | | | |
| | | A_C 30 | 17.5 |
| | | A_C 60 | 18.27 |
| | | A_C 90 | 20.17 |
| Río Ocho (1688) | F15 | T | 25.17 |
| | | S | 19.03 |
| | | A_C 30 | 24.4 |
| | | A_C 60 | 18.7 |
| | | A_C 90 | 19.7 |
| Cadena II | | | |
| Chichím (3564) | A1 | A_C 0 | 10.7 |
| | | A_C 30 | 13.43 |
| | | A_C 60 | 14 |
| | | A_C 90 | 16.03 |
| Chichím (3564) | A2 | A_C 0 | 9.3 |
| | | A_C 30 | 9.87 |
| | | A_C 60 | 12.6 |
| | | A_C 90 | 13.8 |
| Chemal II (3581) | B3 | A_C 0 | 10.8 |
| | | A_C 30 | 15.2 |
| | | A_C 60 | 11.3 |
| | | A_C 90 | 11.83 |
| Chemal II (3581) | B4 | A_C 0 | 10.3 |
| | | A_C 30 | 9 |
| | | A_C 90 | 12.77 |

Continuación **Cuadro 52.** Temperaturas del maíz cosechado por los distintos agricultores a distintas alturas, de la cadena 1 y 2 del municipio de Todos Santos Cuchumatán del departamento de Huehuetenango.

| Comunidad/Altura (msnm) | Agricultor | Etapa | Temperatura (°C) |
|-------------------------|------------|---------|------------------|
| Cadena I | | | |
| | | A_C 60 | 19.03 |
| | | A_C 90 | 18.1 |
| | | A_C 120 | 17.33 |
| | | A_C 150 | 16.43 |
| | | A_C 180 | 15.6 |
| Chicoy (2300) | C6 | A_C 0 | 18 |
| | | A_C 30 | 16.47 |
| | | A_C 60 | 16.33 |
| | | A_C 90 | 15.97 |
| Tres Cruces (2300) | D10 | A_S 0 | 12.7 |
| | | A_S 30 | 11.4 |
| | | A_S 60 | 11.5 |
| | | A_S 90 | 8.87 |
| Tuiboch (1565) | E13 | S | 17.7 |
| | | A_S 0 | 17.7 |
| | | A_S 30 | 16.2 |
| | | A_S 60 | 21.23 |
| | | A_S 90 | 18.21 |
| Tuiboch (1565) | F16 | A_S 0 | 18.07 |
| | | A_S 30 | 23.73 |
| | | A_S 60 | 21.53 |
| | | A_S 90 | 21.07 |

5. Gráficas Q-Q

Gráfico 54. Gráfica Q-Q del conteo de mohos de las muestras analizadas de la cadena 1.**Gráfico 55.** Gráfica Q-Q del conteo de mohos de las muestras analizadas de la cadena 2.

6. Diagrama de caja y bigote

Gráfico 56. Diagrama de caja y bigotes (boxplot) sobre la cantidad de mohos presente en el maíz cultivado por agricultores de la cadena 1 a distintas alturas.

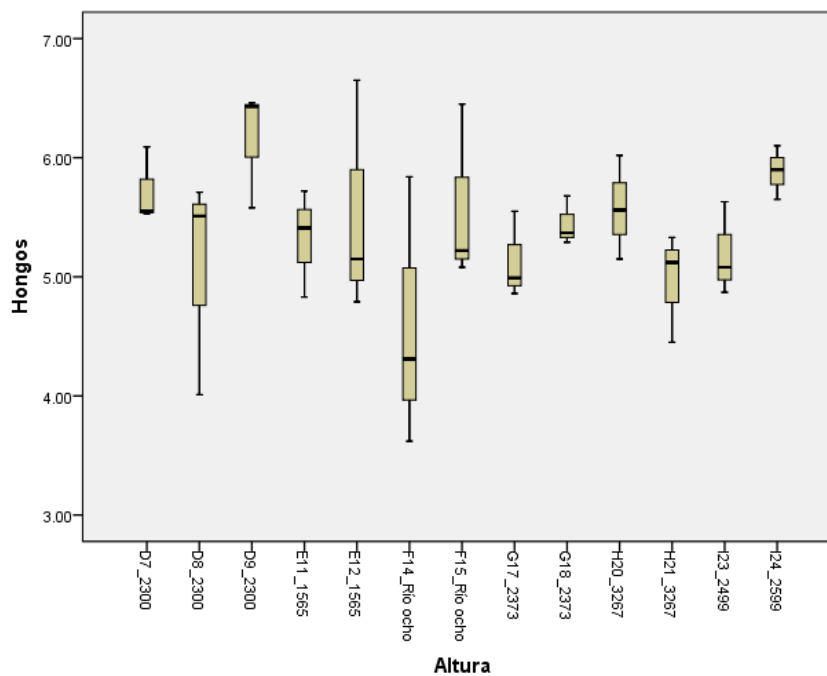


Gráfico 57. Diagrama de caja y bigotes (boxplot) sobre la cantidad de mohos presente en el maíz cultivado por agricultores de la cadena 2 a distintas alturas.

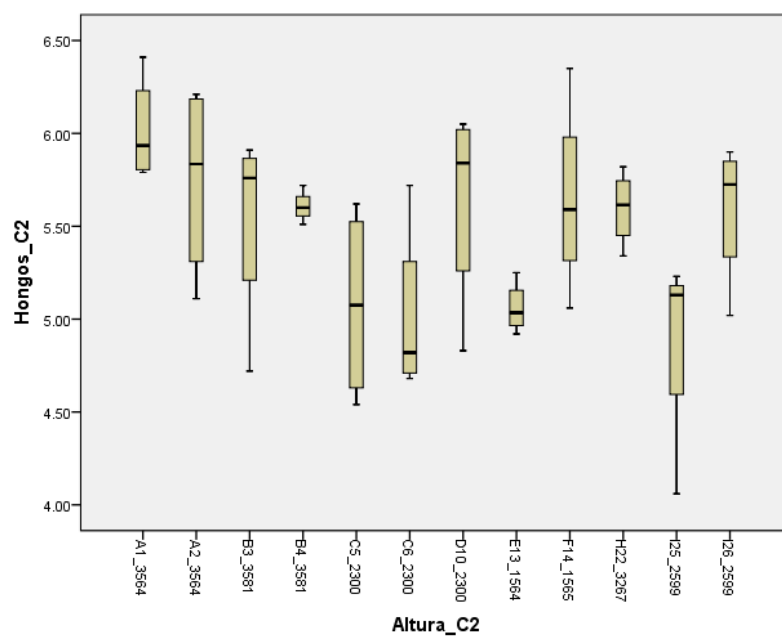



Figura 45. Información obtenida de cada una de las muestras de maíz enviadas por los agricultores de las distintas comunidades.



Programa de Reducción de Perdas Post Cosecha
Colección de muestras de grano para estudio

Número de la muestra: 2 Fecha de muestreo: 05.02.15

Etapa en el proceso: C2

Doble
 Tapisca
 Selección
 Después del secado
 Almacenamiento

Tipo de almacenamiento:

Tapanco
 Silo
 Cajón de madera
 Costales
 Otros Especifique: _____

Tiempo de muestreo (días):

0
 30
 60
 90

Ubicación del muestreo

Comunidad: Chemel II. / Todos Santos

Nombre del agricultor: Fernando Pérez

Figura 46. Tipos de maíz analizados de la cadena 1 y 2, provenientes de los municipios Chiantla y Todos Santos Cuchumatán del departamento de Huehuetenango, Guatemala.



7. Formato de trazabilidad de análisis

INFORMACIÓN GENERAL

Fecha de ingreso: _____

Iniciales de analista: _____

No. de muestra

Peso inicial (g): _____

Fecha Muestreo: / /

Etapa: _____

Tiempo: _____

Procedencia:

Responsable de toma de muestra:_____
Tipo de almacenamiento:Observaciones:

DISTRIBUCIÓN DE LAS MUESTRAS

Fecha de inicio: / /

Iniciales de analistas: _____

Peso Micotoxinas: _____ g.

Peso H y L: _____ g.

Peso Entomología: _____ g.

OBSERVACIONES: _____

HONGOS Y LEVADURAS

Fecha análisis: / /

Peso muestra: _____ g

Iniciales analista: _____

Vol. diluyente: _____ ml

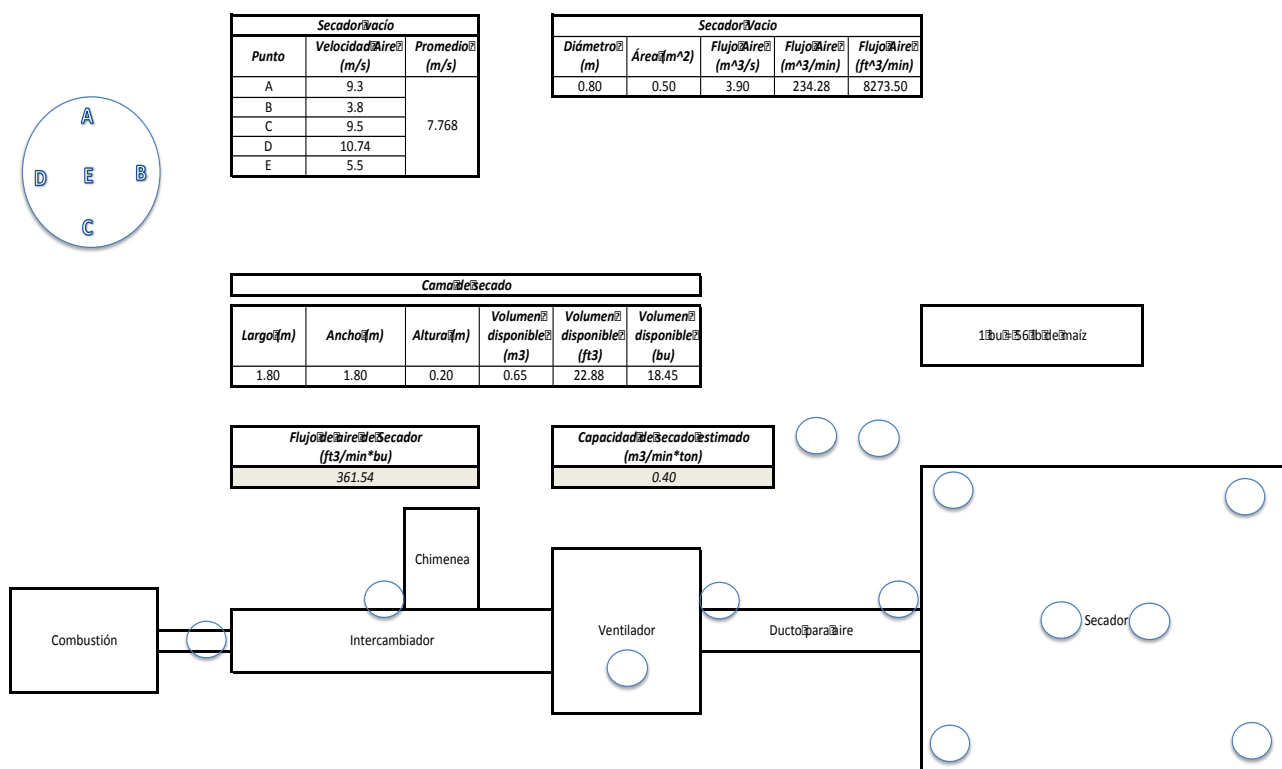
Tiempo extracción: _____ min

CUADRO DE RESULTADOS

| | HONGOS | | | Observaciones |
|-----------------|--------|--------|--------|---------------|
| | CAJA 1 | CAJA 2 | CAJA 3 | |
| 10 ² | | | | |
| 10 ³ | | | | |
| 10 ⁴ | | | | |
| 10 ⁵ | | | | |

RECUENTO DE HONGOS: _____ UFC/g

Figura 47. Distribución y cálculo de capacidad de secado



En la figura anterior se muestra donde se ubicó cada termocopla durante el análisis del secador. En la figura se muestra la cámara de combustión, intercambiador de calor y la cámara de secado. De igual forma se muestran los valores utilizados para calcular la capacidad de secado.

Cuadro 53. Datos originales obtenidos para la evaluación 1 en “San Antonio Las Nubes” en Cámara de combustión e intercambiador de calor.

| Termocupla (Intercambiadores) | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|-------|--------|---|------------------------|
| Hora | A (°C) | B (°C) | C (°C) | D (m/s) | E (°C) | F (%) | G (°C) | Observaciones | Cantidad de Olete (lb) |
| 0.00 | 13.30 | 13.30 | 13.70 | 9.46 | 12.40 | 96.10 | 13.30 | | |
| 11.15 | 14.60 | 14.20 | 13.90 | 9.39 | 12.70 | 96.90 | 14.60 | | |
| 11.30 | 329.90 | 148.50 | 19.90 | 8.20 | 12.60 | 96.90 | 19.90 | | |
| 11.40 | 372.90 | 200.04 | 38.80 | 7.73 | 12.70 | 96.80 | 35.70 | | |
| 11.45 | 387.00 | 162.90 | 33.30 | 8.11 | 13.60 | 96.60 | 31.00 | Olete | 5.81 |
| 11.50 | 448.00 | 195.90 | 36.50 | 8.00 | 13.50 | 95.80 | 34.90 | | |
| 11.52 | 380.90 | 161.90 | 36.50 | 7.88 | 14.00 | 95.90 | 34.20 | | |
| 11.55 | 350.70 | 135.70 | 33.80 | 8.20 | 12.90 | 93.30 | 31.70 | | |
| 12.05 | 321.00 | 135.00 | 32.10 | 8.22 | 13.50 | 94.20 | 30.90 | | |
| 12.10 | 364.20 | 141.40 | 33.00 | 8.24 | 14.50 | 94.00 | 31.70 | Olete | 5.06 |
| 12.15 | 385.20 | 160.90 | 35.90 | 8.15 | 15.80 | 89.80 | 34.90 | | |
| 12.20 | 388.30 | 158.40 | 36.70 | 7.98 | 13.50 | 90.40 | 35.10 | | |
| 12.25 | 313.00 | 124.00 | 33.20 | 7.96 | 14.00 | 92.10 | 31.80 | | |
| 12.30 | 293.60 | 110.50 | 31.60 | 8.00 | 14.20 | 91.80 | 30.40 | Olete | 5.38 |
| 12.35 | 355.70 | 130.70 | 30.60 | 7.96 | 14.50 | 90.40 | 29.90 | | |
| 12.40 | 398.60 | 192.60 | 33.50 | 7.92 | 14.00 | 90.40 | 33.20 | | |
| 12.50 | 252.30 | 82.30 | 28.70 | 7.96 | 14.10 | 88.30 | 27.40 | Olete | 5.56 |
| 13.00 | 206.90 | 57.00 | 25.00 | 7.94 | 13.40 | 89.40 | 24.20 | Se detuvo porque se quemó el ventilador | |
| 13.20 | 318.10 | 125.10 | 26.20 | 8.11 | 13.10 | 92.80 | 26.40 | | 9.94 |
| 13.30 | 345.50 | 150.60 | 31.80 | 7.81 | 13.60 | 90.30 | 31.10 | Leña | 9.63 |
| 13.40 | 287.80 | 103.20 | 28.40 | 7.79 | 13.70 | 92.80 | 27.10 | | |
| 13.50 | 188.50 | 53.70 | 25.00 | 7.88 | 13.20 | 94.50 | 23.80 | | |
| 14.00 | 169.80 | 158.00 | 18.30 | 8.05 | 14.70 | 91.60 | 18.40 | | |
| 14.10 | 144.50 | 49.30 | 21.10 | 7.90 | 13.70 | 93.00 | 21.00 | Olete | 5.19 |
| 14.20 | 162.50 | 48.20 | 22.10 | 8.03 | 14.00 | 93.40 | 21.60 | | |
| 14.30 | 129.90 | 49.80 | 22.00 | 8.07 | 14.40 | 93.30 | 21.80 | | |
| 14.40 | 154.10 | 44.10 | 21.40 | 7.83 | 13.70 | 91.40 | 21.10 | | |
| 14.50 | 89.10 | 29.50 | 19.70 | 8.00 | 13.90 | 92.80 | 19.20 | | |
| 15.15 | 154.60 | 56.00 | 17.50 | 7.92 | 13.00 | 96.40 | 17.20 | | |
| 15.20 | 178.00 | 65.60 | 18.00 | 7.94 | 12.90 | 93.40 | 18.30 | | |
| 15.25 | 305.00 | 95.40 | 19.80 | 7.96 | 13.00 | 93.70 | 19.80 | | |
| 15.30 | 376.20 | 125.40 | 22.70 | 7.81 | 13.10 | 94.10 | 22.10 | | |
| 15.35 | 385.20 | 152.50 | 27.90 | 7.66 | 13.20 | 93.50 | 17.50 | Olete | 2.50 |
| 15.40 | 466.50 | 186.20 | 35.90 | 7.47 | 13.40 | 95.00 | 34.80 | | |
| 15.45 | 446.30 | 183.90 | 40.30 | 7.60 | 14.40 | 96.00 | 38.70 | | |
| 15.50 | 449.00 | 156.00 | 34.70 | 7.66 | 13.70 | 92.20 | 33.50 | | |
| 15.55 | 478.50 | 202.67 | 43.60 | 7.49 | 16.80 | 85.70 | 41.70 | | |
| 16.00 | 467.30 | 194.90 | 43.80 | 7.56 | 17.10 | 85.90 | 42.00 | | |
| Promedio | 312.35 | 125.77 | 29.43 | 7.92 | 13.87 | 92.72 | 28.17 | | |
| Desviación Estandar | 111.22 | 52.75 | 7.54 | 0.20 | 0.99 | 2.79 | 7.16 | | |
| Máximo | 478.50 | 202.67 | 43.80 | 8.24 | 17.10 | 96.90 | 42.00 | | |
| Mínimo | 89.10 | 29.50 | 17.50 | 7.47 | 12.60 | 85.70 | 17.20 | | |

Cuadro 54. Datos originales obtenidos para la evaluación 1 en “San Antonio Las Nubes” en cámara de secado

| Termocupla (Cama de secado) | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|---------|--------|---------|--------|
| Hora | A (°C) | A (%) | B (°C) | B (%) | C (°C) | C (%) | D (°C) | D (%) | E1 (°C) | E1 (%) | E2 (°C) | E2 (%) |
| 11.15 | 12.40 | 20.60 | 12.90 | 21.10 | 13.60 | 25.50 | 13.00 | 22.50 | 13.40 | 23.10 | 13.80 | 25.50 |
| 12.15 | 22.50 | 18.70 | 21.90 | 22.00 | 24.30 | 16.20 | 24.00 | 16.30 | 22.20 | 22.10 | 24.00 | 18.00 |
| 16.05 | 22.70 | 17.90 | 22.40 | 19.20 | 23.20 | 20.10 | 22.70 | 18.00 | 22.10 | 21.50 | 21.50 | 20.00 |
| 16.50 | 23.50 | 15.70 | 23.30 | 15.80 | 23.10 | 16.30 | 25.30 | 16.20 | 24.20 | 16.30 | 22.40 | 15.80 |
| 18.40 | 24.30 | 15.40 | 22.60 | 15.40 | 24.70 | 17.20 | 24.30 | 16.70 | 24.30 | 15.50 | 22.70 | 16.40 |
| 19.00 | 23.80 | 16.00 | 24.00 | 15.60 | 23.30 | 17.40 | 24.90 | 16.80 | 24.60 | 16.80 | 23.00 | 15.20 |

Masa de maíz en cama **246.20 lb**

Cuadro 55. Datos originales obtenidos para la evaluación 2 en “San Antonio Las Nubes” en Cámara de combustión e intercambiador de calor.

| Termocupla (Intercambiadores) | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|-------|--------|---------------|------------------------|
| Hora | A (°C) | B (°C) | C (°C) | D (m/s) | E (°C) | F (%) | G (°C) | Observaciones | Cantidad de Olete (lb) |
| 0.00 | 19.80 | 22.10 | 14.60 | 8.56 | 11.40 | 85.90 | 14.20 | Olete | 3.40 |
| 9.00 | 48.20 | 22.50 | 14.00 | 8.18 | 12.50 | 87.60 | 13.60 | | |
| 9.25 | 250.00 | 77.70 | 19.00 | 7.96 | 12.70 | 85.90 | 19.10 | | |
| 9.35 | 302.00 | 121.70 | 28.30 | 7.81 | 12.80 | 90.10 | 27.00 | Olete | 5.60 |
| 9.45 | 392.50 | 135.10 | 29.40 | 8.11 | 12.00 | 89.90 | 28.90 | | |
| 9.55 | 430.60 | 139.70 | 34.10 | 7.75 | 13.40 | 88.20 | 32.50 | | |
| 10.05 | 436.90 | 148.80 | 38.10 | 7.77 | 12.80 | 89.80 | 36.60 | Olete | 5.40 |
| 10.20 | 432.70 | 144.50 | 37.50 | 7.66 | 13.00 | 91.20 | 35.50 | | |
| 11.00 | 327.50 | 103.30 | 28.80 | 7.90 | 13.20 | 86.80 | 27.70 | | |
| 11.10 | 347.00 | 110.60 | 29.00 | 7.88 | 13.40 | 87.40 | 28.80 | Olete | 5.40 |
| 11.20 | 287.50 | 88.50 | 28.00 | 7.85 | 14.90 | 82.30 | 26.70 | | |
| 11.30 | 269.80 | 76.30 | 24.20 | 7.92 | 14.70 | 77.40 | 23.30 | | |
| 11.40 | 355.40 | 119.00 | 29.00 | 7.81 | 16.40 | 77.40 | 28.70 | Olete | 5.70 |
| 11.50 | 353.90 | 116.70 | 32.20 | 7.79 | 15.50 | 76.30 | 31.30 | | |
| 12.00 | 245.00 | 187.00 | 30.40 | 7.73 | 16.70 | 73.90 | 29.00 | | |
| 12.10 | 379.00 | 175.50 | 33.40 | 7.64 | 15.40 | 73.30 | 32.80 | Olete | 6.30 |
| 12.20 | 332.70 | 120.50 | 33.50 | 7.50 | 15.40 | 77.90 | 32.10 | | |
| 12.30 | 311.80 | 95.70 | 30.30 | 7.47 | 15.10 | 77.30 | 29.30 | | |
| 12.40 | 310.30 | 110.70 | 29.80 | 7.62 | 15.20 | 75.40 | 28.70 | Olete | 5.40 |
| 12.50 | 254.70 | 71.70 | 27.50 | 7.66 | 17.00 | 76.40 | 26.20 | | |
| 13.00 | 240.90 | 74.90 | 26.30 | 7.58 | 15.20 | 76.50 | 26.30 | | |
| 13.15 | 161.60 | 47.30 | 25.80 | 7.66 | 16.30 | 74.20 | 25.00 | Olete | |

| | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|--|--|
| Promedio | 321.09 | 113.26 | 29.73 | 7.75 | 14.56 | 81.38 | 28.78 | | |
| Desviación Estándar | 72.86 | 35.62 | 4.41 | 0.16 | 1.52 | 6.46 | 4.06 | | |
| Máximo | 436.90 | 187.00 | 38.10 | 8.11 | 17.00 | 91.20 | 36.60 | | |
| Mínimo | 161.60 | 47.30 | 19.00 | 7.47 | 12.00 | 73.30 | 19.10 | | |

Cuadro 56. Datos originales obtenidos para la evaluación 2 en “San Antonio Las Nubes” en cámara de secado

| Termocupla (Cama de secado) | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|---------|--------|---------|--------|
| Hora | A (°C) | A (%) | B (°C) | B (%) | C (°C) | C (%) | D (°C) | D (%) | E1 (°C) | E1 (%) | E2 (°C) | E2 (%) |
| 10.35 | 17.90 | 19.30 | 17.40 | 19.50 | 16.30 | 19.70 | 16.00 | 20.50 | 17.30 | 18.80 | 18.00 | 20.10 |
| 11.15 | 18.50 | 18.40 | 17.50 | 18.20 | 16.90 | 18.10 | 16.40 | 18.00 | 17.50 | 18.30 | 18.20 | 19.00 |
| 13.20 | 18.30 | 18.00 | 19.40 | 18.20 | 18.80 | 18.30 | 17.90 | 17.50 | 17.40 | 17.30 | 17.10 | 17.50 |

Masa de maíz en cama 265.4 lb

Cuadro 57. Datos originales obtenidos para uso de carbón en la Universidad del Valle de Guatemala en Cámara de combustión e intercambiador de calor.

| Termocupla (Intercambiadores) | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|-------|---------------|-------------------------|
| Hora | A (°C) | B (°C) | C (°C) | D (m/s) | G (°C) | E (°C) | F (%) | Observaciones | Cantidad de carbon (kg) |
| 16.00 | 167.80 | 90.90 | 32.00 | 8.80 | 29.00 | 25.70 | 54.90 | Carbón | 1.50 |
| 16.15 | 308.70 | 102.40 | 38.70 | 8.70 | 35.00 | 25.60 | 55.80 | | |
| 16.20 | 336.00 | 110.90 | 41.40 | 8.80 | 38.00 | 26.60 | 52.40 | | |
| 16.25 | 354.00 | 117.30 | 43.40 | 8.40 | 37.10 | 27.10 | 53.10 | | |
| 16.30 | 330.30 | 116.00 | 44.20 | 8.10 | 37.10 | 29.70 | 48.40 | | |
| 16.35 | 293.50 | 114.10 | 42.00 | 8.97 | 36.40 | 27.00 | 50.50 | | |
| 16.40 | 272.00 | 113.80 | 40.40 | 8.71 | 34.20 | 25.50 | 55.20 | | |
| 16.45 | 331.50 | 104.50 | 38.10 | 9.43 | 30.80 | 26.10 | 57.70 | | |
| 16.50 | 350.10 | 129.80 | 40.10 | 8.37 | 32.60 | 24.70 | 58.50 | | |
| 16.55 | 332.90 | 133.10 | 41.50 | 9.07 | 35.70 | 27.00 | 51.90 | | |
| 17.00 | 307.30 | 132.70 | 40.40 | 9.31 | 33.00 | 30.10 | 49.10 | | |
| 17.05 | 280.30 | 117.10 | 39.70 | 8.92 | 33.20 | 26.70 | 52.80 | | |
| 17.10 | 255.20 | 107.70 | 37.40 | 9.26 | 31.20 | 28.10 | 52.30 | | |
| 17.15 | 230.70 | 96.30 | 35.50 | 8.32 | 30.20 | 25.70 | 54.40 | | |

| | | | | | | | |
|---------------------------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|
| Promedio | 306.35 | 115.05 | 40.22 | 8.80 | 34.19 | 26.92 | 53.24 |
| Desviación Estanda | 38.02 | 11.41 | 2.41 | 0.42 | 2.59 | 1.59 | 3.04 |
| Máximo | 354.00 | 133.10 | 44.20 | 9.43 | 38.00 | 30.10 | 58.50 |
| Mínimo | 230.70 | 96.30 | 35.50 | 8.10 | 30.20 | 24.70 | 48.40 |

Cuadro 58. Datos originales obtenidos para uso de leña en la Universidad del Valle de Guatemala en cámara de combustión e intercambiador de calor.

| Hora | Termocupla (Intercambiadores) | | | | | | | Observaciones | Cantidad de leña (kg) |
|-------|-------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|-------|---------------|-----------------------|
| | A (°C) | B (°C) | C (°C) | D (m/s) | G (°C) | E (°C) | F (%) | | |
| 17.30 | 67.20 | 37.00 | 29.00 | 8.77 | 26.40 | 25.30 | 53.60 | Leña | 3.70 |
| 17.35 | 238.20 | 63.70 | 30.20 | 9.09 | 27.30 | 26.40 | 55.00 | | |
| 17.40 | 248.90 | 83.10 | 32.70 | 8.90 | 29.40 | 25.40 | 53.00 | | |
| 17.45 | 249.20 | 86.00 | 32.80 | 8.45 | 29.40 | 25.70 | 54.10 | | |
| 17.50 | 269.10 | 93.10 | 33.20 | 8.21 | 28.60 | 23.10 | 60.30 | | |
| 17.55 | 285.20 | 102.20 | 34.30 | 9.03 | 30.30 | 22.40 | 63.30 | | |
| 18.00 | 279.20 | 105.80 | 34.40 | 8.30 | 29.00 | 22.30 | 63.60 | | |
| 18.05 | 271.30 | 265.00 | 32.20 | 8.92 | 27.60 | 21.90 | 65.10 | | |
| 18.10 | 313.00 | 75.00 | 32.40 | 8.03 | 27.50 | 21.90 | 65.80 | | |
| 18.15 | 295.10 | 77.00 | 32.10 | 8.37 | 27.00 | 21.80 | 66.60 | | |
| 18.20 | 330.70 | 95.20 | 33.30 | 8.67 | 29.10 | 21.70 | 67.70 | | |
| 18.25 | 308.70 | 95.20 | 32.80 | 8.79 | 28.30 | 21.60 | 68.50 | | |
| 18.30 | 300.40 | 100.90 | 33.40 | 8.39 | 27.40 | 21.40 | 69.10 | | |

| | | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|
| Promedio | 282.42 | 103.52 | 32.82 | 8.60 | 28.41 | 22.97 | 62.68 |
| Desviación Estándar | 28.51 | 52.36 | 1.10 | 0.35 | 1.05 | 1.80 | 5.76 |
| Máximo | 330.70 | 265.00 | 34.40 | 9.09 | 30.30 | 26.40 | 69.10 |
| Mínimo | 238.20 | 63.70 | 30.20 | 8.03 | 27.00 | 21.40 | 53.00 |