

Universidad del Valle de Guatemala
Facultad de Ingeniería



Propuesta de mejora en el manejo post-cosecha de maíz (*Zea mays*) para la reducción de aflatoxinas y fumonisinas durante el secado y almacenamiento en el Departamento de Huehuetenango, Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por: Ana Paulina Boesche Quan y Marinés Overall Salazar para optar al grado académico de Licenciadas en Ingeniería en Ciencia de Alimentos; Belia Vanessa Ayerdi Bardales para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Industrial; y María Gabriela Trejo Sarmiento y Vivian Susana Montoya Girón para optar al grado académico de Licenciadas en Bioquímica y Microbiología

Guatemala,
2016

Propuesta de mejora en el manejo post-cosecha de maíz (*Zea mays*) para la reducción de aflatoxinas y fumonisinas durante el secado y almacenamiento en el Departamento de Huehuetenango, Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

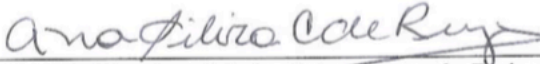
Propuesta de mejora en el manejo post-cosecha de maíz (*Zea mays*) para la reducción de aflatoxinas y fumonisinas durante el secado y almacenamiento en el Departamento de Huehuetenango, Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:
Ana Paulina Boesche Quan y Marinés Overall Salazar para optar
al grado académico de Licenciadas en Ingeniería en Ciencia de Alimentos;
Belia Vanessa Ayerdi Bardales para optar
al grado académico de Licenciada en Ingeniería Industrial; y
María Gabriela Trejo Sarmiento y Vivian Susana Montoya Girón para optar
al grado académico de Licenciadas en Bioquímica y Microbiología

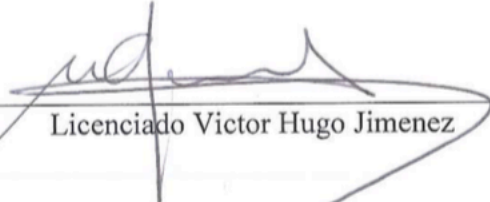
Guatemala,

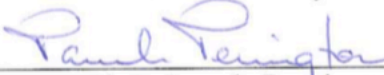
2016

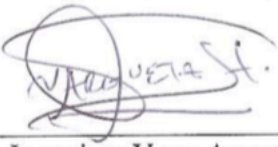
Vo. Bo.:

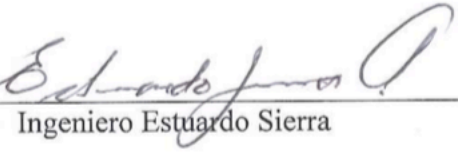
(f) 
MSc. Ana Silvia Colmenares de Ruiz
Asesora


Tribunal Examinador:

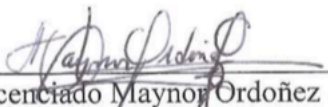
(f) 
Licenciado Victor Hugo Jimenez

(f) 
Ph.D. Pamela Pennington

(f) 
Ingeniera Vany Argueta

(f) 
Ingeniero Estuardo Sierra

(f) 
Ph.D. Carlos Campabadal

(f) 
Licenciado Maynor Ordoñez

Fecha de aprobación: Guatemala, 21 de noviembre de 2016

ÍNDICE

Lista de imágenes.....	ix
Lista de cuadros	xii
Lista de gráficos.....	xvi
RESUMEN	xvii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	3
A. GENERALIDADES DEL MAÍZ (<i>Zea mays</i>).....	3
1. Origen y evolución.....	3
2. Descripción de la planta.....	4
3. Diversidad en Guatemala.....	4
4. Importancia económica y cultural.....	5
5. Producción en Guatemala.....	6
6. Consumo en Guatemala.....	6
7. Cultivo en Huehuetenango.....	7
B. MANEJO POST-COSECHA DEL MAÍZ EN HUEHUETENANGO.....	8
1. Doble.....	8
2. Cosecha.....	8
3. Secado.....	9
4. Desgranado.....	11
5. Almacenamiento.....	12
C. PRÁCTICAS DE SECADO DE MAÍZ EN HUEHUETENANGO.....	13
D. PROCESO DE SECADO DE GRANOS.....	14
E. SECADORES DE GRANOS.....	15
1. Secador Aflastop.....	15
2. Módulo de aire forzado.....	15
3. Cama de secado:.....	16

F. CALIDAD DE LOS GRANOS.....	18
G. PLAGAS QUE AFECTAN AL MAÍZ.....	19
1. Microbiota fúngica.....	19
2. Micotoxinas.....	22
III. JUSTIFICACIÓN	30
IV. OBJETIVOS	33
A. Generales:	33
B. Específicos:.....	33
V. METODOLOGÍA	35
A. Módulo 1.....	35
1. Materiales:.....	35
2. Métodos:.....	36
3. Metodología:	38
B. Módulo 2.....	46
1. Sitio de estudio.....	46
C. Módulo 3.....	53
1. Análisis financiero	53
2. Análisis administrativo	59
VI. RESULTADOS	60
A. Módulo 1.....	60
1. Capacidad de secado	60
2. Evaluación del secador tipo STR en “San Antonio Las Nubes”, Huehuetenango con maíz desgranado y en mazorca	60
B. Módulo 2.....	69
1. Alturas muestreadas	69
2. Comparación de las diferentes variables según altura y tiempo de almacenado	105
3. Comparación de las diferentes variables según tipo de almacenado y altura	108
C. Módulo 3.....	111

1. Evaluación financiera.....	111
2. Evaluación administrativa.....	117
VII. DISCUSIÓN.....	127
A. Módulo 1.....	127
B. Módulo 2.....	134
C. Módulo 3.....	141
VIII. CONCLUSIONES.....	144
IX. RECOMENDACIONES.....	146
X. BIBLIOGRAFÍA.....	148
XI. ANEXOS.....	154
1. Datos originales.....	154
2. Datos calculados.....	163
XI. GLOSARIO.....	188

Lista de figuras

Figura 1 . Método de secado de la mazorca de maíz	10
Figura 2 . Almacenamiento del maíz en el tapanco.....	13
Figura 3. Cámara de combustión	15
Figura 4. Intercambiador de calor.....	16
Figura 5. Diseño de cama de secado del AflaSTOP	16
Figura 6. Cama de secado del AflaSTOP construida.....	17
Figura 7. Secador STR.....	18
Figura 8. Estructura de Aflatoxina B ₁	23
Figura 9. Estructura de fumonisina B	24
Figura 10. Esfingolípidos que se ven afectados por la presencia de micotoxinas	29
Figura 11. Vistas de la cámara de combustión	38
Figura 12. Dimensiones del quemador (dispuesto en el interior de la cámara de combustión)	39
Figura 13. Dimensiones de la cámara de combustión.....	39
Figura 14. Dimensiones de la puerta y techo de la cámara de combustión	40
Figura 15. Dimensiones de las salidas de la cámara de combustión	40
Figura 16. Dimensiones de la caja de ingreso del aire a la cámara de combustión y distancia de la caja al ventilador	41
Figura. 17 Cilindros que componen el secador STR	42
Figura 18. Ensamblado completo del sistema.....	42
Figura 19. Localización de termocuplas, data loggers y puntos de medición de velocidad del aire.	44
Figura 20. Mapa de Guatemala mostrando el Departamento de Huehuetenango con una estrella . .	46
Figura 21. Localización del municipio de Chiantla (1) en el departamento de Huehuetenango.	47
Figura 22. Resumen de la metodología una vez recibida la muestra.....	49
Figura 23. Diagrama del proceso de separación de la muestra de maíz procedente de los sitios de estudio.	50

Figura 24. Diagrama de caja y bigotes de cada una de las variables medidas de cada una de las alturas estudiadas	81
Figura 25. Diagrama de caja y bigotes de cada una de las variables medidas en los distintos tipos de almacenamiento.....	82
Figura 26. Gráficos de caja y bigotes de los diferentes criterios evaluados según el método de secado.....	84
Figura 27. Gráficos de medias de cada variable según la altura.....	93
Figura 28. Gráficos de medias de cada variable según el tipo de almacenamiento.....	94
Figura 29. Gráfico de medias para la cantidad de hongos, cantidad de levaduras, concentración de aflatoxinas, concentración de fumonisinas y en la humedad para los dos diferentes tipos de secado.....	96
Figura 30. Gráfico de medias para la cantidad de hongos, cantidad de levaduras, concentración de aflatoxinas, concentración de fumonisinas y en la humedad respecto a los diferentes días de almacenamiento.....	99
Figura 31. Gráfico de dispersión y de barras respecto a la cantidad de hongos presentes en los granos de maíz durante los diferentes días de almacenamiento.	101
Figura 32. Gráfico de dispersión y de barras de cantidad de levaduras presentes en granos en los diferentes días de almacenamiento, respecto a los dos diferentes tipos de secado.	103
Figura 33. Gráfico de dispersión y de barras de porcentaje de humedad en granos en los diferentes días de almacenamiento, respecto a los dos diferentes tipos de secado.....	104
Figura 34. Efecto del tiempo de almacenamiento en el porcentaje de humedad a diferentes alturas.....	106
Figura 35. Efecto del tiempo de almacenamiento en la cantidad de hongos a diferentes alturas.....	106
Figura 36. Efecto del tiempo de almacenamiento en la cantidad de levaduras a diferentes alturas.....	107
Figura 37. Efecto del tiempo en la concentración de fumonisinas de diferentes alturas.....	107
Figura 38. Efecto del tiempo de almacenamiento en la concentración de aflatoxinas a diferentes alturas.....	108
Figura 39. Gráfico de barras del porcentaje de humedad en las diferentes alturas e los distintos tipos de almacenamiento.....	108

Figura 40. Gráfico de barras del conteo de hongos en las diferentes alturas en los distintos tipos de almacenamiento.....	109
Figura 41. Gráfico de barras del conteo de levaduras en las diferentes alturas en los distintos tipos de almacenamiento.....	109
Figura 42. Gráfico de barras de la concentración de fumonisinas en las diferentes alturas en los distintos tipos de almacenamiento	110
Figura 43. Gráfico de barras de la concentración de aflatoxinas en las diferentes alturas en los distintos tipos de secado.....	110
Figura 44. Organigrama de Finca de lugar de instalación	125
Figura 45. Figura del molino Romer Series II® Mill	175

Lista de cuadros

Cuadro 1 . Efecto del contenido de humedad del grano sobre la fisiología de la semilla y la presencia de factores bióticos de estrés	11
Cuadro 2. Componentes del buffer de agua peptonada por litro	50
Cuadro 3. Componentes del agar DRBC.....	51
Cuadro 4. Producción de maíz en finca de lugar de instalación en el 2015	54
Cuadro 5. Salarios de trabajadores de finca.....	54
Cuadro 6. Proyección del precio del quintal de maíz	55
Cuadro 7. Cosecha de maíz del 2008 al 2016 a nivel Nacional.....	55
Cuadro 8. Proyección de cosecha de maíz del 2017 al 2021 a Nivel Nacional.....	56
Cuadro 9. Proyección de cosecha de maíz del 2016 al 2021 de Todos Santos Cuchumatán y Chiantla.....	56
Cuadro 10. Proyección de cosecha de maíz del 2016 al 2021 de la finca	57
Cuadro 11. Proyección de cosecha de maíz del 2016 al 2021 del resto de agricultores de Chiantla	57
Cuadro 12. Capacidad de secado del sistema obtenida en base a dimensiones y flujo de aire para maíz desgranado y en mazorca	60
Cuadro 13. Resumen de temperaturas, humedad relativa y humedad del maíz durante el análisis de maíz en mazorca.....	60
Cuadro 14. Resumen de temperaturas, humedad relativa y humedad del maíz durante el análisis de maíz desgranado.....	61
Cuadro 15. Eficiencia del secador para pruebas con maíz en mazorca y desgranado	68
Cuadro 16. Cantidad de leña utilizada para prueba con maíz en mazorca y prueba de maíz desgranado.....	68
Cuadro 17. Velocidad de secado del secador tipo STR para maíz en mazorca y maíz desgranado	68
Cuadro 18. Estimación de tiempo y cantidad de leña requerida para secar el maíz hasta un porcentaje adecuado para su almacenamiento	69

Cuadro 19. Altura de las comunidades donde se muestreo	69
Cuadro 20. Resultado de las variables evaluadas para cada muestra	70
Cuadro 21. Datos de las muestras de maíz para la determinación de la calidad microbiológica de acuerdo a los diferentes tipos de secado del grano y días de almacenamiento en el municipio de San Antonio Las Nubes de Chiantla en el departamento de Huehuetenango, Guatemala.....	76
Cuadro 22. Evaluación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas para los datos analizados con respecto a las distintas alturas	80
Cuadro 23. Evaluación de los supuestos de normalidad, independencia y homogeneidad de varianzas para los datos analizados con respecto a los dos diferentes métodos de secado de granos.	83
Cuadro 24. Estadística descriptiva para datos según la altura de muestreo.....	85
Cuadro 25. Estadística descriptiva para datos según el tipo de almacenamiento	87
Cuadro 26. Estadística descriptiva de los datos de conteo de hongos y levaduras, concentraciones de aflatoxinas y fumonisinas y porcentaje de humedad según el tipo de secado.	89
Cuadro 27. Prueba de Kruskal-Wallis de las variables medidas con respecto a la altura de muestreo.....	90
Cuadro 28. Prueba de Kruskal-Wallis de cada una de las variables medidas con respecto al método de almacenado.....	91
Cuadro 29. Prueba de Kruskal-Wallis para el análisis de varianza de datos no paramétricos respecto al tipo de secado.	92
Cuadro 30. Prueba de Wilcoxon para cada una de las variables medidas con respecto a el tiempo de almacenado de datos para evaluación de almacenamiento	97
Cuadro 31. Prueba de Wilcoxon para el análisis de datos no paramétricos respecto a los días de almacenamiento.	98
Cuadro 32. Análisis de correlación del porcentaje de humedad en los granos con el conteo de microbiota fúngica y concentración de micotoxinas respecto a los diferentes tipos de secado.....	100
Cuadro 33. Costos de elaboración de maíz STR.....	111
Cuadro 34. Estado de resultados de 5 años del secador de maíz.	113
Cuadro 35. Costos de mantenimiento anual	114

Cuadro 36. Salarios y prestaciones de los empleados.....	114
Cuadro 37. Flujo de efectivo.....	115
Cuadro 38. Balance General	116
Cuadro 39. Análisis PESTEL	117
Cuadro 40. Medición de desperdicios del secador de maíz	121
Cuadro 41. Análisis FODA.....	122
Cuadro 42. Temperaturas en el sistema de maíz en mazorca	154
Cuadro 43. Temperaturas en el sistema de maíz desgranado	155
Cuadro 44. Datos ambientales en el municipio de Chiantla, departamento de Huehuetenango el 20 de enero de 2016 en corrida de STR para maíz desgranado.	156
Cuadro 45. Datos ambientales en el municipio de Chiantla, departamento de Huehuetenango el 21 de enero de 2016 en corrida de STR para maíz desgranado.	157
Cuadro 46. Humedad relativa en cilindros del secador STR para maíz en mazorca	158
Cuadro 47. Humedad relativa en cilindros del secador STR para maíz desgranado	159
Cuadro 48. Humedad del maíz durante el proceso de secado para maíz en mazorca.....	160
Cuadro 49. Humedad del maíz durante el proceso de secado para maíz desgranado.....	160
Cuadro 50. Flujo de aire, leña utilizada y notas para STR de maíz en mazorca.....	161
Cuadro 51. Flujo de aire, leña utilizada y notas para STR de maíz desgranado.....	162
Cuadro 52. Flujo de aire en la entrada de secador STR de maíz en mazorca (punto 3)	163
Cuadro 53. Flujo de aire en la entrada de secador STR de maíz desgranado (punto 3)	163
Cuadro 54. Dimensiones de secador STR de maíz desgranado.....	164
Cuadro 55. Área ocupada por el maíz en STR para maíz.....	165
Cuadro 56. Flujo del aire en el secador STR para maíz.....	165
Cuadro 57. Coeficiente de transferencia de calor por convección.....	165
Cuadro 58. Calor transferido por convección desde el cilindro interno al cilindro externo del secador STR con maíz en mazorca	166
Cuadro 59. Calor transferido por convección desde el cilindro interno al cilindro externo del secador STR con maíz desgranado	167
Cuadro 60. Calor total por combustión de leña en corrida para STR de maíz desgranado	168

Cuadro 61. Sumatoria de calor total por combustión de la leña y calor transferido por combustión para el cálculo de la eficiencia en STR de maíz desgranado	169
Cuadro 62. Libras de leña utilizadas por hora para STR de maíz desgranado	170
Cuadro 63. Velocidad de secado para secador STR de maíz en mazorca	171
Cuadro 64. Velocidad de secado para secador STR de maíz desgranado	172
Cuadro 65. Horas aproximadas de secado hasta porcentajes de humedad seguros (13% o menos) para STR de maíz en mazorca	173
Cuadro 66. Horas aproximadas de secado hasta porcentajes de humedad seguros (13% o menos) para STR de maíz desgranado	174

Lista de gráficos

Gráfico 1. Selección de la mazorca de acuerdo a sus cualidades (USAID, 2014).	14
Gráfico 2 Comparación entre Humedad y Temperatura en “San Antonio Las Nubes”, Huehuetenango. Día 1 de pruebas.	62
Gráfico 3. Comparación entre Humedad y Temperatura en “San Antonio Las Nubes”, Huehuetenango. Día 2 de pruebas.	63
Gráfico 4. Comparación de temperaturas en el sistema para secado de maíz en mazorca.	63
Gráfico 5. Comparación de temperaturas en el sistema para secado de maíz desgranado.	64
Gráfico 6. Comparación de temperaturas dentro del sistema STR y ducto flexible en corrida de maíz en mazorca	64
Gráfico 7. Comparación de temperaturas dentro del sistema STR y ducto flexible en corrida de maíz desgranado	65
Gráfico 8. Comparación entre el calor generado por la combustión de leña y el calor transferido por convección en el secador con maíz en mazorca.	66
Gráfico 9. Comparación entre el calor generado por la combustión de leña y el calor transferido por convección en el secador con maíz desgranado.	67

RESUMEN

El maíz en Guatemala tiene una alta relevancia, cultural, histórica, social y principalmente alimentaria. En el manejo post cosecha, si este no se realiza de una manera adecuada, la calidad del maíz puede verse afectada. En Huehuetenango se ha identificado pérdidas de maíz durante el manejo post-cosecha, debido a las malas técnicas de secado y almacenamiento. Además que el maíz es susceptible al ataque de hongos que producen micotoxinas como las aflatoxinas y fumonisinas que son las causantes de muchos daños a la salud.

Para ofrecer una solución a este problema, se inició con la propuesta de mejora a la técnica de secado del maíz a través de la implementación de un secador de bajo costo para la reducción de la humedad a un nivel adecuado para ser almacenado y conservar la calidad del grano. La evaluación del secado se delimitó en la aldea San Antonio Las Nubes, Huehuetenango, cuyas condiciones ambientales como bajas temperaturas y alta humedad relativa, tuvieron un efecto directo. El secador fue evaluado tanto con mazorcas como con maíz desgranado, obteniendo una eficiencia de 0.75% y 0.89%, respectivamente. También se evaluaron y compararon distintos métodos de almacenamiento en los municipios de Chiantla y Todos Santos Cuchumatán y se determinó que no existe una diferencia significativa en cuanto a la humedad, microorganismos y micotoxinas entre los distintos métodos de almacenamiento, silo, tonel y Grain Pro Bags.

Se realizó un análisis de hongos y levaduras a los 0, 30, 60 y 90 días de almacenamiento, así como análisis de micotoxinas utilizando kits AgraStrip® de Romer Labs. Se determinó que las muestras presentaron niveles significativos de aflatoxinas y fumonisinas menores al límite establecido por la FDA y OMS; para aflatoxinas, 2.26 ppb en el maíz secado tradicionalmente y 7.07 ppb para el maíz secado con secador STR. Para fumonisinas, 0.11 ppm en el secado tradicional y 0.64 ppm para el secador STR. Puede decirse que el secador empleado de forma experimental si es relevante en la mejora del manejo post-cosecha del maíz y podría utilizarse de ahora en adelante para reducir el tiempo de secado de granos, el porcentaje de humedad y la exposición a factores ambientales que deterioran la calidad del maíz. Para verificar el impacto que tiene el secador en la comunidad es importante el análisis financiero del mismo y verificar cuales son los ingresos, egresos, la utilidad y la pérdida del mismo. Para ello se identificó que durante los primeros 5 años de ejecución del secador de maíz, no se obtienen ganancias del uso y del alquiler del mismo, generando una pérdida económica para la comunidad.

I. INTRODUCCIÓN

Los elementos principales de la introducción son: a) exposición de las finalidades del trabajo, es decir, lo que se pretende probar, afirmar o negar (hipótesis); b) delimitación y definición del tema que se desarrollará; c) indicación de la metodología y los procedimientos empleados para la elaboración del trabajo, y d) las conclusiones más importantes.

El maíz (*Zea mays*) es de gran importancia para la dieta de los guatemaltecos y es cultivado en todos los departamentos del país. En el departamento de Huehuetenango se ha identificado pérdidas de maíz luego de la cosecha, provocando problemas económicos y de salud. Las pérdidas se deben a que este cereal es susceptible a ataques por hongos, principalmente en lugares como Huehuetenango donde la temperatura y la humedad relativa le son favorables. Estos hongos liberan micotoxinas, principalmente alfatoxinas, las cuales son dañinas para el consumidor. Así mismo, las malas técnicas de manejo post-cosecha, incluyendo el secado y almacenamiento del maíz empeoran la situación.

Este estudio tenía como finalidad proponer mejoras a la técnica de secado y almacenado de la mazorca de maíz a través de la implementación de un secador de bajo costo para la reducción de la humedad del maíz a un nivel adecuado para ser almacenado y conservar la calidad del grano. Para alcanzar el objetivo se implementó y evaluó un secador con materiales disponibles en la región y accesibles económicamente, que permitieran lograr una mayor eficiencia durante el secado. Este contaba con una cámara de combustión, la cual cumplió con la función de ser la fuente de calor. Como agente de combustión se utilizó la leña, la cual es de alta disponibilidad en la región. Un ventilador permitió el flujo de aire a través de un ducto aislado térmicamente para dirigir el aire caliente al área de secado. Esta área estaba conformada por dos mallas cilíndricas y concéntricas, por lo que el flujo de aire caliente ingresaba al cilindro inferior. La mazorca de maíz estaba distribuida en un área dentro de las dos mallas, y por lo tanto el aire caliente fluía desde la parte inferior hasta el ambiente. Esto permitió el desplazamiento de la humedad hacia el ambiente.

La evaluación se delimitó en la aldea San Antonio Las Nubes del municipio de Chiantla, Huehuetenango, cuyas condiciones ambientales como bajas temperaturas y alta humedad relativa, tuvieron efecto en la implementación de un secador de este tipo. Se llevaron a cabo diversas pruebas y obtener datos de las variables como: condiciones iniciales y finales de las mazorcas de maíz sometidas a la prueba de secado, temperatura ambiental, humedad relativa, temperaturas en diferentes puntos del secador y velocidad del aire proveniente del ducto.

El secador STR implementado en la comunidad San Antonio Las Nubes es un modelo que al trabajar bajo las condiciones de alta humedad relativa y bajas temperaturas es ineficiente para secar mazorcas de maíz. De acuerdo a la relación del calor generado por combustión y el calor transferido por

convección a lo largo del sistema se obtuvo una eficiencia del 0.89% para el maíz desgranado y 0.75 para el maíz en mazorca, lo cual indica que existe mucha pérdida de calor a lo largo del sistema. Y según el tiempo de operación y las humedades del maíz registradas, la velocidad de secado es de 0.80% humedad por hora para el maíz desgranado y 0.58% humedad por hora para el maíz en mazorca. Por lo que para llegar a una zona segura de humedad (13%) se requiere de 12 horas y 1,003.44 libras de leña para el maíz desgranado y 21 horas y 701.90 libras de leña para el maíz en mazorca, suponiendo que el maíz cuenta con una humedad inicial del 25%.

II. MARCO TEÓRICO

A. Generalidades del Maíz (*Zea mays*)

1. Origen y evolución. El maíz (*Zea mays* spp.) ha sido considerado como producto de múltiples domesticaciones independientes de su progenitor silvestre, el teosinte, debido a la notable diversidad morfológica y genética dentro de ella. Basándose en análisis filogenéticos se ha determinado que todo el maíz surgió de una sola domesticación en el sur de México hace unos 9000 años. A partir de allí se dispersó rápidamente hacia el resto del continente, donde se fueron generando adaptaciones a diversas condiciones climáticas y suelos (Matsuoka *et al.*, 2002). El maíz ha sido uno de los recursos de mayor trascendencia en el continente americano por su amplia distribución, fue así como se convirtió en una base de sustento y se ha recalado la profunda significancia del maíz en muchas poblaciones de América (Falabella *et al.*, 2008).

Como se mencionó anteriormente el maíz es una planta completamente domesticada y el hombre ha vivido y evolucionado con ella desde tiempos remotos. El maíz no crece en forma salvaje y es muy difícil que sobreviva en la naturaleza sin los cuidados del hombre (Wilkes, 1985). Fue el primer cereal sometido a transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo, lo cual es evidente en el maíz híbrido de los Estados Unidos de América y posteriormente de Europa. El éxito de la ciencia para el cultivo del maíz ha estimulado una revolución agrícola. Hoy en día el maíz está clasificado como el segundo cultivo más producido en el mundo después del trigo; es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea (Paliwal *et al.*, 2001).

2. Descripción de la planta. La planta de maíz se compone de tallo, inflorescencia, hojas y raíces. Ésta puede alcanzar una altura de 4 m. Su tallo es robusto y tiene aspecto similar al de la caña, no presenta ramificaciones y su médula es esponjosa. La inflorescencia puede ser masculina y femenina. La femenina produce de 800 a 1000 granos de polen, los cuales se forman en los espádices laterales. La inflorescencia masculina por otro lado, produce de 20 a 25 millones de granos de polen. Su nombre común es penacho el cual es de color amarillo. Cada flor se compone de tres estambres donde se producen estos granos de polen. Debido a la altura que puede alcanzar la planta de maíz, las raíces juegan un papel importante debido a que actúan como ancla al suelo. Las raíces son de tipo fasciculadas y en algunos casos se logra observar nudos a nivel del suelo, los cuales se presenta en las raíces de tipo adventicias o secundarias. Las hojas son largas y afiladas. Son de gran tamaño, lanceoladas, alternas y paralelinervadas (Anacafé, 2014).

3. Diversidad en Guatemala. Guatemala se considera dentro del territorio de donde se origina el maíz y su diversidad. Existe una gran variedad genética de maíz cultivado y dos especies de maíz silvestre. El maíz junto al género *Tripsacum* y *Zea* se encuentran dentro de la clasificación taxonómica de subtribu Maydea. *Zea mays* y *Zea luxurians* son dos especies de teocintle, el cual es considerado como un pariente silvestre del maíz. Dentro del género *Zea*, el teocintle es el grupo más relacionado con el maíz. También se le llama teocinte a las especies *Zea perennis* y *Zea diploperennis*. El taxón *Zea mays* subsp. Huehuetenanguis está distribuido en la región oeste de Huehuetenango, mientras que *Zea luxurians*, se encuentra presente en el Oriente del país, en los departamentos de Jutiapa, Jalapa y Chiquimula (Azurdia, 2014).

En Guatemala existen 13 razas y 9 subrazas de maíz. Estas son:

- Razas: Nal-Tel, Imbricado, Serrano, San Marceño, Quicheño, Negro de Chimaltenango, Salpor, Olotón, Comiteco, Dzit-Bacal, Tepecintle, Salpor Tardío y Tuxpeño (Azurdia, 2014)

- Subrazas: Nal-Tel Blanco de Tierra Baja, Nal-Tel Blanco de Tierra Alta, Nal-Tel Ocho, Nal-Tel Amarillo de Tierra Baja, Nal-Tel Amarillo de Tierra Alta, Grueso, Negro de Tierra Fría, Negro de Tierra Caliente y Salpor Tardío (Azurdia, 2014).

Los cruces entre teocintle y maíz son posibles, en Guatemala se ha determinado que existen híbridos naturales con presencia de genes de ambas poblaciones. También se dan los cruces entre razas de maíz, las cuales presentan ventajas competitivas a los agricultores que las conservan (Azurdia, 2014).

4. Importancia económica y cultural. En Guatemala los principales granos básicos son el maíz, frijol negro, arroz y sorgo. Estos granos son de gran importancia no solo por su alto contenido alimenticio, sino también por sus implicaciones socioeconómicas y culturales. La importancia del maíz dentro de los granos básicos radica en: 1) por sus altas implicaciones en el contexto agrosocioeconómico de una gran parte de la población; 2) por garantizar de cierta manera la seguridad alimentaria y la sobrevivencia y 3) la cantidad de productos y subproductos que se obtienen a partir del grano y son utilizados en el área rural y urbana para la transformación industrial y el consumo humano y animal (Fuentes, 2002).

En cuanto a la parte cultural, la importancia del maíz radica en que, según la cosmovisión maya, este grano fue la materia misma con la que el género humano fue creado, lo cual le brinda un valor simbólico que ha trascendido en el tiempo. Esto se demuestra en el siguiente fragmento del Popol Vuh, libro sagrado de los mayas: “...fue hallado el maíz y de esto fue hecha la carne del hombre y su sangre, cuando fue formado”. El maíz es un principio vital y es un elemento fundamental en la cultura de los pueblos indígenas, pues para ellos el maíz es dador de vida y un elemento con el que se sienten identificados. El maíz es un cultivo ancestral e incluso sagrado, ligado a la cultura, ciclos lunares, y la cosmovisión maya (Comisión Nacional para la Biodiversidad, 2015).

5. Producción en Guatemala. El maíz es uno de los granos que constituyen la dieta base de la población guatemalteca por su alto contenido energético y proteico. Como se mencionó anteriormente el maíz es uno de los cultivos con mayor variabilidad genética y adaptabilidad a condiciones climáticas como precipitación, altitud, temperatura, humedad relativa y tipo de suelo. A nivel mundial es sembrado en latitudes desde los 55° N a 40° S y a una altitud de hasta 3800 metros sobre el nivel del mar. Por las condiciones mencionadas, el maíz tiene una amplia distribución en diferentes zonas ecológicas de Guatemala (Fuentes, 2002). Para el año agrícola 2013/2014 se estima que hubo una producción de maíz de 38.2 millones de quintales, la cual se incrementó en un 5.3% en relación al año anterior. El área cosechada y el rendimiento aumentaron en 1.1 y 1.9% respectivamente (MAGA, 2014).

Aunque se muestra un crecimiento continuo en la producción de maíz, todavía es necesario importar maíz para cubrir la demanda. Las cosechas se ven disminuidas estacionalmente de mediados de marzo a mediados de agosto, con un incremento de mayo a julio. Durante estos meses los mercados incrementan sus reservas de maíz almacenado y las importaciones; es en esta época donde los hogares son más vulnerables a la inseguridad alimentaria (MAGA, 2014).

6. Consumo en Guatemala. La dieta básica de una persona guatemalteca está compuesta principalmente de cereales o leguminosas, como lo son el maíz y el frijol. Estos granos son cosechados y las familias guatemaltecas almacenan estos cultivos para autoconsumo (ICTA, 2002). El consumo promedio *per cápita* de maíz por año es de 114kg. Sin embargo, este valor suele incrementar en condiciones de escasos ingresos económicos (Fuentes, 2002). Se estima que Guatemala es un país que mantiene un equilibrio estable en la relación producción/consumo en el maíz, ya que las cantidades que se producen son suficientes para abastecer el mercado interno. No obstante, gran parte de la población guatemalteca no cuenta con los suficientes recursos económicos para adquirir el maíz. Esto incide en que muchas personas no puedan alimentarse adecuadamente y desarrollen desnutrición crónica. Sin embargo en el caso del maíz amarillo se ha optado por la importación (MAGA, 2014).

7. Cultivo en Huehuetenango. En las regiones de clima cálido y templado, de altitudes intermedias y bajas, se cultiva café, caña de azúcar, tabaco, chile, maní, yuca, achote y frutas tropicales. Por otro lado, en las regiones de mayor altitud y clima frío, se cultiva cebada, trigo, papa, alfalfa, frijol, verduras y frutales caducifolios. El maíz sin embargo es cultivado en todo Huehuetenango (FAO e IPGRI, 2001). Para su crecimiento óptimo es necesario un suministro de agua abundante y temperatura moderada de 25 a 30 °C. La semilla germina en temperaturas de 15 a 20 °C y necesita de una gran exposición a la luz solar (Anacafé, 2014).

El suelo en el departamento de Huehuetenango tiene carácter forestal, debido a la topografía y el clima también. Sin embargo, el maíz constituye el cultivo más importante de esta región. Es un componente básico en la dieta de las personas que habitan este departamento; y debido al aumento en la población y la necesidad de alimento de sus pobladores, el cultivo de maíz se realiza en zonas que no son las más adecuadas para la agricultura (FAO e IPGRI, 2001). El maíz tiene la capacidad de adaptarse al pH del suelo y crecer en pH de 5.5 y 7.0; siendo un suelo ligeramente ácido entre 5.5 y 6.5 la mejor opción para su cultivo (Anacafé, 2014).

En Huehuetenango se han identificado que se cultivan 47 clases de maíz, los cuales son clasificados por su color, forma, época de cultivo, procedencia geográfica y duración del ciclo de cultivo (FAO e IPGRI, 2001). Por su color, el maíz puede ser blanco, amarillo, negro, rojo y de diferentes colores en una sola mazorca (por polinización cruzada o transposones). El departamento de Huehuetenango presenta 57% de razas y 33% de subrazas de maíz, lo cual representa la mayor diversidad reportada en todo el país (FAO e IPGRI, 2001).

En Huehuetenango, el sistema de agricultura es minifundista, lo cual limita a las familias al autoabastecimiento y agricultura de subsistencia y no permite que la producción sea suficiente para comercializar el excedente. El agricultor de maíz, no solo se ve limitado por el terreno que tiene disponible para sembrar sino que además no tiene el suficiente apoyo técnico y financiero, aunado a la falta de medios de secado y almacenamiento apropiados. El conocimiento que los agricultores tienen para la siembra y el manejo post-cosecha del maíz está basado principalmente en técnicas básicas y

empíricas. De acuerdo a un estudio realizado por USAID: “Reducción de pérdida y desperdicio de alimento post-cosecha”, se estableció que el 80% de los entrevistados se dedica al cultivo de maíz, pero lo cultivado no es lo suficiente para el consumo familiar. La producción promedio nacional es de cuatro quintales por cuerda de terreno, mientras que en las regiones de Todos Santos Cuchumatán y Chiantla, del departamento de Huehuetenango, es de dos quintales de maíz por cuerda de terreno (USAID, 2014).

El ciclo de producción en el altiplano se lleva a cabo a partir de enero hasta octubre. En enero, se realiza la siembra para aprovechar la humedad del suelo. Y entre noviembre y enero se cosecha el maíz (USAID, 2014).

B. Manejo post-cosecha del maíz en huehuetenango

El manejo post-cosecha involucra todas las etapas y procedimientos seguidos por los agricultores desde el momento de la cosecha hasta que el maíz es consumido. Estas técnicas que se aplican tienen un efecto directo en la calidad final del grano obtenido. En Guatemala, las técnicas comúnmente aplicadas son:

1. Dobra. Cuando el maíz llega a su madurez fisiológica, momento en que su follaje es color amarillo pálido, el agricultor dobra el maíz. La técnica consiste en doblar el tallo del maíz para interrumpir el flujo natural de agua y nutrientes que se está llevando a cabo en la planta, con el fin de iniciar el proceso de secado (USAID, 2014). En esta etapa el maíz sufre daños por ataque de insectos o pájaros y pudrición de las mazorcas por el alto contenido de humedad. Antes de la dobla se estima que el contenido de humedad está entre 30-35%, y durante esta fase de secado baja a 20-25% (FAO, 2003).

2. Cosecha. Cuando la tusa del maíz ya está seca, el agricultor procede a la “tapisca” o cosecha del maíz. El problema en esta etapa es que el agricultor deja el maíz mucho tiempo en el campo y por lo tanto la mazorca queda expuesta a condiciones ambientales como precipitaciones y alta humedad. Estas condiciones provocan: pudrición de la mazorca, germinación de la semilla y crecimiento de hongos y micotoxinas, afectando así la calidad del maíz (Anacafé, 2004).

3. Secado. Según la FAO, el secado de granos es una técnica que consiste en la eliminación del agua hasta un nivel en equilibrio con la del ambiente, de forma que se mantenga su aspecto, características, viabilidad de semilla y calidad nutritiva. Es un método sumamente importante, ya que la cantidad de humedad es la característica determinante para saber si los granos corren el riesgo de deteriorarse durante el almacenamiento. Además de evitar las reacciones de deterioración se inhibe la germinación de la semilla, así como se reduce el crecimiento y proliferación de hongos (FAO, 1993).

La falta de un secado adecuado lleva a pérdidas antes y durante el almacenamiento. Los pequeños agricultores que emplean métodos tradicionales de producción de granos tienen pérdidas en sus cosechas debido a un secado inadecuado. La mayoría secan sus granos en el campo, exponiéndolos a el ataque de insectos y daños producidos por encontrarse a la intemperie. Estas técnicas siguen siendo utilizadas, a pesar de las pérdidas, debido a su bajo costo o por el desconocimiento de técnicas nuevas (FAO, 1993).

Entre los beneficios de cosechar granos húmedos y secarlos posteriormente, se encuentran: Obtener una mayor cantidad de materia seca, disminuir las pérdidas por daños causados por plagas, mayor porcentaje de germinación y contaminación menor. En Guatemala, para los principales tipos de grano, se recomienda un contenido de humedad de 11 al 13 por ciento para asegurar un almacenamiento exitoso (FAO, 1993).

Los métodos de secado de granos de manera tradicional pueden clasificarse como: secado en el campo y secado en asoleaderos. Al secar el maíz en el campo, los agricultores cortan la parte superior de la planta, para acelerar el proceso de secado, sin embargo, estas quedan expuestas a daños causados por pájaros. También suelen doblar la planta por debajo de la mazorca, de modo que se reduce el ataque por los pájaros; sin embargo esto toma tiempo y demora el proceso de secado. El secado en asoleaderos consiste en esparcir las mazorcas de maíz sobre una cancha de cemento, de modo que sean secadas por efecto del sol. En Guatemala en las zonas templadas, también se emplea el almacenamiento en tapancos; El tapanco consta de una base de tablas de ciprés y un

techo de lámina, se encuentran situados cerca del fogón o humo para que esta actúe como repelente y contribuya al secado del grano (FAO, 2001).

El método tradicional de secado empleado en Huehuetenango es la exposición al sol por algunos días o dejar secar las mazorcas en la planta. En el primer caso mencionado, las técnicas más usadas son el colocar las mazorcas sobre costales, nylon o sábanas, o sobre las láminas del techo de sus casas y corredores. Específicamente en el municipio de Chiantla, se reportó que la mayoría de sus agricultores no utilizan los tapancos para secar el maíz, esto se debe a los altos niveles de humedad en las comunidades de San José Las Flores, Cumbre la Botija y Tunimá Grande (USAID, 2014).

Figura 1 . Método de secado de la mazorca de maíz



El contenido de humedad del grano tiene efectos sobre la calidad del maíz y la presencia de factores bióticos de estrés. La germinación se da cuando el contenido de humedad está dentro del 45 y 60%. Por debajo del 45% hasta el 18% el grano sufre de respiración excesiva y por lo tanto hay calentamiento debido al calor generado durante la respiración, lo cual provee un ambiente adecuado para el crecimiento de microorganismos (FAO, 2003).

Cuadro 1 . 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 y ocurrencia de estrés
>45-60	La semilla germina
>18-20	Puede ocurrir calentamiento
>14-20	Los mohos crecen sobre y dentro de la semilla
<9-8	Escasa o ninguna actividad de insectos
<8-4	Almacenamiento hermético es más seguro

4. Desgranado. Es una operación importante, ya que si no se lleva a cabo adecuadamente puede dañar físicamente al grano y el germen o romper el endospermo. Para el desgrane se deben considerar los siguientes factores para evitar causar daños irreversibles al grano: contenido de humedad y velocidad de giro de la trilla del desgranador manual. Para reducir el daño mecánico al grano, el contenido de humedad debe estar entre 12 y 14%. La velocidad de trilla no debe ser muy rápida porque puede abrir grietas y partir granos (FAO,2003).

En Guatemala, el desgrane se lleva tradicionalmente a mano. Este proceso consiste en ejercer sobre los granos una presión con ambos dedos pulgares hasta lograr que los

granos se desprendan del olote. También se puede lograr por la frotación de dos mazorcas, y la fuerza mecánica provocará que los granos se desprendan (FAO,2003).

5. Almacenamiento. Durante el almacenamiento de las mazorcas se deben considerar principalmente dos factores para preservar la calidad del grano: humedad y temperatura. La humedad de almacenamiento recomendada es entre 12 y 14% a una temperatura entre 25 y 30°C. Si el clima es frío, ayuda a presevar los granos ya que los hongos e insectos crecen lentamente y los granos disminuyen su respiración (Anacafé, 2004).

Existen varios tipos de almacenamiento que los agricultores utilizan según sus posibilidades económicas y el volumen de producción de maíz. El almacenamiento puede ser en: sacos, silos metálicos, trojas y en el tapanco (Anacafé, 2004).

Los sacos son de fibra sintética y tienen poca duración. Estos se utilizan para almacenar el grano y protegerlo de la humedad, insectos y roedores. Para evitar la rotura por roedores se recomienda estibarlos en plataformas de metal o madera para evitar que estén en contacto directo con el suelo (SAGARPA, 2004).

Los silos metálicos son recipientes de lámina de zinc galvanizada con base plana y con soldadura de estaño, la cual permite que sea un recipiente hermético. Al fondo cuenta con una salida con tapadera, la cual permite sacar los granos que se van a consumir o vaciar el silo. La ventaja del silo es que provee protección contra insectos, roedores, aves y hongos (Anacafé, 2004).

La troja es una estructura simple que es construida a base de madera, elevada sobre el piso. En estas se aplica una primera capa de insecticida, luego la primera capa de mazorcas. Con cada capa de mazorca se adiciona una capa de insecticida como prevención (Anacafé, 2004).

Gran parte de los agricultores almacenan en maíz en mazorca en el tapanco de su casa, el cual es la sección entre techo. Algunos tapancos tienen láminas que permiten el paso de la luz y la transferencia de calor, y otros permiten que el calor y humo de las estufas suba al techo para permitir el secado de las mazorcas de maíz. (USAID, 2014).

Figura 2 . Almacenamiento del maíz en el tapanco.



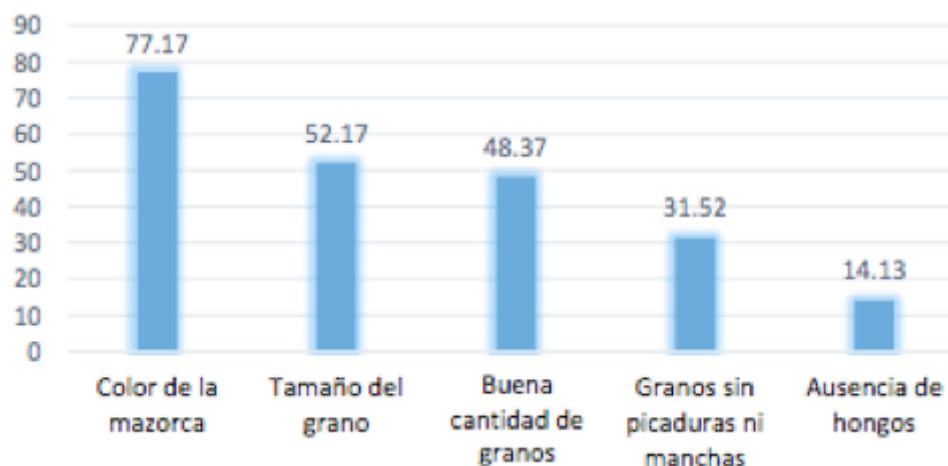
C. Prácticas de secado de maíz en Huehuetenango

El 95.57% de los agricultores guarda el maíz luego de secarlo. Muy pocos secan la mazorca en la milpa, antes de cortarla. La mayoría, alrededor del 88% colocan la mazorca bajo el sol para secarlas y luego las almacenan en el tapanco. Y otra minoría lo desgrana y lo seca al sol (USAID, 2014).

Durante el secado se lleva a cabo la selección del maíz. El maíz que contiene moho, hongo o ha sido dañado por insectos o roedores los separan del maíz bueno y lo clasifican como “maíz mulco”. El maíz mulco lo utilizan de tres maneras distintas, según el criterio del agricultor:

1. Mezclado con maíz bueno para auto-consumo
2. Consumo animal
3. Descartado

Gráfico 1. Selección de la mazorca de acuerdo a sus cualidades (USAID, 2014).



D. Proceso de secado de granos

El secado del grano es imprescindible hasta alcanzar unos límites que permiten su conservación. Para el caso del maíz esto significa evaporar entre un tercio y un cuarto de la masa del grano seco antes de que alcance la instalación de almacenamiento (MAGRAMA, 2012).

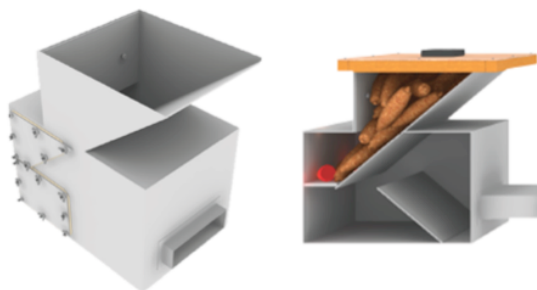
Para la eliminación del exceso de humedad se utiliza lo que se conoce como secadero o secador en el que el grano se somete a la acción de una corriente de aire caliente, de manera que aumenta su temperatura hasta la de vaporización del agua. Primero se evapora el agua libre, lo cual precisa relativamente poca energía; en el maíz se encuentra agua libre cuando se supera el 27 % de humedad. A continuación el agua situada en los capilares, lo que no resulta más difícil, con un límite que es el que se conoce como umbral de estabilización que se alcanza cuando la humedad llega al 13 %. A partir de aquí el agua se encuentra unida químicamente a los componentes de los granos y se precisa una gran energía para su evaporación. Desde el punto de vista práctico, la humedad del grano para el buen almacenamiento se sitúa en el 14% (MAGRAMA, 2012).

E. Secadoras de granos

1. Secador Aflastop. Durante la primer fase del Megaproyecto para la reducción del contenido de aflatoxinas y fumonicinas en el maíz, se desarrolló un secador basado en el estudio “Drying Technologies, AflaSTOP: Strag and Drying for the Prevention of Aflatoxin” redactado por la fundación Bill & Melinda Gates y USAID.

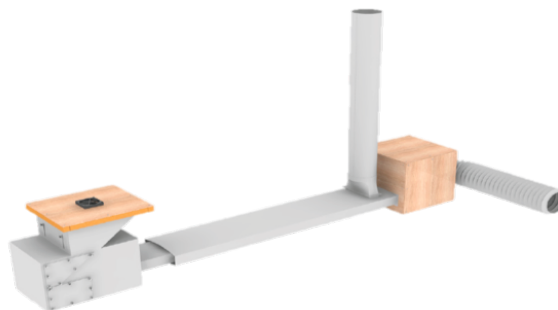
2. Módulo de aire forzado. Consiste en una cámara de combustión con un ventilador de 12V, el cual permite el flujo de aire que es fuente de oxígeno para la combustión de la biomasa. Luego, el aire caliente pasa por una lámina con cierto grado de inclinación, la cual evita que las cenizas lleguen hasta el intercambiador de calor. A través del tubo interno del intercambiador de calor circula el aire proveniente de la cámara de combustión y es expulsado por la chimenea. Mientras que por el ducto exterior circula el aire que es succionado por otro ventilador localizado al final de intercambiador de calor. A lo largo de ambos ductos se lleva a cabo el intercambio de calor (Aragón, D., 2015).

Figura 3. Cámara de combustión



(Aragón, D., 2015)

Figura 4. Intercambiador de calor



(Aragón, D., 2015).

3. Cama de secado. Consiste en una estructura de acero galvanizado y PVC. Esta es cubierta por una manta vinílica la cual delimita el área de secado y además evita que haya fuga del aire forzado que ingresa a la cama. Sobre la estructura se colocan láminas corrugadas con agujeros cuyo diámetro es menor al grano de maíz, los cuales permiten que el flujo de aire caliente pase a través de ellos y entren en contacto con los granos de maíz (Aragón, D., 2015).

Figura 5. Diseño de cama de secado del AflaSTOP

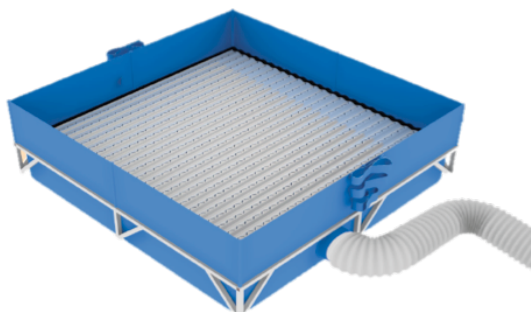


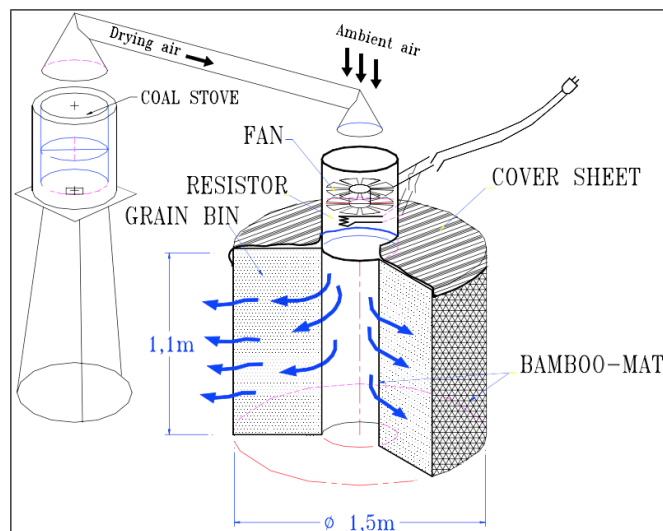
Figura 6. Cama de secado del AflaSTOP construida



Este diseño se basa en el principio de secado a baja temperatura (unos pocos grados por encima de aire ambiente). El secador STR consta de tres componentes diferentes: un ventilador axial bifásico, un calentador o cámara de combustión y cilindros de bambú para el secado (Phan, 2003).

Este modelo reduce el tiempo de secado, pero requiere el trabajo manual para la mezcla durante el procedimiento de manera que se de un secado uniforme. El funcionamiento es bastante simple, ya que únicamente se necesita que el aire pase desde el cilindro interior a través de las paredes con la parte inferior y la parte superior cerrada para secar los granos en el interior del espacio anular. El ventilador de flujo axial se usa para empujar el aire caliente de la estufa y forzarlo radialmente a través de contenedores perforados (Phan, 2003).

Figura 7. Secador STR



(Phan, 2003)

F. Calidad de los granos

La calidad se ve inferida en cuanto al manejo post cosecha de maíz y el correcto almacenamiento de los granos. Los factores que influyen en la calidad de granos son principalmente: impurezas, humedad, temperatura, microorganismos, insectos, grado de maduración en el momento de la cosecha, daños mecánicos, etc. De todos estos factores, el factor de la humedad es uno de los más importantes ya que al contener un porcentaje alto de humedad el grano se vuelve más propenso al ataque microbiano, entre estos generalmente son los hongos (FAO, 2006).

Para el análisis de calidad en granos se realizan ciertas pruebas como : contenido de agua (porcentaje de humedad), impurezas y materia extraña, peso hectolítrico, fracción de granos, granos dañados, luminosidad, peso de mil granos (PMG), gravedad específica (gs), dureza, tamaño del grano , entre otras (Araceli,R; Figueroa,J; Taba,S ;Reyes,M; Sánchez,F; Mendoza,A, 2013).

G. Plagas que afectan al maíz

Existe una gran variedad de insectos que habitan en el suelo y que impiden que la panta de maíz pueda desarrollarse de una manera normal, debido a que se alimentan de semillas, raíces y tallos internos. La Gallina ciega (*Phyllophaga spp.*), el gusano cerudo (*Agrotis spp.*), el gusano alambre (*Aeolus spp.*), escarabajos, nematodos y áfidos de las raíces constituyen principalmente a las plagas del suelo. La plaga más importante en el cultivo de maíz es el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) el cual produce grandes pérdidas económicas. Este mastica el tejido vegetal de plantas jóvenes y corta las hojas durante la noche (Anacafé, 2014).

Los ácaros y otros insectos, contribuyen a la contaminación de granos por hongos. Estos actúan como vectores de las esporas. Además, sus metabolismos de procesos fisiológicos contribuyen al aumento de la humedad en los granos y de la temperatura (FAO, 2016).

1. Microbiota fúngica. Los hongos presentes en el maíz proliferan debido a condiciones favorables de temperatura y humedad. Estos tienen la capacidad de crecer en rangos de temperatura amplios, siendo más favorables las temperaturas bajas y altas concentraciones de agua disponibles. Los mohos aprovechan el agua en estado gaseoso presente en el espacio intergranular, la cual suele expresarse como humedad relativa de equilibrio (HRE, %) o como actividad de agua (a_w). El intervalo ideal de actividad de agua para su crecimiento es de 0.70 a 0.99 a_w . (FAO, 2016).

Los procesos de manipulación del grano también son un factor importante en la proliferación de hongos, al encontrarse expuesto el endospermo por rajaduras en los granos se tiene una mayor superficie para invasión de mohos (FAO, 2016).

a. Hongos y levaduras. Los hongos y levaduras están presentes en el ambiente y pueden traer beneficios, sin embargo, en este caso son causantes de daños a la salud de las personas que consumen maíz contaminado por estas (Camacho *et al.*, 2009).

El crecimiento de los hongos y levaduras es relativamente lento si se compara con el de las bacterias, estos crecen en ambientes con bajas temperaturas, humedad y altos

contenidos de carbohidratos o sales, que tienen un pH bajo también (Camacho *et al.*, 2009).

En específico para los granos, los principales problemas que causan los hongos y levaduras son:

- Producción de metabolitos secundarios (micotoxinas)
- Resistencia a procedimientos de cocción y congelamiento.
- Alterar sustratos de manera que se permite el crecimiento de bacterias patógenas.

Los hongos principales que están presentes en el maíz son los géneros *Rhizopus*, *Aspergillus* y *Penicillium* (Camacho *et al.*, 2009).

- *Rhizopus*: más conocido como moho del pan, se encuentra involucrado en la alteración de alimentos.
- *Aspergillus*: De los hongos más abundantes. *A. niger* tiene una gran relevancia en la industria debido a que se utiliza en la producción de ácido cítrico y glucónico, además de ciertas enzimas. Se han reportado casi 50 especies de *Aspergillus* que son productores de micotoxinas metabolitos secundarios tóxicos, principalmente las aflatoxinas.
- *Penicillium*: Tiene relevancia alimenticia debido a que produce podredumbre en frutas. Otras especies se utilizan para maduración de quesos, como *P. camemberti* y *P. roqueforti*. Han sido reportadas casi 80 especies de *Penicillium* como productoras de fumonisinas (Camacho *et al.*, 2009).

Las levaduras por otro lado son organismos unicelulares que se reproducen por gemación. Su forma generalmente es ovoide, cilíndrica o alargada. A simple vista es difícil diferenciarlas de las colonias bacterianas debido a que éstas tienen una apariencia cerosa y mucosa; de coloración blanca, crema o rosada. Sus actividades metabólicas son oxidativas y fermentadoras (Camacho *et al.*, 2009).

Tienen una gran relevancia en la industria debido a que son utilizadas para la producción de alimentos y bebidas. Además de ser utilizadas como modelos eucariotas para estudios moleculares. Se desarrollan óptimamente en ambientes con alta humedad, su

actividad de agua mínima para crecer se encuentra entre 0.88 y 0.94 aw. Y una temperatura ideal de crecimiento entre los 25 y 30 °C. Tienen la capacidad de oxidar alcoholes y ácidos orgánicos, además de poder crecer lentamente en anaerobiosis (Camacho *et al.*, 2009).

Entre los géneros más relevantes se encuentran:

- *Schizocaccharomyces*
- *Saccharomyces*
- *Kluveromyces*
- *Zygosaccharomyces*
- *Pichia*
- *Debaromyces*
- *Hanseniaspora*
- *Torulopsis*
- *Candida*
- *Brettanomyces*

(Camacho *et al.*, 2009).

Estudios realizados en ensilaje, muestran que levaduras presentes en el ambiente como *Candida*, *Pichia*, *Hansenula* y *Endomycopsis*, constituyen la fuente primaria de deterioro aeróbico en la calidad. Debido a la capacidad de las levaduras de fermentar, degradan el ácido láctico produciendo un aumento en el pH, el cual le permite crecer a las bacterias oportunistas y a hongos como *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium* (Santos *et al.*, 2014).

2. Micotoxinas

a. Generalidades. Son compuestos orgánicos producidos por los hongos, no se encuentran relacionados con el crecimiento o reproducción de éstos, sin embargo ayudan a la sobrevivencia de los hongos que los producen (Morales y García, 2013). Están asociados a la producción de esporas y relacionados con los nutrientes disponibles y condiciones ambientales (Bogantes- Ledezma *et al.*, 2004).

Entre las micotoxinas más importantes a nivel mundial se encuentran:

- Aflatoxinas B₁, B₂, G₁ y G₂. Producidas por *Aspergillus parasiticus*
- Aflatoxinas B₁ y B₂. Producidas por *Aspergillus flavus*
- Fumonisina B₁. Producida por *Fusarium moniliforme* (*F. verticillioides*)
- Toxina T-2. Producida por *Fusarium sporotrichioides*
- Ocratoxina A. Producida por *Penicillium verrucosum* y *Aspergillus ochraceus*

(FAO, 2016).

Al ser ingeridas por el hombre causan enfermedades graves y en algunos casos hasta la muerte. Entre los efectos negativos que pueden causar se encuentra la alteración de la respuesta inmune, interferencias en el desarrollo embrionario, retraso en el crecimiento en personas jóvenes; además de ser carcinógenicos, mutagénicos y teratogénicos. De los órganos más afectados por las micotoxinas se puede mencionar el hígado, riñón, el sistema nervioso, endócrino e inmunológico (FAO, 2016).

b. Aflatoxinas. Son micotoxinas producidas por los hongos *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus*. Las aflatoxinas se clasifican como B₁, B₂, G₁ y G₂. Las primeras dos son producidas por *A. flavus*, mientras que todas las aflatoxinas mencionadas anteriormente son producidas por *A. parasiticus*; siendo la aflatoxina B₁ la más tóxica (Bogantes- Ledezma *et al.*, 2004).

Se considera que al estar expuesto el cuerpo humano, son la principal causa de cáncer en el hígado, mutaciones puntuales y alteraciones en el desarrollo fetal. Presentan una toxicidad aguda, la cual produce necrosis hepática, nefritis y congestión pulmonar.

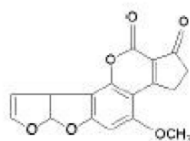
También una toxicidad crónica, la cual es fuente de daños celulares, carcinogenicidad, teratogenicidad y mutagenicidad (Bogantes- Ledezma *et al.*, 2004).

La proliferación de hongos se da en la post-cosecha, transporte y almacenamiento de los granos de maíz. Sin embargo, inicialmente no se producen aflatoxinas; los hongos realizan su metabolismo primario durante el crecimiento. Al acumularse metabolitos primarios, se induce la actividad de enzimas del metabolismo secundario y se da la producción de las aflatoxinas (Bogantes- Ledezma *et al.*, 2004).

La cantidad de aflatoxinas presentes en los granos de maíz depende de varios factores como el almacenamiento, las esporas liberadas, el ambiente durante el crecimiento de la planta, los insectos y ácaros que actúan como vectores para los hongos, la temperatura ambiental, entre otros (Bogantes- Ledezma *et al.*, 2004).

Los mohos producen aflatoxinas antes y después de la cosecha de granos de maíz. La actividad de agua ideal para el crecimiento de *A. flavus* es de 0.99 a_w , a temperaturas que van desde los 10 a 43 °C y la producción de aflatoxinas se da de los 15 a 37 °C (FAO, 2016).

Figura 8. Estructura de Aflatoxina B₁



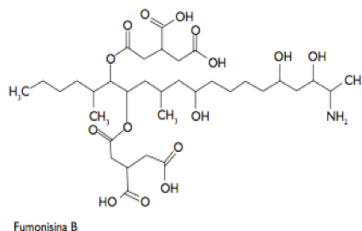
Aflatoxina B₁

c. Fumonisin. Son metabolitos secundarios producidos principalmente por *Fusarium moniliforme* y *Fusarium proliferatum*. Los 15 tipos de fumonisinas existentes se clasifican en como FB1, FB2 y FB3. Siendo la clase FB1 la más tóxica para la salud (Torres-Sánchez y López-Carrillo, 2010).

Se encuentran presentes en el maíz y son producidas por los hongos durante el cultivo y almacenamiento de los granos. Su producción se ve influenciada por las condiciones de almacenamiento y características ambientales como la humedad, temperatura y precipitación (Torres-Sánchez y López-Carrillo, 2010). Los niveles de actividad del agua para el crecimiento de *F. moniliforme*, uno de los hongos productores de fumonisinas, están entre los 0.87 y 0.99 a_w (FAO, 2016).

El consumo de fumonisinas está estrechamente relacionado con efectos tóxicos al hígado, riñones, páncreas, sistema nervioso central y pulmones, además de cáncer esofágico (FAO, 2016)

Figura 9. Estructura de fumonisina B



d. Métodos para medirlas. Las micotoxinas no son antigénicas, por lo que los primeros estudios se desarrollaron fueron orientados a lograr la conjugación con proteínas o polipéptidos que pueden servir como transportadores de producción de anticuerpos en conejos y otros animales. Sin embargo, con los avances tecnológicos se han producido anticuerpos monoclonales contra diversas micotoxinas. Además se han desarrollado diferentes tipos de inmunoensayos entre los que destacan los ensayos inmunológicos de enzimas ligadas (por sus siglas en inglés ELISA), radioinmunoensayos (por sus siglas en inglés RIA) y las columnas de inmunoafinidad. Estos métodos suelen ser muy sensibles, específicos y fáciles de operar. La mayoría de los inmunoensayos se basan en la competencia por los sitios de enlace de las moléculas de los anticuerpos entre las toxinas que posee la muestra y las toxinas marcadas características del sistema que son las micotoxinas conjugadas. Por lo anteriormente mencionado es necesario contar con una micotoxina perfectamente marcada y un anticuerpo específico en el sistema de ensayo; así como con un buen método de extracción de las micotoxinas, con un procedimiento adecuado de separación de toxinas y también es necesario conocer el grado de especificidad de los anticuerpos (Medina y Castillo, 1993).

Las micotoxinas pueden ser determinadas y cuantificadas por medio de cromatografía de afinidad, su estructura cumarínica y la presencia de grupos cetónicos les confieren características para poder ser separadas mediante polaridad y fluorescencia emitida.

En el año 2010 se realizó un estudio, adoptando la técnica de la *Official Association of Analytical Chemistry of the United States* (AOAC) para la detección de aflatoxinas (Rojas y Wilches, 2010). Para el análisis, las aflatoxinas son extraídas con una solución de acetonitrilo: agua (84:16), se homogeneiza por 3 minutos utilizando una licuadora y se utiliza papel filtro para recolectar 5 ml del filtrado en un tubo de ensayo. Posteriormente se realizó una purificación utilizando una columna Micotox ®2006, hasta obtener 250 l de extracto purificado. El siguiente paso es realizar una concentración y derivatización, esto se logra agregando un reactivo que se compone de ácido trifluoroacético/ ácido acético/ agua (2:1:7). La mezcla es dejada en un baño térmico por 10 minutos, y por último la separación y cuantificación (Rojas y Wilches, 2010).

Otro método para la detección de micotoxinas es el protocolo *PHL innovation Lab*, el cual es utilizado para este megaproyecto. Esta es una prueba de cuantificación total, AgraStrip[®], que se basa en un ensayo inmunocromatográfico de flujo lateral de un solo paso que determina de manera cuantitativa fumonisinas totales (FB1, FB2 Y FB3) y está diseñado para ser utilizado en maíz (Sabillón y Bianchini, 2015).

La técnica de detección se basa en un inmunoensayo de competencia, donde el conjugado compuesto por anticuerpo- partícula se encuentra presente en un micropocillo. La muestra original de maíz es molida y tratada con agua o metanol y los respectivos diluyentes del ensayo. Una tira AgraStrip[®] se coloca en el pocillo y se deja incubar a 45 °C por 3 minutos. El contenido mezclado del micropocillo es entonces absorbido por acción capilar sobre la membrana de la tira, que contiene una zona de ensayo y una zona de control. La zona de ensayo captura el complejo libre de anticuerpo- partícula (conjugado), permitiendo que las partículas de color se concentren y formen una línea visible. La intensidad del color de la línea es inversamente proporcional a la concentración de fumonisinas en la muestra. La línea es siempre visible en la zona de control, independientemente de la presencia de fumonisinas. Las tiras AgraStrip[®] se miden posteriormente usando un lector de AgraVision y los resultados son determinados (Sabillón y Bianchini, 2015).

Los kits deben ser almacenados de 2-8 °C cuando no estén en uso, y no utilizarlos más allá de la fecha de caducidad. No deben ser congelados ni ser dejados a la luz solar directa. Las tiras deben mantenerse dentro de los tubos originales. Los micropocillos revestidos con el conjugado también deben mantenerse dentro de los tubos originales.

El límite de detección es de 300 ppb, el límite de cuantificación es de 400 ppb y el rango de cuantificación es de 0 a 5000 ppb (Sabillón y Bianchini, 2015). El kit para la detección de aflatoxinas utiliza el mismo principio y los mismos pasos. Éste es específico para la determinación total de aflatoxinas presentes (B1, B2, G1 y G2) (Sabillón y Bianchini, 2015). El límite de detección es de 3.6 ppb, el límite de cuantificación es de 5.0 ppb y el rango de cuantificación es de 0 a 100 ppb (Sabillón y Bianchini, 2015).

e. Normativa y regulación para el consumo. Varios factores influyen al fijar límites y reglamentar el nivel máximo de micotoxinas permisible, entre ellos se puede mencionar los siguientes:

- Disponibilidad de los datos toxicológicos.
- Disponibilidad de datos en referencia a la presencia de las micotoxinas en diferentes productos
- Identificación de la distribución de las concentraciones en un área específica.
- Legislación de los países para la exportación y/o importación.
- Necesidad de un abastecimiento suficiente.

Los reglamentos internacionales se basan en los efectos tóxicos conocidos y por lo general aplican para las micotoxinas consideradas como más significativas (aflatoxinas, ocratoxina, patulina, fumonisinas seralenina y algunos tricotecenos). El comité Mixto compuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), es el encargado de evaluar los peligros que conlleva el consumo de las micotoxinas. Esto es realizado con la ayuda de Expertos en Aditivos Alimenticios (JECFA). JECFA evalúa la toxicidad de diferentes productos, entre ellos la de los contaminantes en alimentos. La evaluación se compone de varios pasos que analizan los posibles riesgos para la salud y concluyen con la estimación de una ingesta provisional tolerable semanal o diaria. Cabe resaltar que el provisional hace referencia a un carácter tentativo de la evaluación (FAO, 2004). Este enfoque de evaluación no aplica en aquellas toxinas con carcinogenicidad, como es el caso de las aflatoxinas, pues cualquier dosis pequeña tendrá una probabilidad de inducir un efecto.

Es necesario tomar en cuenta que estas toxinas son contaminantes naturales, por lo que nunca podrán ser eliminadas totalmente si no se prohíben los alimentos o raciones contaminadas. Sin embargo, sí resultaría apropiado reducir la dosis lo más que se pueda, pues tendrá una probabilidad proporcionalmente menor de inducir un efecto. Por lo tanto para las aflatoxinas la JECFA no asigna una ingesta provisional tolerable y recomienda que el nivel de contaminante sea reducido de manera que resulte “tan bajo como sea razonablemente posible”, es decir que no pueda reducirse más (FAO, 2004).

En cuanto a las fumonisinas están reguladas únicamente por seis países, específicamente para cuando actúan como contaminantes del maíz. El número de países que reglamentan las fumonisinas es muy pequeño como para sacar conclusiones ya que probablemente no son incluidos todos los parámetros mencionados anteriormente para fijar el límite. Además es necesario el estudio para ver si es pertinente regular únicamente el límite para las fumonisinas B1 y/o las suma de las fumonisinas que aparecen naturalmente. Ocurre una situación similar a la de las aflatoxinas (FAO, 2004).

Los principales cultivos de América Latina son muy susceptibles a la contaminación con hongos y por lo tanto a la contaminación con micotoxinas. Los límites reglamentarios respectivos para diversas micotoxinas en América Latina en los alimentos no se encuentran vigentes o no son aplicados (Pineiro *et al.*, 2004).

f. Efectos adversos para la salud. Tanto las aflatoxinas como las fumonisinas tienen serios efectos adversos para la salud, los cuales pueden empeorar si se producen mezclas de toxinas en el mismo grano. Esto puede darse debido la proliferación de diferentes mohos en el mismo cultivo. La presencia de ciertas micotoxinas también favorecen la producción de otras, al nivel de producción y aumento de toxicidad (FAO, 2016).

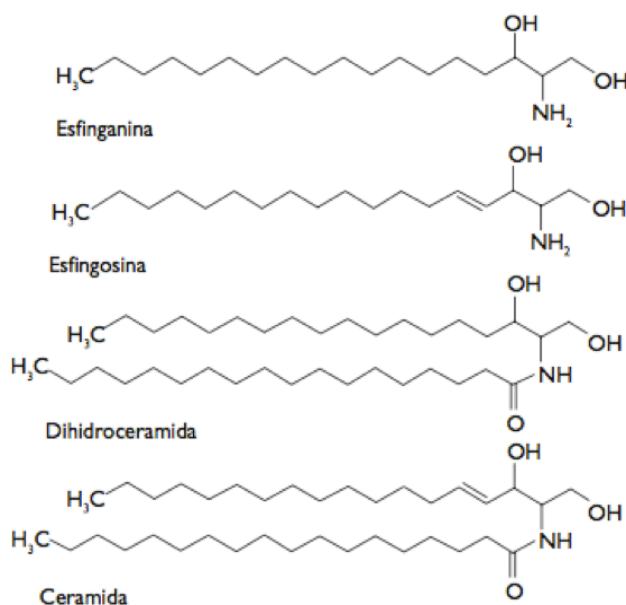
Las fumonisinas están relacionadas directamente con alteraciones al metabolismo de esfingolípidos y del folato. También contribuyen a desarrollo de defectos en el tubo neural (DTN) y son consideradas carcinógenos (Torres-Sánchez y López-Carrillo, 2010).

En 2010 se reportó que no existen estudios acerca del metabolismo y cinética de las fumonisinas en humanos. Sin embargo, en animales se sabe que éstas son eliminadas en su forma original en las heces y la orina. En el hígado y riñones sus concentraciones son bajas y no se da el transporte a través de la placenta (Torres-Sánchez y López-Carrillo, 2010).

Las fumonisinas bloquean la acción de la ceramida sintetasa, una enzima involucrada en el metabolismo de esfingolípidos. Por lo que no se produce la ceramida y se reduce la producción de esfingomielina, lo cual constituye su acción tóxica. La ausencia de esfingolípidos como la esfingomielina, ceramida y glicofosfolípidos alteran los procesos

de crecimiento, diferenciación y muerte celular. Además, se favorece el estrés oxidativo y proliferación de peroxisoma, debido a que no se mantiene la estructura de la membrana, comunicación intracelular y la interacción entre células y matriz extracelular.

Figura 10. Esfingolípidos que se ven afectados por la presencia de micotoxinas



La deficiencia de folato está relacionada con la reducción de esfingomielina, debido que se disminuye la incorporación de folato a la célula. La presencia de fumonisinas B₁ activa el factor de necrosis tumoral, lo cual crea un desbalance en la muerte celular y la replicación, por lo que se induce la carcinogénesis (Torres-Sánchez y López-Carrillo, 2010). Esta asociación es posible debido a que las fumonisinas son inhibidoras del transporte de folato (Torres *et al.*, 2016).

Las Aflatoxinas favorecen la replicación incompleta debido a que interfieren en la función de la ADN polimerasa, aumentando la tasa de mutaciones que se producen. También interfieren con la función de la ARN polimerasa, lo cual afecta en la síntesis de

proteínas, causan una toxicidad aguda debido a que alteran la estabilidad de las proteínas al ligarse a sus estructuras. También afectan a nivel celular en el retículo endoplasmático; al ligarse a la membrana de éste causa una desgranulación, lo cual tiene un efecto negativo en la estabilidad del ARN mensajero. Además de lo mencionado anteriormente, las aflatoxinas intervienen con los factores de coagulación, inhiben la síntesis de fibrinógeno y afectan en la coagulación a nivel hepático (Bogantes- Ledezma *et al.*, 2004).

g. Efectos producidos por micotoxinas a la salud reportados en Guatemala

Las personas que habitan en comunidades de Guatemala tienen una alta exposición a fumonisinas, debido a que su dieta se basa principalmente en el consumo de maíz. El consumo diario per-cápita de maíz en Guatemala es de 318 g/día, lo que implica un riesgo a la salud debido a los niveles de fumonisinas presentes (Torres *et al.*, 2016). Los límites de consumo máximo de micotoxinas que no perjudican a la salud, según la FDA es de 20 g/ kg de aflatoxinas totales (Bogantes- Ledezma *et al.*, 2004). Sin embargo, en Guatemala los niveles de micotoxinas totales consumidas se elevan hasta el nivel de 6,641 g/ kg. (Torres *et al.*, 2016).

El Altiplano de Guatemala es de las regiones donde más se consume maíz, sin embargo, la producción de éste no es suficiente para su demanda; por lo que parte del maíz que se consume en Huehuetenango es comprado. Las personas de las regiones donde se consume mayores cantidades de maíz, se ha identificado que son más propensas a presentar DTN debido a la mayor exposición a fumonisinas (Torres *et al.*, 2016). La prevalencia de DTN es de 6 a 10 veces mayor que el promedio mundial (Torres-Sánchez y López-Carrillo, 2010).

III. JUSTIFICACIÓN

En Guatemala un gran sector de la población no alcanza a cubrir sus necesidades energéticas, proteicas, de vitamina A, ni hierro. El consumo de alimentos está determinado por el poder adquisitivo de los mismos en el mercado y la adquisición por su parte depende de la capacidad de compra, la cual está condicionada a la vez, por el ingreso, el cual permite a la población satisfacer una escala de necesidades, en función de disponibilidad de alimentos, precios, gustos y preferencias (ICTA, 2002). La dieta básica de una persona guatemalteca está compuesta principalmente de cereales o leguminosas, como lo son el maíz y el frijol. Estos granos son cosechados y las familias guatemaltecas almacenan estos cultivos para autoconsumo.

Únicamente, 169 mil 500 productores de granos básicos del país, el 15 por ciento de un millón 130 mil, saben cómo almacenar el maíz para evitar que se contamine y adquiera toxinas perjudiciales para la salud, según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA, 2013). Al no contar con los conocimientos, herramientas y métodos que les permitan dar un buen manejo post cosecha a sus cultivos, estos se ven propensos a deteriorarse o contaminarse con sustancias o microorganismos que son perjudiciales para la salud de los consumidores. Esto, en conjunto con algunos fenómenos ambientales como la temperatura y la humedad, son causa de innumerables pérdidas en los granos básicos del país.

En el mes de mayo 2014, se reportaron pérdidas de maíz en un área de 532 hectáreas, afectando a 1,463 familias y alrededor de Q1,713,666.00 en pérdidas económicas. (MAGA, 2014). Los principales problemas de pérdidas son causados por biodeterioro, el cual se da en el periodo de almacenamiento del grano y está causado por hongos y levaduras que crecen por condiciones favorables de humedad y temperatura. Para evitar estas pérdidas, se debe llevar a cabo un correcto manejo post cosecha del maíz teniendo especial cuidado en dos puntos críticos: el secado y el almacenamiento.

El secado en países como Guatemala se hace con técnicas tradicionales, como el secado durante la dobla y luego las colocan al sol. Debido a que no cuentan con suficiente instrucción e instrumentos para analizar. Las técnicas y métodos son bastante

rudimentarios a causa de la de instrucción e instrumentos para analizar la humedad luego del secado o formas alternativas de secado, como un secado artificial. La humedad es una variable crítica, pues a humedades altas se favorece la contaminación de hongos y aflatoxinas que provocan pérdidas por desecho o enfermedades serias por su consumo. Es importante evaluar el aspecto de calidad, puesto que la calidad del grano las comunidades que cosechan maíz en el departamento de Huehuetenango utilizan malas prácticas de post-cosecha y almacenamiento, las cuales deterioran la calidad del grano y a su vez esto hace que disminuya el rendimiento de la cosecha obtenida (FAO,2006).

El 70.3% de las madres con hijos menores a 24 meses consume más de 10.47 libras de maíz a la semana. Mientras que en el caso de los niños y niñas, la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional, estableció que el de maíz consumido por ellos es de 1.31 libras semanales. En la región de Huehuetenango se tiene una alta exposición a las micotoxinas debido al consumo de maíz contaminado por hongos (UNICEF, 2012). En Guatemala los niveles de micotoxinas totales consumidas se elevan hasta el nivel de 6,641 g/ kg mientras que el estándar recomendado por la FDA para el consumo humano es de 20 g/ kg (Torres *et al.*, 2016). Las personas que cultivan y consumen este maíz pueden presentar serios daños a la salud como cáncer hepático, y otras condiciones que han sido asociadas a las micotoxinas como daño a los riñones, daños al aparato digestivo, efectos nocivos en el sistema nervioso, cardiovascular y respiratorio, y retraso en el crecimiento. Además, el efecto más importante es la capacidad de algunas micotoxinas de obstaculizar la respuesta inmunitaria y por lo tanto reducir la resistencia a enfermedades infecciosas (SESAN, 2014). Durante la post-cosecha, la proliferación de hongos y producción de aflatoxinas puede aumentar debido a las condiciones de almacenamiento y humedad. Las micotoxinas son resistentes a los procedimientos de cocción (resisten temperaturas entre 260 y 320 °C), además de ser resistentes a la ultrapasteurización, nixtamalización y fermentación; y entre los cultivos más afectados está como número uno el maíz (SESAN, 2014).

La mejora en el manejo post-cosecha del maíz (*Zea mays*) para la reducción de aflatoxinas y fumonisinas del maíz contribuirá con el mejoramiento de la salud de las personas de todas las edades del departamento de Huehuetenango, Guatemala. En

específico sería beneficioso para niños y niñas en etapa de crecimiento. Sin embargo, también puede brindar beneficios a la salud para personas de todas las comunidades incluyendo a los productores y consumidores. Detener la proliferación de hongos y reducir el nivel de micotoxinas en el maíz puede lograrse por medio de la implementación de un secador STR y diversos métodos de almacenamiento, como lo son silo, tonel y Grain Pro Bags; los cuales reducirían el porcentaje de humedad en el grano y ayudarán a mantener su calidad constante, respectivamente. Con el mejoramiento de la calidad del maíz por medio de un mejor secado y almacenamiento, se anticipa que mejorará la salud y calidad de vida de las personas que cultivan y consumen este producto en Huehuetenango. Además de que los granos de maíz presentarían una mejor apariencia, al tener una menor contaminación por hongos, y así mejorarían las oportunidades del productor de comercializarlo. La identificación del mejoramiento en la calidad de los granos puede ser logrado por medio del análisis microbiológico, que consiste del conteo de hongos y levaduras; así como la determinación de la concentración de aflatoxinas y fumonisinas antes y después de la intervención.

El objetivo principal de este proyecto es diseñar un modelo de secador, cuyo desarrollo sea accesible para cualquier agricultor, independientemente de su nivel socioeconómico o lugar de cultivo o residencia, para la reducción de la humedad a un nivel adecuado para ser almacenado y conservar la calidad del grano. Los materiales a utilizar serán accesibles y la construcción del mismo será fácil con el propósito de lograr un modelo económico, eficiente y de fácil ensamblaje. Ambos secadores tendrán la capacidad de reducir el contenido de humedad del maíz cosechado a un 14% de humedad, ya que con las prácticas post-cosecha actuales no se logra alcanzar la humedad requerida para asegurar la calidad del grano.

Entre la visión de la Universidad del Valle de Guatemala se encuentra el contribuir a la solución de los problemas nacionales, en particular de las poblaciones más desprotegidas, tales como las incluidas en este trabajo. Además, en la Misión se menciona el generar y divulgar el conocimiento científico y tecnológico, para ponerlos al servicio de la comunidad, la sociedad guatemalteca y la humanidad, por lo que éste proyecto se encuentra dentro del quehacer de la Universidad.

IV. OBJETIVOS

A. Generales:

1. Analizar y proponer mejoras al secado y almacenado del maíz (*Zea mays*) para la reducción de aflatoxinas y fumonisinas del maíz cultivado y consumido en la comunidad de San Antonio Las Nubes, Huehuetenango.

B. Específicos:

1. Módulo 1:

Diseñar, construir, evaluar e implementar un secador capaz de disminuir la humedad del maíz a un nivel adecuado para ser almacenado y conservar la calidad del grano.

2. Módulo 2:

- Cuantificar la microbiota fúngica presente en los granos de maíz provenientes de Chiantla, Huehuetenango secados por medio de un secador de maíz mecánico STR y el método de secado tradicional con diferentes métodos de almacenamiento a los 0, 30, 60 y 90 días.
- Cuantificar y comparar la concentración de aflatoxinas y fumonisinas en los granos de maíz provenientes de Chiantla, Huehuetenango secados por medio de un secador mecánico STR y el método de secado tradicional, con diferentes métodos de almacenamiento a los 0, 30, 60 y 90 días.
- Comparar los datos obtenidos en base a la calidad microbiológica del grano para determinar el mejor tipo de almacenamiento.

3. Módulo 3:

- Establecer los costos de operación y manufactura del secador de maíz STR.
- Determinar el tiempo de recuperación de la inversión de los secadores de maíz por medio de un análisis financiero del método de secado implementado.
- Determinar los beneficios para la comunidad de la implementación de los dos secadores, junto con los ingresos adicionales en el mercado de los secadores de

- maíz en los municipios de Todos Santos Cuchumatán y Chiantla, Huehuetengango
- Describir por medio de un análisis administrativo el impacto que tendrá en la estructura organizacional de la empresa, la instalación de los secadores de maíz.

V. METODOLOGÍA

A. Módulo 1

1. Materiales:

a. Recursos Materiales

1) Materiales de análisis:

- a) Anemómetro
- b) Medidor de humedad relativa
- c) Balanza de humedad
- d) Medidor de humedad para granos en campo
- e) Balanza semi-analítica
- f) Termocuplas

2) Secador de maíz STR:

- a) 60 blocks de concreto de 20x20x15cms
- b) 4 yardas de mallas de agujeros de 10mm
- c) 4 metros de tubo flexible para aire acondicionado con fibra de vidrio de 12 pulgadas.
- d) Ventilador de 2 hp
- e) Quemador de lámina de calibre de $\frac{1}{4}$.
- f) Dos tapaderas de aluminio: Para el techo, una de 1.20m x 1.40m con agujero en el centro de 6.5 pulgadas para dejar salir la chimenea del quemador. Otra para la puerta corrediza de alimentación al quemador, de 1.0m x 1.20m
- g) Caja de madera con agujero de 7 pulgadas en el centro para el paso del aire desde el ventilador al interior de la cámara de combustión con las siguientes medidas: 78 cms de alto, 78 cms de largo y 30 cms de profundidad.
- h) Espuma de poliuretano en spray (aislante)
- i) Maíz (*Zea mays*) en grano (160 libras) y en mazorca (292 libras)
- j) 360 libras de leña seca

- k) Alambres flexibles y delgados o grapas para unir los extremos de las mallas de agujeros de 10mm.
 - l) Alicates
 - b. Recurso Humano
 - 1) Estudiantes de la Universidad del Valle de Guatemala
 - 2) Líder comunitario
 - 3) Integrantes de Universidad Estatal de Kansas y Nebraska, Estados Unidos.
 - c. 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 del Valle de Guatemala.
- 2. Métodos:
 - a. Enfoque y diseño de la investigación
 - 1) Método experimental
 - b. Contexto de la investigación
 - 1) La investigación se realizó en el departamento de Huehuetenango en la comunidad de “San Antonio las Nubes” y en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala.
 - c. Definición de la población
 - 1) Catorce comunidades del departamento de Huehuetenango, Guatemala; el secador solamente se implementará en una comunidad para realizar las pruebas.
 - d. Tipo y número de muestra
 - 1) Muestreo no probabilístico por conveniencia.
 - e. Sujeto de estudio
 - 1) Muestras de maíz obtenidas de un agricultor específico de la comunidad de “San Antonio las Nubes” en Huehuetenango.
 - f. Variables
 - 1) Contenido de humedad muestras (inicial y final).

- 2) Condiciones de secado (temperatura, velocidad y humedad del aire).
 - 3) Humedad relativa.
 - 4) Temperatura ambiental.
 - 5) Combustible empleado en secador.
- g. Clasificación de variables
- 1) Variables dependientes
 - a) Contenido de humedad de muestras
 - b) Condiciones de secado
 - 2) Variables independientes
 - a) Calidad del grano
 - b) Humedad relativa
 - c) Temperatura ambiental
 - d) Combustible empleado en el secador
- h. Definición conceptual
- 1) Secador de maíz: Equipo diseñado y construido en la Universidad del Valle de Guatemala con la finalidad de calentar el aire mediante combustión y por ende secar el maíz.
 - 2) Combustible para secador: Fuente de energía utilizada para calentar el aire en el secador de maíz; se utilizó olote y madera (leña).
 - 3) “San Antonio las Nubes”: Comunidad ubicada en el departamento de Huehuetenango, Guatemala; en donde fue evaluado el secador de maíz.
 - 4) Termocupla: Equipo utilizado para medir la temperatura del aire en distintos puntos del secador.
- i. Instrumentos de medición
- 1) Anemómetro
 - 2) Medidor de humedad relativa
 - 3) Balanza de humedad
 - 4) Medidor de humedad en granos en el campo
 - 5) Balanza semi-analítica
 - 6) Termocuplas

3. Metodología:

a. Ensamble del secador de maíz en Universidad del Valle de Guatemala

1) Cámara de combustión. El primer paso fue realizar una cámara de combustión formada por blocks para el quemador. La disposición de los blocks se hizo a la conveniencia del tamaño del quemador de tal forma que tuviera en aproximadamente 3 columnas y 6 filas de blocks en dos lados, al empezar a armar la base se colocó en el interior el quemador para su fácil acceso. En los dos lados restantes se procedió a dejar libre uno para la puerta corrediza que permitiera alimentar el quemador y el otro lado con solo dos columnas de tal forma que quedara un espacio para una caja con agujero para el ingreso del aire proveniente del ventilador. Para el techo se colocó una lámina con perforación de 4.5 pulgadas que permitiera la salida de la chimenea del quemador, en la parte inferior no se colocó nada más que el quemador en el suelo o tierra. Es importante añadir que en el lado contrario al del ventilador se dejó un pequeño agujero para insertar el tubo flexible para aire acondicionado de 12 pulgadas. Una vez armada la cámara de combustión se agregó espuma de polieuretano entre cada block y cualquier espacio a modo de aislar bien el sistema.

Figura 11. Vistas de la cámara de combustión

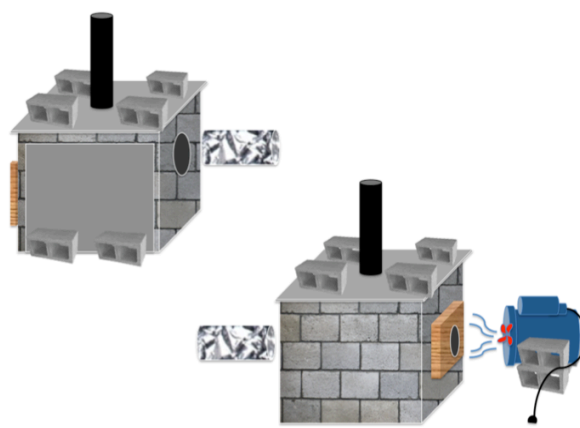


Figura 12. Dimensiones del quemador (dispuesto en el interior de la cámara de combustión)

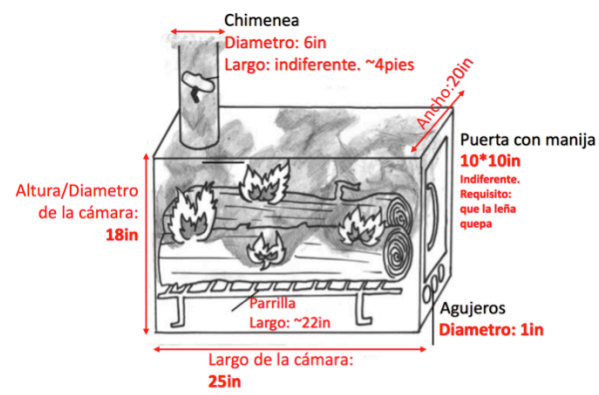


Figura 13. Dimensiones de la cámara de combustión

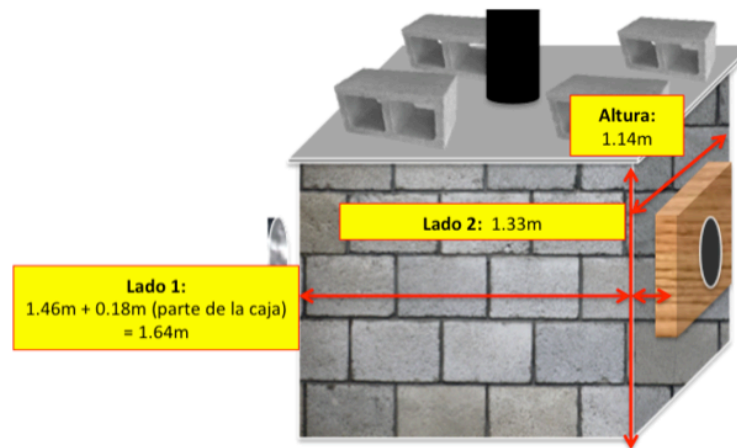


Figura 14. Dimensiones de la puerta y techo de la cámara de combustión

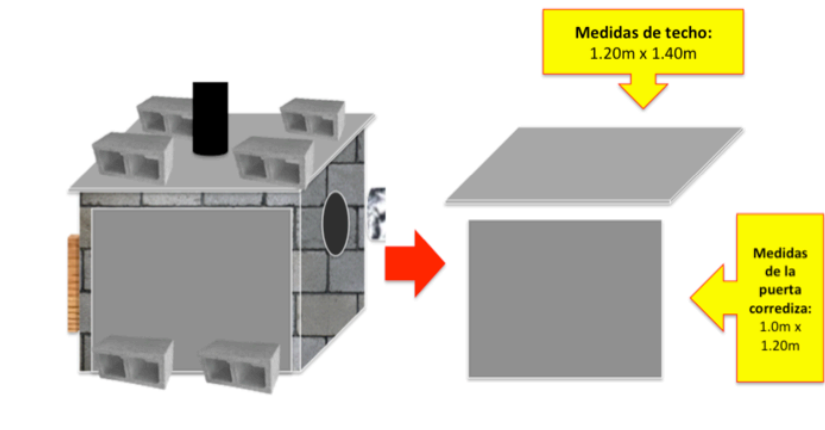


Figura 15. Dimensiones de las salidas de la cámara de combustión

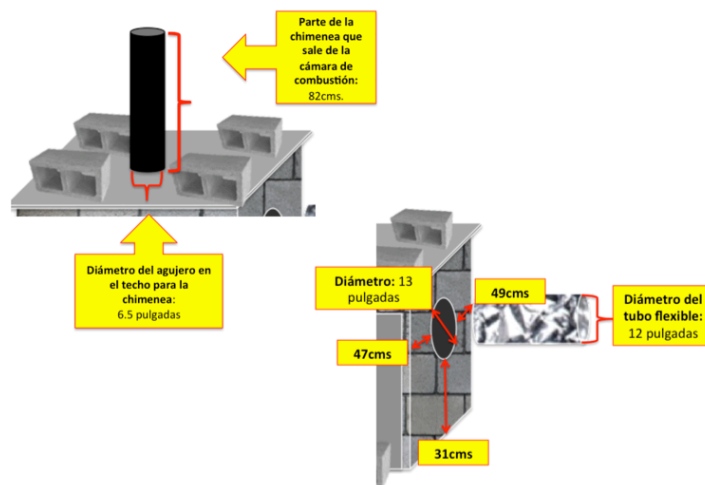
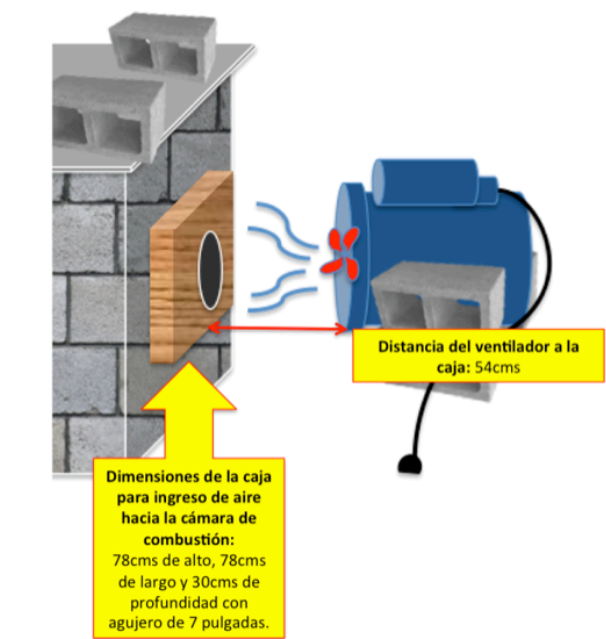
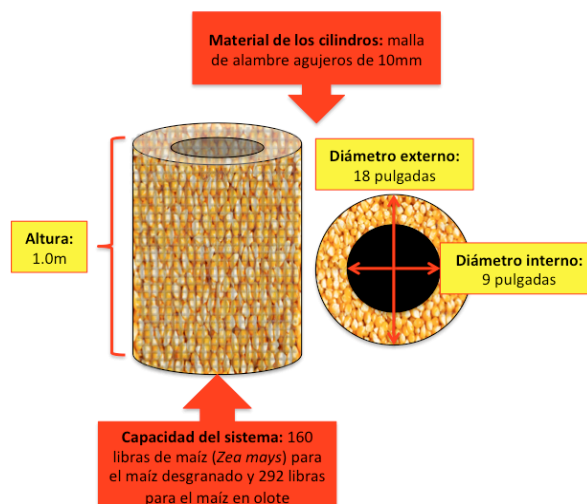


Figura 16. Dimensiones de la caja de ingreso del aire a la cámara de combustión y distancia de la caja al ventilador



2) Secador STR. Otra de las partes a ensamblar era el secador STR que consta de dos cilindros concéntricos formados con las mallas de alambre de 10mm, que se unieron con alambres o grapas. Uno de los cilindros era de 18 pulgadas de diámetro y el interno de 9 pulgadas. El maíz se dispuso entre ambos cilindros procurando una distribución uniforme y pareja, tanto para el maíz en mazorca como para el desgranado.

Figura. 17 Cilindros que componen el secador STR



3) Ensamblaje completo. Por último, se unió la parte de la cámara de combustión con el secador STR formado por los cilindros por medio de un tubo flexible utilizado para aire acondicionado de 3.50m de largo y 12 pulgadas de diámetro en sus extremos unidos a un agujero previsto para este tubo, en la cámara de combustión y en el cilindro de diámetro más pequeño, ajustándolo para lograr el máximo aislamiento del aire que pasaría a través de este ducto de una parte del sistema a la otra.

Figura 18. Ensamblado completo del sistema



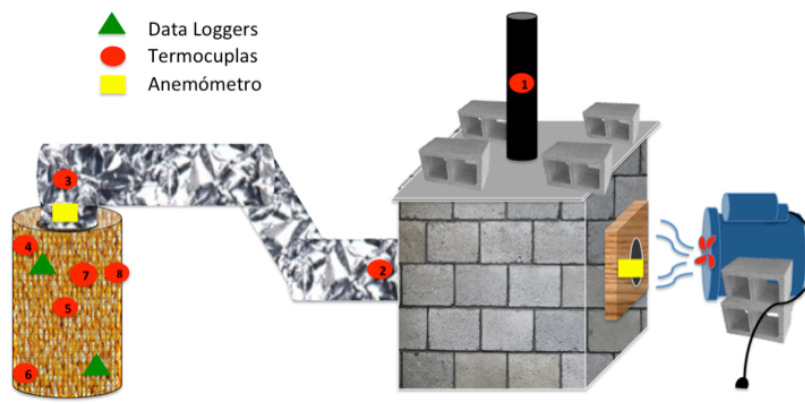
De esta forma se comprobó el funcionamiento del secador y se hicieron tres días de pruebas. Se desarmó todo el sistema y se almacenó para luego transportar todos los materiales a la comunidad de “San Antonio las Nubes” en Huehuetenango.

b. Transporte hacia “San Antonio las Nubes”. El secador desarmado se colocó en un camión para ser transportado hacia la comunidad de “San Antonio las Nubes”; para esto fue requerido llevar todos los instrumentos de medición hasta dicha comunidad; por lo que se transportaron medidores de humedad, termocuplas, anemómetros, data loggers, entre otros. Una vez se llegó a la comunidad se procedió a descargar el secador e instrumentos.

c. Ensamble del secador de maíz en “San Antonio las Nubes”. Se armó la cámara de combustión y los cilindros del secador de maíz, tal como se realizó en la Universidad del Valle. Se colocaron las termocuplas y data loggers en diferentes partes del secador para medir las temperaturas del equipo y maíz. Por medio del anemómetro se determinó la velocidad del aire durante el proceso.

La localización de la termocuplas se dio en la parte de arriba, medio y abajo del contenedor de maíz y en la parte exterior del cilindro interior y en la parte interior del cilindro exterior, en la entrada y salida del ducto que conectaba la cámara de combustión hecha de blocks con el quemador y el contenedor de maíz y la chimenea del quemador. Lo anterior con el objetivo de tener una distribución adecuada y completa de las mediciones.

Figura 19. Localización de termocuplas, data loggers y puntos de medición de velocidad del aire.



d. Modo de operación en “San Antonio las Nubes”. Una vez que el secador fue armado y ensamblado, se conectó a una fuente de energía eléctrica para dar energía al ventilador que empujaría el aire caliente a través del secador para remover la humedad del maíz y se procedió a iniciar la combustión utilizando como combustible leña. Para iniciar la combustión fue necesario utilizar fósforos y ocote. Una vez obtenido el fuego se cerró la compuerta del quemador y la puerta de la base de blocks para aislar el interior del mismo y que el calor no se perdiera.

Luego de encender el fuego y poner en marcha el ventilador, se agregó el maíz en los cilindros contenedores. Para este momento, todas las termocuplas y data loggers ya estaban distribuidos en todo el equipo y partes del secador.

e. Mediciones realizadas en “San Antonio las Nubes”. Una vez el secador se encontraba en operación, se esperó a que la temperatura se estabilizara por 30 minutos y se comenzó a realizar medidas de humedad relativa, velocidad de aire, temperaturas en

termocuplas y data loggers instalados cada 30 minutos y toma de humedad de los granos de maíz en intervalos de una hora.

f. Análisis de datos de eficiencia del secador

1) Evaluación climática: Se realizaron mediciones de la temperatura ambiental y humedad relativa del área de prueba del secador. Con estos datos se elaboró 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 la corrida.

2) 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 y cámara de combustión del secador. Esta se obtuvo calculando la cantidad de calor transferida por convección entre la cantidad de calor generada por la combustión del material (leña). 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.

3) Evaluación de proceso de secado: Se realizó la curva de secado del maíz utilizando leña 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 los cilindros contenedores del maíz y el tiempo de secado. Al tener varias posiciones se compararon las curvas y se realizó una conclusión en base a esta comparación.

B. Módulo 2

1. Sitio de estudio. El departamento de Huehuetenango pertenece a la Región VII, también llamada Región Nor-Occidental del país (SEGEPLAN, 2011). El cual ocupa un territorio de aproximadamente 7,403 km², que representa el 6.8% del territorio nacional. El departamento de Huehuetenango se encuentra al este de Quiché y al sur de Totonicapán y San Marcos (FAO e IPGRI, 2001). En Huehuetenango hay montañas que miden más de los 3,000 msnm y tierras bajas de 300 msnm. Los suelos tienen una composición heterogénea, como terrenos de montañas volcánicas, suelos de altiplanicie central, suelos de cerros de caliza, suelos de las tierras bajas de Petén y clases misceláneas de terreno (FAO e IPGRI, 2001). Debido a la variabilidad en sus terrenos, se generan diversidad de microclimas (INSIVUMEH, 2016), el promedio de temperaturas máximas en el departamento es de 36.9 C y la media de las mínimas 0.6 C (INE, 2013). La estación seca es marcada y va de noviembre a abril y la estación húmeda, con dos periodos secos llamados canículas, va de mayo a octubre. La precipitación anual es de aproximadamente 1,000 mm anuales (FAO e IPGRI, 2001).

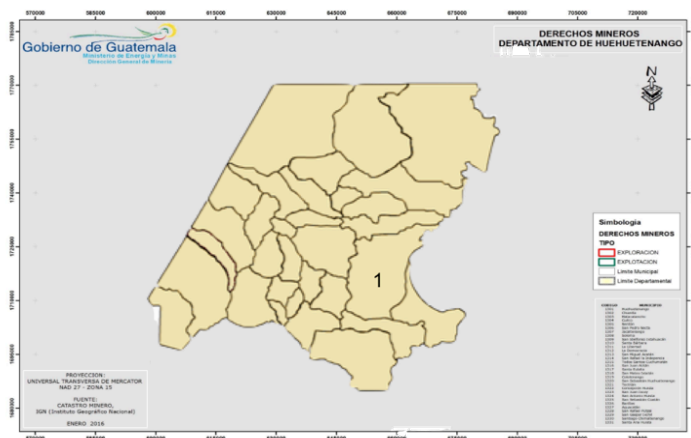
Figura 20. Mapa de Guatemala mostrando el Departamento de Huehuetenango con una estrella .



(modificado de <http://www2.luventicus.org/mapas/guatemala/huehuetenango.gif>)

Las muestras analizadas para el análisis del secador provienen del municipio de Chiantla del departamento de Huehuetenango, el cual tiene una extensión territorial de 536 Km², con una altura de 1,980 a 3,993 metros de altura sobre el nivel del mar (msnm), y se encuentra a 7 Km de la cabecera departamental (USAID, 2014).

Figura 21. Localización del municipio de Chiantla (1) en el departamento de Huehuetenango.



(Modificado de:

http://www.mem.gob.gt/wpcontent/uploads/2015/06/Ot_huehuetenango.pdf)

Las muestras analizadas para la evaluación y comparación del método de almacenado provienen del municipio de Chiantla y Todos Santos Cuchumatán del departamento de Huehuetenango, el cual tiene una extensión territorial de 269 Km², con una altura de 2,500msnm (USAID, 2014).

1. Diseño, enfoque y tipo de investigación. Diseño experimental, enfoque cuantitativo y tipo correlacional.
2. Tipo y tamaño de muestra. Las muestras utilizadas fueron obtenidas de la finca de un agricultor local, la cual se encuentra ubicada en del municipio de Chiantla, departamento de Huehuetenango. La finca se encuentra dentro de las comunidades que fueron escogidas por SHARE para participar en el proyecto de Reducción de Pérdidas Post-cosecha del Laboratorio de Innovación de Alimentos- *Feed the Future*, creado por las Universidad de Kansas y Lincoln Nebraska.

Cada muestra fue recolectada por un coordinador de campo el cual se encarga de muestrear aleatoriamente y obtener una muestra lo más representativa del maíz desgranado.

El maíz muestreado corresponde a la etapa de almacenamiento. El almacenamiento puede ser de 0, 30, 60 o 90 días en silo metálico, tonel plástico, Grain Pro Bags Pics y arrobera. El tipo de maíz analizado es maíz de color negro, amarillo, blanco y rojo del tipo *Flint* o *Dent* y secado en el secador STR o de manera tradicional.

3. Variables

Variables dependientes

- a. Porcentaje de humedad de muestras
- b. Conteo de hongos en granos de maíz
- c. Conteo de levaduras en granos de maíz
- d. Concentración de aflatoxinas
- e. Concentración de fumonisinas

Variables independientes

- f. Método de secado de granos
- g. Días de almacenamiento
- h. Tipo de almacenado
- i. Procedencia de la muestra
- j. Altitud de donde se recolectó la muestra

4. Metodología

Figura 22. Resumen de la metodología una vez recibida la muestra

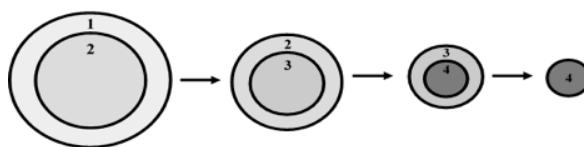


1. Separación de las muestras de maíz. Se registró la información y el peso inicial de todas las muestras de maíz. Posteriormente se abrió la bolsa que lo contenía y el maíz se esparció uniformemente en un molde de metal circular. Se colocó un molde circular más pequeño volteado hacia abajo en el centro del molde anterior. Los granos que quedaron dentro del segundo molde se dispersaron de modo que cubrieran uniformemente el molde. Se repitió el procedimiento con otro molde circular de menor tamaño y el maíz que quedó dentro se pesó hasta obtener 100 g para el análisis de hongos y levaduras, 250 g para el análisis de insectos y 800 g para el análisis de micotoxinas

(Figura 13) El maíz que sobró la final de la separación se devolvió a la bolsa original, se almacenó y refrigeró.

Este procedimiento se realizó para todas las muestras involucradas en el proyecto, independientemente del tiempo de almacenamiento o el tipo de secado de granos.

Figura 23. Diagrama del proceso de separación de la muestra de maíz procedente de los sitios de estudio.



2. Preparación de Agua Peptonada (Difco TM Buffered Peptone Water, 218105). Para preparar 1 L de agua Peptonada fue necesario pesar 2.0 g del polvo de agua peptonada bufferada y disolverlos en agua destilada. Se agitó por 15 minutos y posteriormente se autoclaveó durante 15 minutos a 121°C.

Cuadro 2. Componentes del buffer de agua peptonada por litro

Componente	Cantidad
Peptona	10.0 g
Cloruro de Sodio	5.0 g
Fosfato disódico	3.5 g
Fosfato monopotásico	1.5g

Fue importante ajustar a un pH final de 7.20.2 (BD, 2015).

(Difco, 2014).

3. Preparación de Agar Diclorán-Rosa bengala-Cloranfenicol, DRBC (DRBC, 100466 Merck). Para preparar 1 L de agar DRBC fue necesario pesar 31.6 g del medio y disolverlo en agua destilada. Se calentó a 570°C con agitación hasta llegar al punto de ebullición y posteriormente se autoclaveó durante 15 minutos a 121°C. El agar se vertió en cajas de Petri en una campana de flujo laminar para evitar su contaminación.

Éste es un medio selectivo para hongos y levaduras que inhibe el crecimiento de bacterias debido a la presencia del antibiótico de amplio espectro Cloranfenicol. Se compone de:

Cuadro 3. Componentes del agar DRBC.

Componente	Cantidad
Digerido enzimático animal y vegetal	5.00 g
Glucosa	10.00 g
Sulfato de Magnesio	0.50 g
Dicloran (2, 6 dicloro-4-nitroanilina)	0.002 g
Rosa de Bengala	0.025 g
Cloranfenicol	0.10 g
Agar- agar	15.00 g

(Microkit, 2016)

4. Análisis de hongos y levaduras. De los 100 g separados anteriormente, se pesaron en una balanza 25 g para el siguiente análisis. Estos se colocaron en un frasco de vidrio con tapadera hermética tipo *mason jar* y se mezclaron con agua peptonada y se dejaron reposar por media hora. Después se licuaron hasta que no quedaran granos de maíz completos. Se utilizó 1 ml de este licuado para realizar diluciones seriadas con concentraciones de 10^1 , 10^2 , 10^3 , 10^4 y 10^5 en tubos de ensayo de vidrio con tapadera, los cuales contienen 9.2 ml de agua peptonada. Se sembraron en triplicado 0.1 ml de las diluciones en placas de agar Diclorán-Rosa Bengala-Cloranfenicol (DRBC, 100466 Merck). En total se contaba con 12 cajas Petri por muestra, las cuales fueron contadas a los 3 y 5 días para determinar la cantidad de hongos y levaduras presentes.

5. Molienda de maíz. Los 800 g de maíz destinados para el análisis de micotoxinas se molieron utilizando un molino Romer Series II® Mill. Se encendió el molino y se

dejaron pasar unos cuantos granos para limpiarlo de cualquier muestra remanente en sus conductos. Se ajustó el tamaño de partícula girando el disco en el sentido de las agujas del reloj hasta el 5, para obtener una partícula fina. Luego se colocaron los 800 g de la muestra de maíz dentro del molino y se esperó a que estos salieran por los canales de recibimiento. Este maíz molido se colocó en una bolsa *Ziplock*® y se congeló a -18°C hasta que el momento del análisis.

6. Análisis de micotoxinas. Se siguió la metodología estandarizada por el Laboratorio de Innovación de Alimentos de la Universidad de Lincoln Nebraska y la Universidad Estatal de Kansas, dado que los resultados de este trabajo formarán parte de un análisis que se está realizando en el marco del proyecto para la Reducción de pérdidas Post-cosecha. Por tal motivo fue necesario cumplir la metodología estandarizada para poder hacer comparaciones y cumplir con los objetivos del proyecto *Feed the Future*.

Se utilizaron las metodologías estandarizadas para los procedimientos listados a continuación:

- a. Cuantificación total de fumonisinas (Anexo 4)
- b. Cuantificación total de aflatoxinas (Anexo 5)
- c. Limpieza del molino (PLM) (Anexo 6)
- d. Precauciones generales de seguridad de laboratorio relativas al análisis de micotoxinas (Anexo 7)

C. Módulo 3

1. Análisis financiero. El análisis financiero del secador de maíz se realizará en base a la identificación de la cantidad de maíz que se perdía en la cosecha anual debido al mal secado del mismo y pérdidas por la contaminación de hongos. Para el escenario planteado de cultivo, este maíz que antes formaba parte de la pérdida, será un nuevo ingreso al total de los ingresos anuales de maíz. La fórmula que permite identificar el nuevo ingreso del maíz es:

Nuevo ingreso de maíz

$$= \text{Unidades de maíz perdido} * \% \text{ autoconsumo} * \text{precio del maíz} \\ + \text{Unidades de maíz perdido} * \% \text{ venta} * \text{precio del maíz}$$

A su vez, debido a que el secador de maíz no se está aprovechando toda su capacidad con los nuevos ingresos, se planteará el escenario en donde el lugar de instalación del secador de maíz cuente disponible con la opción de ser utilizado por otros agricultores para que puedan hacer uso del secador durante los meses de cosecha, secando el maíz que antes era pérdida también.

De parte del área administrativa, se propuso realizar un análisis y evaluación de la situación que rodea el entorno del secador de maíz, para identificar puntos en donde se necesite un refuerzo de material para plantear y dirigir el modelo de negocio.

En el mes de enero 2016, en la semana del 18 al 22 de enero, los dos secadores elaborados en los meses de octubre, noviembre y diciembre fueron trasladados al municipio de Todos Santos Cuchumatán para ser instalados. El transporte de los secadores y el traslado de 3 de las 7 integrantes de la segunda fase del megaproyecto, junto con 3 autoridades de la Universidad de Nebraska fueron financiados por la organización SHARE y la Universidad de Nebraska.

Como se mencionó con anterioridad, el tiempo aproximado de viaje es 6 horas con 10 minutos por medio de la carretera Interamericana, por lo que el día lunes y viernes

fueron exclusivos para traslados desde la Universidad del Valle de Guatemala hasta Todos Santos Cuchumatán.

a. Lugar de instalación. El lugar de instalación en Todos Santos Cuchumatán consistió en la finca de un agricultor “Don Gabriel” que tiene altos niveles de cosecha mensuales, cosechando 100 quintales al mes. Al igual que el resto de agricultores, también existe una pérdida de maíz en la cosecha de Don Gabriel, por malas prácticas de secado de maíz.

Cuadro 4. Producción de maíz en finca de lugar de instalación en el 2015

Aspecto	Cantidad de quintales
Cosecha anual	1200
Maíz perdido	35.16
Maíz utilizable	1,164.84

A su vez, Don Gabriel cuenta con dos trabajadores que ayudan a la cosecha en su terreno, lo cual se dificultará si solo estuviera él. Los dos trabajadores son acreedores del sueldo mínimo agrícola correspondiente al año en curso.

Cuadro 5. Salarios de trabajadores de finca

Trabajador	Cantidad	Salario mínimo	Bonificación incentivo	Total de salario
Ayudante agrícola de campo	2	Q 2,497.04	Q 500.00	Q 5,494.08

A su vez, el maíz cosechado en la finca de Don Gabriel no es exclusivo para el autoconsumo, ya que el 1.09% es para autoconsumo y el 98.91% es para venta.

a. Situación del maíz en lugar de instalación. Para el año 2015 se obtuvo en promedio que en la región occidente del país el precio del maíz tuvo un precio de Q135.00 el quintal. Por su parte, en el año 2014 se estimó un precio promedio de Q132.00 por quintal, con lo cual se estimó que el porcentaje de crecimiento del precio del maíz es del 2.27% en por año. En base al estimando mencionado, se proyectó el precio del quintal de maíz para el municipio Todos Santos Cuchumatán hasta el año 2021.

Cuadro 6. Proyección del precio del quintal de maíz

Año	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Precio del maíz	Q 132.00	Q 135.00	Q 138.07	Q 141.21	Q 144.42	Q 147.70	Q 151.05	Q 154.49

b. Proyección de aumento de cosecha de maíz. Según el MAGA, la cosecha estimada para el año 2016 a nivel de territorio Nacional es de 40, 891,100 quintales de maíz y en el 2015 se obtuvo una cosecha preliminar de 40,008,7000 quintales de maíz. A su vez, se obtuvieron los siguientes datos de cosecha de maíz desde el año 2008 al 2014.

Cuadro 7. Cosecha de maíz del 2008 al 2016 a nivel Nacional

Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Cantidad de quintales de maíz	35,239,409	37,954,987	35,842,974	36,117,212	36,932,600	37,995,900	39,576,500	40,008,700	40,891,100

A partir del cuadro anterior se calculó el porcentaje de crecimiento de la cosecha de maíz a nivel nacional para tener la proyección de cuánto sería la cosecha a nivel nacional hasta el 2021. Se obtuvo que el porcentaje de crecimiento de la cosecha a nivel nacional fue de 2.52%.

Cuadro 8. Proyección de cosecha de maíz del 2017 al 2021 a Nivel Nacional

Año	2017	2018	2019	2020	2021
Cantidad de quintales de maíz	41,919,683	42,974,138	44,055,118	45,163,289	46,299,335

Como se estableció con anterioridad, la cosecha en Todos Santos Cuchumatán y Chiantla en el año 2014 fue de 7,767 quintales de maíz, lo cual representa de toda la cosecha nacional de maíz del 2014 el 0.0196%, con lo cual se estimó la cosecha de Todos Santos Cuchumatán y Chiantla del 2015 al 2021.

Cuadro 9. Proyección de cosecha de maíz del 2016 al 2021 de Todos Santos Cuchumatán y Chiantla

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Producción Todos Santos Cuchumatán y Chiantla	8,162.66	8,367.98	8,578.47	8,794.26	9,015.47	9,242.25

A su vez, en el año 2014 la cosecha en el lugar donde se instalaron los secadores piloto, la finca de Don Gabriel, se cosecharon aproximadamente 800 quintales de maíz, lo cual representa el 15.45% de toda la cosecha de Todos Santos Cuchumatán y Chiantla. A partir de dicho porcentaje que representa la cosecha de Don Gabriel, se calculó la proyección de la cosecha de él hasta el 2021. A su vez, como se mencionó en el Cuadro 3, la pérdida de la cosecha de Don Gabriel representa el 2.93% de la cosecha, con lo cual también se estimó el maíz que se perderá de la cosecha de Don Gabriel del 2016 al 2021.

Cuadro 10. Proyección de cosecha de maíz del 2016 al 2021 de la finca

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Producción Don Gabriel en quintales de maíz	1261	1293	1325	1359	1393	1428
Pérdida de Don Gabriel en quintales de maíz	25	25	26	27	27	2788

Como se mencionó con anterioridad, también se trabajará un escenario donde se alquilará el secador de maíz, para aprovechar más la capacidad de secador. Para ello se planteó alquilar el secador de maíz a las personas del municipio de Chiantla que también tienen pérdida de maíz. En el cuadro 10 se muestran las proyecciones de lo que el secador de maíz secará por medio del alquiler, proveniente del resto de pérdida de Chiantla.

Cuadro 11. Proyección de cosecha de maíz del 2016 al 2021 del resto de agricultores de Chiantla

	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Proyección de resto de agricultores en quintales de maíz.	7322	7506	7695	7888	8087	8290
Pérdida del resto de agricultores en quintales de maíz	215	220	225	231	237	243

Inicialmente se planteó el escenario donde se iba a trabajar con dos secadores de maíz, ya que los trabajaron dos departamentos de Ingeniería de Ciencias de Alimentos

e Ingeniería Mecánica, sin embargo, al momento de la implementación del mismo no se llevó a cabo con éxito la implementación del secador híbrido de maíz por lo que no fue tomado en cuenta en la presentación de resultados.

c. Estado de resultados para instalación del secador de maíz de la prueba piloto. A partir de las proyecciones de las cosechas maíz previamente mencionadas y del precio del quintal de maíz, se propone un modelo de estado de resultados en el cual se toman en cuenta los ingresos con los secadores y los egresos que generan los secadores.

d. Ingresos. Los ingresos del estado de resultados son los nuevos ingresos propuestos con la ecuación de los nuevos ingresos.

e. Egresos. Los egresos del modelo de estado de resultados se encuentran compuestos por el mantenimiento de los dos secadores, la merma del maíz, lo cual representa el porcentaje de eficiencia de los dos secadores y los salarios de los dos empleados de la finca de instalación. A su vez, también se encuentra el material que conlleva secar el maíz, como la leña a agregar a la malla de secado y la electricidad utilizada por el ventilador del secador de 2 hp.

f. Flujo de caja del secador de maíz. En este libro contable se refleja durante el período de 5 años, por medio de una revisión anual, cual es el flujo de caja (con todos los ingresos y egresos), para identificar si se están teniendo más ingresos o egresos netos, junto con la determinación de la VAN, TIR y período de recuperación.

g. Balance general. Este libro contable será de utilidad para demostrar cuales son los activos, pasivos y capital contable que cuenta el modelo de negocio del secador de maíz, sobre los cuales se permite identificar aspectos importantes sobre el retorno de la inversión y el impacto que tiene la misma sobre los bienes que cuenta el lugar de instalación del secador.

2. Análisis Administrativo. A su vez, se trabajará un análisis administrativo del modelo de negocio del secador del maíz, que permitirá identificar distintos factores y actores que forman parte del entorno que rodea la implementación de los secadores de maíz.

a. Análisis PESTEL. El análisis PESTEL permitirá tener una visión holística de los factores económicos, políticos, legales, tecnológicos y culturales que afectan el entorno que rodea el producto, también permitirá relacionar la percepción que tienen algunas personas sobre el secador para predecir el impacto que tendrá en la comunidad.

b. Análisis de responsabilidad social. Permitirá identificar los principales ejes de responsabilidad empresarial que afectarán al secador de maíz, junto con las sugerencias de acciones que se deben de tomar en los mismos para que la implementación del secador cumpla acciones de los ejes de responsabilidad social.

c. Análisis de Fortalezas, Oportunidades, Amenazas y Debilidades (FODA). Este análisis de las fuerzas que rodean al secador de maíz es importante de realizar ya que permite identificar en un plazo futuro que se puede maximizar y que planes se deben de preparar de manera preventiva para los daños que pueden llegar a surgir o bien de las oportunidades que se pueden maximizar y aprovechar.

d. Descriptores de puesto de trabajadores de las empleados que trabajan en el negocio del maíz. A pesar que las personas que manejan y cosechan maíz lo han hecho desde muy corta edad y fue una actividad con la que crecieron, se requieren ciertas aptitudes tanto de cosecha como de administración económica que las personas puedan cumplir. De la mano de la descripción de las aptitudes se encuentra el salario el cual se debe de pagar arriba o igual que el salario mínimo, sin embargo, en el área rural muchas veces esto no se cumple, por lo que diseñará un puesto de trabajo para los agricultores que permita también que tengan funciones de venta. A su vez, se trabajará la descripción de las personas que trabajaran la parte operativa del secador y serán los encargados de la ejecución del mismo.

VI. RESULTADOS

A. Módulo 1

1. Capacidad de secado

Cuadro 12. Capacidad de secado del sistema obtenida en base a dimensiones y flujo de aire para maíz desgranado y en mazorca

Disposición del maíz en el interior	Capacidad de secado (m ³ /min*ton)
En mazorca	0.44
Desgranado	0.12

2. Evaluación del secador tipo STR en “San Antonio Las Nubes”, Huehuetenango con maíz desgranado y en mazorca

Cuadro 13. Resumen de temperaturas, humedad relativa y humedad del maíz durante el análisis de maíz en mazorca

Datos	Temperaturas (°C)						Datos ambientales		Malla con maíz			
	1	2	3	4	5	6	Temperatura (°C)	HR (%)	7	8	HR en 7 (%)	HR en 8 (%)
Promedio	520.61	58.96	51.44	29.48	36.08	41.88	16.39	58.92	54.62	33.04	10.97	30.82
Desviación Estándar	209.15	12.17	10.79	4.73	4.33	6.04	1.61	6.26	10.40	4.54	5.38	6.62
Máximo	826.00	77.20	66.70	37.00	44.60	50.80	19.50	71.50	71.80	40.70	22.50	38.75
Mínimo	243.10	43.60	33.80	20.80	27.50	30.09	13.00	48.30	40.68	28.18	4.80	19.61

Los puntos indicados anteriormente son los siguientes:

1. Chimenea
2. Entrada de ducto (salida de cámara de combustión)
3. Salida del ducto (entrada a STR)
4. Parte superior STR
5. Parte media STR
6. Parte baja STR
7. Temperatura del cilindro interno (°C)
8. Temperatura del cilindro externo (°C)

Cuadro 14. Resumen de temperaturas, humedad relativa y humedad del maíz durante el análisis de maíz desgranado

Datos	Temperaturas (°C)						Datos ambientales		Malla con maíz			
	1	2	3	4	5	6	Temperatura (°C)	HR (%)	7	8	HR en 7 (%)	HR en 8 (%)
Promedio	343.9	95.08	82.65	27.1	34.3	24.2	19.48	45.48	74.06	24.96	4.86	84.52
Desviación Estándar	111.30	19.59	15.22	3.19	8.09	3.30	1.15	3.30	11.42	4.33	3.02	5.34
Máximo	592.00	127.30	106.40	31.00	45.20	27.60	21.40	49.20	86.90	28.92	12.70	90.30
Mínimo	211.40	57.20	57.20	19.50	20.20	17.70	17.60	38.20	49.49	16.25	1.57	76.72

Los puntos indicados anteriormente son los siguientes:

1. Chimenea
2. Entrada de ducto (salida de cámara de combustión)
3. Salida del ducto (entrada a STR)
4. Parte superior STR

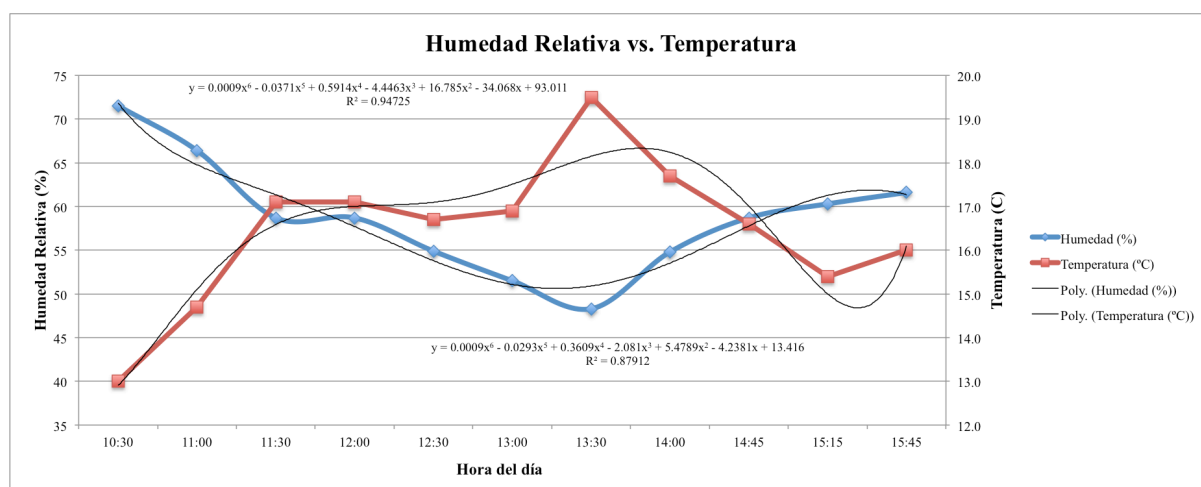
5. Parte media STR

6. Parte baja STR

7. Temperatura del cilindro interno (°C)

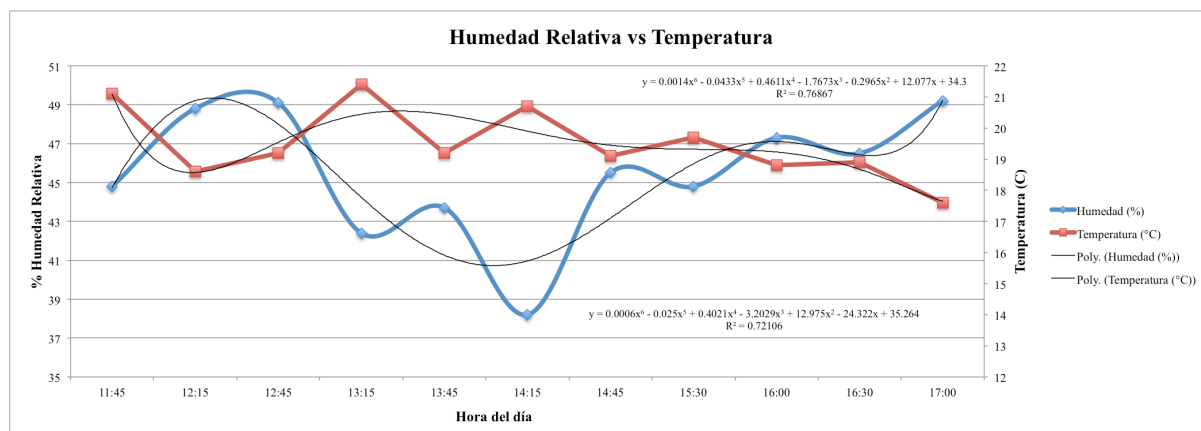
8. Temperatura del cilindro externo (°C)

Gráfico 2 Comparación entre Humedad y Temperatura en “San Antonio Las Nubes”, Huehuetenango. Día 1 de pruebas.



En el gráfico anterior se muestra una comparación entre la humedad relativa (%) y la temperatura ambiente (°C) de “San Antonio Las Nubes”, Huehuetenango el 20 de enero de 2016, fecha en la que fue evaluado el secador con maíz en mazorca.

Gráfico 3. Comparación entre Humedad y Temperatura en “San Antonio Las Nubes”, Huehuetenango. Día 2 de pruebas.



En el gráfico anterior se muestra una comparación entre la humedad relativa (%) y la temperatura ambiente (°C) de “San Antonio Las Nubes”, Huehuetenango el 21 de enero de 2016, fecha en la que fue evaluado el secador con maíz desgranado.

Gráfico 4. Comparación de temperaturas en el sistema para secado de maíz en mazorca.

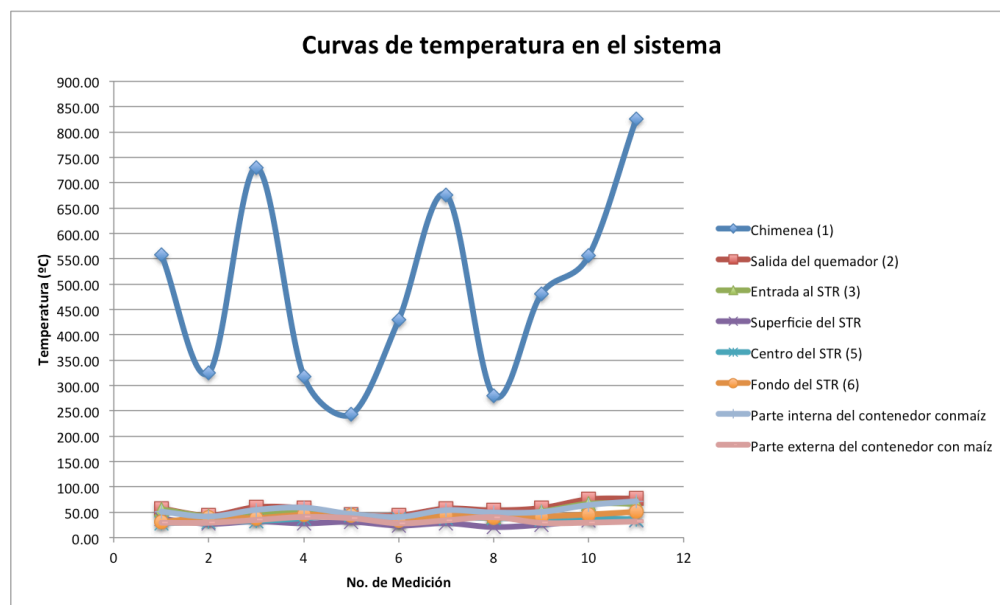


Gráfico 5. Comparación de temperaturas en el sistema para secado de maíz desgranado.

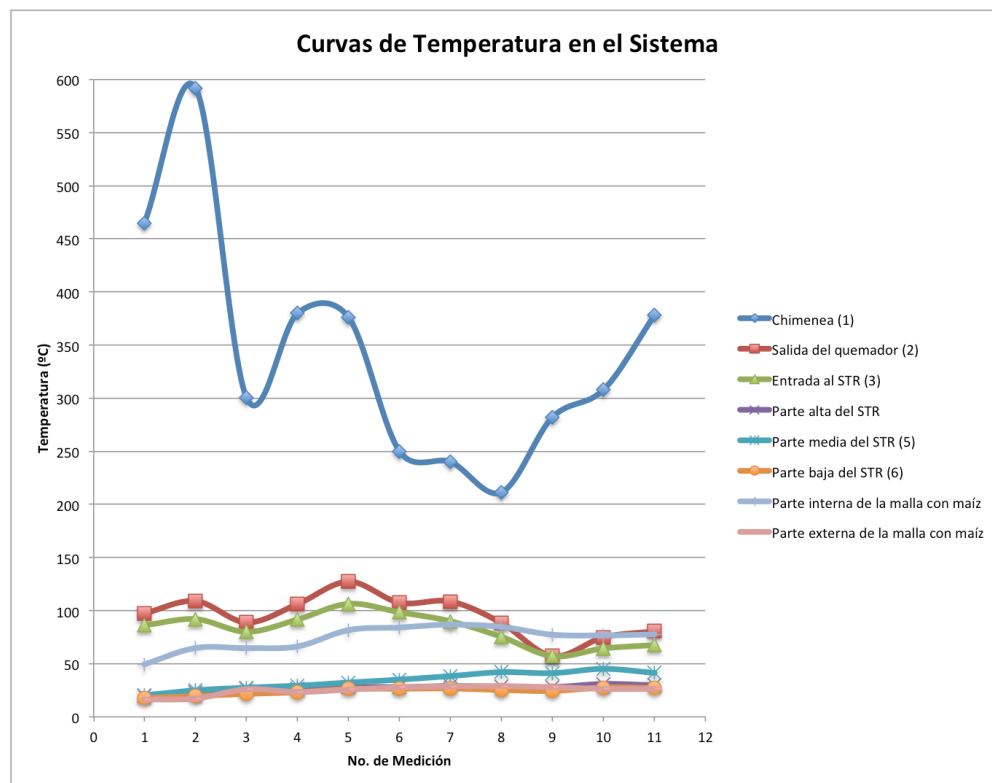


Gráfico 6. Comparación de temperaturas dentro del sistema STR y ducto flexible en corrida de maíz en mazorca

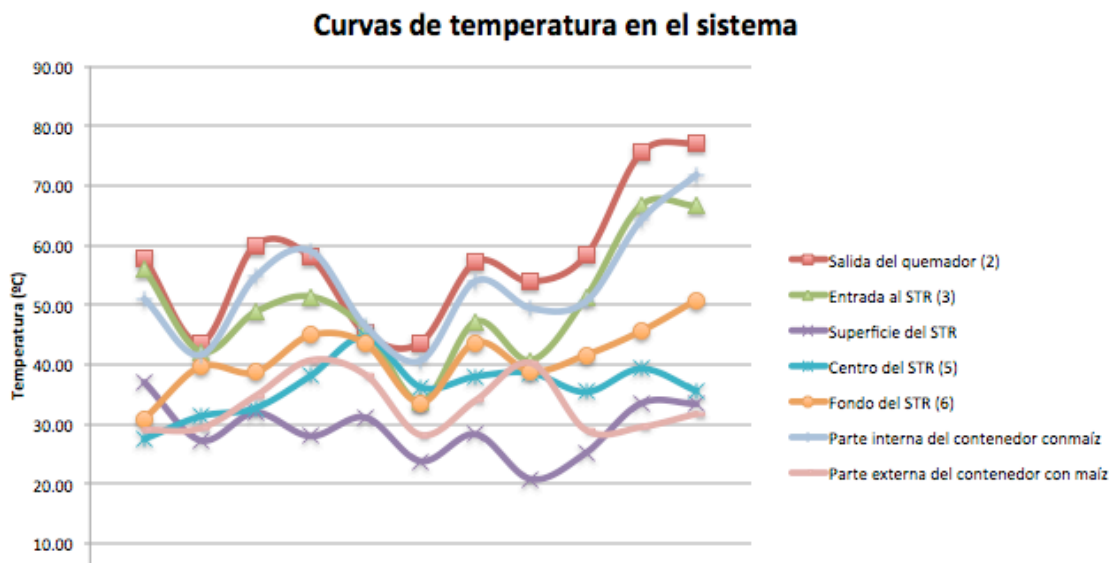


Gráfico 7. Comparación de temperaturas dentro del sistema STR y ducto flexible en corrida de maíz desgranado

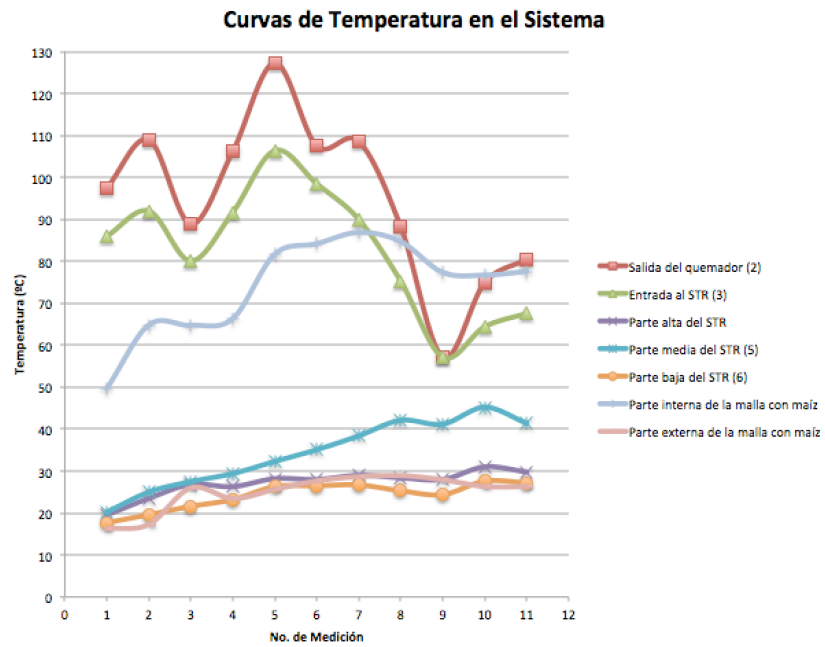
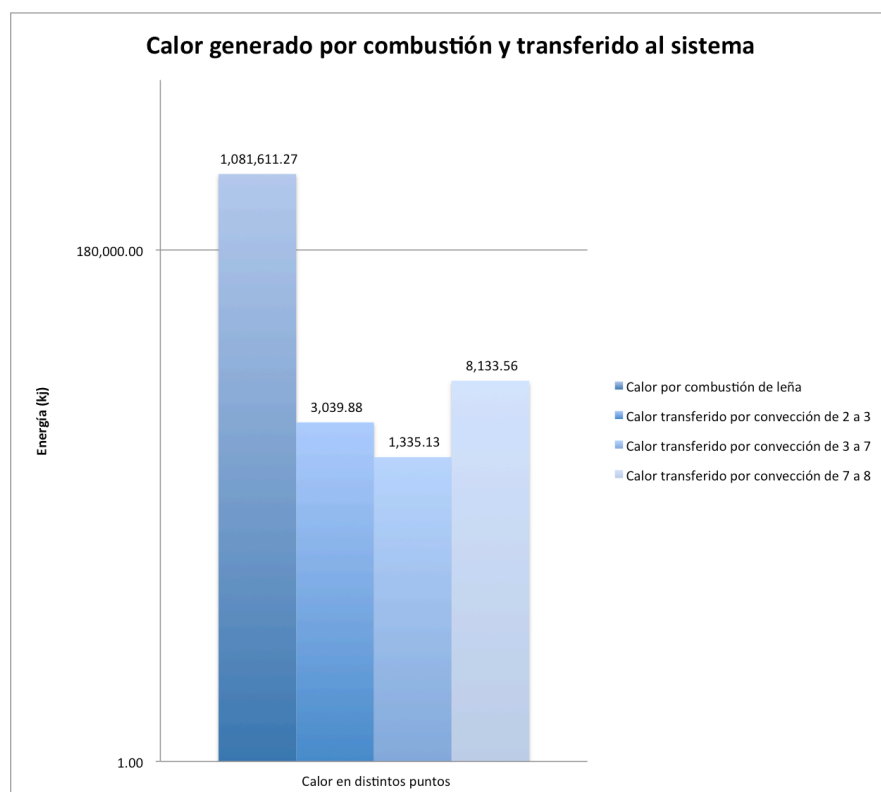


Gráfico 8. Comparación entre el calor generado por la combustión de leña y el calor transferido por convección en el secador con maíz en mazorca.

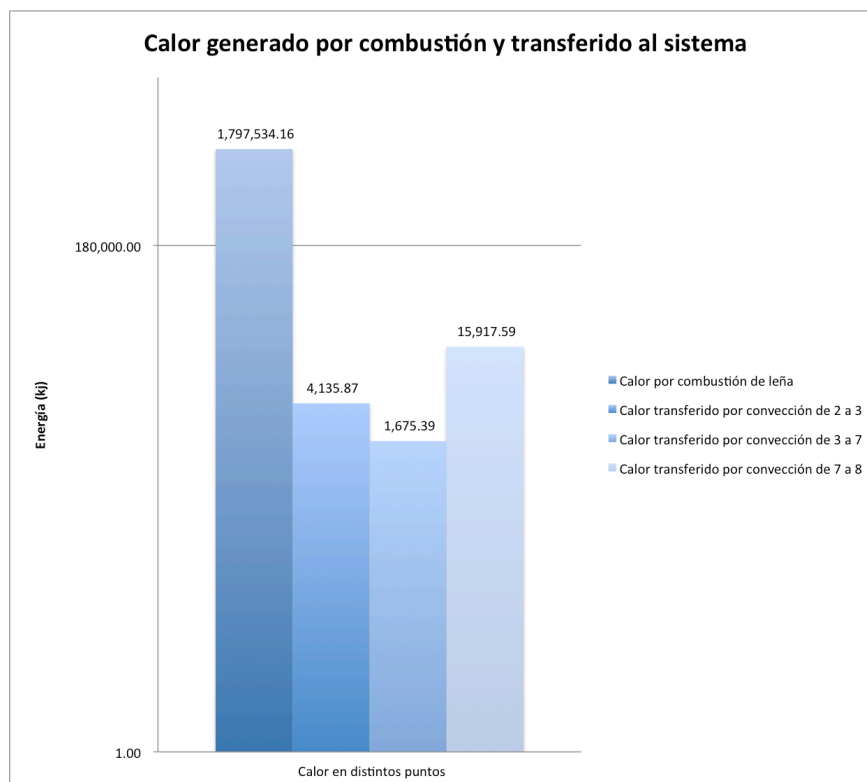


El gráfico anterior muestra la diferencia entre el calor generado por la combustión de leña dentro de la cámara de combustión y el calor transferido por convección dentro del secador, con lo cual se puede obtener la eficiencia del secador.

Los puntos indicados anteriormente son los siguientes

- 2. Entrada de ducto (salida de cámara de combustión)*
- 3. Salida del ducto (entrada a STR)*
- 7. Temperatura del cilindro interno (°C)*
- 8. Temperatura del cilindro externo (°C)*

Gráfico 9. Comparación entre el calor generado por la combustión de leña y el calor transferido por convección en el secador con maíz desgranado.



El gráfico anterior muestra la diferencia entre el calor generado por la combustión de leña dentro de la cámara de combustión y el calor transferido por convección dentro del secador, con lo cual se puede obtener la eficiencia del secador.

Los puntos indicados anteriormente son los siguientes

- 2. Entrada de ducto (salida de cámara de combustión)*
- 3. Salida del ducto (entrada a STR)*
- 7. Temperatura del cilindro interno (°C)*
- 8. Temperatura del cilindro externo (°C)*

Cuadro 15. Eficiencia del secador para pruebas con maíz en mazorca y desgranado

Disposición del maíz dentro del secador	Eficiencia (%)
En mazorca	0.75
Desgranado	0.89

La eficiencia del secador fue obtenida a partir de la relación del calor generado por combustión de la leña y el calor transferido al sistema al punto 8 (parte interna del cilindro externo) que contiene el maíz en el extremo más cercano al ambiente.

Cuadro 16. Cantidad de leña utilizada para prueba con maíz en mazorca y prueba de maíz desgranado

Disposición de maíz dentro del secador	Promedio de leña utilizada por hora (lb/h)	Desviación estándar
En mazorca	31.90	0.12
Desgranado	83.62	69.28

Cuadro 17. Velocidad de secado del secador tipo STR para maíz en mazorca y maíz desgranado

Disposición del maíz dentro del secador	Promedio de velocidad de secado (% de humedad de maíz/h)	Desviación estándar de los datos obtenidos
En mazorca	0.58	1.56
Desgranado	0.80	0.81

Cuadro 18. Estimación de tiempo y cantidad de leña requerida para secar el maíz hasta un porcentaje adecuado para su almacenamiento

Disposición del maíz dentro del secador	Horas requeridas	Humedad final (%)	Libras de leña necesarias
En mazorca	19	13.92	638.10
Desgranado	11	13.41	919.82

Estas estimaciones se hicieron a partir de una humedad inicial de 25% para cada tipo de disposición del maíz dentro del secador.

B. Módulo 2

1. Alturas muestreadas. En el Cuadro 19 se presentan los lugares en donde se muestreo con sus respectivas alturas en los municipios de Chiantla y Todos Santos Cuchumatán. Es importante que en todos los lugares muestreados el maíz corresponde a la cadena 1, es decir a maíz cultivado por los agricultores. Como se muestra en el cuadro las alturas fueron clasificadas como variables categóricas A, B y C donde A es a más de 2700msnm, B de 1500 a 2700msnm y C de 0 a 1500msnm.

Cuadro 19. Altura de las comunidades donde se muestreo

Municipio	Comunidad	Altura (msnm)	Clasificación
Chiantla	Cumbre La Botija	3267	A
	San José Las Flores	2373	B
	San Antonio Las Nubes	2599	B
Todos Santos Cuchumatán	Tres Cruces	2300	B
	Tuibocho	1565	C

2. Datos de la calidad microbiológica de las muestras de maíz

Cuadro 20. Datos de las muestras de maíz para la determinación de la calidad microbiológica con respecto a las diferentes alturas y tipos de almacenado los

municipios de Chiantla y Todos Santos Cuchumatán en el departamento de Huehuetenango, Guatemala.

Cuadro 20. Resultado de las variables evaluadas para cada muestra

Altura	Tipo de almacenar	Tiempo de almacenar (días)	Porcentaje de humedad (%)	Conteo de hongos [log(UFC/g)]	Conteo de levaduras [log(UFC/g)]	Concentración fumonisinas (ppm)	Concentración Aflatoxinas (ppb)
C	Varios	0	16.03	6.81	3.42	0.89	0.00
B	Varios	0	25.17	4.97	5.75	0.00	0.00
B	Varios	0	16.3	5.00	5.94	0.22	0.00
B	Varios	0	16	5.46	3.40	0.00	0.00
C	Grain Pro Bag	30	15.57	5.92	3.40	0.00	0.00
C	silo	30	15.8	5.59	3.37	0.00	0.00
C	Tonel	30	15	4.96	4.15	0.00	0.00
B	Tonel	30	15.57	5.18	4.00	0.00	0.00
B	Grain Pro Bag	30	16.03	5.56	4.58	0.00	0.00
B	Silo	30	14.83	5.41	3.75	0.00	0.00
A	Varios	0	15.5	5.08	3.96	0.00	0.00

Continuación Cuadro 20: Resultado de las variables evaluadas para cada muestra

Altura	Tipo de almacenado	Tiempo de almacenado (días)	Porcentaje de humedad (%)	Conteo de hongos [log(UFC/g)]	Conteo de levaduras [log(UFC/g)]	Concentración fumonisinas (ppm)	Concentración aflatoxinas (ppb)
A	Varios	0	16.8	5.19	3.73	0.33	5.88
B	Silo	0	15.57	6.13	5.38	0.00	2.30
B	Tonel	0	15.27	6.19	4.52	0.00	4.63
B	Grain Pro Bag	0	15.53	5.25	4.99	0.00	5.20
C	Silo	60	15.63	5.62	3.04	0.00	5.46
C	Tonel	60	15.47	6.44	3.86	0.00	6.06
C	Grain Pro Bag	60	16	6.11	3.56	0.47	6.32
C	Varios	60	14.93	5.09	4.42	0.00	5.92
B	Silo	30	15.83	5.17	3.96	0.99	0.00
B	Tonel	30	15.87	4.18	3.86	0.72	0.00
B	Grain Pro Bag	30	15.77	5.04	3.40	1.03	0.00
A	Silo	30	16.77	5.10	5.10	0.91	0.00

Continuación Cuadro 20: Resultado de las variables evaluadas para cada muestra

Altura	Tipo de almacenado	Tiempo de almacenado (días)	Porcentaje de humedad (%)	Conteo de hongos [log(UFC/g)]	Conteo de levaduras [log(UFC/g)]	Concentración fumonisinas (ppm)	Concentración aflatoxinas (ppb)
A	Grain Pro Bag	30	17	4.95	3.70	0.92	3.15
A	Tonel	30	16.23	5.47	4.43	0.65	0.00
A	Silo	30	15.6	5.85	3.82	0.65	4.30
A	tonel	30	14.73	5.85	5.10	0.62	0.00
A	Grain Pro Bag	30	15.5	5.09	5.70	0.00	0.00
B	Silo	60	15.53	5.39	3.16	0.00	0.00
B	Tonel	60	15.4	5.21	3.40	0.00	0.00
B	Grain Pro Bag	60	15.9	5.52	3.19	0.23	0.00
C	Silo	90	15.03	5.50	3.40	0.00	50.85
C	Tonel	90	15.03	5.43	3.40	0.44	8.57

Continuación Cuadro 20: Resultado de las variables evaluadas para cada muestra

Altura	Tipo de almacenado	Tiempo de almacenado (días)	Porcentaje de humedad (%)	Conteo de hongos [log(UFC/g)]	Conteo de levaduras [log(UFC/g)]	Concentración fumonisinas (ppm)	Concentración aflatoxinas (ppb)
C	Grain Pro Bag	90	15.53	5.53	3.40	0.00	5.42
B	Grain Pro Bag	60	15.93	5.99	4.00	1.60	7.61
B	Silo	60	16.23	5.69	4.43	0.00	6.71
B	Tonel	60	15.97	5.29	3.59	0.00	0.00
C	Grain Pro Bag	30	14.47	5.22	3.40	0.00	0.00
C	Silo	30	14.6	5.14	3.00	0.00	0.00
C	Tonel	30	14.93	5.68	3.40	0.00	2.30
B	Silo	60	16.13	5.37	3.40	0.00	2.56
B	Grain Pro Bag	60	15.97	5.34	3.40	0.30	0.00
B	Tonel	60	15.43	5.27	3.23	0.00	16.14
A	Grain Pro Bag	60	15.33	5.41	3.00	0.40	12.73
C	Tonel	90	14.9	4.01	3.16	0.00	5.36

Continuación Cuadro 20: Resultado de las variables evaluadas para cada muestra.

Altura	Tipo de almacenado	Tiempo de almacenado (días)	Porcentaje de humedad (%)	Conteo de hongos [log(UFC/g)]	Conteo de levaduras [log(UFC/g)]	Concentración fumonisinas (ppm)	Concentración aflatoxinas (ppb)
A	Tonel	60	15.1	5.62	3.40	0.40	0.00
A	Silo	60	15.37	5.46	3.52	0.00	2.66
A	Tonel	60	16.63	5.17	3.04	0.00	0.00
A	Silo	60	16.37	5.24	3.40	0.00	2.54
A	Grain Pro Bag	60	16.8	5.74	3.40	0.00	0.00
B	Tonel	90	15.6	6.68	3.40	0.00	0.00
B	Silo	90	15.4	5.36	3.40	0.00	0.00
B	Grain Pro Bag	90	16.67	5.84	3.40	0.00	0.00
B	Silo	90	16.2	5.76	3.40	0.00	0.00
B	Tonel	90	16.13	6.02	3.40	0.90	14.89
B	Grain Pro Bag	90	16.77	5.35	3.19	5.40	11.22
B	Tonel	90	15.77	4.99	3.05	0.80	11.36
C	Silo	90	14.37	3.70	3.17	0.00	5.83

Continuación Cuadro 20: Resultado de las variables evaluadas para cada muestra.

Altura	Tipo de almacenado	Tiempo de almacenado (días)	Porcentaje de humedad (%)	Conteo de hongos [log(UFC/g)]	Conteo de levaduras [log(UFC/g)]	Concentración fumonisinas (ppm)	Concentración aflatoxinas (ppb)
B	Grain Pro Bag	90	16.17	5.23	3.40	1.60	16.16
B	Silo	90	15.97	5.36	3.40	0.50	20.92
A	Grain Pro Bag	90	16.07	5.65	3.51	0.00	6.32
A	Silo	90	16	5.21	3.59	0.00	6.23
A	Tonel	90	15.1	5.47	3.40	0.00	6.83
C	Silo	60	14.47	5.55	3.40	0.00	6.75
C	Tonel	60	15.03	3.66	3.40	0.35	9.43
C	Grain Pro Bag	60	15.03	5.56	3.40	0.00	11.00
A	Grain Pro Bag	90	16.73	5.19	3.40	0.00	6.08
A	Tonel	90	16.4	5.55	2.18	0.00	7.16
A	Silo	90	16.67	3.14	3.40	0.00	14.83
C	Grain Pro Bag	90	14.2	3.29	3.35	0.42	13.11

Los silos son estructuras metálicas cilíndricas, son a granel y el maíz tiene que estar desgranado y no son sellados. Los toneles son estructuras plásticas donde el maíz tiene que estar desgranado y tampoco son sellados. Los Grain Pro Bag son sacos semi-herméticos.

Cuadro 21. Datos de las muestras de maíz para la determinación de la calidad microbiológica de acuerdo a los diferentes tipos de secado del grano y días de almacenamiento en el municipio de San Antonio Las Nubes de Chiantla en el departamento de Huehuetenango, Guatemala

Muestra	Días de almacenado	Tipo de almacenado	Logaritmo hongos Log(UFC/g)	Logaritmo levaduras Log(UFC/g)	Fumonisinias (ppm)	Aflatoxinas (ppb)	Humedad (%)	Tipo de secado
8	0	No	5.573	7.398	0	0	33.4	A
38	0	Varios	4.841	4.390	0.33	5.169	14.5	A
46	0	Secadora	5.829	3.776	0	5.754	14.3	B
82	30	Silo	5.686	4.016	0	0	13.93	A
83	30	Arrobera	5.385	3.315	0	0	14.47	A
84	30	Pics	6.531	3.908	0	0	14.83	A
85	30	Grain Pro Bag	6.067	4.252	0	0	14.7	A

Continuación Cuadro 21. Datos de las muestras de maíz para la determinación de la calidad microbiológica de acuerdo a los diferentes tipos de secado del grano y días de almacenamiento en el municipio de San Antonio Las Nubes de Chiantla en el departamento de Huehuetenango, Guatemala

Muestra	Días de almacenado	Tipo de almacenado	Logaritmo hongos Log(UFC/g)	Logaritmo levaduras Log(UFC/g)	Fumonisinias (ppm)	Aflatoxinas (ppb)	Humedad (%)	Tipo de secado
86	30	Tonel	5.308	4.017	0	0	14.83	A
93	30	Grain Pro Bag	5.767	5.913	0	6.973	14.47	B
94	30	Silo	6.093	3.398	0	4.739	13.73	B
95	30	Tonel	5.631	3.243	0	10.57	14.03	B
96	30	Arrobera	5.441	3.079	0	5.949	13.9	B
97	30	Pics	5.333	3.398	0	7.579	13.93	B
129	60	Silo	6.984	3.398	0.61	3.35	14.27	A
130	60	Tonel	6.027	3.398	0.25	3.404	14.63	A
131	60	Grain Pro Bag	5.973	3.398	0.3	2.573	14.83	A
132	60	Pics	5.862	3.398	0.4	3.334	14.53	A
133	60	Arrobera	5.327	3.398	0	0	12.67	A

Continuación Cuadro 21. Datos de las muestras de maíz para la determinación de la calidad microbiológica de acuerdo a los diferentes tipos de secado del grano y días de almacenamiento en el municipio de San Antonio Las Nubes de Chiantla en el departamento de Huehuetenango, Guatemala.

Muestra	Días de almacenado	Tipo de almacenado	Logaritmo hongos Log(UFC/g)	Logaritmo levaduras Log(UFC/g)	Fumonisin (ppm)	Aflatoxinas (ppb)	Humedad (%)	Tipo de secado
148	60	Pics	5.776	3.398	5.6	13.84	13.7	B
149	60	Tonel	5.459	3.398	0.73	6.883	14.13	B
150	60	Silo	6.462	3.398	3.98	7.725	14.87	B
151	60	Grain Pro Bag	4.936	3.398	0	8.236	13.97	B
152	60	Arrobera	5.753	3.398	0	6.873	13.7	B
169	90	Arrobera	4.985	3.398	0	11.34	14.6	A
170	90	Grain Pro Bag	5.274	5.154	0	0	14.83	A
171	90	Tonel	5.153	5.288	0	3.099	14.77	A
172	90	Pics	5.625	4.056	0	2.56	13.76	A
173	90	Silo	5.987	3.398	0	3.526	14.53	A
180	90	Pics	6.102	3.398	0	5.117	14.3	B

Continuación Cuadro 21. Datos de las muestras de maíz para la determinación de la calidad microbiológica de acuerdo a los diferentes tipos de secado del grano y días de almacenamiento en el municipio de San Antonio Las Nubes de Chiantla en el departamento de Huehuetenango, Guatemala.

Muestra	Días de almacenado	Tipo de almacenado	Logaritmo hongos Log(UFC/g)	Logaritmo levaduras Log(UFC/g)	Fumonisinias (ppm)	Aflatoxinas (ppb)	Humedad (%)	Tipo de secado
181	90	Silo	6.118	3.398	0	4.463	14.2	B
182	90	Tonel	5.459	3.398	0	4.873	14.1	B
183	90	Arrobera	5.379	4.154	0	7.685	14.03	B
184	90	Grain Pro Bag	5.717	3.398	0	5.792	14.23	B

De las 190 muestras totales del estudio, se trabajó para el análisis de datos con una población de 35 muestras que cumplieran con las características específicas de ser cosechadas en San Antonio Las Nubes, Chiantla; del agricultor identificado con el código I23. Secadas de manera tradicional y almacenadas por 30, 60 y 90 días y muestras secadas por medio del secador STR y almacenadas por 30, 60, y 90 días. El tipo de secado A se refiere a un secado tradicional y el Tipo de secado B utilizando el secador STR. Los recuentos de hongos y levaduras fueron transformados a logaritmo y reportados como UFC/g según el método BAM: Aerobic Plate Count de la FDA (Maturin y Peeler, 2001). La concentración de aflatoxinas (ppb) y fumonisinias (ppm) fue determinada por medio de los kits AfraStrip® de Romer Labs. El porcentaje de humedad fue tomado por el agricultor al momento de muestreo, se realizaron tres mediciones y en la tabla se presenta el promedio de estas.

3. Evaluación de los supuestos de normalidad (pruebas de normalidad, varianza constante e independencia)

Cuadro 22. Evaluación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas para los datos analizados con respecto a las distintas alturas

Prueba	Shapiro-Wilk	Bartlett	Conclusión
Criterio evaluado	Valor p		
Porcentaje de humedad (%)	6.761×10^{-15}	0.2165	Distribución no normal y varianzas homogéneas
Conteo de hongos [log(UFC/g)]	1.919×10^{-5}	0.0252	Distribución no normal y varianzas no homogéneas
Conteo de levaduras [log(UFC/g)]	1.186×10^{-10}	0.768	Distribución no normal y varianzas homogéneas
Concentración de fumonisinas	1.24×10^{-15}	1.961×10^{-11}	Distribución no normal y varianzas no homogéneas
Concentración de aflatoxinas	7.351×10^{-13}	0.0001	Distribución no normal y varianzas no homogéneas

Se determinó si los datos seguían una distribución normal o no para así poder comprobar numéricamente las diferencias en las diferentes alturas y en los distintos métodos de almacenado. Para ello se utilizó la prueba de ShapiroWilk y la prueba de Bartlett para evaluar la homogeneidad. Se estableció como hipótesis nula que los datos no cumplen con el supuesto de normalidad. Se puede observar en la segunda columna del Cuadro 7 que ninguna de las variables sigue una distribución normal ya que $p < 0.05$. En cuanto a la homogeneidad de varianzas, es decir que las varianzas sean iguales, se determinó mediante la prueba de Bartlett que si hay homogeneidad en las varianzas de

porcentaje de humedad en las diferentes alturas al igual que en el conteo de hongos ya que $p > 0.05$.

Figura 24. Diagrama de caja y bigotes de cada una de las variables medidas de cada una de las alturas estudiadas

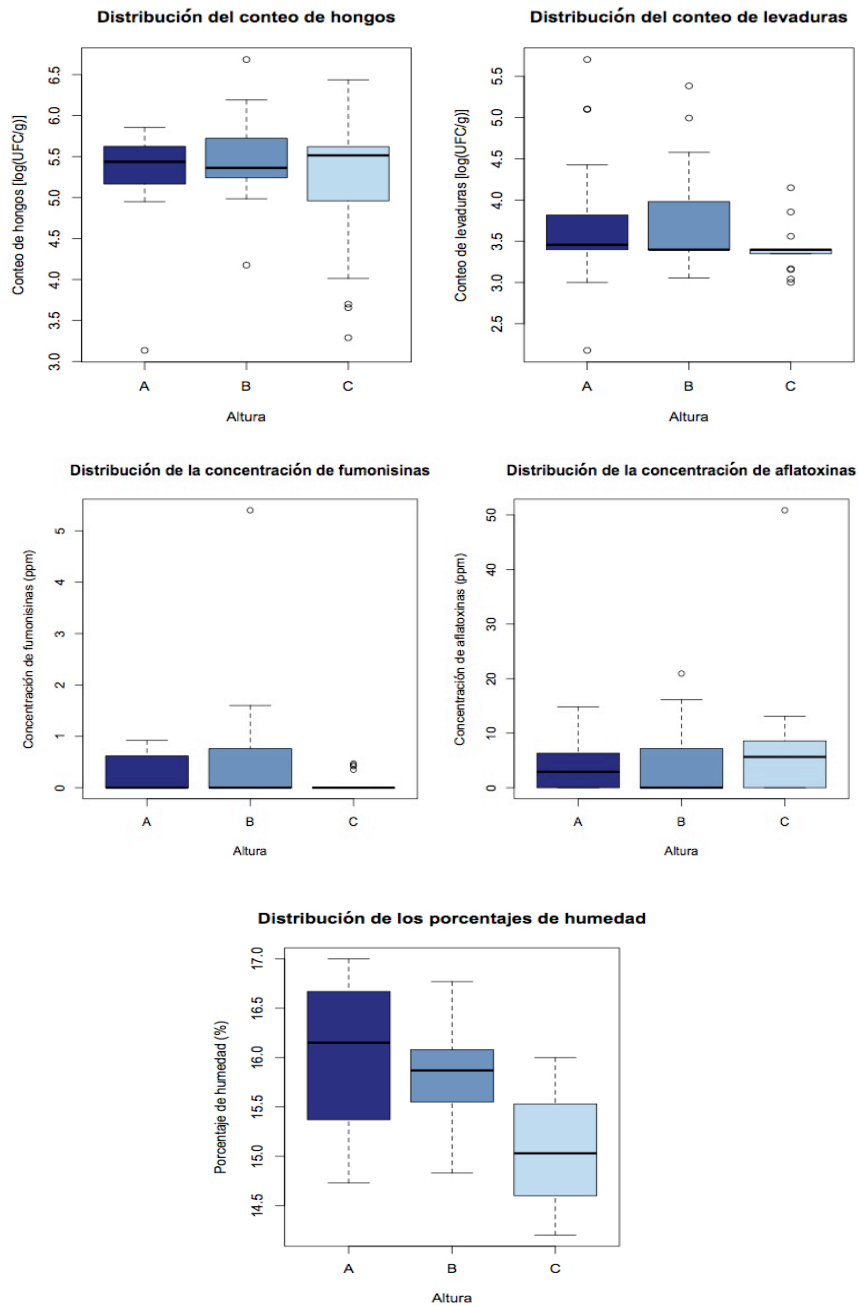
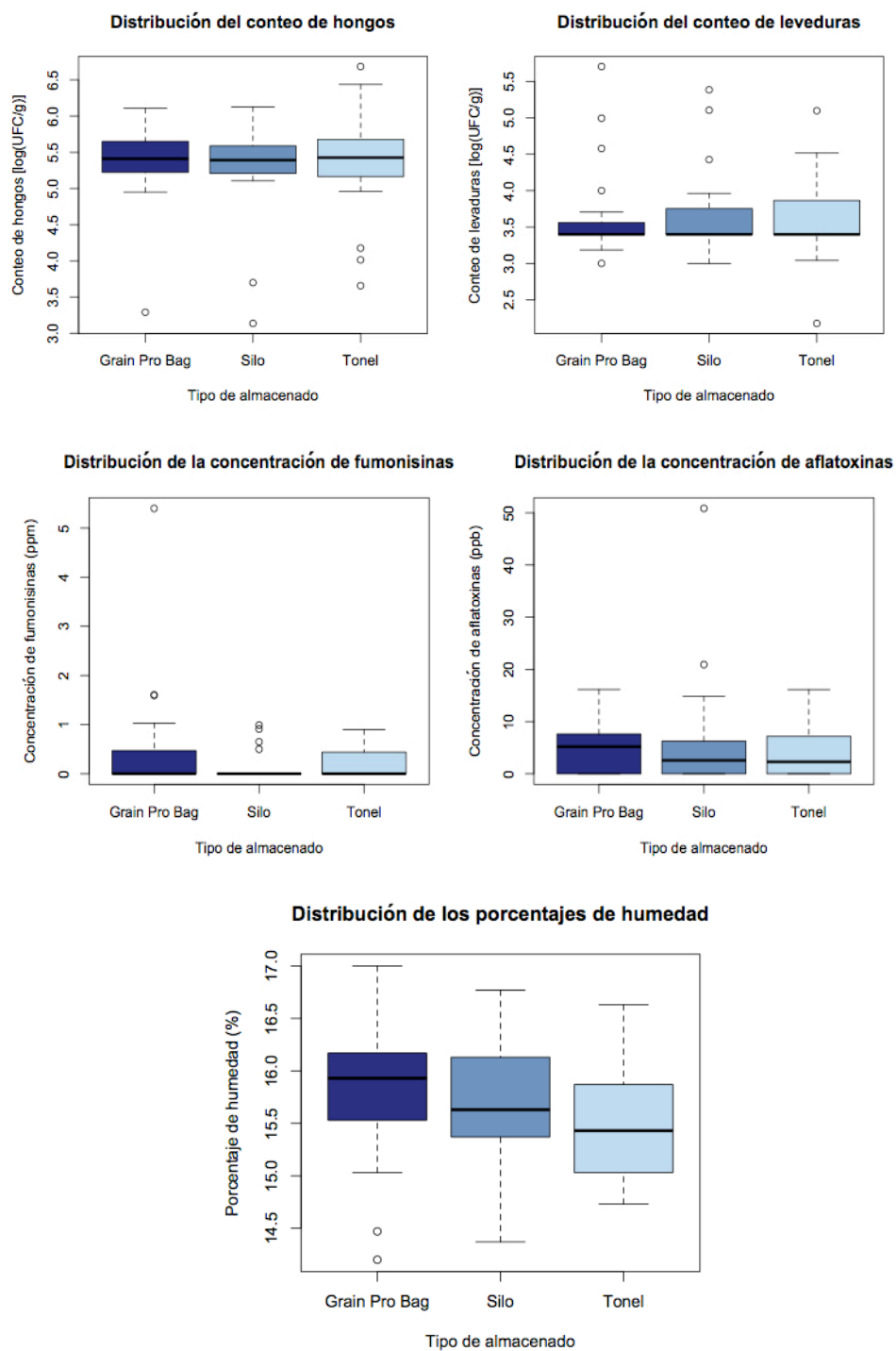


Figura 25. Diagrama de caja y bigotes de cada una de las variables medidas en los distintos tipos de almacenamiento



Además de realizar las pruebas mencionadas anteriormente para evaluar la normalidad de los datos se realizaron diagramas de caja y bigote para cada variable

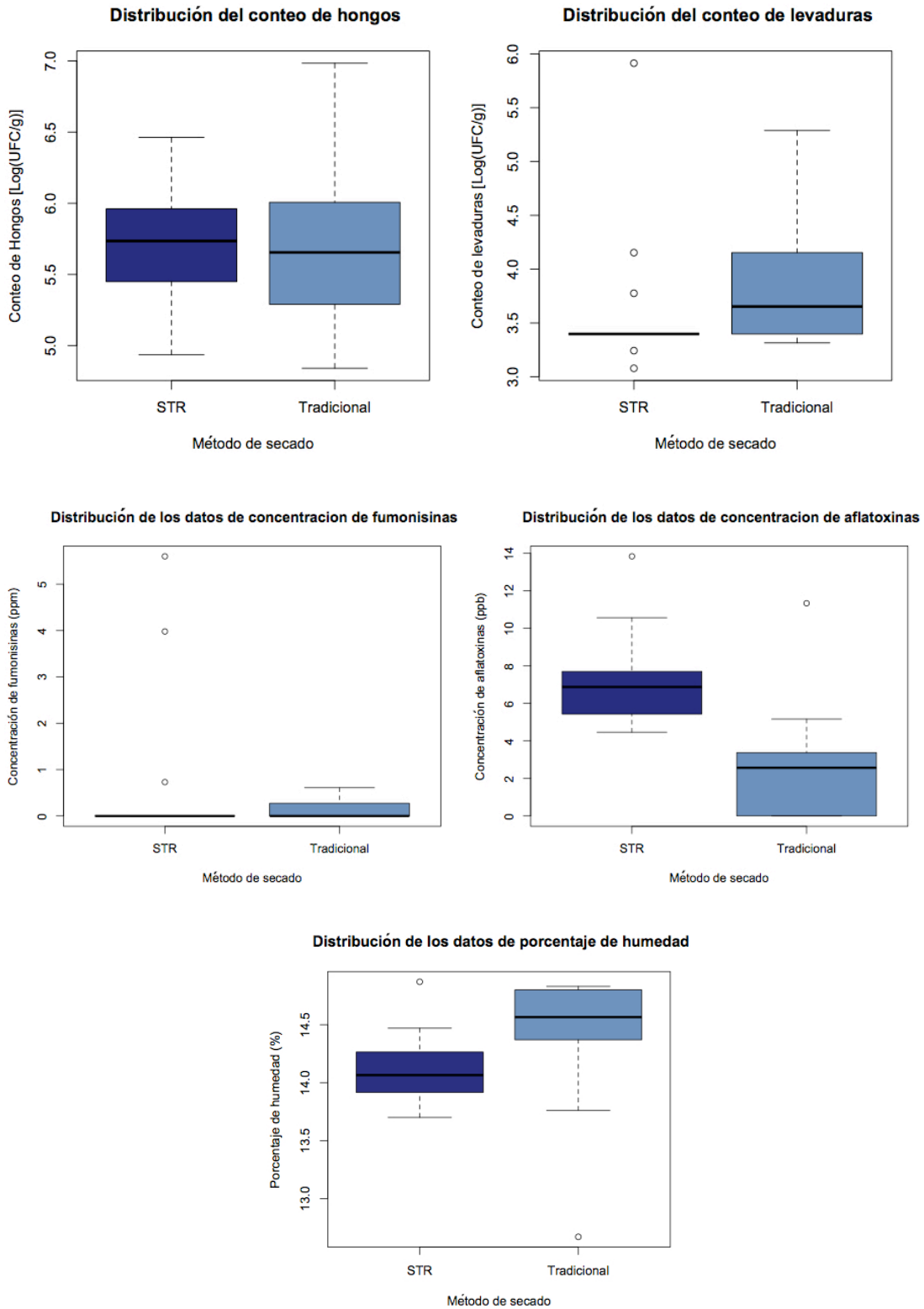
analizada con respecto la altura y al tipo de almacenamiento. Estos diagramas permiten observar a grandes rasgos la distribución de las muestras analizadas. Su objetivo es poder determinar si, junto a las pruebas anteriores, la distribución de los datos no es normal. Se llegó a la conclusión que los datos no siguen una distribución normal por lo que de este punto en adelante se realizaron pruebas no paramétricas

Cuadro 23. Evaluación de los supuestos de normalidad, independencia y homogeneidad de varianzas para los datos analizados con respecto a los dos diferentes métodos de secado de granos.

Datos analizados	Shapiro-Wilk (valor p)	Bartlett (valor p)	Conclusión
Hongos [Log(UFC/g)]	0.5805	0.1381	La distribución es normal y no se cumple la homogeneidad de varianzas e independencia
Levaduras [Log(UFC/g)]	1.23×10^{-07}	0.0590	La distribución no es normal y se cumple la homogeneidad de varianzas e independencia
Aflatoxinas (ppb)	0.0429	0.4335	La distribución no es normal y no se cumple la homogeneidad de varianzas e independencia
Fumonisinias (ppm)	6.365×10^{-11}	1.474×10^{-11}	La distribución no es normal y no se cumple la homogeneidad de varianzas e independencia
Humedad (%)	1.349×10^{-11}	1.287×10^{-14}	La distribución no es normal y no se cumple la homogeneidad de varianzas e independencia

Se determinó si el comportamiento de los datos era normal, o no, por medio de la prueba de Shapiro- Wilk, utilizando la hipótesis nula (H_0) de que: La distribución de los datos de cantidad de hongos, cantidad de levaduras, concentraciones de aflatoxinas y fumonisinias y humedad, respecto a los dos diferentes tipos de secado es normal. Se utilizó el valor de α (0.05) para compararlo con el valor P. Se utilizó como criterio de rechazo $p < 0.05$. Con la prueba de Bartlett se determinó la homogeneidad de varianzas y la independencia de los datos. Teniendo como H_0 que los datos cumplen con una varianza constante e independencia, utilizando como criterio de rechazo el valor p. Debido a que la mayoría de datos presenta una distribución que no es normal, para los siguientes análisis se realizaron pruebas no paramétricas.

Figura 26. Gráficos de caja y bigotes de los diferentes criterios evaluados según el método de secado



Por medio de estos diagramas puede observarse gráficamente la distribución de las varianzas y es una primera vista a las diferencias en cantidad de hongos, cantidad de levaduras, concentraciones de aflatoxinas y fumonisinas y humedad, según el método de secado empleado. Puede observarse que la distribución de los datos no es homogénea y que se encuentran varios datos atípicos, sobre todo en los gráficos de conteo de levaduras y en la de concentración de fumonisinas.

4. Estadística descriptiva

Cuadro 24. Estadística descriptiva para datos según la altura de muestreo

Descriptivo		Porcentaje de humedad (%)	Conteo de hongos[log (UFC/g)]	Conteo de levaduras [log (UFC/g)]	Concentración de fumonisinas (ppm)	Concentración de aflatoxinas (ppb)
A	Mínimo	14.73	3.14	2.18	0.00	0.00
	1er cuartil	15.40	5.17	3.40	0.00	0.00
	Mediana	16.15	5.44	3.46	0.00	2.21
	Media	16.02	5.29	3.73	0.25	4.05
	3er cuartil	16.66	5.61	3.79	0.57	6.30
	Máximo	17.0	5.86	5.71	0.92	14.83
B	Mínimo	14.83	4.18	3.05	0.000	0.00
	1er cuartil	15.55	5.24	3.40	0.00	0.00
	Mediana	15.87	5.36	3.40	0.00	0.00

Continuación Cuadro 24. Estadística descriptiva para datos según la altura de muestreo

Descriptivo		Porcentaje de humedad (%)	Conteo de hongos[log (UFC/g)]	Conteo de levaduras [log (UFC/g)]	Concentración de fumonisinas (ppm)	Concentración de aflatoxinas (ppb)
B	Media	15.83	5.47	3.71	0.52	4.43
	3er cuartil	16.08	5.72	3.98	0.76	7.16
	Máximo	16.77	6.68	5.36	5.40	20.92
C	Mínimo	14.20	3.29	3.00	0.00	0.00
	1er cuartil	14.68	5.00	3.36	0.00	0.57
	Mediana	15.03	5.52	3.40	0.00	5.64
	Media	15.06	5.16	3.40	0.09	7.58
	3er cuartil	15.52	5.61	3.40	0.00	8.12
	Máximo	16.00	6.44	4.15	0.47	50.85

Cuadro 25. Estadística descriptiva para datos según el tipo de almacenamiento

Descriptivo		Porcentaje de humedad (%)	Conteo de hongos [log (UFC/g)]	Conteo de levaduras [log (UFC/g)]	Concentración de fumonisinas (ppm)	Concentración de aflatoxinas (ppb)
Silo	Mínimo	14.37	3.14	3.000	0.00	0.00
	1er cuartil	15.37	5.21	3.40	0.00	0.00
	Mediana	15.63	5.40	3.40	0.00	2.57
	Media	15.64	5.27	3.64	0.15	6.28
	3er cuartil	16.13	5.59	3.75	0.00	6.23
	Máximo	16.77	6.13	5.39	0.99	50.85
Tonel	Mínimo	14.73	3.66	2.18	0.00	0.000
	1er cuartil	15.03	5.17	3.40	0.00	0.000
	Mediana	15.43	5.43	3.40	0.00	2.30
	Media	15.50	5.35	3.59	0.23	4.42
	3er cuartil	15.87	5.68	3.87	0.44	7.16
	Máximo	16.63	6.68	5.10	0.90	16.14
	Mínimo	14.20	3.29	3.000	0.00	0.00
	1er cuartil	15.53	5.22	3.40	0.00	0.00
	Mediana	15.93	5.41	3.40	0.00	5.20

Continuación Cuadro 25. Estadística descriptiva para datos según el tipo de almacenamiento.

Descriptivo		Porcentaje de humedad (%)	Conteo de hongos [log (UFC/g)]	Conteo de levaduras [log (UFC/g)]	Concentración de fumonisinas (ppm)	Concentración de aflatoxinas (ppb)
Grain Pro Bag	Media	15.86	5.37	3.66	0.59	4.97
	3er cuartil	16.17	5.65	3.56	0.47	7.61
	Máximo	17.00	6.11	5.71	5.40	16.16

En el cuadro anterior se muestra la estadística descriptiva de las variables medidas según la altura en la que fue el muestreo y según el tipo de almacenamiento que se utilizó. Estas muestran los valores mínimos, máximos, primer y tercer cuartil, la media y la mediana para las distintas alturas y los distintos tipos de almacenamiento.

Cuadro 26. Estadística descriptiva de los datos de conteo de hongos y levaduras, concentraciones de aflatoxinas y fumonisinas y porcentaje de humedad según el tipo de secado.

Tipo de secado	Dato	Hongos [Log(UFC/g)]	Levadura [Log (UFC/g)]	Aflatoxinas (ppb)	Fumonisin (ppm)	Humedad (%)
Tradicional (A)	Mínimo	4.841	3.315	0.000	0.000	12.670
	1er cuartil	5.308	3.398	0.000	0.000	14.470
	Mediana	5.625	3.908	2.560	0.000	14.600
	Media	5.682	4.093	2.256	0.111	15.530
	3er cuartil	5.987	4.252	3.350	0.250	14.830
	Máximo	6.984	7.398	11.340	0.610	33.400
Secador STR (B)	Mínimo	4.936	3.079	4.463	0.000	13.70
	1er cuartil	5.455	3.398	5.595	0.000	13.92
	Mediana	5.735	3.398	6.878	0.000	14.06
	Media	5.703	3.596	7.066	0.644	14.10
	3er cuartil	5.895	3.398	7.695	0.000	14.25
	Máximo	6.462	5.913	13.840	5.600	14.87

El cuadro anterior brinda información sobre el comportamiento de los datos. Puede observarse que la media del porcentaje de humedad es menor para los granos secados con el secador STR. El rango de conteo de hongos va desde 4.841 hasta 6.984 para el secado tradicional y de 4.936 a 6.462 para los granos con secador STR. Para el conteo de levaduras, puede observarse que se tiene un rango de 3.315 a 7.398 para el

secado tradicional y para el secado con secador STR de 3.079 a 5.913. En el caso de las micotoxinas puede observarse que ambos valores son menores al límite de consumo aceptable establecido por la FDA, que son 20 mg/kg para aflatoxinas.

5. Análisis de varianza

Cuadro 27. Prueba de Kruskal-Wallis de las variables medidas con respecto a la altura de muestreo

Prueba	Kruskal-Wallis	Conclusión
Criterio evaluado	Valor p	
Porcentaje de humedad (%)	3.64x10 ⁻⁵	Existe una diferencia significativa
Conteo de hongos [log(UFC/g)]	0.8104	No existe una diferencia significativa
Conteo de levaduras [log(UFC/g)]	0.1137	No existe una diferencia significativa
Concentración de fumonisinas	0.2248	No existe una diferencia significativa
Concentración de aflatoxinas	0.363	No existe una diferencia significativa

Debido a que no se cumplió con el supuesto de normalidad se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para probar la relación de las variables medidas tanto como con la altura de muestreo y el tipo de almacenado. Se estableció como hipótesis nula que todas las medianas de las variables son iguales. En el Cuadro 8 se pueden observar los resultados obtenidos de comparación de medianas con respecto a la altura de muestreo. Debido a que $p > \alpha$ (0.05) en todas las variables excepto humedad se rechaza la hipótesis alternativa. Por lo que se establece que no existe una diferencia entre las medias de las

variables relacionadas con la altura de muestreo. Por lo tanto únicamente existe una relación entre el porcentaje de humedad del grano con la altura en la que se muestreo y no hay diferencia en el conteo de hongos, levaduras, concentración de fumonisinas y aflatoxinas con respecto a las alturas.

Cuadro 28. Prueba de Kruskal-Wallis de cada una de las variables medidas con respecto al método de almacenado

Prueba	Kruskal-Wallis	Conclusión
Criterio evaluado	Valor p	
Porcentaje de humedad (%)	0.162	No existe una diferencia significativa
Conteo de hongos [log(UFC/g)]	0.972	No existe una diferencia significativa
Conteo de levaduras [log(UFC/g)]	0.999	No existe una diferencia significativa
Concentración de fumonisinas	0.183	No existe una diferencia significativa
Concentración de aflatoxinas	0.937	No existe una diferencia significativa

Como se mencionó anteriormente también se realizó la misma prueba para la comparación de las medinas y establecimiento de relación de las variables medidas con respecto a los tipos de almacenamiento. Se estableció como hipótesis nula que la variable respuesta es igual para cada uno de los tipos de almacenado. En el cuadro 9 se puede observar que debido a que $p > \alpha$ (0.05) en todas las variables, se establece que no existe una diferencia entre la humedad, el conteo de hongos, levaduras y la concentración de fumonisinas y aflatoxinas con respecto al método de almacenamiento.

Cuadro 29. Prueba de Kruskal-Wallis para el análisis de varianza de datos no paramétricos respecto al tipo de secado.

Dato analizado	Tipo de secado (Valor p)	Conclusión
Hongos [Log(UFC/g)]	0.5403	No existe una diferencia significativa
Levaduras [Log(UFC/g)]	0.04691	Existe una diferencia significativa
Aflatoxinas (ppb)	2.191×10^{-05}	Existe una diferencia significativa
Fumonisinias (ppm)	0.7374	No existe una diferencia significativa
Humedad (%)	0.004378	Existe una diferencia significativa

Se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis debido a que anteriormente se pudo comprobar que los datos no siguen una distribución normal, por lo que ésta prueba es una alternativa para determinar si existe una diferencia significativa entre las medianas de las dos poblaciones de secado. Como H_0 se estableció que no existe una diferencia significativa entre la cantidad de hongos y levaduras, concentración de aflatoxinas y fumonisinias y humedad entre las muestras secadas por un secado tradicional y un secador STR. Se utilizó la prueba del valor P, cuando este es menor a α (0.05) se rechaza H_0 . Como puede observarse en el cuadro anterior, existe una diferencia significativa en la cantidad de levaduras, concentración de aflatoxinas y en la humedad de granos respecto al tipo de secado empleado.

Figura 27. Gráficos de medias de cada variable según la altura. En cuanto a las alturas, la altura A corresponde a más de 2,700 msnm, la B a una altura entre 1,500 y 2,700 msnm y la C a menos de 1,500 msnm.

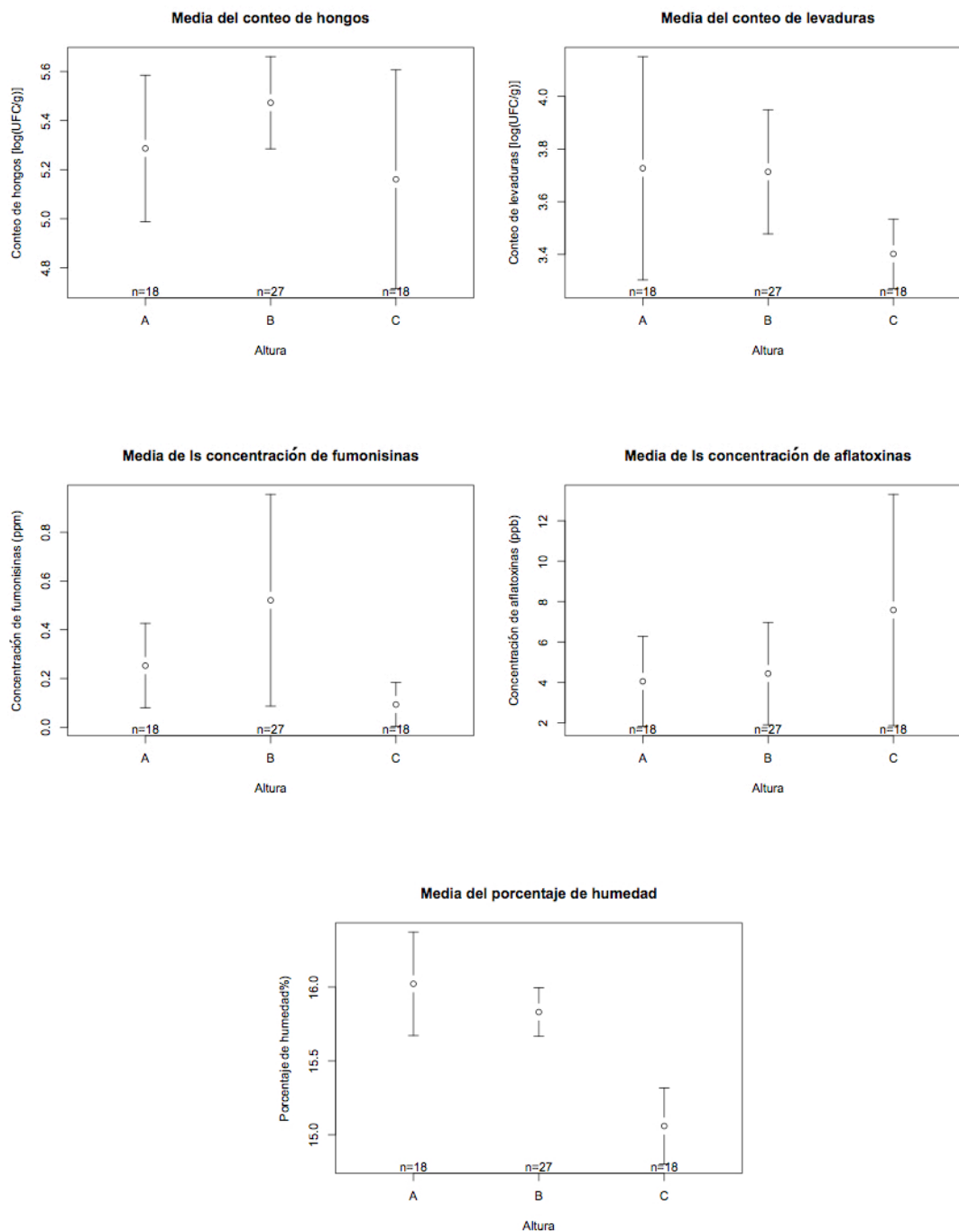
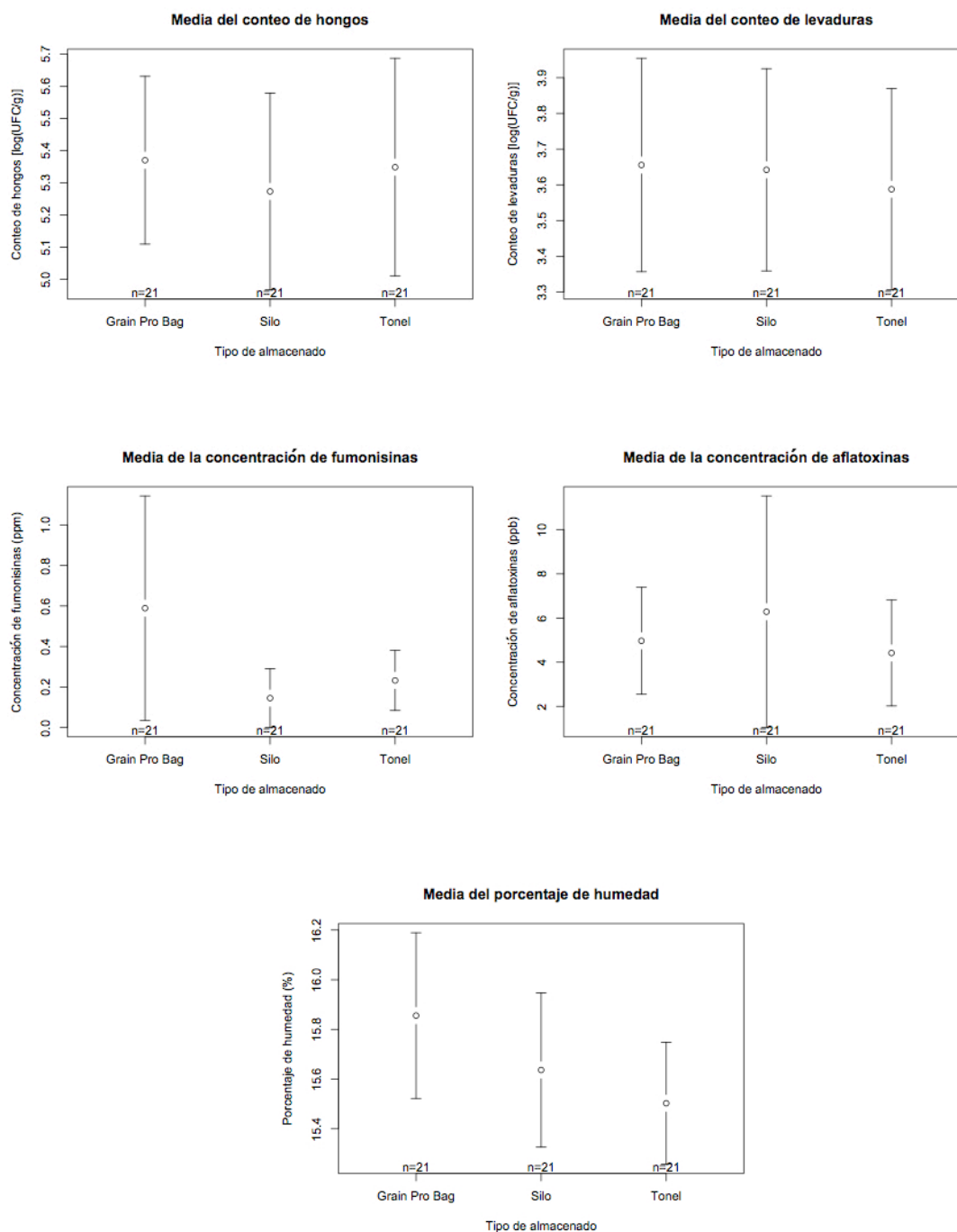
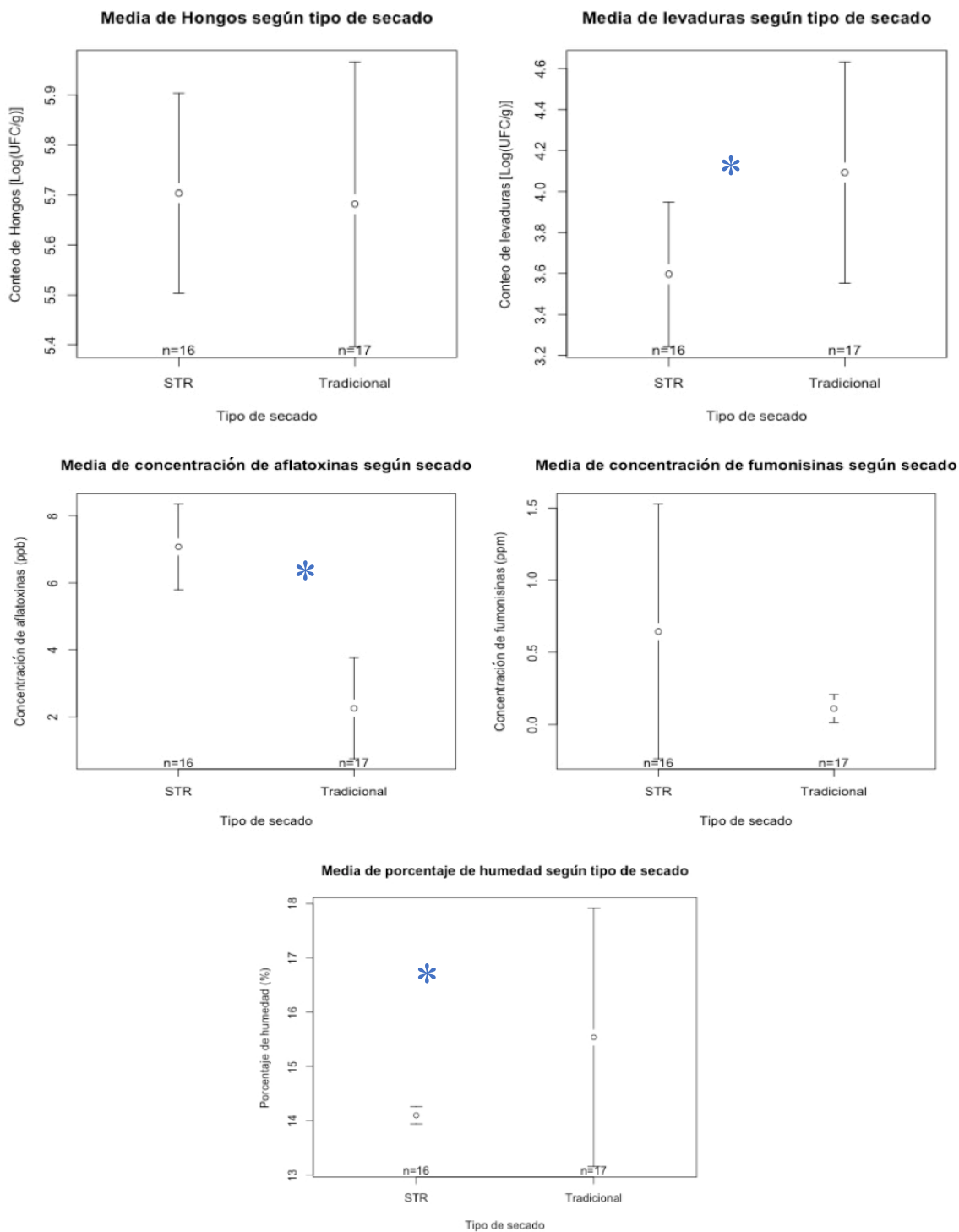


Figura 28. Gráficos de medias de cada variable según el tipo de almacenamiento. La barra de error indica un intervalo de confianza de 95%.



En las dos figuras anteriores se observan los gráficos de medias de las variables cuantificadas según la altura y el tipo de almacenado. Estas representaciones gráficas permiten diferenciar las medias de las tres diferentes alturas (Figura 25) y de los diferentes tipos de almacenado (Figura 26) con sus respectivos intervalos de confianza (95%). A pesar de que sí se logran observar diferencias a simple vista es necesario realizar una prueba estadística como una correlación de variables para lograr determinar si la diferencia entre alturas o tipos respectivamente es significativa o no. En la Figura 25 se puede observar que la altura que presenta menor porcentaje de humedad es la C, al igual que de concentración de hongos y levaduras. Mientras que para las variables de micotoxinas esta altura parece presentar menores niveles de fumonisinas, pero mayores de aflatoxinas comparado con las diferentes alturas. Por otro lado en la Figura 26 se puede observar que no existe mayor diferencia de todas las variables cuantificadas con los distintos tipos de almacenamiento por lo que es necesario hacer pruebas de correlación de variables.

Figura 29. Gráfico de medias para la cantidad de hongos, cantidad de levaduras, concentración de aflatoxinas, concentración de fumonisinas y en la humedad para los dos diferentes tipos de secado.



Ya que se determinó que existe una diferencia significativa en la cantidad de levaduras, concentración de aflatoxinas y porcentaje de humedad, fueron realizados los gráficos de medias para observar gráficamente la diferencia y su magnitud. En los gráficos puede observarse un asterisco en los que se encontró que existe una diferencia significativa. Para la cantidad de levaduras puede observarse que se encuentran en una menor cantidad en el secado con secador STR, para las aflatoxinas puede observarse que se tiene una menor concentración en el secado de manera tradicional y por último puede mencionarse que el porcentaje de humedad es menor en el secado con secador STR.

Cuadro 30. Prueba de Wilcoxon para cada una de las variables medidas con respecto a el tiempo de almacenado de datos para evaluación de almacenamiento

Prueba	Wilcoxon	Conclusión
Criterio evaluado	valor p	
Porcentaje de humedad (%)	7.65×10^{-11}	Existe una diferencia significativa
Conteo de hongos [log(UFC/g)]	7.06×10^{-12}	Existe una diferencia significativa
Conteo de levaduras [log(UFC/g)]	6.59×10^{-12}	Existe una diferencia significativa
Concentración de fumonisinas	1.41×10^{-11}	Existe una diferencia significativa
Concentración de aflatoxinas	6.44×10^{-12}	Existe una diferencia significativa

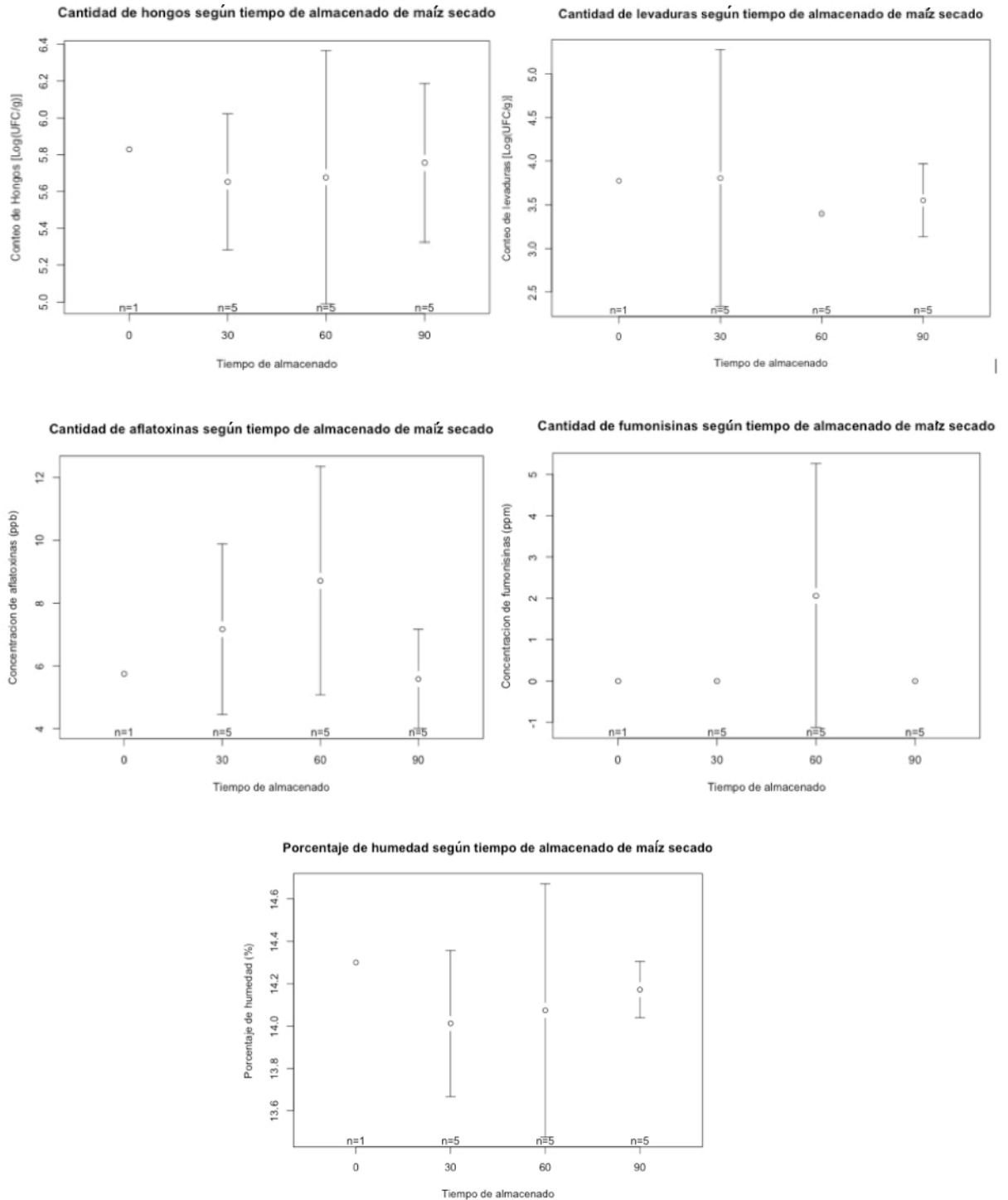
Se realizó la prueba de Wilcoxon para comparar ambas poblaciones y poder determinar si estas tienen la misma distribución. Se utilizó como hipótesis alternativa que la diferencia no es igual a cero, es decir que las distribuciones son diferentes. En el Cuadro 30 se muestran los valores obtenidos a que $p < \alpha(0.05)$ se rechaza la hipótesis nula, por lo que se establece que las distribuciones no son iguales. Por lo que el tiempo sí influye en cada una de las variables medidas.

Cuadro 31. Prueba de Wilcoxon para el análisis de datos no paramétricos respecto a los días de almacenamiento.

Dato analizado	Días de almacenamiento (Valor p)	Conclusión
Hongos [Log(UFC/g)]	6.104x10 ⁻⁰⁵	Existe una diferencia significativa
Levaduras [Log(UFC/g)]	0.0005471	Existe una diferencia significativa
Aflatoxinas (ppb)	6.104x10 ⁻⁰⁵	Existe una diferencia significativa
Fumonisininas (ppm)	0.0006552	Existe una diferencia significativa
Humedad (%)	0.0005834	Existe una diferencia significativa

Se utilizó la prueba de Wilcoxon debido a que la distribución de los datos no es normal y las categorías son numéricas. Por medio de esta se compararon las medianas de la cantidad de hongos, cantidad de levaduras, concentración de aflatoxinas, concentración de fumonisininas y porcentaje de humedad respecto a los diferentes días de almacenamiento. El objetivo fue determinar si existen diferencias entre ellas y que esta diferencia no se deba al azar. Como H_0 se estableció que no existe una diferencia significativa entre la cantidad de hongos y levaduras, concentración de aflatoxinas y fumonisininas y humedad entre las muestras almacenadas en los 0, 30, 60 y 90 días. Se utilizó la prueba del valor P, cuando este es menor a α (0.05) se rechaza H_0 . Como puede observarse en el cuadro anterior, si existe una diferencia significativa en la cantidad de hongos, cantidad de levaduras, concentración de aflatoxinas, concentración de fumonisininas y en la humedad de granos respecto al tiempo de almacenado en los granos secados por el secador STR.

Figura 30. Gráfico de medias para la cantidad de hongos, cantidad de levaduras, concentración de aflatoxinas, concentración de fumonisinas y en la humedad respecto a los diferentes días de almacenamiento.



Ya que se determinó que existe una diferencia significativa en cada día de almacenamiento respecto a la microbiota fúngica, concentración de micotoxinas y humedad, fueron realizados los gráficos de medias para observar gráficamente la diferencia y su magnitud.

6. Análisis de correlación entre humedad de granos y microbiota fúngica

Cuadro 32. Análisis de correlación del porcentaje de humedad en los granos con el conteo de microbiota fúngica y concentración de micotoxinas respecto a los diferentes tipos de secado.

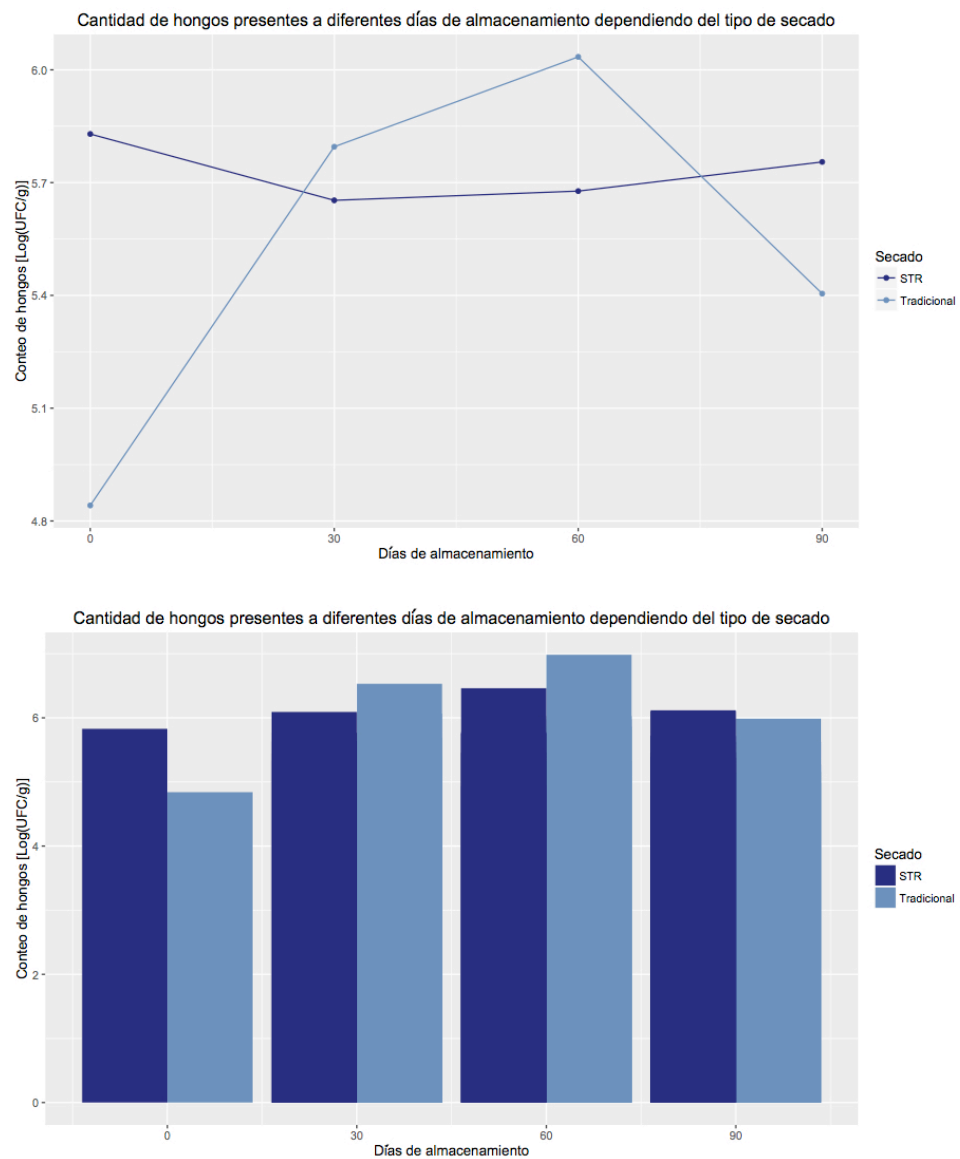
Datos analizados	Secado tradicional (valor R)	Conclusión	Secador STR (valor R)	Conclusión
Hongos [Log(UFC/g)]	-0.04	Correlación baja negativa	0.47	Alta correlación positiva
Levaduras [Log(UFC/g)]	0.82	Alta correlación positiva	0.34	Correlación media positiva
Aflatoxinas (ppb)	-0.18	Correlación baja negativa	-0.25	Correlación baja negativa
Fumonisinias (ppm)	-0.14	Correlación baja negativa	0.11	Correlación baja positiva

En el cuadro anterior pudo observarse que existe una correlación directa (positiva) y mayor entre la humedad y la microbiota fúngica. La correlación de Pearson indica la concordancia entre datos, siendo 1 y -1 una correlación exacta. El valor más alto obtenido fue de 0.82 para el conteo de levaduras, seguida por el conteo de hongos de 0.47.

7. Análisis de datos de humedad de granos y microbiota fúngica respecto al tipo de secado y días de almacenamiento

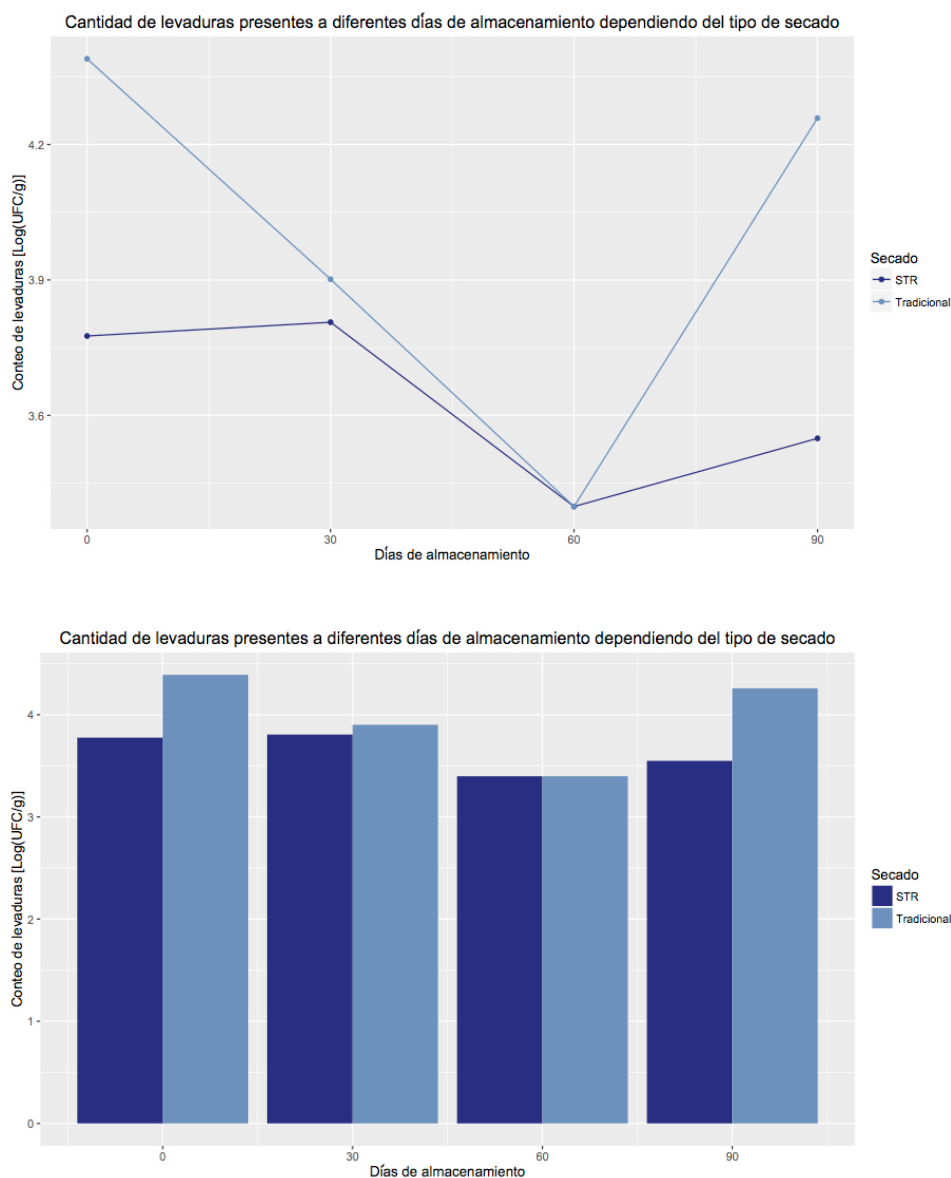
Debido a que se obtuvo una mayor correlación entre la humedad y la microbiota fúngica, se realizaron los siguientes gráficos para analizar la relación entre el tipo de secado, los días de almacenamiento y la presencia de organismos productores de toxinas.

Figura 31. Gráfico de dispersión y de barras respecto a la cantidad de hongos presentes en los granos de maíz durante los diferentes días de almacenamiento.



Para los gráficos anteriores se trabajó con 32 muestras; $n=2$ para el día 0 y $n=10$ para los días 30, 60 y 90. Puede observarse que la presencia de hongos no es constante, estos varían según el día en el que se tomó la muestra. Por medio de la Prueba de Wilcoxon, en el Cuadro 30, se determinó que la diferencia en los conteos respecto a los días de almacenamiento si es significativa (Valor p de 6.104×10^{-05}). La menor cantidad de hongos en el maíz almacenado se presentó a los 30 días de almacenamiento utilizando el secador STR, luego puede verse que el valor aumenta, que es lo que se esperaría debido a que la media de la humedad fue aproximadamente 14%. Solo se puede asegurar que la calidad del maíz se mantendrá constante y preservada cuando su humedad es menor al 12% (SAGARPA, 2000). Para el maíz secado de manera tradicional, se observa de igual manera un aumento en el conteo de hongos, sin embargo, puede notarse que este valor disminuye a los 90 días de almacenamiento. El secado tradicional no es constante, tiene muchas variaciones en el conteo de hongos. Las muestras secadas con el secador STR presentan un mayor conteo a los 90 días, pero se observa que mantienen dentro de un rango más constante la cantidad de hongos durante el proceso de almacenamiento.

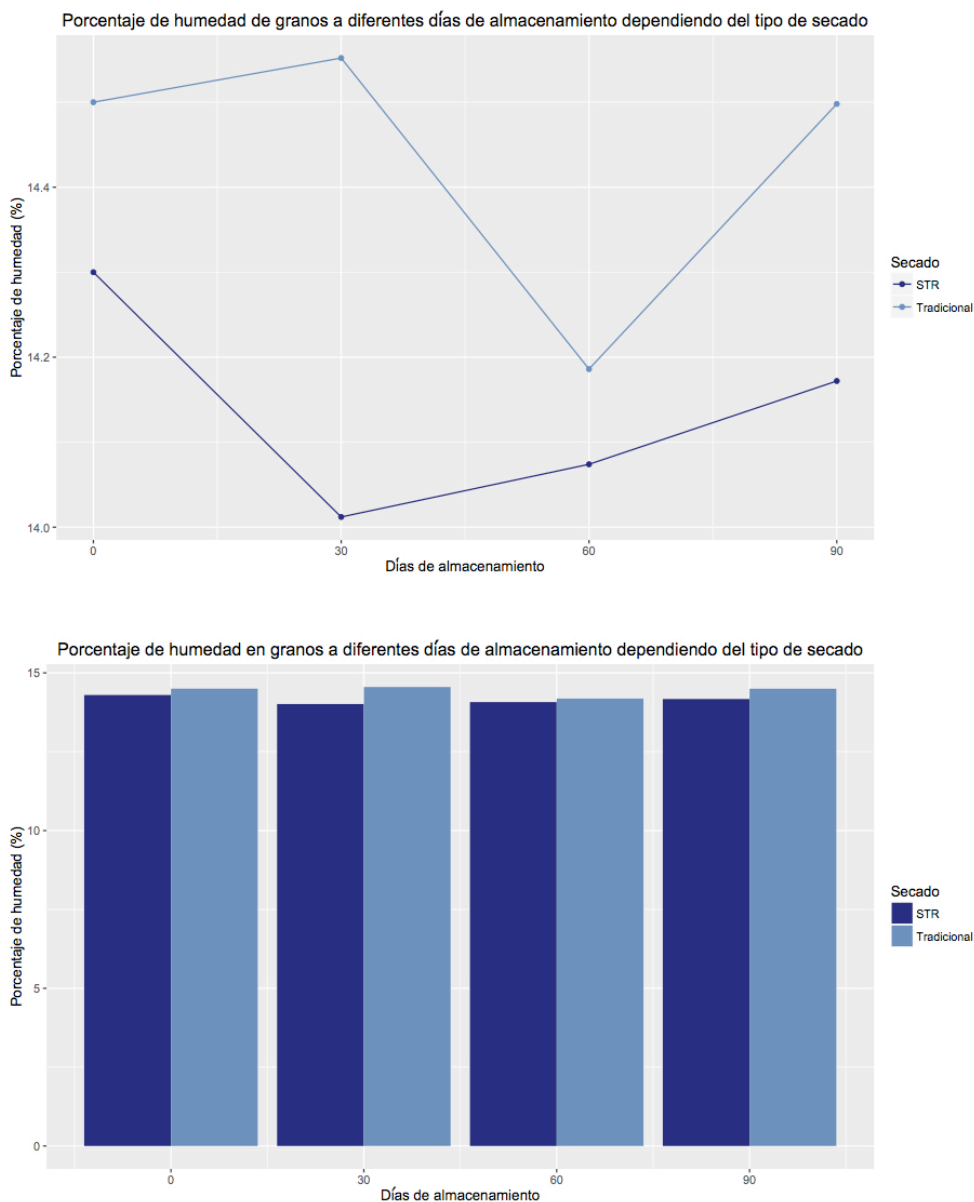
Figura 32. Gráfico de dispersión y de barras de cantidad de levaduras presentes en granos en los diferentes días de almacenamiento, respecto a los dos diferentes tipos de secado.



Para los gráficos anteriores se trabajó con 32 muestras; $n=2$ para el día 0 y $n=10$ para los días 30, 60 y 90. Puede decirse que los valores de levaduras son menores en los granos secados por el secador STR. También puede observarse que las levaduras disminuyen respecto al tiempo, siendo el día 60 el de menor presencia para ambos tipos de secado. En el día 90 se produce un aumento en el conteo de levaduras; sin embargo, estas siguen en una menor proporción en los granos secados por el secador STR comparados con los del secado tradicional. Además de poderse observar a simple vista,

se pudo comprobar por medio de la prueba de Wilcoxon, en el Cuadro 30, que la diferencia en la cantidad de levaduras en los granos secados tradicionalmente y con el secador STR si es significativa (Valor p de 5.471×10^{-04}).

Figura 33. Gráfico de dispersión y de barras de porcentaje de humedad en granos en los diferentes días de almacenamiento, respecto a los dos diferentes tipos de secado.



Para los gráficos anteriores se trabajó con 32 muestras; n=2 para el día 0 y n=10 para los días 30, 60 y 90. En los dos gráficos anteriores puede observarse la diferencia

entre el porcentaje de humedad en los granos secados con el método tradicional y con el secador STR; puede decirse que la diferencia es significativa. Esta diferencia fue comprobada por la prueba de Wilcoxon (Valor p de 5.834×10^{-04}) y por medio de estos diagramas puede observarse de manera gráfica. El secado tradicional presenta cambios en los porcentajes de humedad, además de ser significativamente más altos que los del secador STR, con una media de aproximadamente 14.50%, 14.55%, 14.19% y 14.50% de humedad para los días 0, 30, 60 y 90 respectivamente. En los granos secados con el secador STR también se ven cambios en la humedad, sin embargo, son más constantes y en todos los casos los valores son menores; con medias de 14.30%, 14.01%, 14.07% y 14.17% de humedad para los días 0, 30, 60 y 90 respectivamente. Aunque la diferencia no es muy grande, sí es significativa y por medio de esto se comprueba el efecto del secador STR en la reducción de la humedad de los granos.

8. Análisis de datos de humedad de granos y microbiota fúngica respecto al tipo y días de almacenamiento

a. Comparación de las diferentes variables según altura y tiempo de almacenado. A continuación se presenta un set de figuras que muestra la evolución de cada una de las variables según el tiempo de almacenamiento y la altura de muestreo. Donde la altura A corresponde a más de 2700msnm, la B a una altura dentro de 1500-2700msnm y la altura C a menos de 1500msnm.

Figura 34. Efecto del tiempo de almacenamiento en el porcentaje de humedad a diferentes alturas.

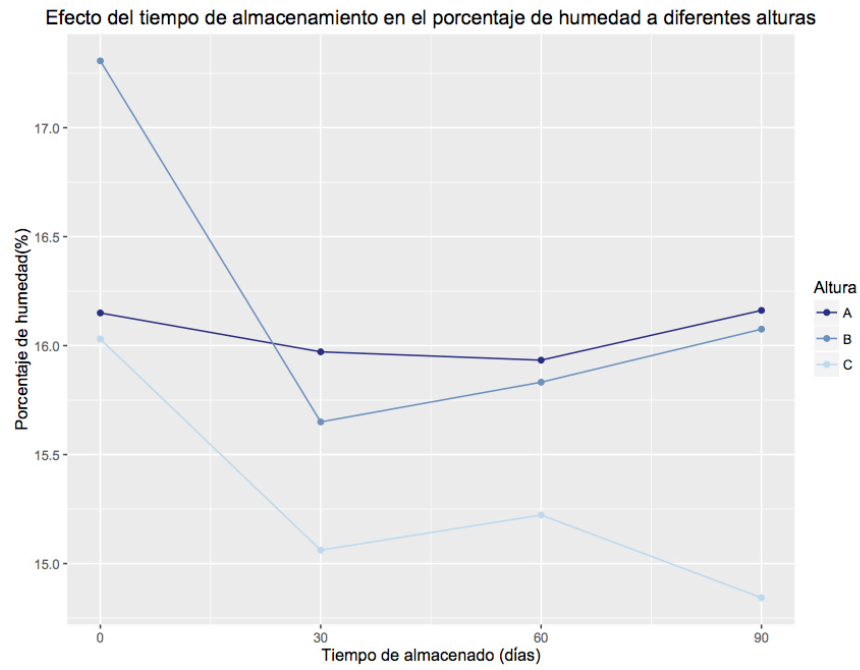


Figura 35. Efecto del tiempo de almacenamiento en la cantidad de hongos a diferentes alturas

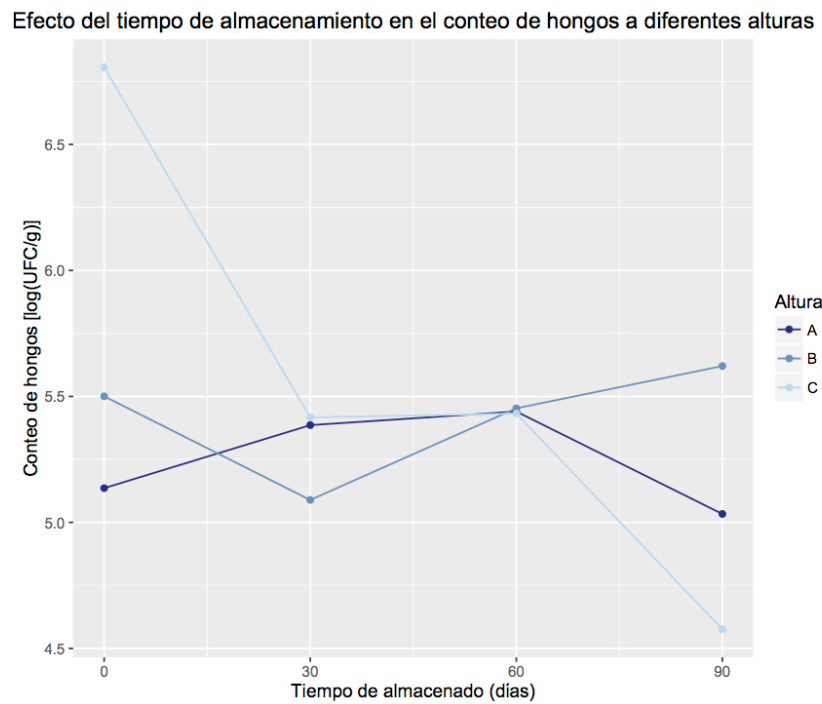


Figura 36. Efecto del tiempo de almacenamiento en la cantidad de levaduras a diferentes alturas

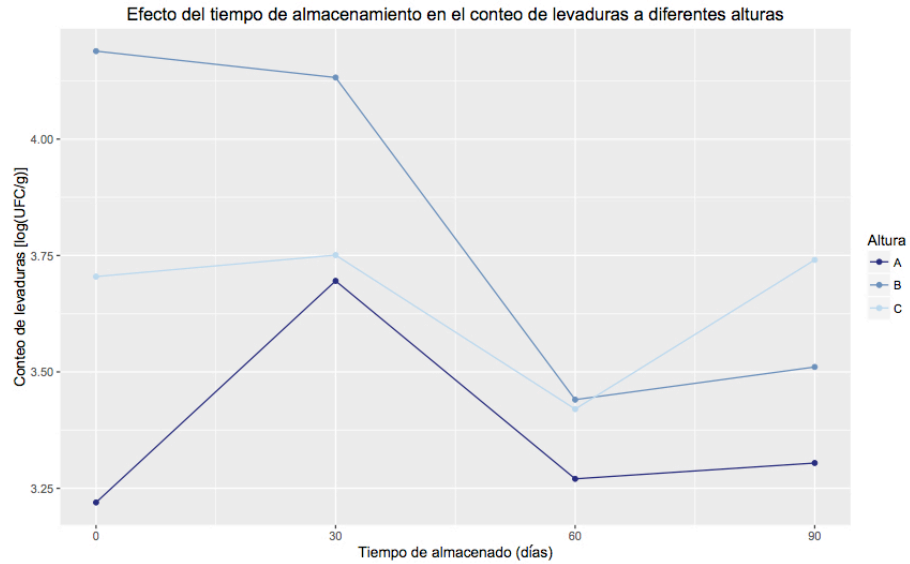


Figura 37. Efecto del tiempo en la concentración de fumonisinas de diferentes alturas

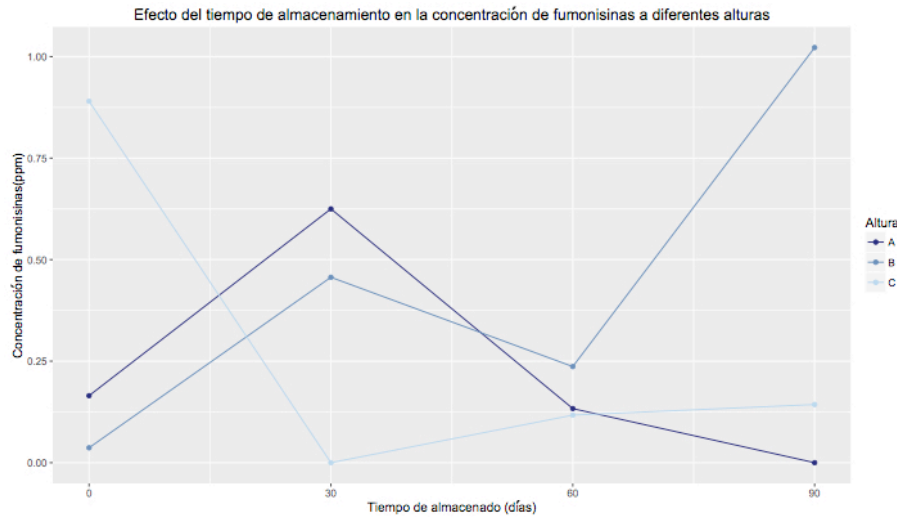
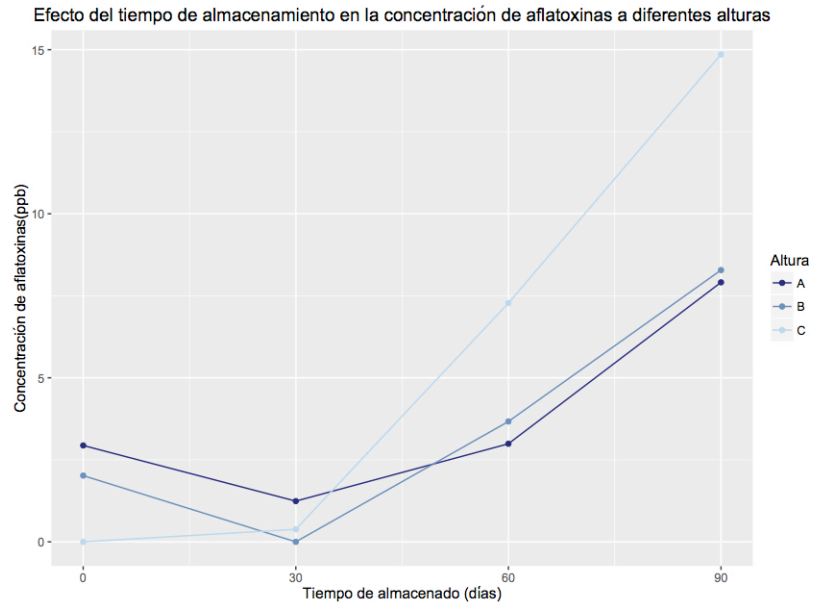


Figura 38. Efecto del tiempo de almacenamiento en la concentración de aflatoxinas a diferentes alturas



9. Comparación de las diferentes variables según tipo de almacenado y altura

Figura 39. Gráfico de barras del porcentaje de humedad en las diferentes alturas e los distintos tipos de almacenamiento

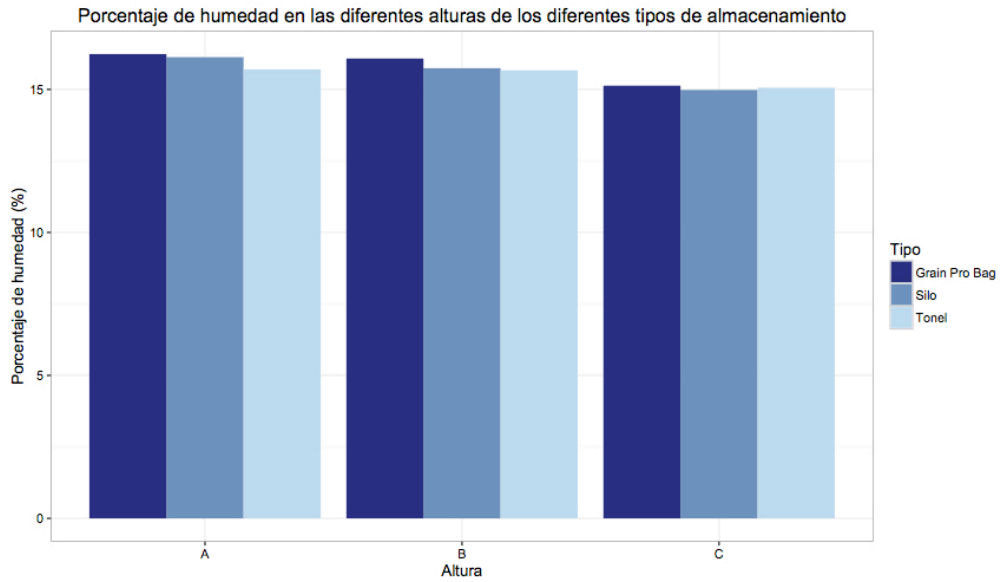


Figura 40. Gráfico de barras del conteo de hongos en las diferentes alturas en los distintos tipos de almacenamiento

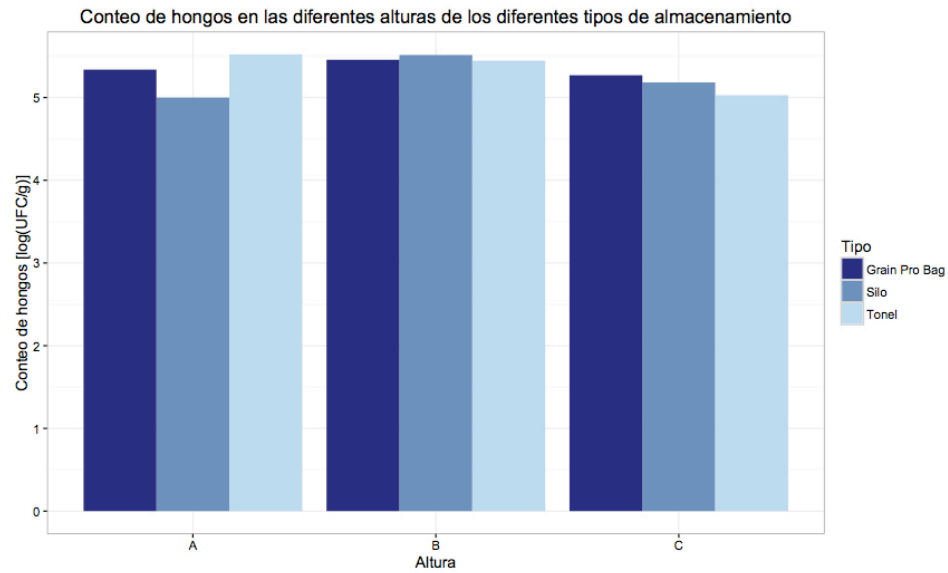


Figura 41. Gráfico de barras del conteo de levaduras en las diferentes alturas en los distintos tipos de almacenamiento.

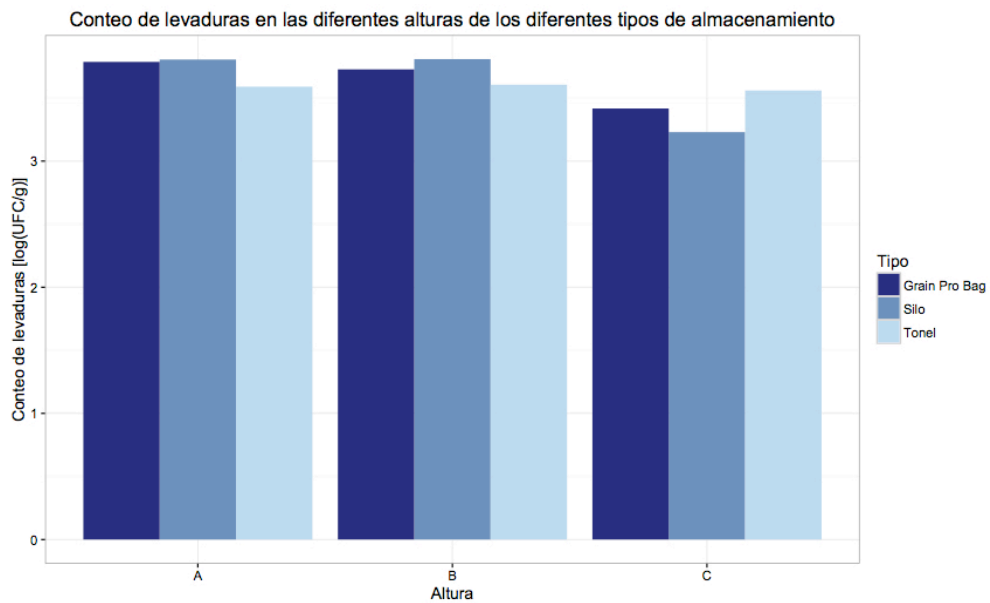


Figura 42. Gráfico de barras de la concentración de fumonisinas en las diferentes alturas en los distintos tipos de almacenamiento

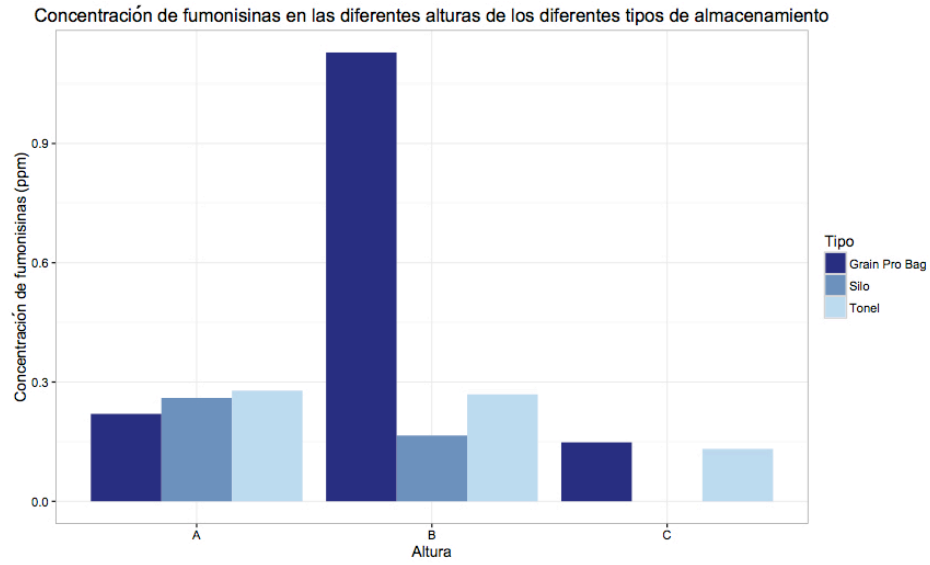
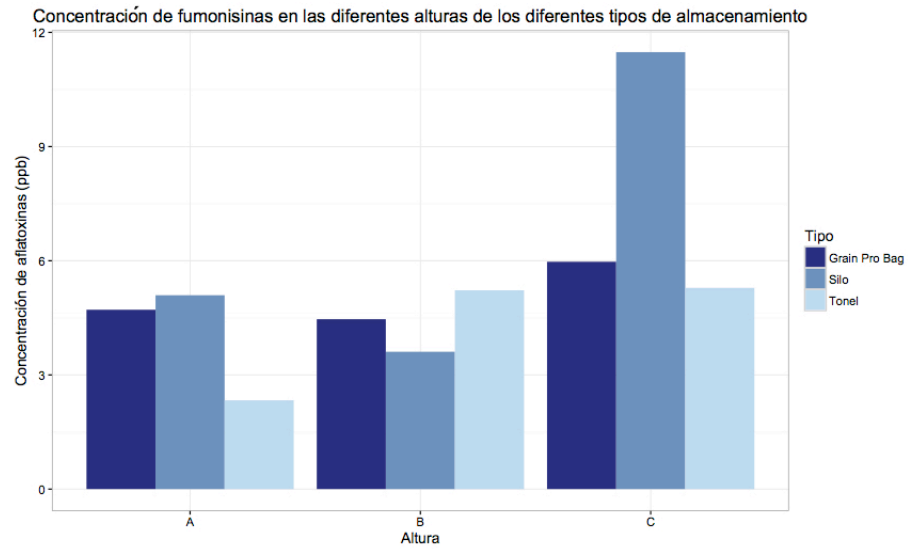


Figura 43. Gráfico de barras de la concentración de aflatoxinas en las diferentes alturas en los distintos tipos de secado



C. Módulo 3

Posterior a la elaboración e implementación del secador de maíz en el municipio de Chiantla, Huehuetengango, se obtuvieron distintos resultados dependiendo del método de secado que se utilizó. Para el secador implementado, el STR, se realizaron dos escenarios de secado, uno utilizando el maíz en granos, y otro secando las mazorcas completas.

1. EVALUACIÓN FINANCIERA

Para elaborar el secador de maíz STR, se utilizaron los siguientes materiales para la elaboración del secador, con los siguientes costos netos:

Cuadro 33. Costos de elaboración de maíz STR

Descripción	Costo unitario sin IVA	Cantidad	Costo total sin IVA
Ventilador eléctrico	Q7,000.00	1	Q7,000.00
Block	Q5.00	60	Q300.00
Ducto de aluminio	Q3,000.00	1	Q3,000.00
Quemador de lámina	Q3,600.00	1	Q3,600.00
Malla tipo gallinero	Q900.00	1	Q900.00
Aislante de fibra de vidrio	Q1,000.00	1	Q1,000.00
		TOTAL	Q15,800.00

Los costos de elaboración del mismo fueron financiados de la siguiente forma:

- Donación por parte de USAID
- Universidad de Nebraska
- Departamento de Ingeniería de Ciencias de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala.

Los costos del secador de maíz, fueron tomados como la inversión del secador y el lugar de instalación del secador (finca de Don Gabriel, agricultor contactado por SHARE) fue tomado como el lugar de delimitación de donde se trabajó el modelo y análisis financiero del secador de maíz, por ello es que en los libros contables solo fueron tomados ingresos, egresos, gastos relativos al secador de maíz ubicado dentro de la finca de Don Gabriel, y no los costos del resto de la cosecha realizada por Don Gabriel y las personas que trabajan para él.

El estado de resultados es un libro contable permite identificar los ingresos y egresos antes de los impuestos y cuál es la utilidad total del negocio posterior a los impuestos. En este caso, el régimen de impuestos que se está pagado es el ISR (Impuesto sobre la renta) es del 31% de las ganancias netas.

Cuadro 34. Estado de resultados de 5 años del secador de maíz.

Inversión	Año 0 (Inversión)	Año 1 (2016)	Año 2 (2017)	Año 3 (2018)	Año 4 (2019)	Año 5 (2020)	Año 6 (2021)
Secador e instalación	Q15,800.00	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
Total de inversión	Q15,800.00	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
Ingresos							
Ingresos por disminución de pérdida de maíz	Q -	Q5,101.77	Q5,348.97	Q5,608.14	Q5,879.87	Q6,164.77	Q6,463.47
Ingresos por alquiler	Q -	Q8,088.59	Q8,292.06	Q8,500.64	Q8,714.46	Q8,933.67	Q9,158.39
Merma		Q 1,275.44	Q 1,337.24	Q 1,402.04	Q 1,469.97	Q 1,541.19	Q 1,615.87
Total de ingresos		Q11,914.92	Q12,303.78	Q12,706.74	Q13,124.37	Q13,557.25	Q14,005.99
Egresos							
Salarios		Q 5,992.92	Q 6,249.79	Q 6,517.68	Q 6,797.04	Q 7,088.52	Q 7,392.36
Mantenimiento		Q2,820.00	Q2,961.00	Q3,109.05	Q3,264.50	Q3,427.73	Q3,599.11
Bonificación		Q 600.00	Q 630.00	Q 661.50	Q 694.58	Q 729.30	Q 765.77
Depreciación		Q3,160.00	Q3,160.00	Q3,160.00	Q3,160.00	Q3,160.00	Q -
Electricidad		Q4,500.00	Q4,725.00	Q4,961.25	Q5,209.31	Q5,469.78	Q5,743.27
Indemnización		Q499.41	Q520.82	Q543.14	Q566.42	Q590.71	Q616.03
Bono 14		Q499.41	Q520.82	Q543.14	Q566.42	Q590.71	Q616.03
Aguinaldo		Q499.41	Q520.82	Q543.14	Q566.42	Q590.71	Q616.03
Vacaciones		Q249.71	Q260.40	Q271.57	Q283.21	Q295.36	Q308.02
Total de egresos		Q 18,820.86	Q 19,548.65	Q 20,310.47	Q 21,107.90	Q 21,942.81	Q 19,656.61
Utilidad o pérdida neta		-Q6,905.94	-Q7,244.87	-Q7,603.73	-Q7,983.53	-Q8,385.57	-Q5,650.62

Para la elaboración del estado de resultados se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

a. Mantenimiento. El mantenimiento del secador se refiere al cambio de la malla que se encuentra en la cama de secado y el cambio del ducto de aluminio, que conecta el ventilador con la cámara de secado. Estos se pueden llegar a dañar con facilidad debido a la lluvia. El mantenimiento también incluye la atención del ventilador que lleva el secador, el cual necesita, como toda máquina, el servicio de forma anual.

Los costos de mantenimiento son aproximadamente el 20% de la inversión inicial, estos se detallan en:

Cuadro 35. Costos de mantenimiento anual

Material o Servicio	Costo Aproximado	Porcentaje que representa del mantenimiento
Servicio del secador (revisión de piezas y detección de áreas de oportunidad)	Q1,000.00	30%
Cambio de aceite y de piezas claves de secador (fuente y tornillos)	Q500.00	20%
Cambio de materiales de aluminio (ducto y malla)	Q1,500.00	50%

b. Salarios. Los salarios considerados para el Estado de Resultados provienen de dos empleados que ganan el salario mínimo anual y gozan de las siguientes prestaciones. Es importante mencionar que se tomó en cuenta el porcentaje del salario que representa el uso que le dan los dos empleados al secador de maíz, siendo los siguientes datos trabajados al 10% del salario real

Cuadro 36. Salarios y prestaciones de los empleados

Descripción	Representación del salario
Bonificación Incentivo	Q50.00
Indemnización	1 salario anual por empleado
Bono 14	1 salario anual por empleado
Vacaciones	15 días de un salario anual

2. Flujo de efectivo. Posterior a la identificación de los ingresos y egresos generados a partir del secador de maíz, se obtuvo el siguiente flujo de efectivo.

Cuadro 37. Flujo de efectivo

	Año 1 (2016)	Año 2 (2017)	Año 3 (2018)	Año 4 (2019)	Año 5 (2020)	Año 6 (2021)
Ingresos						
Ingresos por maíz secado con secador	Q5,101.77	Q5,348.97	Q5,608.14	Q5,879.87	Q6,164.77	Q6,463.47
Ingresos por alquiler	Q8,088.59	Q8,292.06	Q8,500.64	Q8,714.46	Q8,933.67	Q9,158.39
Merma	Q1,275.44	Q1,337.24	Q1,402.04	Q1,469.97	Q1,541.19	Q1,615.87
Ingresos brutos	Q11,914.92	Q12,303.78	Q12,706.74	Q13,124.37	Q13,557.25	Q14,005.99
Egresos						
Salarios	Q5,992.92	Q6,249.79	Q6,517.68	Q6,797.04	Q7,088.52	Q7,392.36
Mantenimiento	Q2,820.00	Q2,961.00	Q3,109.05	Q3,264.50	Q3,427.73	Q3,599.11
Bonificación	Q600.00	Q630.00	Q661.50	Q694.58	Q729.30	Q765.77
Depreciación	Q3,160.00	Q3,160.00	Q3,160.00	Q3,160.00	Q3,160.00	Q-
Electricidad	Q4,500.00	Q4,725.00	Q4,961.25	Q5,209.31	Q5,469.78	Q5,743.27
Indemnización	Q499.41	Q520.82	Q543.14	Q566.42	Q590.71	Q616.03
Bono 14	Q499.41	Q520.82	Q543.14	Q566.42	Q590.71	Q616.03
Aguinaldo	Q499.41	Q520.82	Q543.14	Q566.42	Q590.71	Q616.03
Vacaciones	Q249.71	Q260.40	Q271.57	Q283.21	Q295.36	Q308.02
Total egresos	Q18,820.86	Q19,548.65	Q20,310.47	Q21,107.90	Q21,942.81	Q19,656.61
Utilidad (pérdida) neta antes de impuestos	-Q 6,905.94	-Q 7,244.87	-Q 7,603.73	-Q 7,983.53	-Q 8,385.57	-Q 5,650.62
Impuestos	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -

3. Balance general. En el libro del balance general se presentan los activos que cuenta el modelo de negocio del secador de maíz, junto con los pasivos que tiene el mismo y el valor que toma el capital contable (la inversión inicial durante el tiempo)

Cuadro 38. Balance general

Año 0 (Inversión)	Año 0 (inversión)	Año 1 (2016)	Año 2 (2017)	Año 3 (2018)	Año 4 (2019)	Año 5 (2020)	Año 6 (2021)
Activos							
Circulante							
Caja		Q581.36	Q1,353.63	Q653.04	Q704.92	Q70.06	Q1,035.47
Total activo circulante		Q581.36	Q1,353.63	Q653.04	Q704.92	Q70.06	Q1,035.47
Fijo							
Bienes muebles	Q15,800.00	Q15,800.00	Q15,800.00	Q15,800.00	Q15,800.00	Q15,800.00	Q15,800.00
Depreciación acumulada		Q3,160.00	Q6,320.00	Q9,480.00	Q12,640.00	Q15,800.00	
Total activo fijo	Q15,800.00	Q15,640.00	Q12,480.00	Q9,320.00	Q6,160.00	Q3,000.00	
Total Activo	Q15,800.00	Q16,221.36	Q13,833.63	Q9,973.04	Q6,864.92	Q3,070.66	Q1,035.47
Pasivos							
Cuentas por pagar		Q4,000.00	Q8,000.00	Q11,200.00	Q15,500.00	Q19,500.00	Q25,500.00
Reserva de indemnización		Q499.41	Q1,020.23	Q1,563.37	Q2,129.79	Q2,720.50	Q3,336.53
Capital contable	Q15,800.00	Q15,800.00	Q11,721.95	Q4,813.40	Q4,813.40	Q4,813.40	Q2,313.40
Pérdida Acumulada					-Q7,603.73	-Q15,578.27	-Q21,463.83
Total pasivo y capital	Q15,800.00	Q23,299.41	Q20,742.18	Q17,576.77	Q14,839.46	Q11,455.63	Q9,686.10
Pérdida del ejercicio		-Q6,905.94	-Q6,908.55	-Q7,063.73	-Q7,974.54	-Q8,385.66	-Q8,650.62
Suma igual	Q15,800.00	Q16,221.36	Q13,833.63	Q9,973.04	Q6,864.92	Q3,070.66	Q1,035.47

2. Evaluación administrativa. La instalación del secador de maíz en un lugar donde antes no existía el mismo y el método de secado está basado de forma arcaica en la experiencia

a. Análisis Pestel. Por medio del análisis PESTEL se puede identificar las principales influencias en el modelo del secador de maíz. El mismo puede ser elaborado de forma preventiva para identificar que aspecto de influencia tiene mayor poder en el mismo.

Cuadro 39. Análisis PESTEL

Aspecto	Análisis
Político	<p>El maíz es la semilla con mayor cultivo en el territorio de Guatemala, por lo que al ser Guatemala un país dedicado a la agricultura tiene un fuerte impacto político. Es común observar que las promesas de muchos gobernantes y candidatos a gobernantes tengan entre sus propuestas entregas de materiales que apoyaran a la agricultura y cosecha de varios productos. A su vez, para el maíz existen tratados de libre comercio entre países cercanos de Centroamerica (Honduras y El Salvador) para realizar las exportaciones del mismo con una menor cantidad de impuestos tratados. Por último, un aspecto importante a mencionar es que en el transcurso del 2016 y finales del 2015 ha existido un aumento de la entrada de maíz de contrabando por parte de la frontera de México, provocando que en departamentos del Occidente de país, el precio del mismo se vea afectado y disminuido.</p>

Aspecto	Análisis
Económicos	<p>La producción de maíz en el año 2015 fue de 40 millones de quintales en el territorio de Guatemala, siendo cosechado en 20 de los 22 departamentos de Guatemala. El precio promedio de venta del maíz es de Q140.00 el quintal de maíz en el territorio nacional, lo cual representa 1 millón de manzanas cosechadas al año en promedio. El maíz es la principal fuente de consumo en el territorio nacional, por lo que la comercialización en el exterior del mismo no es una práctica común, sin embargo las importaciones si suelen realizarse en varios meses del año, importando al maíz en promedio 63,000 toneladas métricas al año con un valor de 14.5 millones de dólares.</p>
Sociales	<p>El maíz es un Patrimonio Cultural Intangible de la Nación, celebrándose en Guatemala el día Nacional del Maíz el 13 de agosto. Esto ocurre, debido a que en muchas culturas Mayas, el maíz es un cultivo y comida sagrada. También es representación de la mitología, cosmovisión, calendarios y espíritus mayas que todavía son venerados en algunas comunidades hoy en día. Mitológicamente, uno de los libros que tienen mayor importancia sobre el origen de la cultura Maya, el <i>Popol Vuh</i>, indica que los primeros hombres Mayas en ser creados fueron hechos a partir del maíz, por lo que el mismo es parte de la historia guatemalteca.</p> <p>Adicional al aspecto cultural, en el aspecto social Chiantla fue fundada en los años 1500s por misioneros dominicos, por lo que la religión que predomina hoy en día es el catolicismo. La población del municipio de Chiantla es de origen Maya en su mayoría, y la principal actividad de trabajo es la agricultura.</p>

Aspecto	Análisis
Tecnológico	<p>En Guatemala, la cultura para el secado de granos que se cosechan (ya sea maíz, frijol y café) en fincas pequeñas y no grandes industrias de cosecha, se dedica al secado de granos por medio de luz solar sin utilizar herramientas y maquinaria que simplifique y automatice las herramientas de secado de granos. Han existido pequeños proyectos de implementación de secadores de maíz en pequeñas fincas que se dedican a la cosecha, sin embargo los costos de los mismos son muy elevados para el retorno económico que puedan observar los agricultores. Las herramientas utilizadas para la agricultura, cosecha y secado son palos, masones y canastos hechos de materiales artesanales.</p>
Ambientales	<p>El secador de maíz puede llegar a ser una vista como una fuente de contaminación debido a la electricidad que consume y la leña que se utiliza para secar el maíz, la cual tiene que provenir de los árboles que rodean la finca. También los deshechos que genera el secador (cambios de ductos, cambio de malla) son materiales metálicos contaminantes que no se pueden deshacer con facilidad y pueden llegar a acumularse como basura.</p>

b. Análisis de responsabilidad social. Es importante identificar que al secador expuesto como un modelo de inversión que pueden utilizar agricultores cuando no tenían una herramienta de este tipo para el secado de maíz, es importante que el impacto del mismo en la comunidad sea positivo y no que genere daño e incomodidad en la sociedad, ya que si es la percepción que se tiene el mismo, no se podría seguir proponiendo que el secador de maíz trabaje como algo en que puedan llegar a invertir.

Para ello, de acuerdo al Centro de Responsabilidad Social de Guatemala (CentraRSE) propone una evaluación de tres pasos para identificar el impacto que tiene la empresa en relación a la Responsabilidad Social Empresarial, estos son:

- i. Medición
- ii. Reducción y compensación
- iii. Reporte

Para el secador de maíz, los resultados obtenidos en los tres aspectos son:

i. Medición. Los elementos que pueden llegar a ser una fuente de contaminación, y de sobreuso de recursos en la finca donde se encuentra el secador de maíz son: leña, electricidad y las piezas de metal que se dañan en el secador. Estos tres elementos tienen la cantidad de desperdicio anual.

Cuadro 40. Medición de desperdicios del secador de maíz

Material	Desperdicio (anual)
Leña	500 libras
Electricidad	149 kW
Metal	1 tonelada

En este caso, el desperdicio que mayor impacto que tiene es la leña utilizada para secar ya que se tiene que utilizar leña que se encuentra en la finca, de árboles que ya se encuentran previamente plantados.

c. Reducción- compensación. Para evaluar e identificar las mejoras que se le pueden realizar al secador de maíz, se proponen las siguientes herramientas y actividades para reducir los materiales mencionados en la medición:

1) Visita a la comunidad por parte de las elaboradoras del secador de maíz cada 6 meses, para validar el funcionamiento del mismo, los materiales que se dañaron y necesitan pronto cambio, medición directamente de la humedad del maíz y para la identificación de posibles mejoras a realizarse al secador.

2) Cambiar el metal utilizado en el secador (el ducto y la malla) por materiales que se encuentren disponibles en la finca y que no tengan un costo tan elaborado de inversión y de traslado, por materiales más amigables con el ambiente, como desechos de plantas que se encuentren en la finca.

3) Por medio de aumento de la eficiencia del secador del maíz, reducir la cantidad de madera utilizada durante el proceso de secado.

4) Para reducir el tiempo en que pasa conectado el secador, disminuyendo el área de secado (donde se colocan los granos).

d. Reporte. Para realizar de forma eficiente la reportaría y seguimiento al secador de maíz, de acuerdo a CentraRSE, se propone preparar los siguientes reportes del secador de maíz en el siguiente plazo:

1) Reporte anual. Este informe debe contener los resultados del secador de maíz en términos de un año. Los resultados deben ser tanto en términos de ingreso monetario (el dinero ganado por la venta y alquiler del secador) y los resultados de la humedad en el grano de maíz. Este reporte se debe de preparar durante los cinco años de vida del mismo hasta que se encuentre completamente depreciado.

e. Análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas (FODA). Como se mencionó con anterioridad, el presente Megaproyecto une a tres distintas licenciaturas, por lo que la realizar un análisis de las fuerzas que rodean el secador de maíz, se debe de tomar la integración de las tres distintas áreas. Un análisis de las fuerzas internas y externas que rodean al secador, permite identificar en qué puedo mejorar y qué debo de aprovechar y maximizar de las fuerzas que rodea en el modelo a evaluar.

Cuadro 41. Análisis FODA

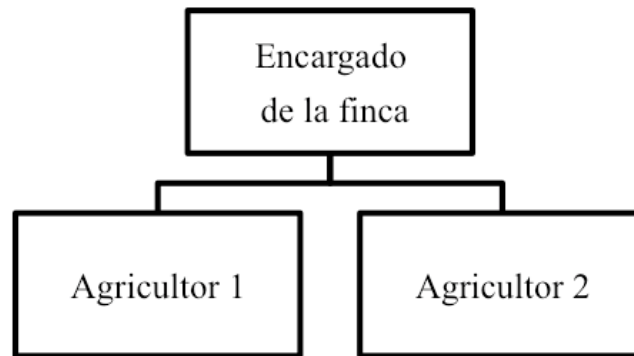
Fortalezas	<ul style="list-style-type: none"> - Disminuye el tiempo de secado. - Genera un ingreso que proviene de un maíz que no se vendía. - Disminuye la cantidad de humedad y humedad relativa por grano de maíz.
------------	---

Fortalezas	<ul style="list-style-type: none"> - Reduce el espacio de secado en el terreno en comparación con otros secadores. - Es una inversión que se deprecia a los cinco años.
Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> - Se puede llegar a alquilar a las demás personas debido a que no se usa toda la capacidad. - Se pueden llegar a alquilar para el secado de otros granos, cambiando la malla por una que soporte granos diferentes, en otras regiones del país. - Si se aumenta el uso de la capacidad, se puede llegar a requerir mano de obra dedicada el uso y manejo del secador de maíz. - Puede ser una fuente de inversión para grandes agricultores que deseen agregar tecnología al proceso de producción. - El ventilador utilizado, puede tener un uso diferente en las fincas, por ejemplo uso caseros, cuando ya no se use en el secador.
Debilidades	<ul style="list-style-type: none"> - El retorno anual por la implementación del secador de maíz es económicamente muy pequeño en comparación con la inversión realizada. - Requiere el uso de leña para poder secar el maíz, generando uso de recursos naturales - El ventilador implementado en el secador es eléctrico por

Debilidades	<p>lo que necesita instalarse en fincas con acceso a la electricidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> - El traslado se tiene que realizar en 3 pick ups ya que el material junto no cabe en un solo carro, aumentado los costos de instalación.
Amenazas	<ul style="list-style-type: none"> - Si no se evidencia físicamente la disminución de humedad a partir del maíz secado, puede llegar a ser no necesario para los agricultores. - Al ser un secador eléctrico, si se expone a la lluvia o cambios de clima muy drásticos (como el clima de Huehuetenango se puede llegar a dañar fácilmente). - La cama de secador (donde se colocan los granos), tienden a dañarse dependiendo del trato que se le dé por lo que puede generar que se aumenten los costos de mantenimiento. - El uso de leña por parte del secador puede llegar a ser mal visto por sociedades protectoras del ambiente. - Al tener materiales metálicos, la oxidación debido a la humedad del grano, puede llegar a ser frecuente.

f. Descriptores de puestos de trabajo. En el modelo de negocio del secador de maíz, se trabajó con la instalación del mismo en una finca donde se cosecha y produce maíz en gran cantidad, en comparación al resto de personas que cosechan en Chiantla, quienes tienen menos terreno y capacidad de manejo del maíz. Esta finca está compuesta por las siguientes personas:

Figura 44. Organigrama de Finca de lugar de instalación



A su vez, cada uno de los agricultores tiene diferentes tareas, responsabilidades y retornos asignados, por ello se propone la siguiente descripción de puestos:

1) Encargado de la finca. Será la persona encargada de la finca, tanto de la agricultura y secado tradicional, como del manejo de todos los ingresos y egresos, junto con el trato de los clientes y proveedores. A su vez, también apoyará en el cultivo y la cosecha de los granos del maíz, junto con el uso del secador.

a) Funciones y responsabilidades. El encargado de la finca tendrá a su cargo varias responsabilidades relativas al manejo en general de la finca y de los ingresos de la misma. Al ser pequeños comerciantes, mucho del dinero que se maneja es en efectivo y las transacciones y negociaciones que se realizan son verbales sin documentos legales de respaldo. Las funciones del encargado de la finca son: manejo de todos los ingresos y egresos monetarios, toma de decisión de cuanto maíz será cosechado, relación y compra con proveedores de semillas y materiales, venta con los clientes consumidores del maíz.

2) Agricultores 1 y 2. Serán los encargados del cultivo y cosecha del maíz, junto con el empaque del mismo, secado y uso del secador de maíz.

a) Funciones y responsabilidades. Ellos llevarán el día a día de la cosecha, desde colocar la semilla del maíz, hasta el desgrane del mismo para el secado. Entre sus principales funciones están: cultivo y cosecha de maíz, preparación del secado del maíz (de forma artesanal y con el secador, empaquetado del mismo para la venta, preparación del terreno con fertilizantes para una nueva cosecha, limpieza de terreno, traslado de quintales de maíz.

VII. DISCUSIÓN

A. Módulo 1

Este estudio tenía como finalidad proponer mejoras a la técnica de secado y almacenado de la mazorca de maíz a través de la implementación de un secador de bajo costo para la reducción de la humedad del maíz a un nivel adecuado para ser almacenado (13-14%) y así conservar la calidad del grano.

Para alcanzar el objetivo se implementó y evaluó un secador con materiales económicamente accesibles. Este contaba con una cámara de combustión, la cual cumplió con la función de ser la fuente de calor. La cámara estaba conformada por una estructura de blocks de cemento, los cuales se colocaron alrededor del quemador para generar un espacio suficientemente amplio para que el aire que ingresaba por efecto de un ventilador se calentara al permanecer ahí dentro. Como agente de combustión se utilizó leña seca, la cual es de alta disponibilidad en la región. El ventilador de 0.75 hp utilizado, permitió el flujo de aire dentro de la cámara de combustión para que luego saliera a través de un ducto flexible de aluminio aislado térmicamente para dirigir el aire caliente al área de secado.

El área de secado estaba conformada por dos mallas, tipo gallinera, las cuales se adaptaron como cilindros concéntricos. Al tener los cilindros concéntricos, el ducto se conecta al cilindro interno. Esta es el área por donde ingresa el flujo de aire caliente. El maíz quedó distribuido en el área dentro de las dos mallas, por lo que el aire caliente fluía desde la parte inferior hasta el ambiente. Esto permitió el desplazamiento de la humedad hacia el ambiente.

El estudio inició, luego del ensamblaje del secador tipo STR, con la evaluación de la capacidad del secador. Este dato garantizaría que el secador tuviera el flujo del aire suficiente para reducir la humedad en el maíz realizando la operación de secado. Para poder determinar este dato se utilizaron las dimensiones del secador, específicamente el área en la que el aire alcanzaría llegar a los granos y volumen de maíz que se utilizaría en las pruebas con maíz en mazorca y maíz desgranado (expresado en bushels) y el flujo

de aire que el ventilador producía. La capacidad de secado del sistema fue de 0.12 m³/min*ton para la prueba con maíz desgranado y 0.44 m³/min*ton para la prueba con maíz en mazorca.

La diferencia obtenida para las capacidades de secado dependió de la velocidad del aire en la alimentación. Para el secado la velocidad del aire fue de 1,066 ft³/min y 302.5 ft³/min, para el maíz entero y desgranado, respectivamente. Sin embargo, los resultados de la capacidad de secado no indican que la disposición del maíz dentro del secador con mazorca sea mejor que desgranado. Con mayor velocidad existe la posibilidad de menos tiempo de contacto con el maíz o residencia en el sistema para lograr la máxima saturación del aire antes de salir del secador por lo que no necesariamente una mayor capacidad indica un mejor secado.

Con respecto a las condiciones ambientales, se observó a lo largo de la prueba la humedad relativa era considerablemente alta. Para el maíz en mazorca se trabajó con una humedad relativa promedio de 58.92% y para el desgranado una humedad relativa promedio de 45.48%. Se observó que el aumento en la temperatura durante la mañana provocó un descenso en la humedad relativa. El promedio durante la operación fue de 16.39°C y 19.48°C, para el maíz en mazorca y desgranado, respectivamente.

Bajo estas condiciones de operación, la velocidad de secado y la eficiencia del secador se ven afectadas. La higroscopicidad del grano provoca que las mazorcas de maíz que están más cercanas a la superficie externa no se sequen debido a que la elevada humedad relativa provoca que el grano absorba esa humedad. Naturalmente, el grano tiende a llegar a una humedad de equilibrio la cual es el contenido de humedad del grano y del ambiente igualados, y por lo tanto ya no hay transferencia de masa entre ambos. Por otro lado, los valores de la temperatura ambiental fueron bastante bajos por lo que el proceso de elevar las temperaturas dentro del sistema se hizo más difícil. A pesar de estas dos variables ambientales, se trató de dar un aislamiento lo más óptimo posible, a modo que su influencia en el sistema fuera la menor posible y la transferencia de calor se diera únicamente dentro del secador.

De acuerdo a los Gráficos 2 y 3, se puede notar que la humedad relativa y temperatura del ambiente no se comportan de manera lineal durante el proceso tanto de la prueba con maíz en mazorca y maíz desgranado; lo cual afecta directamente en la transferencia de calor del sistema y por lo tanto, en la eficiencia del secador.

Los Gráficos 6 y 7 muestran las temperaturas en cada punto del secador. Estas son importantes para la evaluación de la transferencia de calor durante el secado. Se puede observar que durante todas las mediciones, todas las curvas de las distintas etapas presentan una tendencia o comportamiento similar. La diferencia entre cada etapa es que al pasar de una etapa a otra hay un gradiente de disminución de temperatura. Esto se debe a que a medida que el flujo de aire caliente se aleja de la fuente de calor, llega a zonas donde la pérdida de calor es más rápida debido al diferencial de temperatura que hay con respecto al ambiente. La temperatura en el punto 8 es la temperatura más baja debido a que esta medición corresponde a la superficie externa del secador, la cual es la que está en contacto directo con el ambiente.

Se detectó que por la chimenea es donde se está teniendo una enorme pérdida del calor generado por la combustión, según los Gráficos 4 y 5. En los gráficos se observa una diferencia entre 200°C y 400°C entre las temperaturas de la chimenea y las temperaturas del resto del sistema. La pérdida del calor a través de la chimenea se debe a que el aire caliente es menos denso que el aire frío, por lo que este tiende a subir y su salida más cercana es la chimenea la cual estaba ubicada en la parte superior. Se recomendaría evaluar otra posición para la chimenea o la adaptación de un intercambiador de calor que permita aprovechar el calor de la combustión al máximo pero, evitando insertar el humo al maíz.

Además, se puede notar que es la más variable, con picos y no una distribución lineal y/o estable. Esta variabilidad dentro del quemador puede ser causa de la pérdida de calor cada vez que se necesitaba alimentar al sistema con más leña para la combustión y se abría la puerta corrediza permitiendo un intercambio de condiciones con el ambiente y por lo tanto perdiendo energía (calor). También se pudo disminuir la temperatura del quemador cuando la leña se había consumido a tal punto que no fuera suficiente para

mantener o incrementar la temperatura del aire o en el caso específico de un problema durante la prueba de maíz desgranado con la electricidad que permitía el funcionamiento del ventilador que hizo parar el flujo de aire en las últimas mediciones.

El resto del sistema es capaz de mantener temperaturas similares y con el mismo comportamiento debido a que el ducto flexible está aislado térmicamente con fibra de vidrio y un recubrimiento de aluminio.

De la misma manera se analizaron los datos de temperatura dentro del secador STR. En el STR se tomaron las medidas de temperatura en la parte alta, media y baja del interior de los cilindros concéntricos en donde estaba depositado el maíz a secar (ver Figura 12). El punto 4 era el más cercano a la entrada del ducto al STR (parte alta), el punto 5 correspondía a la parte media y el punto 6 a la parte baja. El punto con mayor temperatura en promedio al comparar estos tres puntos, fue el punto 5 con una media de 34.3°C para maíz desgranado y el punto 6 con una media de 41.08°C. A diferencia de lo que se creería, el punto 4 que fue el más cercano a la entrada del ducto tuvo un promedio de temperatura de 27.1°C para maíz desgranado y 29.48°C para maíz en mazorca (menor que el punto 5), pero mayor que el punto 6 que tuvo un promedio de 24.2°C para maíz desgranado y punto 5 con promedio de 36.08°C para maíz en mazorca.

Que la temperatura fuera mayor en la parte media del STR en maíz desgranado se debe al flujo y dirección del aire dentro del sistema. Al ingresar el aire proveniente del ducto, se debe recordar que lo hace de forma forzada por el movimiento del ventilador que “empuja” el aire hacia abajo. Cuando el aire pierde la fuerza que le emite el ventilador, al estar caliente y tener una densidad menor a la del aire frío, sube. Este movimiento hace una doble circulación en el sistema (pasando por lo menos 2 veces en el punto 5) y permite que el aire se sature y gane humedad antes de salir a través de los cilindros en la malla hacia el ambiente. Para el caso del maíz en mazorca, debido a la velocidad del aire que ingresaba al sistema, el aire caliente no era capaz de subir por lo que la mayor temperatura permaneció hasta el fondo.

En el los Cuadros 13 y 14 se observa que gradiente de humedad va en aumento desde el cilindro interior hacia el ambiente, debido a que mientras el aire caliente recorre el maíz, este lleva consigo el vapor del agua. Para la prueba con maíz en mazorca, se obtuvo una humedad relativa de 1.57% para el aire que ingresa al secador, y 90.30% para el aire que sale del secador. Y con respecto a la prueba con maíz desgranado, se obtuvo una humedad relativa de 4.80% para el aire que ingresa al secador, y 38.75% para el aire que sale del secador. Se tomaron estos datos de humedad relativa, a modo de identificar la saturación del aire al entrar en contacto con el maíz y al salir del lugar en donde estaba el mismo. Con lo que se determinó que el aire que pasaba a través del maíz desde el interior de los cilindros hasta los extremos hacia el ambiente entraba seco y salía húmedo, casi saturado por completo (en el caso del maíz desgranado). Pero de igual manera, en ambos casos se observó una remoción de humedad del maíz de una forma constante y casi invariable durante las corridas.

Para evaluar la eficiencia del secador, se tomó como parámetro principal el calor total obtenido por la combustión de la leña y el calor transferido por convección a lo largo del sistema. Para el cálculo del calor obtenido por combustión fue necesario considerar el poder calorífico de la leña, el cual es 4,384.00 kcal/kg (Hussain, 2015) que es equivalente a 8,320 kJ por libra de leña y la cantidad de leña utilizada (lb). Mientras que para el calor de convección fue necesario conocer el coeficiente de transferencia de calor por convección, el cual es de 21.21 W/m² °C, el área disponible del secador y las temperaturas de cada etapa (°C). Para cada etapa se calculó el total de calor generado (en el caso de la combustión) y el total del calor presente y transferido (en los casos de la convección). De este modo, se puede obtener una eficiencia en términos del calor que se recibe con respecto al calor que se genera. El resultado de la eficiencia fue de 0.89% para el maíz desgranado y 0.75% para el maíz en mazorca, lo cual es bastante bajo e indica una ineficiencia para lograr un adecuado aprovechamiento de la energía generada en el proceso de combustión.

Además, se consideró la velocidad de secado, la cual se esperaba que fuera mayor al 1% de humedad perdida por cada hora transcurrida. Para esto fue necesario registrar la

humedad del grano en intervalos de tiempo y así obtener la relación de humedad por cada hora.

Parte del análisis del uso del material para la combustión fue determinar la velocidad promedio a la que se consumía la leña en un periodo de una hora. Este valor fue de 83.62lb/h con una desviación estándar de 69.28lb/h para la prueba con maíz desgranado, lo que indica una variabilidad elevada en los datos esto a causa de la alimentación tan variada en cuanto a la cantidad de libras que se añadían para la combustión. No se tenía establecida una cantidad exacta para un determinado periodo de tiempo, pues no se tenían los datos de en qué momento exacto se consumía la leña que se alimentaba. A diferencia de lo observado en el caso del maíz en mazorca que se obtuvo una velocidad de consumo de 31.90lb/h con una desviación estándar de 0.12lb/h ya que en esta corrida se dio una alimentación más equitativa a lo largo del tiempo.

Durante el secado de granos por métodos artificiales, como lo fue este caso, se debe considerar que al aire se le modifican sus propiedades, principalmente la temperatura y se le aumenta su velocidad de flujo. Por lo que se debe tener cuidado ya que si este proceso se lleva a cabo a una velocidad muy alta o temperatura muy elevada, el grano puede llegar a sufrir daños físicos como rajadura, quebradura y pérdida de color (Martinez, G. 2014). Esto repercutiría principalmente en la calidad del grano, ya que al tener daños físicos como las fisuras combinadas con humedades elevadas, este es más susceptible al ataque de hongos e insectos.

Además, se consideró la velocidad de secado, la cual se esperaba que fuera mayor al 1% de humedad perdida por cada hora transcurrida. Para esto fue necesario registrar la humedad del grano en intervalos de tiempo y así obtener la relación de humedad por cada hora. En promedio se calculó una velocidad promedio de secado de 0.58% de humedad por hora para el maíz en mazorca y 0.80% de humedad por hora para el maíz desgranado. Estas velocidades son bastante lentas, lo cual explica por qué no se logró a lo largo de la prueba llegar a la zona de humedad segura para el almacenamiento.

Considerando las velocidades de secado obtenidas, 0.58% y 0.78% de humedad por hora, para maíz en mazorca y desgranado, respectivamente, se llevó a cabo una predicción del tiempo requerido para secar una muestra de maíz y llevarla a la zona de humedad segura de almacenamiento. Como humedad inicial se consideró un 25%, que sería un valor aproximado de humedad que se encuentra comúnmente en el maíz cosechado en la aldea. Para llegar a la zona segura, en el caso del maíz en mazorca, se requieren 19 horas de secado y 638.10 libras de leña, y así obtener aproximadamente un contenido final de humedad del 13.92%. Mientras que para el maíz desgranado, se requieren 11 horas de secado y 919.82 libras de leña, y así obtener aproximadamente un contenido final de humedad del 13.41%. Para la economía del agricultor significa mucha inversión ya que son más de 7 quintales de leña (1 quintal = 100 libras) para secar 291.55 libras de maíz en mazorca y 160.00 libras de maíz desgranado.

El uso ineficiente de la leña como combustible se corroboró con los datos obtenidos de la eficiencia del secador utilizado para la primera fase de este proyecto. En donde los datos obtenidos de la eficiencia de la leña fueron de 5.19%, seguido del carbón con 9.60% y por último, el más eficiente es el olote con un promedio de 10.82%. (Aragón. *et al*, 2015)

Al finalizar la investigación se determinó que el equipo si es capaz de reducir los niveles de humedad a porcentajes seguros para su posterior almacenamiento tanto en el caso de maíz en mazorca como en maíz desgranado, en tiempo más cortos de lo que actualmente se invierte en comunidades como en la trabajada. Sin embargo, los costos que representa para los agricultores una inversión de esta manera deben contemplar gastos importantes como: una cantidad considerable de combustible si se desea utilizar leña y gastos energéticos derivados del uso de un ventilador eléctrico como el que se probó en el estudio. Por lo tanto es necesario examinar las posibles variantes en el diseño del secador a modo de reducir los costos de inversión y mantenimiento para un sistema de secado como el presentado en este análisis. Uno de los posibles cambios es el uso de olote, que no solo se utiliza como desecho mismo del maíz, sino también su eficiencia es de casi el doble que el de la leña (Aragón. *et al*, 2015). En cuanto al ventilador, se podría utilizar uno de menor potencia y reducir la distancia del ventilador y la cámara de

combustión. Un ventilador de menor potencia reduciría los costos energéticos y en algunos casos permitiría el uso de baterías en vez de corriente eléctrica, lo cual representa una opción importante para aquellos agricultores que no cuentan con energía eléctrica en donde secan sus cultivos.

En cuanto a la determinación de en qué forma es más adecuado utilizar el maíz con el secador tipo STR se deben tomar en cuenta diferentes aspectos; humedad inicial del maíz y flujo del aire proveniente del ventilador. La humedad inicial del maíz es un factor condicionante para el proceso de desgranado. El desgranado es una operación delicada; si no se hace correctamente puede dañar la semilla y el germen o romper el endosperma. El desgranado se realiza cuando las semillas tienen de 12 a 14% de humedad y el riesgo de dañar los granos aumenta con el contenido de humedad. (FAO, 2001). Con base en lo anterior, con maíz de humedad superior al 14% es preferible llevar a cabo el proceso de secado en maíz en mazorca. Por otro lado, el flujo de aire debe ser tal que permita un contacto y residencia dentro del sistema a modo que se logre secar y disminuir su humedad relativa dentro de la cámara de combustión para que tenga mayor capacidad de saturación a su paso a través del maíz tomando en cuenta que el flujo puede variar debido al amperaje del ventilador y velocidad natural del aire en el ambiente.

El secador con maíz desgranado presentó una velocidad de secado mayor con lo que se requiere menos tiempo de operación en comparación con el secado de maíz en mazorca. Esto se debe a que gran parte del calor se invierte en el secado del olote.

B. Módulo 2

Como parte del megaproyecto de elaborar una propuesta de mejora en el manejo post-cosecha de maíz (*Zea mays*) para la reducción de aflatoxinas y fumonisinas durante el secado y almacenamiento en el Departamento de Huehuetenango, Guatemala; se realizó la evaluación y comparación de la microbiota fúngica y micotoxinas del maíz procesado por secado tradicional y un secador STR. Las muestras utilizadas fueron obtenidas de la finca de un agricultor local, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Chiantla, departamento de Huehuetenango. La finca se encuentra dentro de las comunidades que fueron escogidas por SHARE para participar en el proyecto de

Reducción de Pérdidas Post-cosecha del Laboratorio de Innovación de Alimentos- *Feed the Future*, creado por las Universidad de Kansas y Lincoln Nebraska. Además se estableció una línea base sobre la calidad microbiológica del maíz almacenado y secado tradicionalmente en los municipios de Todos Santos Cuchumatán y Chiantla de Huehuetenango, Guatemala. y se pretendía determinar el mejor método de almacenamiento para el control de la microbiota fúngica y la producción de micotoxina.

Por otro lado, para la determinación del mejor método de almacenamiento se trabajó en cinco comunidades diferentes ubicadas en los dos municipios de Huehuetenango. Estas comunidades fueron clasificadas según su altura y en ellas se implementaron tres diferentes tipos de almacenamiento, silo, tonel y Grain Pro Bag para evaluar de la misma manera que con el tipo de secado el porcentaje de humedad, la cantidad de hongos, la cantidad de levaduras, la concentración de fumonisinas y la concentración de aflatoxinas. Antes del análisis estadístico se evaluó la distribución de los datos, así como su estadística descriptiva y mediante gráficos y la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y la de homogeneidad de varianzas Bartlett se determinó que los datos no tienen una distribución normal.

La muestras de maíz evaluadas en este proyecto pertenecen a la cadena 1 de muestreo, es decir que el grano es cultivado y cosechado por el mismo agricultor (no lo compra). Estos agricultores secan su maíz de manera tradicional y lo almacenan en contenedores dependiendo de la localización y la capacidad económica del agricultor antes de que se implementaran los tres tipos de almacenado mencionados. Se decidió agrupar las comunidades por altura debido a que estas poseen diferentes condiciones meteorológicas que se cree podrían afectar la calidad del grano (Bolívar, 2007). Para determinar si la altura tenía alguna influencia significativa en la reducción de humedad, cantidad de hongos y levaduras y en la concentración de micotoxinas se realizó un estudio pareado con la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis comparando cada variable de las diferentes alturas y se demostró que únicamente el porcentaje de humedad fue significativo. ($p > 0.05$). Por lo que las demás variables que son el conteo de hongos y levaduras y la concentración de fumonisinas y aflatoxinas no parecen tener una diferencia significativa según la altura en la que fueron evaluadas. En la Figura 32 se puede

observar como la humedad va variando conforme los días de almacenado en las diferentes alturas. Es normal que exista esta diferencia pues la humedad ambiental en cada una de las alturas varía lo cual puede afectar la humedad del grano aunque este se encuentre almacenado. Es importante mencionar que todas las muestras de las diferentes alturas sobrepasan el límite de humedad permitido $<14\%$ (Nash, 1985), lo cual promueve la degradación del grano y su decrecimiento en cuanto a la calidad nutricional, además de que está predispuesto a la colonización de hongos.

Debido a que se encontró la altura no es un factor determinante en las variables que evalúan la calidad microbiológica del grano, se procedió a evaluar si el factor tiempo hacía que los parámetros evaluados variaran. Esto se puede observar gráficamente en las figuras 9, 10, 11, 12 y 13. Se determinó mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon que el la distribución de las poblaciones no son iguales, es decir si tienen una diferencia significativa en sus distribuciones ($p < \alpha$) según el tiempo en las que fueron evaluadas. Por lo que al parecer el tiempo si influye en cada una de las variables medidas. En todas existe un aumento debido a que las condiciones de almacenamiento no son las mejores, exceptuando la humedad y las fumonisinas, esto debido a los efectos del secado y que esta toxina proviene de hongos que infectan el grano en el campo (Torres, et al, 2007).

Teniendo en cuenta que al parecer la altura no define la mayoría de las variables y que el tiempo si lo hace se evaluó cada método de almacenamiento implementado según la altura. Esto mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. En el Cuadro 28 se puede observar que todos los valores $p > \alpha$ y debido a que esta prueba permite evaluar y comparar las medianas de las variables medidas según el tipo de almacenado se determinó que no existe una diferencia entre la humedad, el conteo de hongos, levaduras y la concentración de fumonisinas y aflatoxinas con respecto al método de almacenamiento. Se puede concluir que todos los tipos de almacenado evaluados no mantienen condiciones herméticas que sean capaces de mantener las condiciones microbiológicas estables.

Además, se trabajó a partir de los objetivos de cuantificar y comparar la microbiota fúngica y concentración de aflatoxinas y fumonisinas en los granos de maíz

secados y almacenados durante 0, 30, 60 y 90 días. Para esto fue necesario procesar y analizar las diferentes muestras. De estas muestras se tomaron los respectivos datos para su análisis y poder concluir significativamente sobre la calidad de los granos al ser secados de manera tradicional y por medio de un secador STR; además, de la relación con el tiempo de almacenamiento.

El secado de granos es un paso fundamental para la post cosecha. En San Antonio Las Nubes, Chiantla se emplea el método tradicional de secado (asoleaderos, tapancos y dobla) el cual involucra una gran exposición de las mazorcas y granos de maíz a factores ambientales, que desde este momento pueden comenzar a deteriorar las condiciones del grano. Es de suma importancia alcanzar cierto nivel de humedad en el grano para que este pueda ser almacenado, ya que si este es mayor a un 14% (MAGRAMA, 2016) su calidad solo empeorará. Entre las ventajas de la utilización de un secador STR para el procesamiento de los granos están, la reducción del tiempo de secado; lo que tomaría semanas puede realizarse en horas. Además, los granos se encuentran protegidos de los factores ambientales y así reduciendo el riesgo de exposición se logra una mejor calidad del grano. La calidad del secado determina el porcentaje de humedad, el cual es importante para evitar el riesgo de deterioro durante el almacenamiento. Un rango de 11 a 13 % de humedad asegura un almacenamiento exitoso (FAO, 1993).

Por medio de la estadística descriptiva pudieron observarse ciertos datos importantes de las muestras analizadas. Se determinó que la media de aflatoxinas fue de 2.26 ppb para el maíz secado tradicionalmente y 7.07 ppb para el maíz secado con secador STR. Para fumonisinas la media fue de 0.11 ppm para el secado tradicional y 0.64 ppm para el secador STR; en ambos grupos de maíz eran menores al límite máximo de ingesta diario permitido por la FDA, que son 20 ppb para aflatoxinas y el nivel máximo diario tolerable de 2ppm de fumonisinas recomendado por la OMS (Torres, 2013). Sin embargo, estos valores no son específicos para Guatemala, donde la dieta de las personas en el área rural es casi en su totalidad de maíz. Según Bressani en 1990, el consumo diario per- cápita de maíz era de 318g /d, por lo que el riesgo de exposición a micotoxinas es mayor (Torres *et al.*, 2007).

En el momento de procesar las muestras y analizarlas en el laboratorio fue de suma importancia moler las muestras de maíz. El uso de un molino aumenta el número de partículas por unidad de masa, de manera que se disminuye la variabilidad de los resultados (Mallmann *et al.*, 2014). En cuadro 21 de resultados puede observarse que muchos valores son reportados como 0. El resultado obtenido al analizar la muestra fue de <0.3 ppm y <0.2 ppm en el caso de las fumonisinas y <2 ppb para aflatoxinas. Las concentraciones de micotoxinas eran menores al límite de detección para el kit de Romer Labs, AgraStrip®; por lo que para su análisis sus valores fueron tomados como 0. Para obtener datos más precisos y exactos sobre la concentración de micotoxinas se pudo haber utilizado un sistema de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés) acoplado a un espectrofotómetro de masas; sin embargo, se obtienen resultados confiables, mucho más rápidos y con un costo más bajo utilizando los kits de detección AgraStrip®. Estos son específicos para muestras de maíz y utilizan un ensayo inmunocromatográfico de flujo lateral en un paso (Sabillón y Bianchini, 2015).

Para determinar la calidad microbiológica de las muestras, se realizaron pruebas estadísticas para determinar la normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia. Como puede observarse en el Cuadro 22, solo los datos de hongos presentan una distribución normal; lo cual se comprobó significativamente con la prueba de Shapiro-Wilk. Para observar de una mejor manera las varianzas se elaboraron gráficos de caja y bigotes, de modo que se pudo evaluar de forma gráfica y tener resultados estadísticamente significativos por la prueba de Bartlett. La distribución de los datos no es homogénea y desde este primer análisis se pudo observar que existen diferencias entre la calidad de los granos secados tradicionalmente y los granos secados con secador STR.

Para determinar si las diferencias observadas eran significativas, se realizó la prueba de Kruskal- Wallis. Por medio de ésta se comprobó que existe una diferencia significativa entre el conteo de levaduras de los granos secados de manera tradicional y con secador STR. También que existe diferencia significativa en la concentración de aflatoxinas y porcentaje de humedad. Por medio de los gráficos de medias puede observarse que el porcentaje de humedad es menor en los granos secados con el secador STR, por lo que puede decirse que el secador empleado de forma experimental si es

relevante en la mejora del manejo post- cosecha del maíz. La concentración de aflatoxinas fue menor en el secado tradicional, sin embargo, la cantidad de aflatoxinas depende de factores como las esporas liberadas, las condiciones ambientales y temperatura durante el crecimiento de la planta de maíz, el contacto con insectos vectores de hongos y el almacenamiento (Bogantes- Ledezma *et al.*, 2004), por lo que no puede concluirse que se debe del todo a el tipo de secado empleado. No se encontró una diferencia significativa entre la concentración de fumonisinas, esto puede deberse a que los hongos las producen previo al almacenamiento, cuando se encuentran con condiciones adversas o estrés ambiental (Torres *et al.*, 2007); además, la producción de fumonisinas se ve favorecida en climas cálidos y húmedos, puede que no se hayan encontrado altas concentraciones de éstas debido al clima frío en Huehuetenango (Torres *et al.*, 2013). El conteo de levaduras también fue significativamente diferente, y aunque las levaduras no se consideran organismos productores de micotoxinas, estas si están relacionadas directamente con la humedad debido a las condiciones necesarias para su crecimiento y desarrollo. Una vez determinada la diferencia entre los dos tipos de secado, se analizaron las diferencias entre días de almacenamiento. Se utilizó la prueba de Wilcoxon con las muestras de maíz secado y almacenado por 0, 30, 60 y 90 días. Las diferencias fueron significativas, por lo que se puede decir que las condiciones en el almacenamiento no fueron constantes.

Debido a que se encontraron diferencias significativas entre los datos de humedad y microbiota fúngica en los análisis realizados anteriormente, se decidió realizar la prueba de correlación de Pearson. Por medio de este análisis se pretendía evaluar si existe una relación entre la humedad presente en los granos y los organismos productores de micotoxinas, así como la concentración de aflatoxinas y fumonisinas. Se pudo observar que existe una correlación directa (positiva) y mayor entre la humedad y la microbiota fúngica. Los datos analizados son de maíz almacenado y secado por diferentes métodos. El almacenado cumple con la función de preservar la calidad de los granos siempre y cuando la humedad del maíz sea menor al 12% (SAGARPA, 2000). La proliferación de hongos se da durante la post-cosecha, transporte y almacenamiento de los granos de maíz y se puede ver favorecido el crecimiento por la presencia de levaduras. Las levaduras

poseen actividades metabólicas oxidativas y fermentadoras, una fuente primaria de deterioro aeróbico en la calidad del grano. Se produce un aumento en el pH, el cual le permite crecer a hongos como *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium* (Santos *et al.*, 2014). Puede que no se haya encontrado una correlación directa y alta de la humedad con las micotoxinas debido a que estas no son producidas inicialmente por los microorganismos. Los hongos realizan su metabolismo primario durante el crecimiento. Al acumularse metabolitos primarios, se induce la actividad de enzimas del metabolismo secundario y se da la producción de micotoxinas (Bogantes- Ledezma *et al.*, 2004).

Por último, se evaluaron las variables de conteo de hongos, conteo de levaduras y humedad, según el método de secado y los días de almacenamiento; debido a que se obtuvo una mayor correlación entre la humedad y la microbiota fúngica. De esta forma se podría observar gráficamente el comportamiento de los datos y determinar fuentes de error. Se determinó que la presencia de hongos no es constante, estos varían según el día en el que se tomó la muestra, lo que indica una posible fuente de error en el muestreo o un secado no homogéneo. De acuerdo al protocolo que se siguió para el muestreo, puede decirse que las muestras son representativas. Una vez se reduce el porcentaje de humedad en el secado, este no debería de disminuir durante el almacenado, solo podría aumentar. El contenedor donde se encuentran los granos debe ser mezclado para que no existan focos de microorganismos, que no se aislen en ciertas partes de modo que la distribución sea igual (Mallmann *et al.*, 2014). Que los valores disminuyan a través del tiempo indica un secado no homogéneo, de manera que se dio el crecimiento de hongos en algunas partes de los granos almacenados y no en toda la población del maíz; si éste no fue mezclado lo suficiente durante el secado con el secador STR podría ser la causa de la variación en los resultados (Mallmann *et al.*, 2014). Además, en el Cuadro 26, puede observarse que las medias de humedad son superiores a un 14% por lo que se propician las condiciones adecuadas para el crecimiento de la microbiota fúngica y producción de toxinas. En la Figura 31 puede observarse cómo los valores de humedad en granos son menores para el secador STR que los valores alcanzados al secar el maíz de manera tradicional y se mantienen más uniformes dentro de un rango constante.

El maíz en Guatemala es de suma relevancia para su población y lo ha sido a través de los años. Es el principal grano producido en el país y ocupa la mayor superficie de las tierras que son sembradas (Anacafé, 2014). Según el CONAP, el maíz (*Zea mays* L.) es un Patrimonio Cultural Intangible de la Nación y un símbolo valioso de la cultura y naturaleza guatemalteca (CONAP, 2016). De modo que la mejora en el manejo post-cosecha de éste es muy importante para sus pobladores y el país en sí. No solo por su relevancia cultural, social, histórica, socioeconómica, entre otros; sino porque al experimentar un mal manejo post-cosecha este puede sufrir desgastes en su calidad, perdiéndose así hasta 49% de las cosechas. La contaminación con hongos y levaduras no solo produce daños a la calidad del maíz sino puede ocasionar serios daños a la salud a las personas que lo consuman. Tanto las aflatoxinas como las fumonisinas, producidas por hongos, tienen serios efectos adversos para la salud. Estos pueden empeorar si se producen mezclas de toxinas en el mismo grano por la proliferación de diferentes hongos en el mismo cultivo. La presencia de ciertas micotoxinas también favorecen la producción de otras, actuando de manera sinérgica (Torres, 2013) y aumentando la toxicidad y nivel de producción hasta 7 veces más (FAO, 2016). Por medio de la implementación de secadores de maíz, así como un monitoreo de la calidad microbiológica de los granos pueden reducirse los factores de contaminación de granos, mantener condiciones adecuadas y así evitar los severos daños a la salud y pérdidas implicadas en el manejo post-cosecha.

C. Módulo 3

A partir de los resultados obtenidos después del análisis financiero y administrativo realizado al modelo de negocio de el secador de maíz implementado en el municipio de Chiantla, Huehuetenango, es importante identificar el impacto que generan los mismos. Primero, a partir de los costos del secador, se identifica que el principal costo del secador es el ventilador que es el principal elemento del secador, con un costo que representa más del 50% del costo del secador. Este ventilador cumple con la función de generar el calor que será transferido de la malla donde se coloca el maíz, sin embargo el mantenimiento y el costo inicial del mismo es muy alto, lo cual genera que los egresos debido al mantenimiento del mismo, en el estado de resultados sean altos. Para ello, para la

continuidad del mismo, se recomendaría utilizar un secador con un costo menor de mantenimiento, es decir que tenga que utilizar menos leña para el secado y el cambio de aceite y filtros del mismo sea de menor costo.

En el libro contable del “Estado de Resultados” es importante identificar que se encuentran los ingresos y egresos que genera el modelo de negocio del secador de maíz. Los ingresos, provienen del maíz que se seca en el secador en la finca donde fue instalado el mismo, que es la finca de “Don Gabriel”. El maíz que es ingresado al secador es el maíz que antes se perdía debido a altos niveles de humedad. El porcentaje de pérdida de maíz que tenía la finca donde fue instalado, el cual representa apropiadamente el 2% de la cosecha anual de Don Gabriel (alrededor de 2-30 quintales anuales). Este maíz que antes era una pérdida, genera un nuevo ingreso para Don Gabriel y el nuevo ingreso es el principal ingreso del Estado de Resultados planteado.

Sin embargo, con este modelo de negocio no se aprovecha del todo la capacidad de secado que tiene la malla donde se coloca el maíz a secar, ya que la misma puede llegar a secar aproximadamente trescientos cincuenta quintales anuales, por lo que, para aumentar su capacidad de secado, se decidió plantear un escenario en donde se dé la opción que otros agricultores, que no tienen la capacidad para instalar el secador y no forman parte de los principales agricultores de Chiantla, puedan llegar a secar el maíz que antes también perdían, al secador de maíz, pagando un porcentaje, el 30%, del costo de venta del quintal de maíz. Estos quintales que llegan a secar los pequeños agricultores, antes no realizaban la venta del mismo y por ello, genera un nuevo ingreso adicional para los pequeños agricultores. Este escenario también plantea que se va a dar mayor factor de utilización al secador y se aprovechará de mejor forma el secador, sin embargo al aumentar el secado, aumenta el mantenimiento mencionado en el párrafo anterior ya que cada vez que se seca en el secador, se debe de utilizar la leña y se debe de conectar el secador a la electricidad. Por último, en el estado de resultados es importante identificar que en los salarios (que están en forma anual) solo se presenta el porcentaje de tiempo que los dos agricultores pasarán trabajando con el secador de maíz, que representa el 10% de las tareas descritas en el descriptor de puesto de los agricultores.

De igual forma, en el flujo de efectivo se evidencia que los ingresos aumentan de forma anual, ya que en los últimos cinco años se identificó que la cosecha de maíz, no solo en el departamento de Huehuetenango, si no que a nivel nacional, la cosecha de maíz va en aumento y por ende aumentan los ingresos por la venta del mismo. Sin embargo, en estos ingresos por el secado de toda la pérdida es importante mencionar que todavía existe una merma del maíz, ya que no se va a poder secar el 100% de maíz, ya que siempre habrá todavía pérdida del maíz.

En la parte de los egresos del flujo de efectivo, es importante identificar que también aumentan en el paso de los años los egresos, debido al aumento del mantenimiento del secador y su depreciación. Al realizar el ejercicio e identificar si hay pérdida o utilidad durante el ejercicio, se identifica que, durante los cinco años de proyección del negocio, habrá pérdida ya que los egresos netos superaran a los ingresos. Esto implica también que no se hay impuestos sobre las utilidades a pagar, porque financiamiento el negocio no es viable, ya que su fin al inicio de la propuesta del proyecto era una un proyecto de apoyo social. Al ser el primer año en que se realiza un ejercicio de análisis de proyecto, y no tener utilidad en el ejercicio de la proyección, se identifica que no hay tasa de retorno del proyecto y no genera utilidades para donde se instaló, siempre secando únicamente el maíz que antes era pérdida. Es importante identificar que el resto de del negocio (el maíz que se seca de forma tradicional con tapancos y con sol) sigue operando de forma igual.

En el tercer libro contable realizado, el Balance General, tiene las cuentas que forman parte del modelo de negocio a finales de cada año contable. Entre los principales aspectos a mencionar es que en caja, a pesar que el modelo de negocio tenía ingresos, tenía que tomar dinero que no formaba parte del dinero propio del secador (es decir de la venta del maíz normal). También, este dinero que forma parte de la caja, se convirtió en una cuenta por pagar, para llevarlo a la caja y poder saldar los egresos que genera el secador de maíz.

VIII. CONCLUSIONES

1. El secador STR implementado en la comunidad San Antonio Las Nubes es un modelo que al trabajar bajo las condiciones de alta humedad relativa y bajas temperaturas es muy ineficiente para secar mazorcas de maíz. De acuerdo a la relación del calor generado por combustión y el calor transferido por convección a lo largo del sistema se obtuvo una eficiencia del 0.75% para maíz en mazorca y 0.89% para maíz desgranado.
2. Se calculó la velocidad a la cual el secador STR disminuía la humedad del maíz contenido en él durante un periodo de una hora, siendo este resultado en promedio de 0.796% humedad/h para el maíz desgranado y 0.58% de humedad/h para el maíz en mazorca.
3. Se determinó que el diseño y uso de leña como material de combustión representa un gasto de inversión y mantenimiento considerable para el agricultor, por lo que la búsqueda de una mejora en el sistema es necesaria para alcanzar todos los objetivos del estudio.
4. Se determinó que ni la altura ni el método de almacenamiento influye en la cuantificación de la microbiota fúngica, el único factor que afecta es el tiempo de almacenamiento.
5. Se determinó que los valores de aflatoxinas y fumonisinas se ven afectados únicamente por el tiempo, no por el tipo de almacenado ni por la altura del lugar en donde se cultiva y almacena.
6. La humedad es el único factor que se ve afectado según la altura, pues el muestreo de comunidades entre 1500 y 2700msn presentó un mayor porcentaje de humedad.
7. Se determinó que existe una diferencia significativa en la calidad microbiológica del maíz secado de manera tradicional y del maíz secado con un secador STR.
8. Los valores de porcentaje de humedad son menores en los granos secados con un secador STR, por lo que puede decirse que el secador empleado de forma experimental sí es relevante en la mejora del manejo post- cosecha del maíz.
9. Existe una diferencia significativa en los diferentes días de almacenamiento del conteo de hongos, conteo de levaduras, concentración de aflatoxinas,

concentración de fumonisinas y porcentaje de humedad en las muestras secadas con un secador STR.

10. Se comprobó que existe una correlación significativa entre la humedad de los granos y la presencia de hongos y levaduras.
11. Las muestras provenientes de San Antonio Las Nubes, Chiantla del departamento de Huehuetenango presentan niveles de aflatoxinas de 2.26 ppb para el maíz secado tradicionalmente y 7.07 ppb para el maíz secado con secador STR y fumonisinas 0.11 ppm para el secado tradicional y 0.64 ppm para el secador STR, los cuales son menores al límite máximo de ingesta diario permitido por la FDA, que son 20 ppb para aflatoxinas y el nivel máximo diario tolerable de 2ppm de fumonisinas recomendado por la OMS.
12. Se determinó significativamente que al secar los granos con un secador STR y almacenarlos, se mantiene constante la calidad de los granos.
13. El modelo de negocio del secador de maíz genera ingresos a partir de la venta de maíz que antes era considerada pérdida y del alquiler del mismo para pequeños agricultores que lleguen a secar el maíz en el mismo.
14. La inversión inicial del secador de maíz tuvo un costo de Q15,800.00, y la inversión del mismo no se recupera en una proyección de 5 años, debido a que a ser el segundo secador implementado con un enfoque social y el primer año de la evaluación financiera del mismo.
15. Los beneficios para la comunidad de donde se implementa el secador del maíz son la disminución del tiempo de secado de maíz, disminución de hongos en los granos de maíz, sin embargo, generan costos adicionales debido a la implementación del mismo.
16. El secador de maíz tiene varios impactos en la comunidad donde fue instalado. Primero, forma parte de una implementación de algo que no existía en la comunidad y es visto como una máquina que automatiza su trabajo. También, genera un trabajo adicional en las personas que trabajan en la finca donde fue instalado el secador con nuevas funciones de trabajo que involucran el uso del secador. A su vez, se genera mayor uso de recursos ecológicos, como la leña que se utiliza para el secado.

IX. RECOMENDACIONES

1. Rediseñar la cámara de combustión y la chimenea para reducir la pérdida de calor a través de la misma y así mejorar la eficiencia del secador.
2. Evaluar otra posición para la chimenea o la adaptación de un intercambiador de calor que permita aprovechar el calor de la combustión al máximo pero, evitando insertar el humo a las mazorcas.
3. Utilizar un ventilador de menor potencia acortando la distancia entre la cámara de combustión para que el aire pueda permanecer más tiempo dentro de la cámara de combustión y alcanzar temperaturas más altas, a modo que se reduzcan los costos del sistema sin cambios considerables en el flujo del aire para la operación de secado.
4. Emplear otro tipo de material para combustión sustituyendo el uso de la leña, pues no solo representa un gasto más, sino que además es ineficiente en comparación con otros materiales de combustión y biomasa.
5. Aumentar el tamaño de la muestra para lograr una menor varianza en la población.
6. Mezclar regularmente los granos durante el secado, de manera que no se produzcan focos de microorganismos que producen la contaminación; sino que se distribuyan de manera homogénea.
7. Disminuir la humedad en los granos de maíz a niveles menores del 12% de manera que los granos no se deterioren durante el almacenamiento.
8. Implementar un secador STR en diferentes municipios de Huehuetenango, para obtener datos más representativos sobre la eficiencia del secado. La humedad de San Antonio Las Nubes puede ser una variable que afecte la eficiencia del secado.
9. Realizar un análisis multivariado para analizar los datos, de manera que se puedan identificar co-variables.
10. Utilizar un secador de maíz solar para no generar un uso adicional de recursos de las personas, el cual tiene un menor costo de inversión.

11. En la cama de secado del secador de maíz, en época donde no se esté cosechando maíz, utilizar el mismo para el secado de frijol, café u otro grano que sea cosechado en la región donde se encuentra instalado el secador, por ejemplo, en el altiplano del país.
12. Utilizar los futuros secadores de maíz en lugares donde sea comunitario, es decir que más familias lo puedan utilizar y aprovechar el secado, aprovechando la capacidad de secado que tiene el mismo.
13. Para generar fuentes adicionales de empleo, se puede dedicar una persona sola durante todo el año al uso del secador, dándole exclusividad en dicho trabajo y generando un área de experiencia del mismo en dicho trabajo.
14. Realizar un análisis de costo-beneficio en relación al mejoramiento del maíz y el impacto social que tiene el mismo.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. Anacafé. (2014). *Programa de Diversificación de Ingresos en la empresa Cafetalera. Asociación Nacional del Café.*
2. Araceli, R. et.al.(2013). *Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla.* Rev. Fitotec. México.
3. Aragón, D. (2015), *Análisis y propuesta de mejora del manejo post cosecha de maíz (Zea mays) para la reducción de aflatoxinas y fumoniscinas en el maíz cultivado y consumido en el departamento de Huehuetenango.* Trabajo de graduación. Universidad del Valle de Guatemala.
4. Azurdia, C. (2014). *Cultivos Nativos de Guatemala y Bioseguridad del Uso de Organismos Vivos Modificados, Maíz (Zea mays).* Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP-, Fondo Munidal para el Medio Ambiente y Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
5. Bennett, A; Bern, C; Richard, T; Anex, R. (2007). *Corn Grain Drying Using Corn Stover Combustion and CHP Systems.* Agricultural and Biosystems Engineering Publications, Iowa State University. 2161-2170.
6. BD. (2015). *Agua peptonada bufferada* en: <http://catalog.bd.com/nexus-ecat/getProductDetail?productId=218103&parentCategory=1211&parentCategoryName=Microbiology%20Testing&categoryId=1269&categoryName=Dehydrate%20Culture%20Media&searchUrl=> [Con acceso el 29 de febrero del 2016].
7. Bogantes-ledezma, P; Bogantes-ledezma, D y Bogantes-ledezma, S. 2004. *Aflatoxinas.* Acta Médica Costarricense. 46(4): 174-178 pp.
8. Camacho, A; Giles, M; Ortegón, A, Palao, M; Serrano, B y Velázquez, O. (2009). *Teécnicas para el análisis Microbiológico de Alimentos.* 2ª edición. Facultad de Química, UNAM. México. 13pp.
9. CONAP. (2016). *Maíz guatemalteco: riqueza genética única en el mundo.* En: <http://www.conap.gob.gt/index.php/servicios-en-linea/noticias/802-maiz->

10. [guatemalteco-riqueza-genetica-unica-en-el-mundo.html](#) [Con acceso el 5 de Septiembre de 2016].
11. Difco. (2014). *Agua peptonada bufferada* en : <http://catalog.bd.com/nexus-ecat/getProductDetail?productId=218105&parentCategory=1211&parentCategoryName=Microbiology%20Testing&categoryId=1269&categoryName=Dehydrate%20Culture%20Media&searchUrl=> [Con acceso el 29 de febrero de 2016].
12. FAO. (2016). *Manual sobre la aplicación del sistema de Análisis de Peligros y de Puntos críticos de Control (APPCC) en la prevención y control de las micotoxinas*. Estudio FAO alimentación nutrición. 130pp.
13. FAO. (2016). *Manejo Post-Cosecha del Maíz*. En: <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s24.htm> [Con acceso el 13 de Marzo de 2016].
14. FAO. (2006). *Manual de manejo postcosecha de granos a nivel rural*. En : <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S01.htm> [Consultado: 29/04/2016]
15. FAO. (1993). *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación*. En: <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027s00.HTM> [Con acceso el 13 de Marzo de 2016].
16. FAO. (2001). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Departamento de Agricultura*. En: <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm> [Con acceso el 13 de marzo de 2016].
17. FAO e IPGRI. (2001). *El papel de la mujer en la conservación de los recursos genéticos del maíz. Género y manejo de los recursos genéticos*. 68pp.
18. Fuentes, M. (2002). *El cultivo del Maíz en Guatemala: Una Guía para su manejo agronómico*. En: <http://www.icta.gob.gt/granosBasicos/cultivoMaizManejoAgronomico.pdf> [Consultado: 16/02/2016]
19. Figueruelo, J y Dávida, M. (2004). *Química física del ambiente y de los procesos medioambientales*. Editorial Reverté, Barcelona. 619pp.

20. Fuentes, M y Torres, O. (2008). *Análisis de factores de riesgo asociados con la presencia de fumonisinas (Fusarium verticillioides) en la cadena agroalimentaria del maíz en Guatemala*. Red SICTA, Guatemala. 17pp.
21. Hussain, W. (2015). *Application of Waste to Energy in Perspective of Sindh*. En: <http://es.slideshare.net/zubeditufail/waste-to-energy-in-perspective-of-sindh> [Consultado: 13/09/2016]
22. Instituto de Ciencia y Tecnologías Agrícolas ICTA. (2002). *El cultivo del maíz en Guatemala, una guía para su manejo agronómico*. En: <http://www.icta.gob.gt/maiz/cultivoMaizManejoAgronomico.pdf> [Con acceso el 10 de Marzo de 2016].
23. INSIVUMEH. (2016). *Clima de Huehuetenango* en: <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/zonas%20climaticas.htm> [Con acceso el 10 de marzo de 2016].
24. MAGA. (2013) *Informe de situación del maíz blanco. Guatemala*. En: [http://web.maga.gob.gt/download/informe_situacion_maiz_blanco\(2\).pdf](http://web.maga.gob.gt/download/informe_situacion_maiz_blanco(2).pdf) [Consultado: 16/02/2016]
25. MAGA. (2014) *Sistema de Monitoreo de Cultivos, Boletín No. 6. Guatemala*. En: <http://web.maga.gob.gt/download/Boletin-6-SMC-JUNIO.pdf> [Consultado: 16/02/2016]
26. MAGRAMA. (2016). *Secado y Almacenamiento de los granos*. España. En: <http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/maquinaria-agricola/secado-grano.aspx> [Consultado: 31/03/2016]
27. Maturin, L y Peeler, J. (2001). *Bacteriological Analytical Manual*. FDA. En: <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm063346.htm> [con acceso el 05 de Octubre del 2016].
28. Mallmann, A; Marchioro, A; Oliveira, M; Hummes, R; Dilkin, P y Mallmann, C. (2014). *Comparison of the efficiency between two sampling plans for aflatoxins analysis in maize*. Brazilian Journal of Microbiology. 45(1): 35-42.
29. Martinez, A; Plasencia, A y Tello, J. (2009). *Ecología de la microbiota fúngica de los suelos de los invernaderos de pimienta y su interés agronómico*. En:

- http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/publicaciones/ECOLOGIA_MICROB_IOTA_baja_tcm7-132018.pdf [Con acceso el 12 de Octubre del 2016].
30. Mendizábal, J. (2000). *Detección de aflatoxinas en el maíz almacenado en silos*. En: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2052.pdf [Consultado: 16/02/2016]
 31. Morales, A y García, C. (2013). *Química Bioorgánica y productos naturales*. 1ª edición. Editorial UNED, Madrid. 348pp.
 32. Microkit. (2016). *Medio DRBC* en: <http://www.medioscultivo.com/dicloran-rosa-bengala-cloranf-agar-drbc/> [Con acceso el 15 de mayo de 2016].
 33. Nicolò, G; Escobar, E; García, G; Ortiz, A; Morales, J y Galarza, C. (2010). *Misión FAO/PMA de evaluación de cosecha y seguridad alimentaria en Guatemala*. Informe especial, Guatemala. 36pp.
 34. Orozco, A. (2014). *Secado del maíz no cumple requisitos*. Prensa Libre. [Con acceso el 29 de febrero de 2016)]. En: http://www.prensalibre.com/noticias/Secado-maiz-cumple-requisitos_0_1127887252.html
 35. Phan, H. (2003). *Drying research and extension at the faculty of agricultural engineering and technology, and the center for agricultural energy and machinery of the Nong-Lam University Hochiminh City. Vietnam*. En: <http://fme.hcmuaf.edu.vn/data/drying%20research%20and%20extension.pdf> [Consultado: 16/02/2016]
 36. Pray, L. (2008) *Transposons: The jumping genes*. *Nature Education* 1(1):204
 37. SAGARPA. (2000). *Almacenamiento y conservación de granos y semillas*. En: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/documents/fichasaapt/almacenamiento%20de%20semillas.pdf> [Con acceso el 26 de mayo de 2016].
 38. Santos, A; Lock, G; Mechor, G y Kung, L. (2014). *Effects of a spoilage yeast from silage on in vitro ruminal fermentation*. *American Dairy Science Association*. 98(4): 2603-2610.
 39. SESAN. (2014). *Aflatoxinas y Fumonisinias: una amenaza para la seguridad alimentaria y la salud*. En <http://www.sesan.gob.gt/index.php/incopas/item/1309-aflatoxinas-y-fumonisinias-una-amenaza-para-la-seguridad-alimentaria-y-la-salud> [Con acceso el 29 de febrero de 2016].

40. Seese, W. (1996). *Química. 7ª edición*. Editorial Pearson Educación, Madrid. 652pp.
41. Torres, O. (2013). *Detección, Caracterización y Evaluación de Aflatoxinas que Influyen en el Retardo de Talla para Edad en Niños de Guatemala*. Proyecto FODECYT 04-2012. 107pp.
42. Torres, O; Palencia, E; López, L; Grajeda, R; Fuentes, M; Speer, M; Merrill, A; O'Donnell, K; Bacon, C; Glenn, A y Ryley, R. 2007. *Estimated fumonisin exposure in Guatemala is greater in consumers of lowland maize*. J Nut. 137(12): 2723-2729.
43. Torres, O. (2000). *Evaluación de métodos para descontaminar maíz con micotoxinas a nivel de hogar en una comunidad indígena del altiplano de Guatemala*. Informe final del proyecto CONCYT, Guatemala. 30pp.
44. Torres-Sánchez, L y López-Carrillo, L. (2010). *Consumo de fumonisinas y daños a la salud humana*. Salud Pública Mex, Cuernavaca. 52(5): 461-467.
45. Tortola, G; Funke, B y Case, C. (2007). *Introducción a la microbiología. 9ª edición*. Editorial Médica Panamericana, Madrid. 959pp.
46. Trucksess, M; Dombink, M; Tournas, V y White, K. 2002. *Occurrence of aflatoxins and fumonins in Incaparina from Guatemala*. Food Addit Contam. 19(7): 671-675.
47. UNICEF. (2012). *"Cuellos de Botella"/ Barreras relacionados a la reducción de la desnutrición Crónica*. Informe Final de la Línea de Base realizada en los primeros ocho municipios priorizados por el Plan Hambre Cero. 42pp.
48. Urusov, A; Zherdev, A; Petrakova, A; Sadykhov, E; Koroleva, O y Dzantiev, B. (2015). *Rapid multiple immunoenzyme assay of mycotoxins*. Toxins(Basel). 7(2):238-254.
49. USAID. (2014). *Drying technologies: Aflatoxin, Storage and Drying for the Prevention of Aflatoxins*. Bill & Melinda Gates foundation. 50pp.
50. USAID. (2014). *Proyecto "Reducción de pérdida y desperdicio de alimento post-cosecha"*. Informe diagnóstico inicial. 80pp.

51. USAID: Global Hunger and Food Security Research Strategy. (2014). *Proyecto “Reducción de pérdida y desperdicio de alimento post-cosecha”*. Programa de Reducción de Pérdidas en Post Cosecha. Guatemala. Pp. 82

XI. ANEXOS

A. Datos originales

Cuadro 42. Temperaturas en el sistema de maíz en mazorca

No. Medición	Hora	Temperaturas (°C)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	10:30	557.20	57.70	56.00	37.00	27.50	30.9	51.08	29.11
2	11:00	325.00	43.60	42.20	27.30	31.30	39.6	41.60	29.30
3	11:30	730.00	60.00	48.80	31.90	32.70	38.7	54.70	34.70
4	12:00	318.00	58.00	51.40	28.00	38.10	44.9	59.05	40.70
5	12:30	243.10	45.20	46.00	31.10	44.60	43.5	46.43	38.26
6	13:00	430.00	43.70	33.80	23.80	36.20	33.6	40.68	28.18
7	13:30	676.00	57.20	47.20	28.30	38.00	43.7	54.03	34.00
8	14:00	280.00	53.90	40.70	20.80	38.60	38.9	49.45	40.25
9	14:45	480.00	58.30	51.30	25.20	35.40	41.6	50.60	29.00
10	15:15	556.00	75.50	66.70	33.50	39.30	45.6	64.22	29.50
11	15:45	826.00	77.20	66.60	33.40	35.60	50.8	71.80	31.72
12	16:15	826.00	77.20	66.60	33.40	35.60	50.8	71.80	31.72

Los puntos indicados anteriormente son los siguientes:

1. Chimenea

2. Entrada de ducto (salida de cámara de combustión)

3. Salida del ducto (entrada a STR)

4. Parte superior STR

5. Parte media STR

6. Parte baja STR

7. *Temperatura del cilindro interno (°C)* 8. *Temperatura del cilindro externo (°C)*

Cuadro 43. Temperaturas en el sistema de maíz desgranado

No. Medición	Hora	Temperaturas (°C)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	11:45	465	97.5	86	19.5	20.2	17.7	49.49	16.25
2	12:15	592	109	92	23.5	25	19.6	64.83	17.3
3	12:45	300.4	88.9	80.1	26.8	27.5	21.6	64.75	26
4	13:15	380	106.2	91.7	26.3	29.4	23.2	66.36	23.48
5	13:45	376	127.3	106.4	28.2	32.3	26.3	81.69	25.63
6	14:15	250	107.5	98.5	28	35.1	26.5	84.2	27.68
7	14:45	240	108.6	90	29	38.4	26.7	86.9	28.68
8	15:30	211.4	88.3	75.3	28.4	42.1	25.3	84.72	28.92
9	16:00	282.1	57.2	57.2	28	41.2	24.4	77.37	27.94
10	16:30	308	74.9	64.4	31	45.2	27.6	76.72	26.34
11	17:00	378	80.5	67.6	29.8	41.4	27.2	77.6	26.3

Los puntos indicados anteriormente son los siguientes:

1. *Chimenea*

2. *Entrada de ducto (salida de cámara de combustión)*

3. *Salida del ducto (entrada a STR)*

4. *Parte superior STR*

5. *Parte media STR*

6. *Parte baja STR*

7. *Temperatura del cilindro interno (°C)*

8. *Temperatura del cilindro externo (°C)*

Cuadro 44. Datos ambientales en el municipio de Chiantla, departamento de Huehuetenango el 20 de enero de 2016 en corrida de STR para maíz desgranado.

No. Medición	Hora	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	10:30	13.0	71.5
2	11:00	14.7	66.4
3	11:30	17.1	58.7
4	12:00	17.1	58.7
5	12:30	16.7	54.9
6	13:00	16.9	51.5
7	13:30	19.5	48.3
8	14:00	17.7	54.8
9	14:45	16.6	58.7
10	15:15	15.4	60.3
11	15:45	16.0	61.6
12	16:15	16.0	61.6

Cuadro 45. Datos ambientales en el municipio de Chiantla, departamento de Huehuetenango el 21 de enero de 2016 en corrida de STR para maíz desgranado.

No. de medición	Hora	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	11:45	21.1	44.8
2	12:15	18.6	48.8
3	12:45	19.2	49.1
4	13:15	21.4	42.4
5	13:45	19.2	43.7
6	14:15	20.7	38.2
7	14:45	19.1	45.5
8	15:30	19.7	44.8
9	16:00	18.8	47.3
10	16:30	18.9	46.5
11	17:00	17.6	49.2

Cuadro 46. Humedad relativa en cilindros del secador STR para maíz en mazorca

No. Medición	Hora	Humedad relativa en 7 (%)	Humedad relativa en 8 (%)
1	10:30	12.18	38.70
2	11:00	16.70	36.50
3	11:30	9.70	28.00
4	12:00	7.42	23.80
5	12:30	22.50	19.61
6	13:00	16.84	32.27
7	13:30	8.84	28.31
8	14:00	11.25	21.93
9	14:45	10.24	30.00
10	15:15	6.40	38.75
11	15:45	4.80	36.00
12	16:15	4.80	36.00

Cuadro 47. Humedad relativa en cilindros del secador STR para maíz desgranado

No. Medición	Hora	Humedad Relativa en 7 (%)	Humedad Relativa en 8 (%)
1	11:45	12.7	81.73
2	12:15	5.51	87.32
3	12:45	5.27	90.3
4	13:15	4.92	88.81
5	13:45	2.27	89.46
6	14:15	1.57	89.2
7	14:45	1.92	86.9
8	15:30	3.53	84.72
9	16:00	4.69	77.37
10	16:30	5.48	76.72
11	17:00	5.65	77.16

Cuadro 48. Humedad del maíz durante el proceso de secado para maíz en mazorca

No. de Medición	Hora	Humedad del maíz (%)
1	10:30	21.9
6	13:00	24.37
10	15:15	23.43
12	16:15	22.27

Cuadro 49. Humedad del maíz durante el proceso de secado para maíz desgranado

No. de Medición	Hora	Humedad del maíz (%)
1	11:45	19.9
4	13:15	19.4
7	14:45	16.8
9	16:00	16.4

Cuadro 50. Flujo de aire, leña utilizada y notas para STR de maíz en mazorca

No. Medición	Hora	Flujo de aire (ft/ min)	Leña (lb)	Notas
1	10:30	1035	40.00	N/A
2	11:00	N/A	45.00	N/A
3	11:30			
4	12:00			
5	12:30			
6	13:00			
7	13:30			
8	14:00			
9	14:45	800		Se movió el ventilador
10	15:15	N/A		N/A
11	15:45			
12	16:15	750		

Cuadro 51. Flujo de aire, leña utilizada y notas para STR de maíz desgranado.

No. Medición	Hora	Flujo de aire (ft/min)	Leña (lb)	Notas		
1	11:45	320	76.77	N/A		
2	12:15	N/A	30.00			
3	12:45					
4	13:15					
5	13:45					
6	14:15					
7	14:45					
8	15:30				123.47	15:15hrs. (Problema con la electricidad, se detuvo el ventilador)
9	16:00				285	N/A
10	16:30					
11	17:00					

1. Datos calculados

Cuadro 52. Flujo de aire en la entrada de secador STR de maíz en mazorca (punto 3)

Diámetro (m)	0.30
Área (m ²)	0.07
Flujo de Aire (m ³ /s)	0.40
Flujo de Aire (m ³ /min)	23.71
Flujo de Aire (ft ³ /min)	837.20

Cuadro 53. Flujo de aire en la entrada de secador STR de maíz desgranado (punto 3)

Diámetro (m)	0.30
Área (m ²)	0.07
Flujo de Aire (m ³ /s)	0.11
Flujo de Aire (m ³ /min)	6.73
Flujo de Aire (ft ³ /min)	237.63

Cuadro 54. Dimensiones de secador STR de maíz desgranado

Alto (m)	1.14
Parte interna	
Diámetro cilindro interior (m)	0.23
Radio cilindro interior (m)	0.11
Volumen disponible (m³)	0.047
Volumen disponible (ft³)	1.65
Volumen disponible (bu)	1.33
Parte externa	
Diámetro cilindro exterior (m)	0.46
Radio cilindro exterior (m)	0.23
Volumen disponible (m³)	0.08
Volumen disponible (bu)	2.14

Cuadro 55. Área ocupada por el maíz en STR para maíz

Área ocupada por el maíz en mazorca dentro del secador STR (m²)	Área ocupada por el maíz desgranado dentro del secador STR (m²)
0.817	0.819

Cuadro 56. Flujo del aire en el secador STR para maíz

	Flujo de aire del secador para maíz en mazorca(ft³/min*bu)	Flujo de aire del secador para maíz desgranado (ft³/min*bu)
Cilindro interno	628.27	178.33
Cilindro externo	391.64	111.16

Cuadro 57. Coeficiente de transferencia de calor por convección

Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²*°C)	21.31
--	-------

(Anónimo, 2013)

Cuadro 58. Calor transferido por convección desde el cilindro interno al cilindro externo del secador STR con maíz en mazorca

No. Medición	Hora	Suma de calor transferido por convección de 7 a 8 (kJ)
1	10:30	1704.27
2	11:00	
3	11:30	
4	12:00	1854.38
5	12:30	
6	13:00	
7	13:30	
8	14:00	4574.89
9	14:45	
10	15:15	
11	15:45	
12	15:45	

Cuadro 59. Calor transferido por convección desde el cilindro interno al cilindro externo del secador STR con maíz desgranado

No. Medición	Hora	Calor transferido por convección (kJ) de 7 a 8
1	11:45	N/A
2	12:15	1492.62
3	12:45	1216.89
4	13:15	1346.59
5	13:45	1760.49
6	14:15	1774.94
7	14:45	1828.32
8	15:30	1752.33
9	16:00	1552.28
10	16:30	1582.12
11	17:00	1611.01

Cuadro 60. Calor total por combustión de leña en corrida para STR de maíz desgranado

No. Medición	Hora	Leña añadida (lb)	Calor total por combustión de leña (kJ)
1	11:45	76.77	638,733.06
2	12:15		
3	12:45		
4	13:15	30.00	131,520.00
5	13:45		
6	14:15	123.47	1,027,281.11
7	14:45		
8	15:30		
9	16:00		
10	16:30		
11	17:00		

Cuadro 61. Sumatoria de calor total por combustión de la leña y calor transferido por combustión para el cálculo de la eficiencia en STR de maíz desgranado

No. Medición	Hora	Calor total por combustión de leña (kJ)	Suma de calor transferido por convección del cilindro interno al cilindro externo (kJ)	Eficiencia del secador (%)
1	11:45	638,733.06	1,492.62	0.89
2	12:15			
3	12:45			
4	13:15	131,520.00	7,927.23	
5	13:45			
6	14:15	1,027,281.11	6,497.74	
7	14:45			
8	15:30			
9	16:00			
10	16:30			
11	17:00			
Total (kJ)		1,797,534.16	15,917.59	

Cuadro 62. Libras de leña utilizadas por hora para STR de maíz desgranado

No. Medición	Hora	Libras de leña/h	Promedio	Desviación Estándar
1	11:45	153.54	83.62	69.28
2	12:15			
3	12:45			
4	13:15	15.00		
5	13:45			
6	14:15	82.31		
7	14:45			
8	15:30			
9	16:00			
10	16:30			
11	17:00			

Cuadro 63. Velocidad de secado para secador STR de maíz en mazorca

No.	Hora	Secador con maíz en mazorca					
		Humedad Relativa (%)		Humedad del maíz (%)	Delta Tiempo (hora)	Pérdida de humedad (%)	dH/dt (%H/hr)
		Punto 7	Punto 8				
1	10:30	12.18	38.70	21.9			
6	13:00	16.84	32.27	24.37	2.5	-2.47	-0.99
10	15:15	6.40	38.75	23.43	2.25	0.94	0.42
12	16:15	4.80	36.00	22.27	0.5	1.16	2.32
Mínimo		4.8	32.27	Promedio			0.58
Máximo		16.84	38.75	Desviación Estándar			1.66

Cuadro 64. Velocidad de secado para secador STR de maíz desgranado

No. De medición	Hora	Malla con maíz					
		Humedad Relativa		Humedad del maíz (%)	Delta Tiempo (horas)	Delta humedad	dH/dt (%H/h)
		Punto 7	Punto 8				
1	11:45	12.7	81.73	19.9			
4	13:15	4.92	88.81	19.4	1.5	0.5	0.33
7	14:45	1.92	86.9	16.8	1.5	2.6	1.73
9	16:00	4.69	77.37	16.4	1.25	0.4	0.32
Mínimo		1.92	77.37			Promedio	0.796
Máximo		12.7	88.81			Desviación Estándar	0.812

Los puntos indicados anteriormente son los siguientes:

Punto 7. Temperatura del cilindro interno (°C)

Punto 8. Temperatura del cilindro externo (°C)

Cuadro 65. Horas aproximadas de secado hasta porcentajes de humedad seguros (13% o menos) para STR de maíz en mazorca

Horas transcurridas	Humedad de maíz inicial (%)	Humedad de maíz final (%)	Leña requerida (lb)
0	21.90	21.90	31.90
1	21.90	21.32	63.81
2	21.32	20.73	95.71
3	20.73	20.15	127.62
4	20.15	19.57	159.52
5	19.57	18.98	191.43
6	18.98	18.40	223.33
7	18.40	17.82	255.24
8	17.82	17.23	287.14
9	17.23	16.65	319.05
10	16.65	16.07	350.95
11	16.07	15.48	382.86
12	15.48	14.90	414.76
13	14.90	14.32	446.67
14	14.32	13.73	478.57
15	13.73	13.15	510.48
16	13.15	12.57	542.38
17	12.57	11.98	574.29

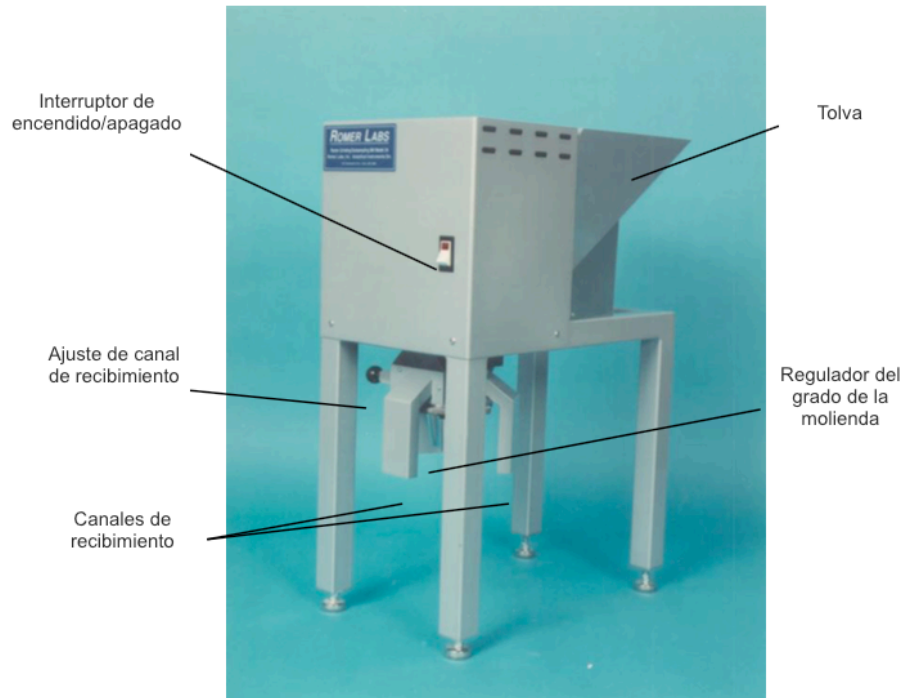
Cuadro 66. Horas aproximadas de secado hasta porcentajes de humedad seguros (13% o menos) para STR de maíz desgranado

Horas transcurridas	Humedad de maíz inicial (%)	Humedad de maíz final (%)	lbs de leña necesarias
0	19.90	19.90	83.62
1	19.90	19.10	167.24
2	19.10	18.31	250.86
3	18.31	17.51	334.48
4	17.51	16.72	418.1
5	16.72	15.92	501.72
6	15.92	15.13	585.34
7	15.13	14.33	668.96
8	14.33	13.54	752.58
9	13.54	12.74	836.18

Esta aproximación se hizo para el maíz utilizado en este análisis que contaba con un porcentaje de humedad inicial de 19.9% tomando en cuenta la velocidad de secado de 0.796% humedad por hora.

3. Molino Romer Series II ® Mill

Figura 45. Figura del molino Romer Series II® Mill



Modificado de: <http://www.romerlabs.com/es/products/romer-mills/>

4. Protocolo para cuantificación total de fumonisinas



PHL Innovation Lab

Guatemala

TITULO: Prueba de Cuantificación Total de Fumonisinas

Escrito por: Luis Sabillón

Editado por: Andréia Bianchini

Valido desde: 11/01/2015

Version: 1

PROPOSITO

1. Utilizar el equipo Agrastrip para la lectura de micotoxinas.

CONSIDERACIONES, COKAS 3000A

Uso previsto

La prueba de cuantificación total de fumonisina, AgraStrip®, es una ensayo inmunocromatográfico de flujo lateral de un solo paso que determina la presencia de fumonisinas totales (FB1, FB2 y FB3) en un nivel cuantitativo y está diseñado para ser usado en maíz y otros productos básicos.

Fumonisina

Las fumonisinas son un grupo recién descubierto de metabolitos tóxicos relacionados estructuralmente de varias especies de hongos. De importancia primordial es su producción por *Fusarium moniliforme*, que es un contaminante común del maíz en muchas partes del mundo. La ingestión de fumonisinas en los piensos contaminados y alimentos para el consumo humano se ha relacionado tanto con efectos tóxicos como cancerígenos. Los tres fumonisinas más abundantes son FB1, FB2 y FB3. FB1 en particular se ha relacionado con leucoencefalomalacia en caballos, edema pulmonar en cerdos y nefrotoxicidad y cáncer de hígado en ratas. Si bien aún se está determinando la dosis mínima que lleva a estas condiciones, el Comité de Micotoxinas de la Asociación Americana de Veterinarios de Laboratorios de Diagnóstico recomienda que los alimentos que contienen más de 5 ppm de fumonisina no se deben dar a los caballos. Estudios epidemiológicos han indicado altas tasas de cáncer de esófago humano en áreas donde se consume maíz contaminado con fumonisinas en el rango de 1-2 ppm. Los estudios toxicológicos han indicado que el potencial carcinogénico de la menos abundante FB2 y FB3 es similar a FB1. Las fumonisinas han sido declaradas posibles carcinógenos humanos por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer y la Agencia de Protección Ambiental de California.

Principios del ensayo

La prueba cuantitativa, AgraStrip®, es una ensayo inmunocromatográfico de flujo lateral de un solo paso para la detección cuantitativa del total de fumonisinas (FB1, FB2 y FB3) en muestras. La prueba se basa en un formato de inmunoensayo de competencia. Un complejo de anticuerpo-partícula (conjugado) revestido en un micro-pocillo se disuelve en diluyentes de ensayo y se mezcla con el extracto de la muestra. Una tira AgraStrip® se coloca en el pocillo. El contenido mezclado es entonces absorbido por acción capilar sobre la membrana de la tira AgraStrip®, que contiene una zona de ensayo y una zona de control. La zona de ensayo captura el complejo libre de anticuerpo-partícula (conjugado), permitiendo que las partículas de color se concentren y formen una línea visible. La intensidad del color de la línea es

inversamente proporcional a la concentración de fumonisinas en la muestra. La línea es siempre visible en la zona de control, independientemente de la presencia de fumonisinas. Las tiras AgraStrip® son luego medidas usando un lector de AgraVision y los resultados son determinados.

Precauciones

1. Almacenar los kits de prueba a **2-8 ° C (35-46 ° F)** cuando no estén en uso, y no utilizarlos más allá de la fecha de caducidad. No los congele. No los deje en la luz solar directa.
2. Las tiras deben mantenerse dentro de sus tubos originales.
3. Los micro-pocillos revestidos con el conjugado deben mantenerse dentro de sus tubos originales.
4. Todos los reactivos deben estar a temperatura ambiente antes de que el ensayo se ponga en marcha.
5. Seguir las instrucciones de los procedimientos de prueba al pie de la letra.
6. No re-utilizar las tiras.
7. Considerar todos los materiales, envases y dispositivos que estén expuestos a la muestra estar contaminados con la toxina. Use guantes de protección y gafas de seguridad cuando se utiliza el kit.
8. Los componentes de este kit de ensayo han sido probados mediante un control de calidad como una unidad de lote estándar. No mezcle componentes de distintos lotes.

PROCEDIMIENTO

Preparación de muestras / Extracción

1. Obtener una muestra representativa y molerla utilizando un molino Romer Series II o equivalente para que el 75% de la muestra pase a través de un tamiz # 20 (malla), luego mezclar vigorosamente la muestra molida.
2. Pesar 10 g de muestra molida en una bolsa Whirl-Pak® o similar que pueda ser cerrado herméticamente.
3. Añadir 20 ml de metanol al 70% y luego cerrar la bolsa Whirl-Pak®. **Nota:** Las muestras se deben extraer en una proporción de 1:2 (w:v) de la muestra a la solución de extracción, respectivamente.
4. Agita vigorosamente durante 1 minuto.
5. Deje que la muestra se asiente durante 2 minutos y 30 segundos para luego obtener el sobrenadante.
6. Diluir el extracto (sobrenadante) a 1:40 con dilución buffer en uno de los tubos de micro-centrífuga proveídos (por ejemplo, use una punta azul de pipeta y añada 2 mL (2000 µL) de dilución buffer, luego utiliza una punta de pipeta amarilla para remover y desechar 50 µL de ese buffer y, finalmente, añada 50 µL del extracto en el tubo de dilución proveído y mezclarlo bien)
7. La muestra está ahora listo para la prueba.

Procedimiento de la prueba

Nota: Todos los reactivos y los componentes del equipo deben estar a temperatura ambiente 20-24°C (68-75°F) antes de su uso. La temperatura de la incubadora AgraStrip® se fija a 35°C.

1. Colocar el bote con la solución buffer de ensayo en el bloque de calor AgraStrip® en la incubadora AgraStrip® e incubar a 35°C durante 30 minutos. Durante el envío (transporte) la

solución buffer de ensayo se precipitará y durante este tratamiento de 30 minutos de calor volverá a disolverse completamente. Después de la incubación de 30 minutos agitar la botella con la solución de buffer de ensayo para mezclar adecuadamente su contenido y homogenizarlo.

Nota: Se recomienda conectar la incubadora (incluyendo la solución de buffer de ensayo) por la mañana y que se mantenga a lo largo de todo el día.

2. Coloque la cubierta del bloque de calor en la parte superior del bloque de calor. Retire la cinta de sellado de los micro-pocillos revestidos con el conjugado, y coloque el número apropiado de pocillos revestidos con el conjugado en el interior del bloque de calor. Vuelva a sellar los pocillos revestidos con el conjugado que no sean utilizados.
3. Añadir 50 μL de solución buffer de ensayo a cada micro-pocillo revestido con el conjugado. Coloque la tapa de nuevo en el bloque de calor para cubrir los pocillos e incubarlos durante 30 segundos.
4. Levantar la tapa y añadir inmediatamente 50 μL del extracto de la muestra diluido en la solución buffer de ensayo en cada micro-pocillo, mezclar el contenido de cada pocillo con la pipeta hacia arriba y hacia abajo 10 veces.

Nota: el revestimiento de conjugado en cada pocillo debe ser disuelto por completo.

5. Poner una tira en cada micro-pocillo. Coloque la tapa de nuevo en el bloque de calor para cubrir las cúpulas y las tiras.
6. Deje la tira reposar en la solución para que desarrolle el color por 3 minutos. Levante la cubierta del bloque de calor y colócala en la parte superior del bloque de calor.
7. Limpie la parte final de la tira con un papel absorbente e insertar la tira en el soporte de tiras / bandeja para la lectura.
8. Utilice el Lector de AgraVision para leer inmediatamente la tira e interpretar resultados.

Nota: siga las instrucciones de AgraVision Reader para leer las tiras.

Nota: después de la prueba, los pocillos utilizados se puede quitar fácilmente con la pinza proporcionada con el bloque de calor AgraStrip®.

Interpretación de los resultados

Una línea de color aparece siempre en la sección superior de la tira para indicar que la tira está funcionando correctamente. Esta línea es la línea de control (C). Una línea en la sección inferior de la tira indica el resultado de la prueba. Esta línea es la línea de prueba (P).

Los resultados no válidos: Si no hay una línea de control en la zona de control, la prueba no es válida y la muestra debe volverse a analizar utilizando una tira válida.

Los resultados válidos: 2 líneas son visibles. La intensidad de la línea en la zona de prueba es dependiente de la concentración y debe ser medida con un lector de AgraVision.

Límite de detección (LD): 300 ppb

Límite de cuantificación (LC): 400 ppb
Rango de cuantificación: 0 - 5000ppb

Nota: La prueba cuantitativa de fumonisinas AgraStrip® con el lector AgraVision da resultados cuantitativos en el rango de cuantificación que se ha definido anteriormente. Si el resultado es inferior al límite de cuantificación (LC), este debe ser reportado como "<LC". Si el resultado es mayor que el límite superior del rango de cuantificación (LSC), el resultado debe ser reportado como "> LSC".

Materiales suministrada con el Kit

- 1 tubo que contiene las 24 tiras reactivas de fumonisinas
- 1 tubo que contiene 24 pocillos revestidas con el complejo de partícula-anticuerpo (conjugado)
- 1 botella de 50 ml de solución de dilución buffer
- 1 botella de 1.5 ml de solución buffer de ensayo
- 1 bolsa de 72 puntas de pipetas amarillas
- 1 bolsa de 24 puntas de pipeta azul
- 24 bolsas Whirl-Pak®
- 1 bolsa de 24 tubos de micro-centrifuga (para la dilución inicial 1:40 del extracto de la muestra)

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA - FUMONISINA

5



1. Diluir el extracto:
1950 µL buffer de dilución
50 µL extracto



2. Precalentar el buffer de ensayo y la incubadora por 30 minutos a 35°C.



3. Coloque el número apropiado de micro-pocillos conjugados en la incubadora.



4. Agregar 50 µL del buffer de ensayo a cada micro-pocillo e incubarlo por 30 segundos.



5. Agregar 50 µL del extracto de la muestra diluido a cada micro-pocillo y mezclar.



6. Coloque una tira en cada micro-pocillo



7. Cierre la incubadora y deje la tira reposar por 3 minutos



8. Seque la tira con papel e inmediatamente colóquela en el lector para su análisis

5. Protocolo para cuantificación total de aflatoxinas



KANSAS STATE
UNIVERSITY



1

PHL Innovation Lab

Guatemala

TITULO: Prueba de Cuantificación Total de Aflatoxinas por WATEX

Escrito por: Luis Sabillón, Rodrigo Mendoza

Editado por: Andréia Bianchini

Válido desde: 02/22/2016

Version: 2

PROPOSITO

1. Utilizar el equipo Agrastrip para la lectura de aflatoxinas.

CONSIDERACIONES, COKAS 1600W

Uso previsto

La prueba de cuantificación total de aflatoxina, AgraStrip®, es un ensayo inmunocromatográfico de flujo lateral de un solo paso que determina la presencia de aflatoxina total (B1, B2, G1 y G2) en un nivel cuantitativo y está diseñado para ser usado en maíz y otros productos básicos.

Aflatoxinas

Las aflatoxinas son tóxicas y cancerígenas. Ellos son metabolitos de los hongos *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus*. Hay cuatro tipos principales de aflatoxina: B1, B2, G1 y G2, que llevan el nombre de sus respectivas propiedades fluorescentes innatas. La aflatoxina B1 es la más frecuentemente encontrada del grupo y la más tóxica. Las aflatoxinas se pueden encontrar principalmente en cereales, maíz, maní, semilla de algodón y nueces. Las aflatoxinas pueden causar enfermedad hepática en los animales y pueden causar disminución de la producción (leche, huevos, peso del animal, etc). La aflatoxina B1 es un carcinógeno humano potente, y puede contribuir al cáncer de hígado humano.

Los niveles de acción del US Food and Drug Administration (FDA) para aflatoxinas son los siguientes: (1) 300ppb para ganado de engorda; (2) 200ppb para el acabado de los cerdos; (3) 100 ppb para cría de ganado vacuno, porcino y aves de corral maduro; y (4) 20 ppb para los seres humanos y para los animales inmaduros y animales lecheros.

Principios del ensayo

La prueba cuantitativa, AgraStrip®, es un ensayo inmunocromatográfico de flujo lateral de un solo paso para la detección cuantitativa del total de aflatoxinas (B1, B2, G1 y G2) en muestras. La prueba se basa en un formato de inmunoensayo de competencia. Un complejo de anticuerpo-partícula (conjugado) liofilizado en un micro-pocillo se mezcla con extracto de la muestra. Una tira de aflatoxinas se coloca en el pocillo. El contenido mezclado es entonces absorbido por acción capilar sobre una membrana de la tira de aflatoxina, la cual contiene una zona de ensayo y una zona de control. La zona de ensayo captura el complejo libre de anticuerpo-partícula (conjugado), permitiendo que las partículas de color se concentren y formen una línea visible. La intensidad del color de la línea es inversamente proporcional a la concentración de aflatoxina total en la muestra. La línea es siempre visible en la zona de control, independientemente de la presencia de aflatoxina. Las tiras de aflatoxinas se miden usando un lector de AgraVision y los resultados se determinan.

pocillos en el interior del bloque de calor. **Nota:** las tapas de los pocillos conjugados no pueden ser reemplazados una vez que se retiran.

1. Añadir 100 μ L del extracto de la muestra diluido en cada pocillo y mezclar el contenido de cada pocillo con la pipeta hacia arriba y hacia abajo 10 veces. **Nota:** el conjugado en cada pocillo debe ser disuelto completamente.
2. Poner una tira en cada micro-pocillo. Coloque la tapa de nuevo en el bloque de calor para cubrir las cúpulas y las tiras.
3. Deje la tira reposar en la solución para que desarrolle el color por 3 minutos. Levante la cubierta del bloque de calor y colócala en la parte superior del bloque de calor.
4. Limpie la parte final de la tira con un papel absorbente e insertar la tira en el soporte de tiras / bandeja para la lectura.
5. Utilice el Lector de AgraVision para leer inmediatamente la tira e interpretar resultados. **Nota:** siga las instrucciones de AgraVision Reader para leer las tiras.

Nota: después de la prueba, los pocillos utilizados se puede quitar fácilmente con la pinza proporcionada con el bloque de calor AgraStrip®.

Interpretación de los resultados

Una línea de color aparece siempre en la sección superior de la tira para indicar que la tira está funcionando correctamente. Esta línea es la línea de control (C). Una línea en la sección inferior de la tira indica el resultado de la prueba. Esta línea es la línea de prueba (P).

Los resultados no válidos: Si no hay una línea de control en la zona de control, la prueba no es válida y la muestra debe volverse a analizar utilizando una tira válida.

Los resultados válidos: 2 líneas son visibles. La intensidad de la línea en la zona de prueba es dependiente de la concentración y debe ser medida con un lector de AgraVision.

Límite de detección (LD):
3.6 ppb

Límite de cuantificación (LC): 5.0 ppb

Rango de cuantificación:
0 – 100 ppb

Nota: La prueba cuantitativa de aflatoxinas AgraStrip® con el lector AgraVision da resultados cuantitativos en el rango de cuantificación que se ha definido anteriormente. Si el resultado es inferior al límite de cuantificación (LC), este debe ser reportado como "<LC". Si el resultado es mayor que el límite superior del rango de cuantificación (LSC), el resultado debe ser reportado como ">LSC".

Materiales suministrados con el Kit

- 1 tubo que contiene las 24 tiras reactivas de aflatoxinas
- 1 tubo que contiene 24 pocillos revestidas con el complejo de partícula-anticuerpo (conjugado)
- 1 botella de 30 ml de solución de dilución buffer
- 1 bolsa de 48 puntas de pipetas amarillas o blancas
- 1 bolsa de 24 puntas de pipeta azul
- 1 bolsa de 24 tubos de micro-centrifuga (tubos de dilución)
- 24 bolsas Whirl-Pak®
- 1 par de pinzas azules

Precauciones

1. Almacenar los kits de prueba a **20-24 ° C (68-75 ° F)** cuando no estén en uso, y no utilizarlos más allá de la fecha de caducidad. No los congele. No los deje en la luz solar directa.
2. Las tiras deben mantenerse dentro de sus tubos originales.
3. Los micro-pocillos revestidos con el conjugado deben mantenerse dentro de sus tubos originales.
4. Todos los reactivos deben estar a temperatura ambiente antes de que el ensayo se ponga en marcha.
5. Seguir las instrucciones de los procedimientos de prueba al pie de la letra.
6. No re-utilizar las tiras.
7. Considerar todos los materiales, envases y dispositivos que estén expuestos a la muestra estar contaminados con la toxina. Use guantes de protección y gafas de seguridad cuando se utiliza el kit.
8. Los componentes de este kit de ensayo han sido probados mediante un control de calidad como una unidad de lote estándar. No mezcle componentes de distintos lotes.

PROCEDIMIENTO

Preparación de muestras / Extracción

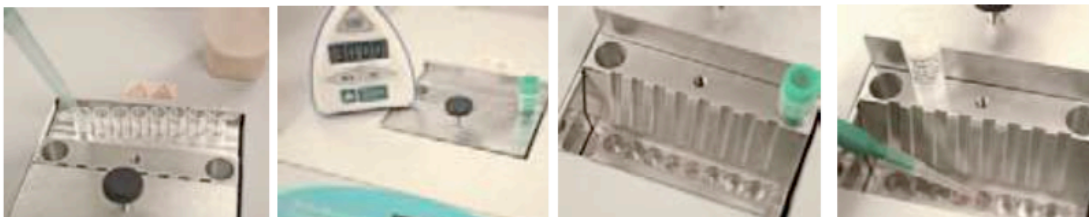
1. Obtener una muestra representativa y molerla utilizando un molino Romer Series II o equivalente para que el 75% de la muestra pase a través de un tamiz # 20 (mesh), luego mezclar vigorosamente la muestra molida.
2. Pesar 50 g de muestra molida en una bolsa Whirl-Pak®.
3. Añadir un sobre de buffer de extracción. Los sobres se encuentran dentro de la bolsa de aluminio. Cerrar la bolsa Whirl-Pak®.
4. Añadir 150 mL de agua destilada. **Nota:** Las muestras se deben extraer en una proporción de 1:3 (w:v, muestra:solvente) de la muestra a la solución de extracción, respectivamente. Mantener la bolsa de aluminio cerrada cuando no esté en uso.
5. Agitar vigorosamente durante 2 minutos.
6. Deje que la muestra se asiente durante 2 minutos.
7. Diluir el extracto (sobrenadante) a 1:21 con dilución buffer en uno de los tubos de dilución proveídos (por ejemplo, use una tip grande y agregue 1 mL (1000 µL) de dilución buffer, luego utilice una tip pequeña y agregue 50 µL del extracto en el tubo de dilución proveído y mezclarlo bien).
8. La muestra está ahora lista para la prueba.

Procedimiento de la prueba

Nota: Todos los reactivos y los componentes del equipo deben estar a temperatura ambiente 20-24°C (68-75°F) antes de su uso. La temperatura de la incubadora AgraStrip® se fija a **45°C**. Se recomienda conectar la incubadora (incluyendo la solución de buffer de ensayo) por la mañana y que se mantenga a lo largo de todo el día.

Coloque la cubierta del bloque de calor en la parte superior del bloque de calor. Abra la canasta del conjugado y rompa uno o dos pocillos. Cierre bien la canasta que contiene los pocillos que no estén en uso. Sólo remueve los pocillos que van a ser utilizados porque los pocillos conjugados son extremadamente sensibles a la humedad. Retire las tapas de los pocillos conjugados y coloque los

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA - AFLATOXINA



1. Diluir el extracto:
1000 μ L buffer de dilución
50 μ L extracto

2. Precalentar la incubadora a
45°C.

3. Coloque el número
apropiado de micro-pocillos
conjugados en la incubadora.

4. Agregar 100 μ L del extracto
de la muestra diluido en cada
micro-pocillo y mezclar.



5. Coloque una tira en cada
micro-pocillo

6. Cierre la incubadora y deje
la tira reposar por 3 minutos

7. Seque la tira con papel e
inmediatamente colóquela en
el lector para su análisis

6. Limpieza del Molino



PHL Innovation Lab Guatemala

TÍTULO: Procedimiento de Limpieza de Molino (PLM)

Escrito por: J. Rodrigo Mendoza

Editado por: Andréia Bianchini

Vigente desde: 11/01/2015

Version: 1

PROPOSITO:

1. Describir el procedimiento para limpiar adecuadamente el Molino Romer Serie II utilizado en el análisis de micotoxinas de muestras de maíz.

PROCEDIMIENTO:

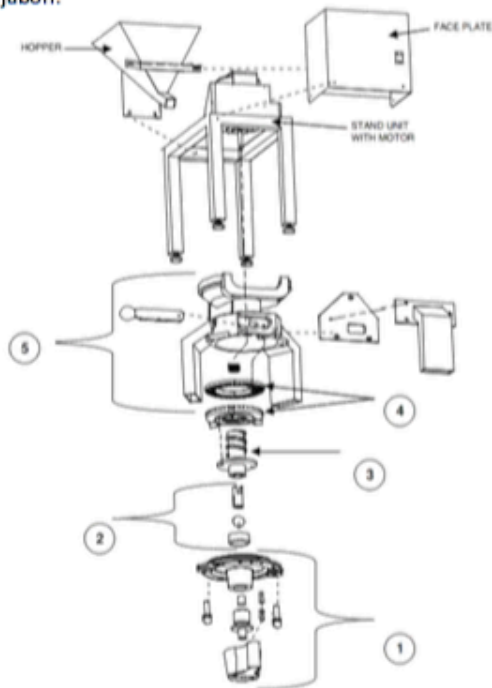
PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA RUTINARIA:

1. Una pequeña cantidad de muestra molida puede permanecer dentro del equipo después de haber molido una muestra. Para evitar la contaminación cruzada, después de la muestra de maíz ha sido completamente molida y mientras la unidad sigue funcionando, coloque una aspiradora en las aberturas o colectores de muestra.
2. Aspire por aproximadamente 30 segundos.
3. Cuando este realizando una corrida con una muestra fresca, deje moler a proximadamente 50 gramos de maíz antes de empezar a recolectar las muestra molida. Deseche los 50g.
4. Muela la muestra remanente (~750g).
5. Para limpiar completamente el burr set (ver imagen en siguiente pagina), apague el equipo presionando el interruptor de encendido a la posición "off" y desconecte la unidad. Retire el conjunto de la molienda (Grinder head assembly), siguiendo los pasos de la siguiente sección. Compruebe periódicamente el burr set y el interior de la vivienda molino para eliminar cualquier residuo acumulado. Esta área debe ser limpiada a fondo cada semana con un cepillo duro. Agua y jabón también pueden utilizarse. De ser así, las piezas deben estar completamente secas antes de reensamblar el equipo.



PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA COMPLETA

1. Para evitar accidentes, antes de iniciar el procedimiento de limpieza asegúrese de que la unidad está apagada y desenchufada.
2. Para limpiar completamente el burr set. Apague el equipo presionando el interruptor de encendido a la posición "off" y desconecte la unidad
3. Retire el conjunto de la molienda (Grinder head assembly)
 - Levante el shear cap. Limpie.
 - Remueva el revolving burr assembly. Limpie.
 - De ser necesario reemplazar, inserte un Nuevo disco antes de reensablar asegurese que:
 - Ninguna obstrucción quede atrapada en los dientes del burr
 - El resorte de tensión (tension spring) está en el eje del motor (motor shaft)
 - Que no se acumule polvo en la superficie de la tapa del molino que pueda evitar que se asiente correctamente contra la cabeza del molino. During reassembly, make sure the thrust plug is attached to the inside of the grinder cap assembly
 - Gire gradualmente un solo tornillo de cabeza amoladora (grinder cap screw), luego el otro hasta que ambos estén bien apretados. No apriete completamente un tornillo apretar el otro.
4. Revise periódicamente el burr set y el interior del molino para eliminar cualquier residuo acumulado. Esta área debe ser limpiada a fondo cada semana con un cepillo duro. También puede utilizarse agua y jabón.



Parte	Descripción
1	Grinder cap assembly (incluye: grinder cap, grind knob, detent spring, detent plate, grind adjustment screw, dos tornillos 10- 32 x 1/2, adjusting bearings y detent plunger)
2	Shear drive assembly (incluye shear drive, 25 shear discos, shear cap y thrust plug)
3	Gusano de alimentación (Feed worm) con bujes (bushings)
4	Burr set
5	Grinder head assembly (incluye: grinder head, restrictor gate, restrictor door, left, right y collection chute)
	Breaker, 10 Amp.
	Thrust plug (pkg. of 5)
	Tension springs (pkg. of 3)

Más información:

Inglés http://www.flamangraincleaning.com/pdfs/downloads/Romer_Series_II_Mill_-_Manual_Original_33142_new.pdf

Español <http://www.romeirlabs.com/es/products/romer-mills/>

7. Precauciones generales de seguridad de laboratorio relativas al análisis de micotoxinas



PHL Innovation Lab Guatemala	
TÍTULO: Precauciones Generales de Seguridad de Laboratorio Relativas al Análisis de Micotoxinas	
Escrito por: <u>Luis Sabillón</u>	Editado por: <u>Andréia Bianchini</u>
Vigente desde: <u>03/04/2015</u>	Versión: <u>1</u>

PROPÓSITO:

1. Garantizar la seguridad del personal mientras esté realizando el análisis de micotoxinas.
2. Asegurar que todos los desechos peligrosos relacionados con el análisis de micotoxinas sean correctamente y cuidadosamente manejados, desde su generación y manipulación hasta el almacenamiento y eliminación.

ALCANCE:

Los procedimientos que se detallan en este documento se aplican a todo el personal de la Universidad del Valle de Guatemala, personal de investigación visitante, estudiantes de pregrado, estudiantes de programas de intercambio y estudiantes con proyecto de tesis que trabajan en el análisis de micotoxinas.

RIESGOS DE SEGURIDAD GENÉRICOS:

Trabajar con solventes es uno de los principales peligros que se debe tomar en cuenta durante el análisis de micotoxinas. Muchos solventes orgánicos son altamente inflamable y puede formar mezclas de aire-vapor explosivas; la mayoría de los solventes orgánicos son nocivos o tóxicos. No manejar correctamente los solventes puede resultar en:

- Irritación cutánea y ocular;
- Dermatitis por una exposición prolongada o repetida de la piel;
- Depresión del sistema nervioso central;
- Defectos reproductivos y fetales;
- Efectos tóxicos crónicos, tales como los efectos de hígado o riñón, de contacto con la piel o inhalación de vapores de solvente;
- Efectos de toxicidad aguda, incluyendo la ceguera y la muerte;
- Fuego y explosiones.

Además, todas las muestras de maíz sospechosos de estar contaminados con micotoxinas deben manipularse con cuidado, ya que las micotoxinas son sustancias carcinógenas potentes.

RESPONSABILIDADES:

Supervisores de laboratorio son responsables de asegurar que:

- Los trabajadores de laboratorio hayan sido educados en los temas de seguridad relacionados con el manejo de solventes orgánicos, los estándares de micotoxinas y las muestras.
- Sólo las personas debidamente capacitadas se les permita trabajar con solventes orgánicos y micotoxinas.

- Las áreas de trabajo cuenten con ventilación adecuada para realizar los procedimientos de extracción que utilizan solventes orgánicos.
- Los trabajadores de laboratorio cuenten con el equipo de protección personal necesario.
- Los trabajadores de laboratorio estén familiarizados con el protocolo en caso de emergencia.

Los trabajadores de laboratorio son responsables de asegurar que:

- Están satisfechos de que han recibido una adecuada orientación/capacitación para manejar los procedimientos que impliquen el uso de solventes y micotoxinas.
- No realizarán un procedimiento que implica el uso de solventes y micotoxinas sin una consideración previa de los riesgos que esto conlleva.
- Son conscientes de los procedimientos de emergencia apropiados, la ubicación de los equipos de derrame y su uso antes de trabajar con solventes y micotoxinas.
- Utilizan las instalaciones y el equipo de protección personal reglamentario cuando trabajan con solventes y micotoxinas.

MATERIALES Y EQUIPO:

- **GAFAS.** Protección de los ojos es necesaria para la mayoría de las operaciones con solventes y debería ser obligatorio en el laboratorio de investigación. Los trabajadores de laboratorio deben usar gafas de seguridad cuando se trabaja con solventes y micotoxinas.
- **RESPIRADOR/MÁSCARA PROTECTORA.** Dependiendo del uso previsto de los solventes y los riesgos evaluados, puede ser necesario el uso de un respirador con cartucho químico. Cuando se muelen las muestras de maíz es indispensable utilizar una máscara de protección/respirador para evitar la inhalación de polvo potencialmente contaminado con micotoxinas.
- **GUANTES.** Se debe usar guantes cuando solventes orgánicos y micotoxinas son manipulados. Guantes de PVC ligeros son suficientes para evitar el contacto incidental. Se requieren guantes más gruesos de nitrilo para la limpieza de los derrames y se requieren también cuando las manos o los dedos deben estar inmersos en solventes. Si los guantes estuvieron en contacto con solventes, debe quitárselos y dejarlos ventilar/secar en una campana de humos antes de desecharlos.
- **ROPA PROTECTORA.** Se requiere una bata de laboratorio cuando se trabaja con solventes y micotoxinas, y cuando se desechen los solventes en los contenedores de residuos. Batas de laboratorio de poliéster estándar son adecuados para protección contra las pequeñas salpicaduras.
- **CAMPANA DE HUMOS.** Una campana de humos se debe utilizar al dispensar los solventes de los contenedores; No dispense solvente inflamable en la presencia de un aparato que esté caliente o que pueda generar una chispa.
- **MATERIALES CONTRA DERRAMES.** Kits de derrames deben estar disponibles para hacer frente a los derrames en el laboratorio. Toallas de papel o materiales adsorbentes tales como almohadas de control de derrames y guantes resistentes a productos químicos también deben estar disponibles.

XII. GLOSARIO

1. Dobra: Cuando el maíz llega a su madurez fisiológica, momento en que su follaje es color amarillo pálido, el agricultor dobla el maíz. La técnica consiste en doblar el tallo del maíz para interrumpir el flujo natural de agua y nutrientes que se está llevando a cabo en la planta, con el fin de (USAID, 2014).
2. Manejo post-cosecha: Involucra todas las etapas y procedimientos seguidos por los agricultores desde el momento de la cosecha hasta que el maíz es consumido (USAID, 2014).
3. Metabolito: Sustancia producida por microorganismos durante su metabolismo. Se forma esencialmente al mismo tiempo que las nuevas células y la curva de producción es casi paralela a la curva de población celular, con sólo un retraso mínimo (Tortola, Funke y Case, 2007).
4. Metabolito secundario: Compuestos orgánicos que son producidos hasta que cierto microorganismo completa en gran parte su fase de crecimiento logarítmica, conocida como trofase, y entre en la fase estacionaria del ciclo de crecimiento (Tortola, Funke y Case, 2007).
5. Micotoxina: Metabolito secundario tóxico, producido por determinado moho (FAO, 2016). Tapanco: Entre el techo de una construcción de casa del área rural utilizado para el almacenamiento, principalmente de granos (USAID, 2014).
6. Microbiota: Se refiere a microorganismos que colonizan cierta superficie, colectivamente se les llama microbiota (Martinez, Plasencia y Tello, 2009)
7. Partes por billón: Unidades de masa por unidades de volumen de la disolución. 1ppb significa 1 μg por cada litro. Partes por cada mil millones (Figueruelo y Dávila, 2004).
8. Partes por millón (ppm): Medida de la concentración de una solución expresada como las partes de la masa de soluto por 1 millón de partes de la masa de la solución; se calcula como la masa de soluto dividida entre la masa de la solución, el resultado se multiplica por 1 000 000 (Seese, 1996).
9. Tapanco: Entre el techo de una construcción de casa del área rural utilizado para el almacenamiento, principalmente de granos (USAID, 2014).