

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Potencial Micotoxigénico Del Grano Almacenado De Variedades De Cebada Maltera
(*Hordeum Vulgare* L)

Por:

VALERIO JARDÓN MEDINA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Potencial Micotoxigenico del Grano Almacenado de Variedades de
Cebada Maltera (*Hordeum vulgare* L)

Por:

VALERIO JARDÓN MEDINA

TESIS

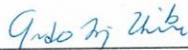
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Leila Minea Vásquez Siller, Ph. D.
Asesor Principal



Dr. Armando Muñoz Urbina
Coasesor



M.C. Modesto Colín Rico
Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre 2022

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Autor principal



Valerio Jardón Medina

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater por recibirme con las puertas abiertas en el mundo del saber, por tantas experiencias, momentos gratos y las amistades que me puso en mi camino.

A los docentes del Departamento de Fitomejoramiento quienes con sus conocimientos y experiencias me guiaron para poder culminar la carrera.

A la Dra. Leila Minea Vásquez Siller por creer en mí, en la realización de este proyecto, en mi preparación profesional, por aportar su conocimiento y dedicar parte de su tiempo para guiarme en esta investigación.

Al Dr. Armando Muñoz Urbina por su apoyo, por compartir su tiempo y conocimientos en la revisión de esta investigación.

Al M.C. Modesto Colín Rico por ser parte del comité evaluador de este proyecto.

A mi familia Annunaki (“Somos guerreros comprometidos, transformando nuestras vidas para crear un mundo mejor”) y en especial a mi familia Wabi-Sabi (“Somos guardines creadores de luz, transmitiendo la belleza hacia el universo”) quienes son parte de mi desarrollo como ser humano y profesionalmente.

**"NADA ES PERMANENTE, NADA ES PERFECTO,
NADA ESTÁ COMPLETO"**

NAMASTE

.....

DEDICATORIAS

Al creador del universo por darme la dicha de abrir los ojos en cada amanecer, de gozar de buena salud y darme la fortaleza de seguir con un día más.

A mi madre, María Medina de la Cruz quien con sus regaños y en ocasiones sus jalones de oreja me enderezaron por el camino del bien y gracias a ello, hoy llego a la meta concluyendo la carrera, estoy orgulloso de ti madre porque siempre diste lo mejor para mí. Te Amo.

A mi padre, Agustín Silvano Jardón Morales quien siempre me apoyo para seguir con mis estudios, siempre estuvo en mí andar aun estando lejos de mí.

A mis hermanas, Cándida, Emilia Nicolasa y Agustina Carolina por su apoyo moral y cariño, a mis hermanos Alejo y Eugenio quienes me enseñaron a trabajar la tierra, y degustar ese olor tan peculiar de la tierra cuando esta mojada.

A mi esposa, Angélica Sandra Estrada Montero quien es un pilar fundamental en mi vida. Te amo mi chaparrita. Gracias por tu amor.

A mí hija, Valeria Camila Jardón Estrada. Te quiero y amo mi niña hermosa.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Importancia socioeconómica de la cebada maltera.....	4
2.2 Clasificación taxonómica de la cebada.	6
2.3 Descripción botánica de la cebada.....	6
2.4 Morfología de la cebada	6
2.5 Ecología para el cultivo de la cebada.....	9
2.6 Descripción de la cebada variedad Esmeralda	10
2.7 Descripción de la cebada variedad Doña Josefa	11
2.7.1 Características agronómicas de la variedad de cebada doña Josefa	11
2.8 Normas de calidad requeridas por la industria maltera.	12
2.8.1 Características del grano de cebada para el malteo industrial.	12
2.9 Enfermedades en el grano de cebada	13
2.10 Pérdidas causadas por hongos fitopatógenos en el grano de cebada	15
2.11 <i>Fusarium</i> spp hongo fitopatógeno potencialmente toxigenico asociado al grano de cebada maltera.....	16

2.11.1	Características morfológicas del género <i>Fusarium</i> spp.....	17
2.11.2	Especies toxigénicas del género <i>Fusarium</i> spp	18
2.11.2.1	<i>Fusarium</i> graminearum	19
2.11.2.2	Ciclo biológico de <i>Fusarium</i> graminearum	19
2.11.2.3	Enfermedades causadas por <i>Fusarium</i> graminearum.....	22
2.11.2.4	Clasificación taxonómica de <i>Fusarium</i> graminearum	22
2.12	Micotoxinas	23
2.12.1	Grupos bioquímicos de micotoxinas asociados al género <i>Fusarium</i> spp	24
2.12.1.1	Fumonisinias.....	24
2.12.1.2	Zearalenonas	25
2.12.1.3	Tricotecenos.....	26
2.12.1.3.1	Deoxinivalenol.....	26
3	MATERIALES Y MÉTODOS	28
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
5	CONCLUSIONES.....	55
6	LITERATURA CITADA	57
7	ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Calidad de la malta de la variedad Esmeralda	11
Cuadro 2. Enfermedades más comunes que se presentan en el cultivo de cebada .	14
Cuadro 3. Condiciones propicias para la producción de micotoxinas por diferentes hongos fitopatógenos de almacén	15
Cuadro 4. Principales especies micotoxigenicas del genero <i>Fusarium</i> spp	20
Cuadro 5. Ciclo vegetativo de las variedades de cebada maltera.....	29
Cuadro 6. Descripción de las muestras compuestas de grano de cebada maltera obtenidas en el Estado de Hidalgo, México	32
Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficiente de variación (C.V.) de las variables evaluadas en la variedad Esmeralda	42
Cuadro 8. Comparación de medias para las variables evaluadas en los seis almacenes del Estado de Hidalgo para la variedad Esmeralda	43
Cuadro 9. Valores y vectores propios del análisis de componentes principales para las variables evaluadas en los seis almacenes de la variedad Esmeralda.....	43
Cuadro 10. Correlaciones Pearson entre las variables evaluadas en la variedad Esmeralda.....	45
Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficientes de variación (C.V.) de las variables evaluadas en la variedad Doña Josefa	46
Cuadro 12. Comparación de medias para las variables evaluadas en seis almacenes del Estado de Hidalgo para la variedad Doña Josefa	47
Cuadro 13. Valores y vectores propios del análisis de componentes principales para las variables evaluadas en los seis almacenes de cebada de la variedad Doña Josefa	48
Cuadro 14. Correlaciones Pearson entre las variables evaluadas en la variedad Doña Josefa	49

Cuadro 15. Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficientes de variación (C.V.) de las variables evaluadas para las variedades de cebada maltera Esmeralda y Doña Josefa.....	50
Cuadro 16. Comparación de medias para las variedades de cebada maltera Esmeralda y Doña Josefa	50
Cuadro 17. Géneros de hongos identificados en la variedad de cebada maltera Esmeralda y su incidencia por almacén.....	66
Cuadro 18. Géneros de hongos identificados en la variedad de cebada maltera Doña Josefa y su incidencia por almacén	67
Cuadro 19. Análisis de varianza para porcentaje de humedad (%H) para la variedad Esmeralda.....	68
Cuadro 20. Análisis de varianza para número de hongos fitopatógenos (NHF) para la variedad Esmeralda	68
Cuadro 21. Análisis de varianza para número de especies de <i>Fusarium</i> (NSPFUS) para la variedad Esmeralda	68
Cuadro 22. Análisis de varianza para incidencia de <i>Fusarium graminearum</i> (IFGRAMT) para la variedad Esmeralda.....	69
Cuadro 23. Análisis de varianza para niveles de Deoxinivalenol (NDON) para la variedad Esmeralda	69
Cuadro 24. Determinación de niveles de contaminación de Deoxinivalenol (ppm) en las variedades Esmeralda y Doña Josefa	69
Cuadro 25. Anexo 1. Análisis de varianza para porcentaje de humedad (%H) para la variedad Doña Josefa	69
Cuadro 26. Análisis de varianza para número de hongos fitopatógenos (NHF) para la variedad Doña Josefa	70
Cuadro 27. Análisis de varianza para número de especies de <i>Fusarium</i> (NSPFUS) para la variedad Doña Josefa	70
Cuadro 28. Análisis de varianza para incidencia de <i>Fusarium graminearum</i> (IFGRAMT) para la variedad Doña Josefa.....	70

Cuadro 29. Análisis de varianza para niveles de Deoxinivalenol (NDON) para la variedad Doña Josefa	70
Cuadro 30. Análisis de varianza para el porcentaje de humedad (%H) para las variedades Esmeralda y Doña Josefa.....	71
Cuadro 31. Análisis de varianza para número de hongos fitopatógenos (NHF) para las variedades Esmeralda y Doña Josefa.....	71
Cuadro 32. Análisis de varianza para número de especies de <i>Fusarium</i> (NSPFUS) para las variedades Esmeralda y Doña Josefa	71
Cuadro 33. Análisis de varianza para incidencia de <i>Fusarium graminearum</i> (IFGRAM) para las variedades Esmeralda y Doña Josefa	71
Cuadro 34. Análisis de varianza para niveles de Deoxinivalenol (NDON) para las variedades Esmeralda y Doña Josefa.....	72
Cuadro 35. Número de especies de <i>Fusarium</i> spp identificadas en la variedad Esmeralda.....	72
Cuadro 36. Características que se tomaron en cuenta para identificar especies de <i>Fusarium</i> spp	72
Cuadro 37. Número de especies de <i>Fusarium</i> spp identificadas en la variedad Doña Josefa	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales países productores de cebada.....	4
Figura 2. Morfología de la planta de cebada (Hernández, 2006).	8
Figura 3. Estructura del grano de cebada (UNAM, 2013).	9
Figura 4. Estructura morfológica de <i>Fusarium</i> spp.....	18
Figura 5. Ciclo biológico de <i>Fusarium graminearum</i>	21
Figura 6. Estructura química de las fumonisinas.....	25
Figura 7. Áreas de muestreo de cebada maltera de los municipios del Estado de Hidalgo.....	31
Figura 8. Géneros de hongos fitopatógenos identificados en el grano de dos variedades de cebada maltera almacenadas en el Estado de Hidalgo, México.	40
Figura 9. Fotografías de los géneros de hongos identificados en el grano de cebada maltera almacenada en las variedades Esmeralda y Doña Josefa.....	41
Figura 10. Grafica biplot que muestra las variables y la distribución de los seis almacenes en base a los dos primeros componentes principales.	45
Figura 11. Grafica biplot que muestra las variables y la distribución de los seis almacenes en base a los dos primeros componentes principales.	48
Figura 12. Especies de <i>Fusarium</i> spp detectadas en la variedad Esmeralda.	51
Figura 13. Especies de <i>Fusarium</i> spp detectadas en la variedad Doña Josefa.	52
Figura 14. Fotografías de especies de <i>Fusarium</i> spp detectadas en granos de cebada maltera. A= <i>Fusarium graminearum</i> , B= <i>Fusarium sambucinum</i> , C= <i>Fusarium avenaceum</i> , D= <i>Fusarium verticillioides</i> , E= <i>Fusarium crookwellense</i> y F= <i>Fusarium poae</i>	53

RESUMEN

La cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) representa el ingreso económico de más de 25 mil familias de productores de pequeña y mediana escala, que trabajan en una superficie de alrededor de 235 mil hectáreas en zonas de temporal del Altiplano (Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Estado de México). Durante el almacenamiento, el grano de cebada está expuesto a la incidencia hongos fitopatógenos que pueden producir micotoxinas que afectan el proceso de malteo, por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue explorar el potencial micotoxigénico de hongos fitopatógenos que inciden en el grano de cebada maltera de variedades comerciales almacenadas en el estado de Hidalgo. El trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Ensayos de Semillas en el área de Sanidad del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), perteneciente al Departamento de Fitomejoramiento en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. El grano de cebada de las variedades Esmeralda y Doña Josefa que se utilizó en este experimento procede de seis almacenes de áreas agrícolas del estado de Hidalgo. Para determinar la microbiota que se presentó en los granos de cebada se utilizó la metodología de papel secante y congelación. Los niveles de la micotoxina Deoxinivalenol se obtuvieron haciendo uso de los reactivos inmunológicos AgraQuant 0.25/5.0 ppm (Romer & Labs®). Se evaluaron las variables: porcentaje de humedad (%H), número de géneros fitopatógenos (NHF), especies de *Fusarium* (NSPFUS), incidencia de *Fusarium graminearum* (IFGRAM) y niveles de Deoxinivalenol (NDON). Con la información obtenida de las pruebas de fitosanidad y la detección de niveles de la micotoxina, se realizó un análisis univariado Completamente al Azar y la prueba de medias (Tukey 0.05), y el análisis multivariado de Componentes Principales. De los resultados obtenidos en la variedad Esmeralda se identificaron un total de 14 géneros de hongos, donde los hongos más sobresalientes muestran una incidencia promedio de los seis

almacenes para: *Alternaria* spp (57.08 %), *Epicoccum* spp (23.75 %), *Fusarium* spp (23.63 %), *Bipolaris* spp (6.96 %) y *Penicillium* spp (5.42 %); en la variedad Doña Josefa se identificaron 15 géneros con una incidencia promedio de: *Alternaria* spp (65.17 %), *Epicoccum* spp (21.46 %), *Fusarium* spp (17.25 %), *Penicillium* spp (5.88 %), *Bipolaris* spp (3.5 %) y *Gonatobotrys* spp (1.29 %). Se registraron seis especies de *Fusarium* spp en las dos variedades de cebada las cuales fueron *Fusarium graminearum*, *Fusarium sambucinum*, *Fusarium avenaceum*, *Fusarium verticillioides*, *Fusarium crookwellense* y *Fusarium poae*, en la variedad Esmeralda *Fusarium graminearum* tuvo una incidencia del 10.62 % en promedio de los seis almacenes y en la variedad Doña Josefa dicha especie mostró una incidencia promedio de 8.54%. Los niveles de la micotoxina Deoxinivalenol para la variedad Esmeralda registró los valores más altos en el almacén A4 (0.390 ppm) y en la variedad Doña Josefa reportó el nivel más alto en el almacén A3 (0.470 ppm). Ambos niveles de contaminación estuvieron por debajo del nivel requerido para procesar malta que es de 0.5 ppm.

Palabras clave: Cebada, hongos-fitopatógenos, *Fusarium* spp, Deoxinivalenol, ELISA

1 INTRODUCCIÓN

La cebada (*Hordeum vulgare L.*) es la materia prima para la industria maltera, forrajera y en menor proporción como alimento humano. La cebada es el cuarto cereal después del trigo, arroz y maíz, el cual representa una gran importancia económica y social en la zona de los Valles Altos de México (Estado de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo) ya que los agricultores lo prefieren a otros granos debido a que su ciclo es corto, es resistente a la sequía, a bajas temperaturas y a la salinidad de suelos. Los estados de Hidalgo y Tlaxcala son los dos principales productores de cebada en grano de temporal.

En México la cebada maltera se cultiva en una superficie de 334,270 hectáreas sembradas en el 2016, de las cuales el 25% se destina a la siembra en la modalidad de riego, y el 75% es de temporal.

La cebada con fines de malteo o como suplemento forrajero es sujeta a la incidencia de plagas y enfermedades en los campos de producción. La incidencia de fitopatógenos específicamente hongos pueden alterar las características físicas y de inocuidad alimentaria debido a las micotoxinas que algunas especies generan. Los cambios que generan estos hongos pueden alterar las características organolépticas de la cerveza.

En el cultivo de la cebada se han reportado más de 180 especies de hongos filamentosos y alrededor de 20 especies de levaduras; dentro de los hongos que atacan al grano de cebada destacan los géneros como *Fusarium spp*, *Aspergillus spp* y *Penicillium spp*, estos causan daño al grano de cebada desde que se encuentran en campo; durante el tiempo de almacenamiento ocasionan pérdidas que van de un 20 a un 30%, por otra parte la FAO reporta que estos porcentajes oscilan entre 10 a 25%,

estas oscilaciones en los porcentajes varían de región a región y entre ciclos agrícolas, y la disminución de la calidad del grano (pérdida de peso, mal olor, ennegrecimiento de embrión y endospermo), afectando potencialmente la salud humana y de los animales pecuarios que lo consumen. Estas especies además de causar daños al grano de cebada, producen micotoxinas (Fumonisinias, Zearalenonas, Aflatoxinas, Tricotecenos), las cuales al ser ingeridas en cantidades elevadas son potencialmente mutagénicas, carcinogénicas, teratógenas e inmunosupresoras. Considerando dichos aspectos la presente investigación se enfocó a la exploración y detección de hongos fitopatógenos potencialmente toxígenos presentes en el grano almacenado de cebada maltera, así, como a la cuantificación los niveles de contaminación de micotoxinas en particular el Deoxinivalenol.

Los objetivos y la hipótesis que se plantearon en este proyecto de investigación son los siguientes:

1.1 Objetivo general

Explorar el potencial micotoxigenico de hongos fitopatógenos que inciden en el grano de cebada maltera de variedades comerciales almacenadas en el Estado de Hidalgo del Altiplano Central de México.

1.2 Objetivos específicos

1. Detectar hongos fitopatógenos potencialmente toxígenos en el grano de cebada maltera almacenada de dos variedades comerciales cultivadas en diversas áreas agrícolas del Estado de Hidalgo, México.
2. Identificar y cuantificar especies del género *Fusarium*, presentes en el grano de cebada maltera almacenada de dos variedades comerciales cultivadas en diversas áreas agrícolas del Estado de Hidalgo, México.

3. Cuantificar micotoxinas de *Fusarium* spp de mayor incidencia de infección en grano de dos variedades comerciales de cebada maltera cultivadas y almacenadas en diversas áreas agrícolas del Estado de Hidalgo, México.

Hipótesis

Hipótesis alternativa: Los hongos fitopatógenos que infectan el grano de cebada maltera almacenada en el Estado de Hidalgo México tienen potencial micotoxigenico.

Hipótesis nula: Los hongos fitopatógenos que infectan el grano de cebada maltera almacenada en el Estado de Hidalgo México no tienen potencial micotoxigenico.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia socioeconómica de la cebada maltera

El departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA) proyecta que la Producción Mundial de Cebada 2022/2023 alcanzaría los 147.72 millones de toneladas. La producción de cebada en el año 2021 fue de 145.40 millones de toneladas. Los 147.72 millones de toneladas estimados para el año 2022/2023 representa un incremento de 2.32 millones de toneladas; en la Figura 1 se muestran los principales países productores de cebada (USDA, 2022).

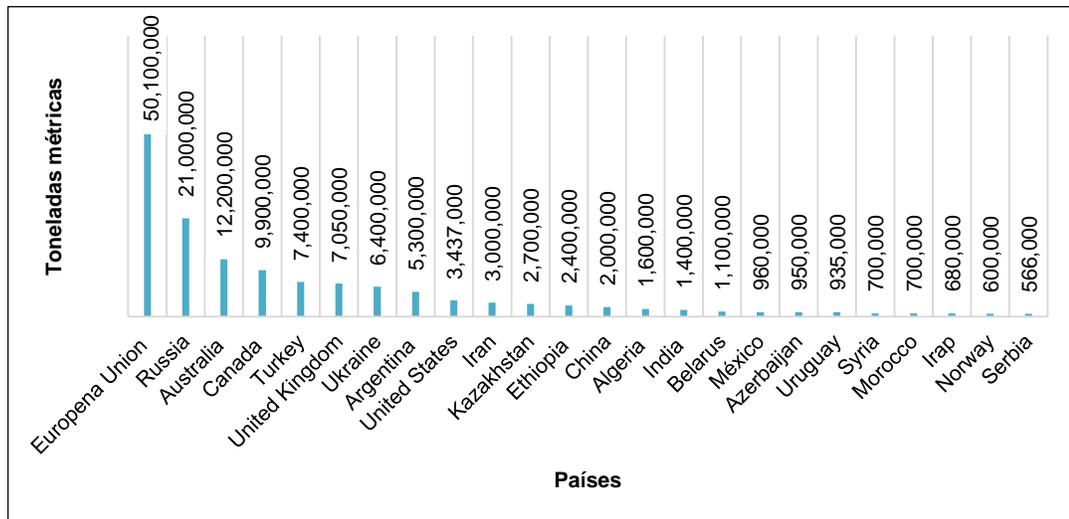


Figura 1. Principales países productores de cebada.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2022)

En México la cebada es un cultivo de gran importancia económica y social en la zona de los Valles Altos del país (Estado de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo), los agricultores lo prefieren a otros granos debido a que su ciclo vegetativo es corto, así

como por su resistencia a la sequía, a bajas temperaturas y a la salinidad de suelos. El Estado de Hidalgo y Tlaxcala son los dos principales productores de cebada en grano de temporal en México (López *et al.*, 2005).

En México, 67% de la producción total de cebada corresponde a siembras de temporal en el ciclo primavera- verano y 33% restante corresponde a la modalidad de riego en otoño- invierno. Las principales zonas donde se cultiva la cebada maltera de temporal son los Valles Altos del estado de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Estado de México. Además, se siembra en otras regiones como son: norte de Guanajuato, sur de San Luis Potosí, noreste de Jalisco, Durango y norte de Zacatecas. La región donde se cultiva bajo condiciones de riego es en El Bajío, que corresponde a los estados de Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco; en el período comprendido de 2003 a 2006, la producción promedio en El Bajío fue de 351 mil toneladas (Islas *et al.*, 2008).

La cebada maltera es la materia prima para la producción de cerveza. México es el principal proveedor de cerveza en el mercado internacional, representa el 21.32% del valor de las exportaciones mundiales; no obstante, la producción nacional de la cebada, durante la última década se redujo 9.54% en el periodo 2003-2016. En el contexto productivo, de las 334,270 hectáreas sembradas en 2016, el 97.33% de la superficie se encuentra mecanizada, un 22.50% del total de la superficie cuanta con tecnología aplicada a la sanidad vegetal. Por otro lado, el 56.83% de la producción es de temporal, el restante de riego (SAGARPA, 2017).

De acuerdo al INIFAP (2017) en el estado de Hidalgo, durante el 2015, se sembraron 101,065 hectáreas (ha) de cebada, se cosecharon 92,531 ha y se obtuvo una producción de 250,296 toneladas (t), equivalente a un rendimiento promedio de 2,705 kilogramos por hectárea (kg/ha) (SAGARPA, 2017). Más de esta superficie se produce en el ciclo primavera-verano, en el estado de Hidalgo. De esta producción, aproximadamente el 80% es comercializada en la industria maltera-cervecera y el restante es para consumo de forraje.

2.2 Clasificación taxonómica de la cebada.

Según Ibarguren (2014) y Pérez (2010) citado por Cajamarca y Montenegro (2015) la cebada pertenece a la familia *Poaceae* y su clasificación taxonómica se indica a continuación:

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Genero	<i>Hordeum</i>
Especie	<i>Hordeum vulgare</i>

2.3 Descripción botánica de la cebada

La cebada tiene un hábito de crecimiento anual. La forma de reproducción es sexual ($2n= 14$), porque su multiplicación se realiza por medio de una semilla, cuyo embrión se origina por la unión de un gameto masculino y de un gameto femenino; Monoica, por encontrarse el androceo y gineceo en la misma planta; Hermafrodita, por encontrarse los dos sexos en una misma flor; Perfecta, por encontrarse los dos órganos sexuales en una misma flor. La cebada desarrolla un sistema de raíces adventicias espesas al tiempo de macollar. El tallo es de 60 cm a 1 m de altura. La inflorescencia es una espiga cilíndrica. En cada nudo del raquis nacen tres flores. Las glumas y las lemas tienen típicamente arista (cebada barbada) (Robles &Garza, 1976).

2.4 Morfología de la cebada

La cebada es una planta de hojas estrechas y color verde claro. El tallo es de porte bajo, las flores tienen tres estambres y un pistilo de dos estigmas. Es una planta autógena. El fruto es una cariósida, con las glumillas adheridas, salvo en el caso de la cebada desnuda (Ponce *et al*, 2020).

Las características morfológicas de la cebada son (Figura 2):

- ❖ La altura de la planta varía de 60 a 100 cm.
- ❖ El tallo es recto y cilíndrico.
- ❖ La hoja es lanceolada, con una longitud de 22 a 30 cm y un ancho de 1 a 1.5 cm.
- ❖ La lígula es de longitud media.
- ❖ Las aurículas son largas y puntiagudas. Carecen de pelos.
- ❖ Espigas del tipo de seis carreras. Esta espiga tiene tres espigas fértiles en cada uno de los nudos del raquis.
- ❖ La espiga del tipo de dos carreras. Normalmente, solo las espiguillas de la hilera central producen grano.
- ❖ El grano. Las variedades de cebada se diferencian por la facilidad con que el grano se desprende de la cascara en el momento de la trilla.
- ❖ En estado de plántula, las hojas se despliegan en el sentido de las manecillas del reloj.
- ❖ El color de la cebada es de un verde pálido. La diferencia entre la cebada y el trigo, se puede apreciar mejor en la forma de la aurícula, cuando la planta está en crecimiento, y en la forma de la espiga, en las plantas maduras (Parsons *et al.*, 2004).

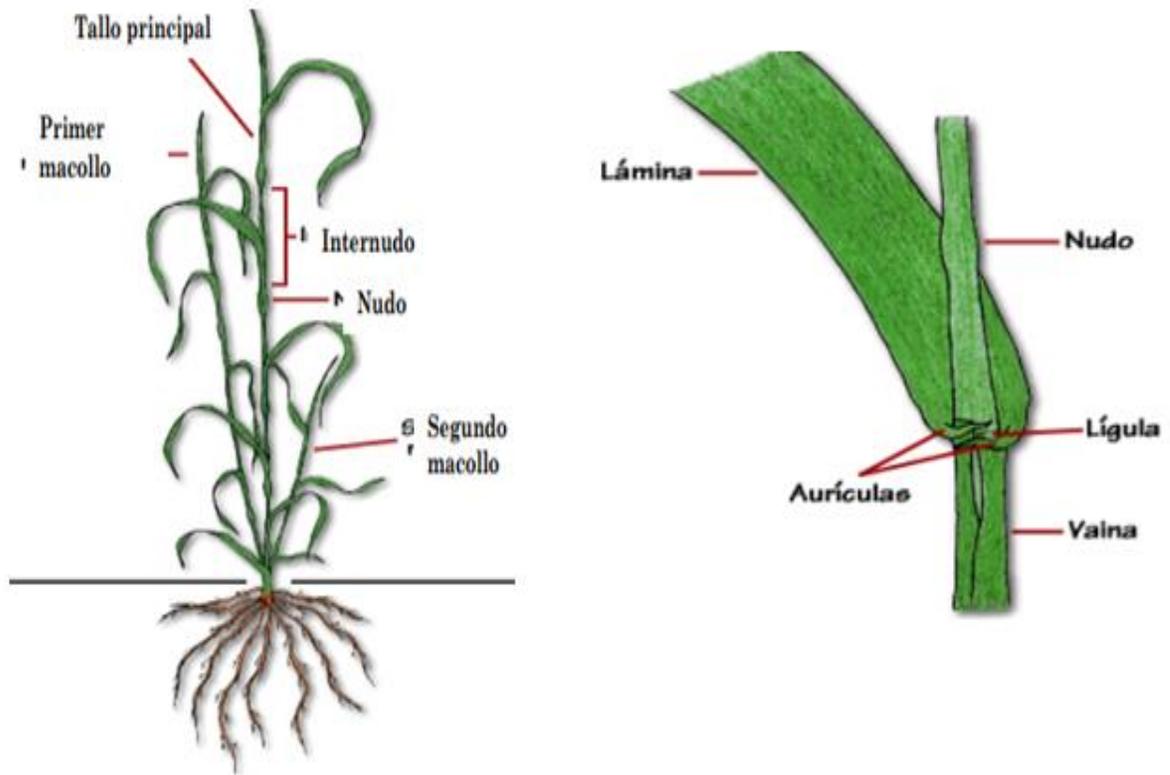


Figura 2. Morfología de la planta de cebada (Hernández, 2006).

La semilla de cebada es una cariósida (Figura 3), en el cual las paredes del ovario (pericarpio y la cubierta seminal (testa), están estrechamente unidas. La cebada posee una cascara que protege al pericarpio, al endospermo y al germen; la cascara está formada por la lema y la palea. Las dos partes esenciales del grano son el embrión y el endospermo (UNAM, 2013).

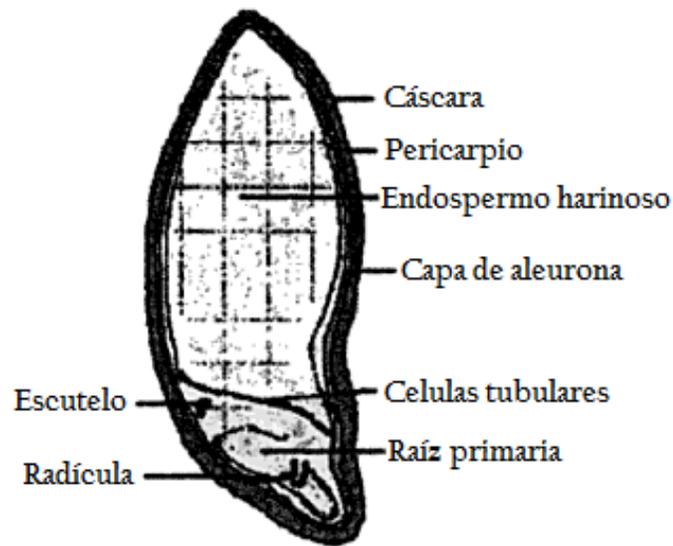


Figura 3. Estructura del grano de cebada (UNAM, 2013).

2.5 Ecología para el cultivo de la cebada

La cebada es un cultivo de clima templado y crece mejor en los climas frescos y moderadamente secos. Tolera bien las altas temperaturas en clima seco o la elevada humedad en clima fresco, pero se adapta mal a los climas húmedos y cálidos, debido a la incidencia de las enfermedades. La temperatura óptima de crecimiento durante el periodo vegetativo es de 15 °C, y de 17-18 °C en el espigado. La cebada para malta requiere un crecimiento ininterrumpido para producir un grano rico en almidón y de alto peso específico. Un suministro de agua uniforme y abundante insolación durante el periodo de maduración del grano, dan lugar a que el desarrollo de este sea adecuado para la fabricación de malta. La cebada crece bien en suelos francos o ligeramente arcillosos, bien drenados. Un pH del suelo comprendido entre 6 y 8.5 es generalmente, adecuado para el crecimiento de la planta. La cebada es el cereal de mayor tolerancia a la salinidad, estimándose que puede soportar niveles de hasta 8 mmhos/cm, en el extracto de saturación del suelo, sin que sea afectado el rendimiento. Se puede cultivar a altitudes de 0 a 4500 m sobre el nivel del mar (López, 1991. & Robles and Garza, 1976).

2.6 Descripción de la cebada variedad Esmeralda

Esmeralda es la primera variedad de cebada desarrollada para los valles altos temporaleros de México con tolerancia a roya lineal amarilla (*Puccinia striiformis f. spp. hordei*). Supera en rendimiento a los genotipos Centinela y Puebla, con o sin presencia de la roya lineal amarilla. Es de ciclo intermedio, con 49 a 64 días a la floración, los días a madures fisiológica son de 91 a 120 días dependiendo de la localidad y del ciclo de producción. La planta es de porte medio, con 86 a 105 cm de altura, en condiciones de buena humedad, suelo profundo y plano, produce 10 tallos por planta. En estas mismas condiciones presenta 5 hojas por tallo y 6 entrenudos, el ancho de la hoja bandera es de 1.5 cm, es tolerante al acame. La raíz es fibrosa y se desarrolla entre 0 y 20 cm. La forma del grano varia de ovoide a alargada, de color crema al madurar, con textura dura y el endospermo de color blanco (INIFAP, 1997).

La variedad Esmeralda se recomienda para la elaboración de malta para la industria cervecera por el balance que guardan sus características químicas en grano malteado (Cuadro 1), como extracto molienda fina, diferencia de extracto molienda fina a extracto de molienda gruesa, poder diastásico, alfa amilasa, proteína soluble a proteína total, relación de proteína soluble a proteína total. La industria maltera ha evaluado el grano de Esmeralda y lo considera apto para el proceso industrial que lo convierte en malta (INIFAP, 1997).

Cuadro 1. Calidad de la malta de la variedad Esmeralda

Parámetros de calidad	1986	1987	1988
Proteína total (% , BS)	11.1	13.0	12.8
Proteína soluble (% , BS)	4.5	5.4	5.3
Relación de proteína soluble a total (%)	40.5	41.5	41.4
Extracto molienda fina (% , BS)	77.5	76.0	79.3
Diferencia extracto molienda fina a molienda gruesa (%)	1.1	2.5	1.7
Poder diastásico (°L, BS)	125.0	153.0	146.0
Alfa amilasa (U.D., BS)	39.0	65.0	48.0

Fuente: INIFAP, 1997

BS = Base seca °L= grados lintner U.D = unidades de dextrinificación

2.7 Descripción de la cebada variedad Doña Josefa

La variedad de cebada llamada Doña Josefa rinde una tonelada más que la variedad Esmeralda en condiciones de temporal, en condiciones de riego el rendimiento es similar. Esta variedad se liberó en 2007 y empezó a comercializar en 2014-2015 (Celis, 2017).

2.7.1 Características agronómicas de la variedad de cebada doña Josefa

Carrasquel *et al.* (2016) reporta que la variedad Doña Josefa tiene un alto porcentaje de germinación (86-92%). La calidad maltera está dentro de la norma oficial mexicana (NMX-FF-043-SFCI-2003), con valores mayores a 85% de germinación. Considerando este factor, la variedad Doña Josefa presenta mayor viabilidad para elaborar cerveza *gourmet*. La composición química considerando que el porcentaje de carbohidratos y de proteínas aceptables por las cerveceras son 85% y 12%, respectivamente. López *et al.* (2007) reporta un contenido muy similar de proteína, entre 10% y 12%, de las variedades de cebada Esmeralda y Doña Josefa. Tiene una espiga de 6 hileras, días a floración es de los 60 a 70 días, los días a madurez fisiológica se da a los 105 a 125 días, días de cosecha a los 125 a 135 días. La planta alcanza una altura entre 80 a 100 cm, es susceptible a pulgones pero tiene tolerancia a la escaldadura, cenicilla y

roya amarilla, y tiene tolerancia media a la roya de la hoja y manchas foliares (Impulsora Agrícola, 2017).

2.8 Normas de calidad requeridas por la industria maltera.

Entre las principales características a tener en cuenta en las cebadas malteras cerveceras figuran: peso, forma y color de grano, finura de tegumentos o glumillas, germinación, contenido de proteínas del grano, proteínas solubles, rendimiento en extracto y actividad enzimática (López, L., 1991).

2.8.1 Características del grano de cebada para el malteo industrial.

- El grano debe de tener un aspecto limpio, libre de otras semillas y malos olores, solo se admite un 2% de materias extrañas.
- La germinación requerida es de un 85% como mínimo, debido a que es esencial para la elaboración de malta.
- La humedad máxima del grano debe de ser de 13.5% para una mejor conservación del mismo.
- Los granos rotos y/o pelones se acepta como máximo un 5 % debido a las pérdidas que ocasionan, ya que estos como es natural no germinan.
- La pureza varietal es necesaria debido a que cada variedad tiene un diferente comportamiento industrial.
- El tamaño del grano debe de ser de un calibre superior a 2.2 mm. debido a que el grano delgado tiene muy bajo rendimiento industrial.
- Los granos flotantes (cuando se mete en agua y no se sumerge) debe de llevar como máximo el 10% debido a los problemas que ocasionan en las tinas de remojo durante el proceso de malteo (Lomelí, 1979).

Soto *et al.*, (2016) reportan porcentaje de germinación en las variedades de cebada Esmeralda, Doña Josefa y Pastor Ortiz con un promedio de 85% y 89%, la variedad Doña Josefa resulto con el mayor porcentaje de germinación (89%) con respecto a las otras variedades. Considerando que el porcentaje de carbohidratos y de proteínas aceptables por las cerveceras son de 85% y 12%, respectivamente. El contenido de humedad es uno de los principales criterios para determinar la calidad del grano, ya que da una idea acerca del contenido de materia seca y las condiciones en las que se manipulo el grano (Serna, 2009, citado por Soto *et al* 2016). El contenido de grasa en el grano no es un factor que influye en la elaboración de cerveza; reportan valores muy bajos de grasa en las variedades de cebada, con un máximo de 1.9%. De acuerdo a Hough (1990,) citado por Soto *et al.*, (2016) menciona que el contenido lipídico puede estabilizar o desestabilizar la espuma de la cerveza; el bajo nivel de lípidos en la cebada puede deberse a condiciones de almacenamiento inadecuado.

2.9 Enfermedades en el grano de cebada

Los granos, durante su formación en el campo, están expuestos a la invasión de hongos, bacterias, nematodos y virus, los cuales, en algunos casos, constituyen serios problemas para la producción agrícola. En cebada se han reportado más de 180 especies de hongos filamentosos y alrededor de 20 especies de levaduras (Moreno, 1982).

Carmona *et al.* (1992) reporta en su estudio a los hongos *Alternaria tenuis*, *Bipolaris sorokiniana*, *Cladosporium* spp, *Epicoccum* spp, *Fusarium graminearum*, *Fusarium poae*, *Fusarium* spp y *Pyrenophora teres*. En las variedades Esmeralda y Esperanza. Ocampo *et al.*, (2004) aislaron 12 géneros fúngicos en muestras de cebada las cuales son: *Fusarium* spp, *Cladosporium* spp, *Rhizopus* spp, *Penicillium* spp, *Alternaria* spp, *Aspergillus* spp, *Ulocladium* spp, *Epicoccum* spp, *Trichoderma* spp, *Curvularia* spp, *Aureobasidium* spp y *Mycelia sterilia*. Por otra parte Rodríguez (2014) identifico los

hongos *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *Fusarium* spp, *Penicillium* spp, *Alternaria* spp y *Drechslera* spp, en germinado hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.).

Las enfermedades en el cultivo de la cebada son uno de los factores más limitantes en el logro de rendimiento y calidad del grano. Los principales componentes de este complejo sanitario son las manchas foliares (mancha en red causada por *Drechslera teres*, mancha borrosa causa por *Bipolaris sorokiniana* y escaldadura causada por *Rynchosporium secalis*), la roya de la hoja (causada por *Puccinia hordei*) y la fusariosis de la espiga (causada principalmente por *Fusarium graminearum* y *F. poae*). En forma esporádica aparecen otras problemáticas como oídio (causada por *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) y el complejo estrés oxidativo (no necesariamente biótico)/*Ramularia* (Pereyra & Stewart, 2004). Las enfermedades más comunes que se presentan en el cultivo de cebada se muestran en el Cuadro 2 de acuerdo a Zillinsky, 1984, Pereyra y Stewart, 2004, INIFAP, 2017, Couretot *et al.*, 2017

Cuadro 2. Enfermedades más comunes que se presentan en el cultivo de cebada

Parte de la planta	Enfermedad	Agente causal
Foliar	Mancha borrosa	<i>Bipolaris sorokiniana</i>
	Roya de la hoja	<i>Puccinia hordei</i>
	Roya lineal amarilla	<i>Puccinia striiformis</i>
Tallo	Roya del tallo	<i>Puccinia graminis</i>
	Fusariosis	<i>Fusarium graminearum</i>
	Carbón volador	<i>Ustilago nuda</i>
	Carbón cubierto	<i>Ustilago hordei</i>
Grano	Punta negra	<i>Alternaria</i> spp, <i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>Cladosporium</i> spp, <i>Fusarium</i> spp, <i>Epicoccum</i> spp
	Manchado de grano	<i>Alternaria</i> spp, <i>Ustilago nuda</i> , <i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>Cladosporium</i> spp, <i>Fusarium</i> spp, <i>Epicoccum</i> spp
Raíz y corona	Podredumbre de raíz y corona	<i>Fusarium</i> spp

Fuente: Zillinsky, 1984, Pereyra y Stewart 2004, INIFAP 2017, Couretot *et al.*, 2017.

Las enfermedades que atacan a la cebadase dividen en dos grupos: infecciosas (bióticas) y no infecciosas (abióticas), las primeras son causadas por microorganismos

vivos que obtienen su alimento de la planta y que pueden ser hongos, bacterias o virus, que pueden transmitirse a otras plantas sanas. Las no infecciosas son causadas por una variedad de condiciones desfavorables que no pueden transmitirse de una planta a otra (ambientales, nutricionales, mecánicas y otras). Las condiciones del ambiente que favorecen el desarrollo de una enfermedad causada por microorganismos son: la temperatura, la humedad, la presencia del microorganismo y plantas susceptibles a enfermarse (INIFAP, 2017).

2.10 Pérdidas causadas por hongos fitopatógenos en el grano de cebada

Los hongos productores de micotoxinas pueden crecer de forma general en rangos entre -3 y 40°C, a pH entre 2,0-10,0 y por encima de 0,77-0,99 de actividad de agua (a_w). Sin embargo, cada género presenta condiciones particulares (Cuadro 3) (Denli y Pérez, 2006).

Cuadro 3. Condiciones propicias para la producción de micotoxinas por diferentes hongos fitopatógenos de almacén

Géneros	Temperatura °C		pH		Actividad agua (a_w)	
	Rango Cto.	Max. Toxin Producción	Rango Cto.	Max. Toxin Producción	Rango Cto.	Max. Toxin Producción
<i>Aspergillus</i> spp	12-40	27-33	2,2-8,0	5-6	0,77-0,88	0,82-0,99
<i>Fusarium</i> spp	0-31	22-28	2,0-6,0	3-4	0,85-0,97	0,85-0,87
<i>Penicillium</i> spp	-3-40	15-30	2,1-10,0	5-7	0,80-0,95	0,80-0,86

Fuente: Denli & Pérez, 2006

Las pérdidas se miden cuantitativamente en función del rendimiento, peso hectolítrico, así como la presencia o ausencia de sustancias tóxicas. La forma más simple de estimar la pérdida es comparando el rendimiento de una planta sana con una planta enferma, pero si los porcentajes de infección son bajos, las variables peso hectolítrico o peso de mil granos ofrecen una mejor respuesta (Ireta y Gilchrist, 1994).

La fusariosis de la espiga es capaz de influenciar cada aspecto de la cadena agroindustrial del cultivo de cebada, desde el rendimiento en grano hasta la calidad del producto final. Las mermas en el rendimiento en grano resultan principalmente de la esterilidad de las espiguillas y/o un menor tamaño del grano. En Uruguay, para las variedades INIA Ceibo (CLE 202) e INIA Aromo (CLE 203) las pérdidas de rendimiento en grano para la zafra2002 fueron cuantificadas en 13-14% (De Ackermann *et al*, 2011).

A nivel internacional, las pérdidas poscosecha en granos almacenados promedian el 5%, sin embargo, en los países subdesarrollados estos porcentajes se incrementan hasta en un 30%. En México las pérdidas van en el orden de 20 a 30%, mientras que la FAO reporta que estos porcentajes oscilan entre 10 a 25%, estas oscilaciones en los porcentajes varían de región a región y entre ciclos agrícolas, aunque en los últimos años estos porcentajes tienden a disminuir por contar con infraestructura de almacenamiento más tecnificadas. Las pérdidas poscosecha se deben a la presencia de agentes bióticos como son los insectos, hongos, roedores e incluso aves (Vázquez y Moreno, 2016).

2.11 *Fusarium* spp hongo fitopatígeno potencialmente toxigénico asociado al grano de cebada maltera

Este género presenta una gran importancia dentro de la agricultura, por los daños que pueden ocasionar en los cultivos, además de la dificultad para su control, ocasionando pérdidas económicas serias. *Fusarium* spp, está ampliamente distribuido en el suelo y en substratos orgánicos, tiene amplia distribución mundial y aparte de tener su hábitat en el suelo, pues es el más común de los *Fusarium* como saprofito; causa, por lo general, marchitamiento por invasión de los tejidos vasculares o pudriciones radiculares conocidas como fusariosis (Arrazola, 1990).

El género *Fusarium* es uno de los más prolíficos en la producción de diversas micotoxinas, especialmente cuando ataca cereales como el maíz, el trigo, el arroz o sorgo, las cuales ponen en riesgo la inocuidad agroalimentaria de los productos y subproductos del grano de cebada, cuando son ingeridos con altos niveles de contaminación, generando enfermedades que afectan a la salud humana y/o animal (Ireta y Gilchrist, 1994).

Las micotoxinas son moléculas relativamente pequeñas con una estructura química y una actividad biológica muy diversa. Aunque suelen ser genotípicamente específicas para un grupo de especies, el mismo compuesto puede también ser elaborado por hongos pertenecientes a géneros distintos. La mayoría de las micotoxinas están producidas por especies de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* (Abarca et al., 2000).

2.11.1 Características morfológicas del género *Fusarium* spp

Este género se caracteriza por poseer macroconidias y microconidias como estructuras de propagación (Figura 4). Las microconidias pueden producirse tanto en esporodoquios como en el micelio aéreo. Dependiendo de la especie, las macro y microconidias que crecen en el micelio aéreo pueden diferenciarse a partir de células conidiogenas monofialidicas o polifialidicas, mientras que los macroconidios que crecen en esporodoquios solo se producen a partir de monofialides. Algunas especies forman clamidosporas como estructuras de resistencia y de propagación. Estas pueden presentarse solitarias, en cadenas, o en grupos y también formarse en los conidios. De todas las estructuras mencionadas, la morfología de los conidios es la principal característica utilizada para la identificación de especies de *Fusarium* (Velluti, 2002).

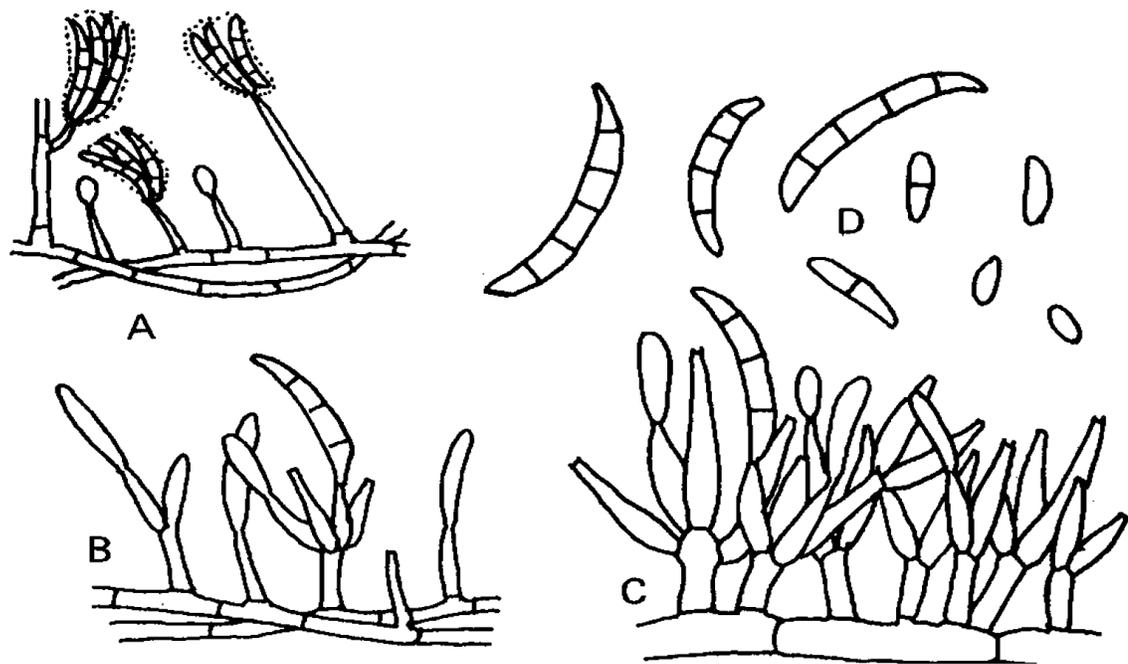


Figura 4. Estructura morfológica de *Fusarium* spp.

Fuente: Barnett and Hunter (1987).

- (A) Hifas con conidióforos simples,
- (B) Hifas con conidióforo variable,
- (C) Esporodocios suelto formado por conidióforos ramificados,
- (D) Macroconidios y microconidias.

2.11.2 Especies toxigénicas del género *Fusarium* spp

Las toxinas más comunes elaboradas por especies del género *Fusarium* spp (Cuadro 4) son los tricotecenos, la zearalenona, la moniliformina y las fumonisinas. Estos metabolitos tienen algunas características en común. Se pueden elaborar durante el crecimiento de la planta como al principio del almacenamiento. Pueden estar presentes en granos de cereales asintomáticos y se encuentran en cereales y sus productos. Una característica importante del género es que una misma micotoxina puede ser producida por diferentes especies del mismo, y que una misma especie puede producir diferentes micotoxinas a la vez, por lo que en un mismo sustrato podemos encontrar más de un metabolito (Cabañes *et al.*, 2007).

2.11.2.1 *Fusarium graminearum*

Fusarium graminearum (Schwae) se caracteriza por presentar macroconidios distintamente septados, de pared fina, pueden ser rectos o tener forma de hoz (Figura 4). La célula basal presenta forma de pie y la apical forma cónica. No tiene microconidias y las clamidosporas se forman tardíamente tanto en los macroconidios como en el micelio (Nelson *et al.*, 1993 citado por Velluti, 2002).

2.11.2.2 Ciclo biológico de *Fusarium graminearum*

Los residuos del cultivo previo juegan un papel importante en la preservación de *F. graminearum* (Figura 5), pues este sobrevive en forma de micelio o peritecios inmaduros en las espiguillas infectadas del trigo o restos de mazorcas de maíz, o sobre el rastro de maíz o del trigo. Las prácticas culturales juegan un papel muy importante en la sobrevivencia de la fuente de inóculo, ya que al enterrar el rastrojo se logra disminuir la sobrevivencia de los peritecios y, por consiguiente, reducir la fuente de inóculo primario (Ireta y Gilchrist, 1994).

Cuadro 4. Principales especies micotoxigenicas del genero *Fusarium* spp

Especies	DON	T-2	HT-2	ZEA	MON	FB
<i>F. acuminatum</i>	-	+	+	-	+	-
<i>F. anthophilum</i>	-	-	-	-	-	+
<i>F. avenaceum</i>	-	-	-	-	+	-
<i>F. crookwellense</i>	-	-	-	+	-	-
<i>F. culmorum</i>	+	-	-	+	-	-
<i>F. chlamydosporum</i>	-	-	-	-	+	-
<i>F. dlamini</i>	-	-	-	-	-	+
<i>F. equiseti</i>	-	+	-	(+)	-	-
<i>F. graminearum</i>	+	-	+	+	-	-
<i>F. napiforme</i>	-	-	-	-	-	+
<i>F. nygamai</i>	-	-	-	-	-	+
<i>F. oxysporum</i>	-	(+)	-	-	+	-
<i>F. poae</i>	-	(+)	+	-	-	-
<i>F. proliferatum</i>	-	-	-	-	+	+
<i>F. sambucinum</i>	-	+	-	(+)	-	-
<i>F. semitectum</i>	-	+	-	+	-	-
<i>F. sporotrichioides</i>	+	+	+	(+)	-	-
<i>F. subglutinans</i>	-	-	-	-	+	-
<i>F. verticillioides</i>	-	-	-	(+)	(+)	+

Fuente: (Cabañes *et al.*, 2007).

(+) Bajo porcentaje de cepas productoras

DON: Deoxinivalenol, ZEA: Zearalenona, MON: Moniliformina, FB: Fumonisin

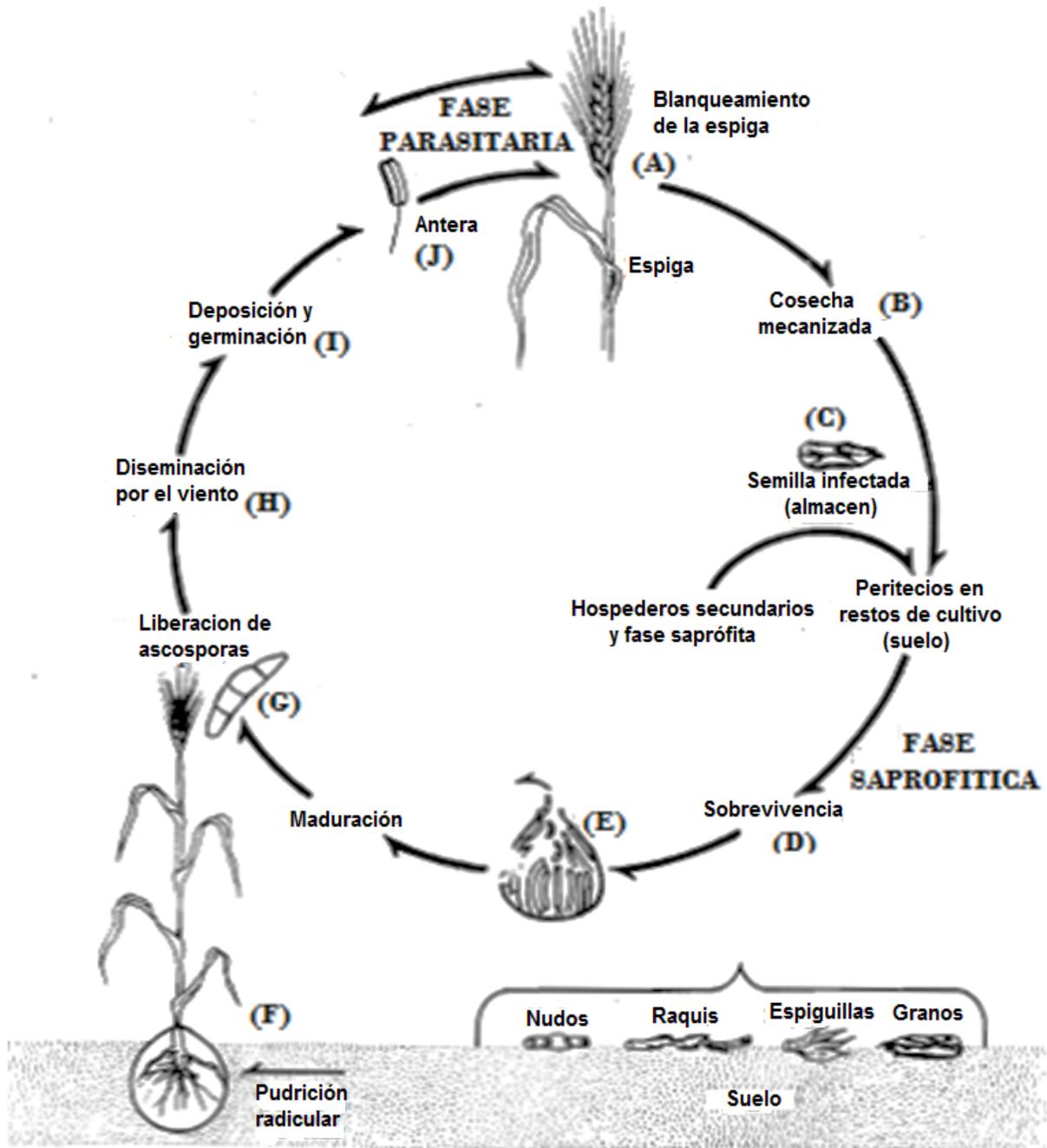


Figura 5. Ciclo biológico de *Fusarium graminearum*.
Fuente: Tomado de Ireta y Gilchrist 1994.

2.11.2.3 Enfermedades causadas por *Fusarium graminearum*

El hongo *F. graminearum* provoca varios tipos de enfermedades en diferentes cultivos agrícolas. Por ejemplo, en trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada causa la pudrición de la corona, en maíz (*Zea mays* L) pudrición del tallo y de la espiga (Manzo *et al.*, 2007).

La fusariosis de la espiga es una de las enfermedades más devastadoras en los cultivos de trigo y cebada. Esta enfermedad es causada por una o más especies del género *Fusarium* (Cuadro 4). La especie más frecuente en trigo en el país es *Fusarium graminearum* y es capaz de producir toxinas tales como: deoxinivalenol (DON) y zearalenona (ZEA). En el caso de cebada, si bien se ha encontrado a *F. graminearum* como la especie que predomina en el país, su importancia relativa es menor que en trigo ya que se ha registrado otras especies como *F. poae* y *F. avenaceum* capaces de producir otras toxinas (Díaz *et al.*, 2007).

2.11.2.4 Clasificación taxonómica de *Fusarium graminearum*

De acuerdo a la EPPO (2020), la especie del género *Fusarium* se ubica dentro de la siguiente clasificación taxonómica:

Reino	Hongos
Filum	Ascomycota
Clase	Sordariomycetes
Orden	Hipocreales
Familia	Nectriaceae
Genero	<i>Fusarium</i>
Especie	<i>Fusarium graminearum</i>

2.12 Micotoxinas

El término micotoxina deriva de las palabras griegas “mykes” (hongos) y “toksicons” (veneno) (Torres *et al.*, 1995). No obstante, hoy se acepta como la definición más apropiada la dada por Pitt (1996), según la cual se trata de “metabolitos fúngicos cuya ingestión, inhalación o absorción cutánea reduce la actividad, hace enfermar o causa la muerte de animales (sin excluir las aves) y personas”.

Las micotoxinas son metabolitos secundarios fúngicos capaces de desencadenar diversas alteraciones y cuadros patológicos en el hombre y los animales. El mismo compuesto, no obstante, puede ser elaborado por hongos de géneros distintos. La mayoría de las micotoxinas descritas están producidas por especies de los géneros *Aspergillus* spp, *Penicillium* spp y *Fusarium* spp (Abarca, *et al.*, 2000).

Méndez y Moreno (2009), menciona que las micotoxinas suelen encontrarse en una gran variedad de productos agrícolas, y son los contaminantes naturales de los alimentos más extendidos a nivel mundial. Son altamente tóxicos, producen mutaciones, producen cáncer, malformaciones en los fetos y disminuyen la inmunidad, debido a su gran variedad de efectos tóxicos, y sobre todo a su resistencia al calor, la presencia de las micotoxinas en los alimentos es considerado de alto riesgo para la salud humana y de los animales.

Gimeno y Martins (2011), mencionan que los principales factores para el desarrollo de hongos y producción de micotoxinas son: humedad, agua disponible, temperatura, zonas de microflora y la integridad física del grano. Por otra parte Pérez (2016), menciona que los hongos filamentosos que se desarrollan en alimentos, granos y semillas pueden producir metabolitos secundarios tóxicos llamados micotoxinas que al ser ingeridos por el hombre o animales pueden poner en riesgo su salud.

2.12.1 Grupos bioquímicos de micotoxinas asociados al género *Fusarium* spp

El término micotoxina se estableció por primera vez en 1960, tras la muerte de más de 100.000 pavos por el consumo de harina de cacahuete contaminada con Aflatoxinas (Bennett y Klich, 2003). Se han descrito alrededor de 300 micotoxinas, de las cuales solo unas pocas reciben una atención especial por su mayor amenaza para la salud animal o humana. Las principales micotoxinas son: las Aflatoxinas, Ocratoxinas, Tricotecenos, Zearalenonas, Fumonisinias y Alcaloides ergóticos (Denli y Pérez, 2006).

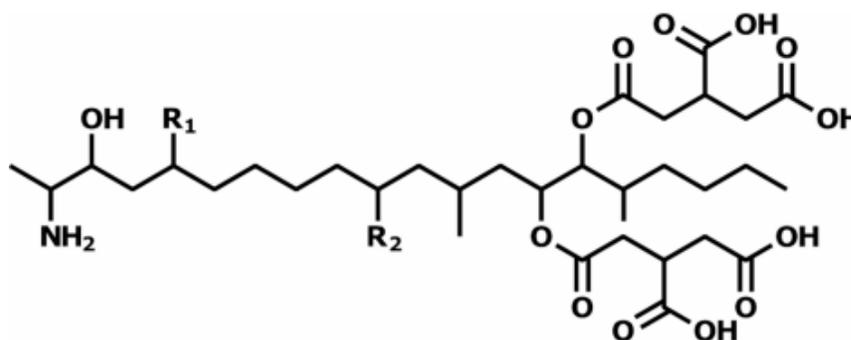
En la Edad Media se dieron a conocer los primeros casos de intoxicación por micotoxinas, donde los brotes de ergotismo causados por alcaloides ergóticos de *Claviceps purpurea* alcanzaron proporciones de epidemia, mutilando y matando a miles de personas en Europa (Peraica *et al.*, 2000).

2.12.1.1 Fumonisinias

Las fumonisinias son producidas por cepas toxigénicas de *Fusarium verticillioides* y *Fusarium proliferatum*, durante el cultivo y almacenamiento del grano. Estas micotoxinas fueron aisladas y descritas por primera vez en Sudáfrica en 1988 y de acuerdo con la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC por sus siglas en inglés), desde 1993 se encuentran catalogados como posibles carcinógenos humanos. Existen 15 tipos de fumonisinias, agrupadas en cuatro categorías; las más conocidas son la FB1, FB2 Y FB3, de las cuales la FB1 es la más tóxica y representa aproximadamente el 70% de las fumonisinias totales; las fumonisinias con mayor incidencia e importancia toxicológica son la B1 y la B2 (Mallmann *et al.*, 2007). La mayor producción de fumonisinias tiene lugar en sustratos con una actividad de agua superior a 0,91 y a una temperatura comprendida entre 15 y 25 °C (Gimeno, 2008).

Sanchis *et al.* (2000) menciona que hay estudios previos que demuestran que las fumonisinias contaminan el maíz y sus derivados, como cereales de desayuno, aperitivos, cervezas y piensos, destinados no solo al consumo animal si no también

humano. Las fumonisinas más abundantes de incidencia natural son las del grupo B, derivados de la mayoría de las cepas de *Fusarium verticillioides*. Las fumonisinas B contienen un esqueleto lineal de carbonos (Figura 6), con un amino en el C-2 y residuos de ácido tricarboxílico esterificados en C-14 y C-15 (Figura 5), estos compuestos difieren por la presencia o la ausencia de un grupo hidroxilo en los C-5 y C-10 (De la Torre *et al*, 2014).



	R1	R2
Fumonisina B1	OH	OH
Fumonisina B2	OH	H
Fumonisina B3	H	OH

Figura 6. Estructura química de las fumonisinas.
Fuente: De la torre *et al*, 2014.

2.12.1.2 Zearalenonas

La zearalenona fue aislada por primera vez en 1962 a partir de maíz infectado con *Fusarium*, es una micotoxina fitoestrogenico producida por *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium cerealis*, *Fusarium equiseti*, *Fusarium semitectum* y *Fusarium crookwellense*. Estos hongos pueden crecer en granos almacenados durante largo tiempo, principalmente en el maíz y también se ha encontrado en granos de avena, sorgo, cebada, arroz, soya, frijol y trigo que son susceptibles a la contaminación con zearalenona, en clima templado y cálido (López, 2013 y Moreno *et al.*, 2016).

La Comisión Europea ha establecido los límites máximos de Zearalenona de 100 µg/kg para cereales no procesados, para maíz no procesado 35 µg/kg, para cereales destinados al consumo humano 75 µg/kg, para aceite de maíz 400 µg/kg, para pan, galletas, pasteles y cereales de desayuno 50 µg/kg, para alimentos destinados a base de cereales para bebés y niños pequeños 20 µg/kg (Moreno *et al.*, 2016).

2.12.1.3 Tricotecenos

Valle (2010), menciona que los tricotecenos son una clase muy importante de micotoxinas. Los fúngicos conocidos que producen esta micotoxina son: *Fusarium*, *Trichoderma*, *Trichothecium*, *Stachybotrys*, *Verticimonosporium*, *Cephalosporium*, *Myrothecium*, y *Cylindrocarpon*. *Fusarium* spp es el más importante de estos géneros, porque están extendidos por todo el mundo y producen las mayores cantidades de tricotecenos. Algo más de 150 tricotecenos son conocidos, de los cuales, solo unos pocos son importantes debido a su presencia en plantas cultivadas para uso alimenticio de seres humanos y animales. Las micotoxinas más destacadas son: deoxinivalenol (DON), también conocida como vomitoxina; nivalenol (NIV); diacetoxiscirpenol (DAS) y toxina T-2. Frecuentemente, también se encuentran ciertos derivados de los anteriores como son: 3-acetildeoxinivalenol (3-DON); 15-acetildeoxinivalenol (15-DON); fusarenona X (FusX); neosolaniol (NEO) y la toxina HT-2 (HT-2).

2.12.1.3.1 Deoxinivalenol

El DON es relativamente soluble en agua y altamente soluble en solventes polares acuosos como metanol, acetonitrilo y acetato de etilo. Esta micotoxina es estable a

121°C, por 15 min a 1 atm (autoclave) moderadamente estable a 180°C., se logra una completa inactivación a 370°C por 10 min o a 205°C por 30 min. Se mantiene estable bajo condiciones medianamente acidas y la inactivación química del DON se logra con una solución de hipoclorito de sodio 3-5% (Lori y Rizzo, 2007).

Las micotoxinas que se originan en cereales tales como la cebada u otros granos destinados al proceso de elaboración de la cerveza pueden estar contaminadas con esa micotoxina. Los procesos a los cuales se somete al grano no disminuyen ni destruye al DON, es así que existen datos en la bibliografía de la presencia de DON en cervezas canadienses (5 ng de DON/ml de cerveza), y en las importadas de Alemania se detectaron valores por encima de 580 ng de DON/ml (Lori y Rizzo, 2007).

La ingesta diaria tolerable de DON fue establecida de 1 µg /kg pc/día en base a la pérdida del peso corporal en ratones de laboratorio. Este valor fue confirmado por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria en 2007. Los límites máximos de DON en alimentos establecidos para la Comisión Europea (2006-2007), son de 750 µg/kg en pasta, 500 µg/kg en pan, masa, repostería, aperitivos de cereales y cereales de desayuno, y 200 µg/kg en alimentos a base de cereales y alimentos infantiles para lactantes y niños (Rey, 2016). Se ha descrito que el DON puede causar toxicidad aguda y crónica. En animales, tanto de laboratorio como domésticos, las altas dosis de DON producen rechazo del alimento, disminución de peso corporal, alteraciones inmunológicas, vómitos, irritación dérmica y gastrointestinal; a bajas concentraciones en la dieta ocasiona anorexia y reduce el crecimiento (Sosa *et al.*, 2017).

El límite máximo establecido para Deoxinivalenol es de 1 ppm para producto terminado que potencialmente puedan ser consumidos por humanos, en el caso de consumo pecuario 10 ppm para rumiantes mayores de 4 meses, 5 ppm para grano y subproductos destinados para cerdos y otros animales (Ordoñez, 2015). McMullen *et al.*, (1997) menciona que en el medio oeste de los Estados Unidos, los compradores

de cebada maltera adoptaron un estándar de 0.5 ppm de DON o menos en el grano comprado.

Por otra parte la Comisión Europea ha establecido los límites máximos del DON de 1.25 ppm para cereales no procesados, 1.75 ppm para trigo duro, avenas no procesadas y maíz no procesado, 0.75 ppm en cereales para consumo humano y pastas, 0.5 ppm para pan, pasteles, galletas, cereales para desayuno y 0.2 ppm en alimentos a base de cereales para bebés y niños pequeños (Moreno *et al.*, 2016).

La cerveza elaborada con granos altamente infectados con *Fusarium* pueden presentar características negativas como sabores extraños e inestabilidad de la espuma (efecto “gushing”) (Schwartz *et al.*, 1995). Haikara (1980) demostró la ocurrencia de “gushing” a escala de cervecería y laboratorio en aquellos casos donde el 50% de los granos malteados estaban infectados con *Fusarium*. En Uruguay, Stewart y Piñeiro (1995) determinaron que la toxina DON se mantenía estable durante el proceso de malteo recuperando un 79% de la misma en muestras de malta con 1 ppm de DON y un 68% en muestras de malta con 0.5 ppm de DON.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

La determinación del potencial micotoxigenico de la cebada maltera almacenada de las variedades Esmeralda y Doña Josefa se realizó en dos etapas, la primera etapa

fue la obtención de las muestras de seis almacenes de productores cooperantes del estado de Hidalgo coordinados con el Campo Experimental Hidalgo (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) (INIFAP).

La segunda etapa consistió en realizar pruebas de laboratorio, que se llevaron a cabo en el Laboratorio de Ensayos de Semillas en el área de Sanidad del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS), perteneciente al Departamento de Fitomejoramiento en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Materiales biológicos

Los granos de las dos variedades de cebada maltera que se analizaron corresponden a seis almacenes ubicados en el estado de Hidalgo, los cuales fueron cosechados en el ciclo primavera-verano del 2016; el ciclo vegetativo de las variedades de cebada se menciona en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Ciclo vegetativo de las variedades de cebada maltera

	Esmeralda	Doña Josefa
Ciclo vegetativo	Intermedio	Intermedio
Floración	49 a 64 días	60-70 días
Madurez fisiológica	91 a 120 días	105 a 125 días

Muestreo

Las áreas muestreadas en el estado de Hidalgo se eligieron en base a la distribución de área de cultivo y la superficie de cebada maltera cultivada (Figura 7), además, se consideró a los municipios de alto rendimiento.

El muestreo consistió en la obtención del grano de cebada maltera de las dos variedades Esmeralda y Doña Josefa, procedente de seis almacenes de productores cooperantes (Cuadro 6), los cuales se eligieron por su área ecológica de influencia en el agroecosistema de la cebada maltera del estado de Hidalgo, México.

El muestreo se realizó en grano almacenado a granel; se obtuvo la muestra con un calador alveolado de seis puntos distintos en cada almacén y para cada variedad de cebada maltera, a una profundidad de 1.5 m con lo que se obtuvieron muestras compuestas de los puntos muestreados.

Las muestras primarias obtenidas en los almacenes fueron homogenizadas en el lugar, conforme se iban extrayendo se colocaba la muestra en una bolsa de papel debidamente identificada, mezclando perfectamente para obtener una muestra compuesta de 2 kg. Una vez en el laboratorio las bolsas de papel con la muestra compuesta fueron conservadas a una temperatura de refrigeración de 4°C, hasta su procesamiento para investigar los objetivos específicos de esta investigación.

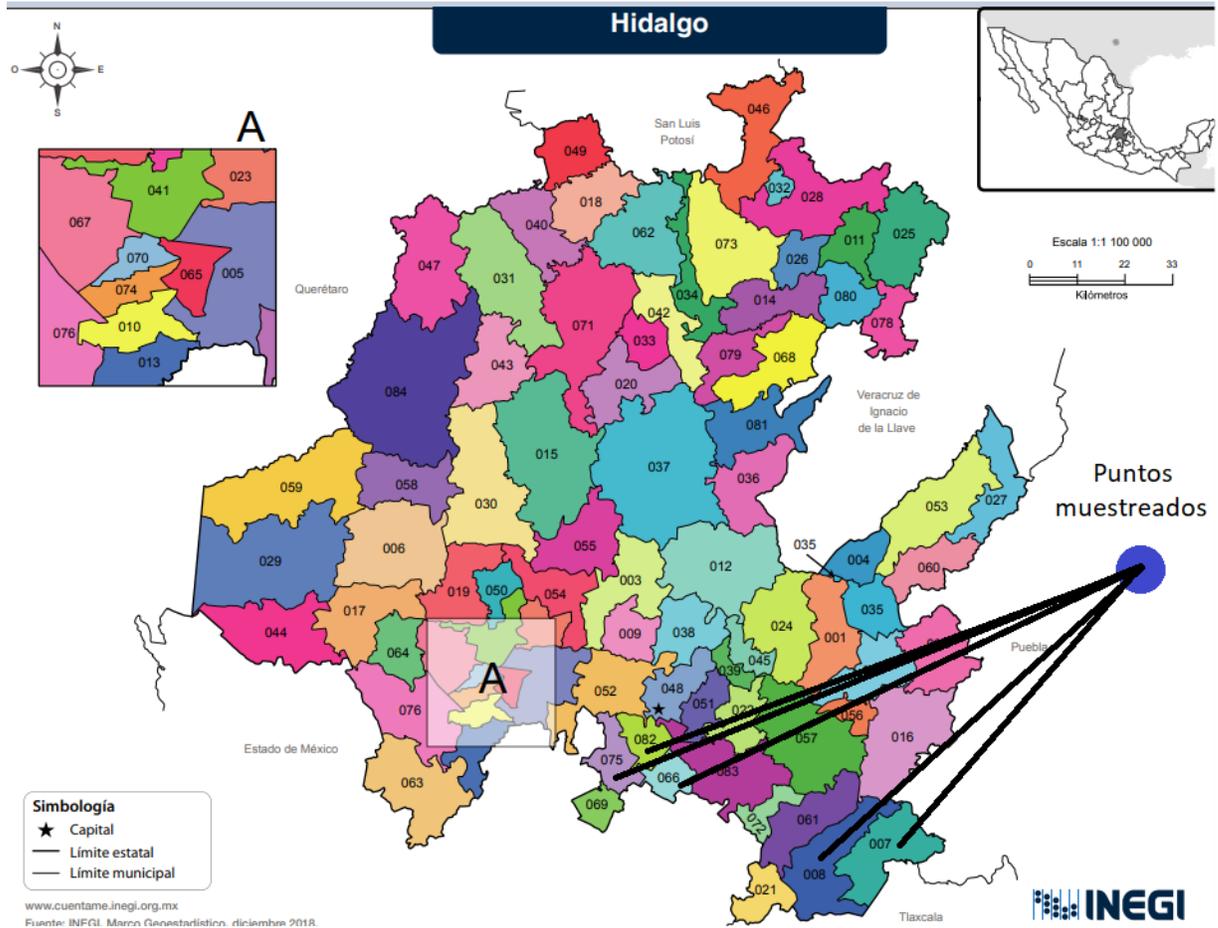


Figura 7. Áreas de muestreo de cebada maltera de los municipios del Estado de Hidalgo.
Fuente: INEGI, 2020.
 066= Villa de Tezontepec, 075= Tolcayuca, 082= Zapotlán de Juárez, 008= Apan y
 007= Almoloya.

Pruebas de laboratorio

Las muestras compuestas del grano de cebada maltera fueron procesadas tres veces en un homogeneizador divisor tipo Boerner (SeedburoQuality®) para la obtención de la muestra de trabajo para realizar las pruebas que se realizaron de acuerdo a los objetivos de esta investigación:

Cuadro 6. Descripción de las muestras compuestas de grano de cebada maltera obtenidas en el Estado de Hidalgo, México

Alm	Prod	Var	Almac	Loc	CG
1	Jesús Orozco	Esmeralda Doña Josefa	Granel	Villa de Tezontepec	N:19°53'50,4" W:98°49'30,8"
2	Urbano Godoy	Esmeralda Doña Josefa	Granel	Las Pintas Tolcayucan	N:19°53'97,6" W:98°53'19,5"
3	Sixto Pérez	Esmeralda Doña Josefa	Granel	San Pedro Zapotlán	N:19°59'41,4" W:98°51'86,6"
4	Ubaldo Olivera	Esmeralda Doña Josefa	Granel	Apan	N:19°43'05,8" W:98°28'24,6"
5	Pedro Rodríguez	Esmeralda Doña Josefa	Granel	El Llano Almoloya	N:19°44'49,0" W:98°37'49,8"
6	Adan López R.	Esmeralda Doña Josefa	Granel	Alejandro Zaldívar	N:19°39'61,9" W:98°21'51,5"

Alm= Número de almacén; Prod= Nombre del productor cooperante; Var= Variedad de cebada maltera; Almac= Condición de almacenamiento; Loc= Localidad de muestro; CG= Coordenadas geográficas

1. Detectar hongos fitopatógenos potencialmente toxigenicos en el grano de cebada maltera almacenada de dos variedades comerciales cultivadas en diversas áreas agrícolas del Estado de Hidalgo, México.

Para determinar la micobiota se realizó el ensayo de la prueba de papel secante y congelación (Warham *et al*, 1999), con algunas modificaciones; dicha técnica consistió en hacer un tratamiento previo, donde se remojan los granos durante 3 minutos en una solución al 10% de hipoclorito de sodio comercial, para desinfectar 400 granos de cebada maltera, posteriormente se dejaron secaren la cámara de flujo laminar. Después en una caja transparente de plástico, se colocaron asépticamente dos capas de papel filtro estéril humedecido, en las que se distribuyeron 100 granos de cebada equidistantemente, se selló la caja con una tira de parafilm, y se colocaron las cajas de plástico a temperatura ambiente de 20 ± 4 °C por 48 horas. Una vez transcurrido el

tiempo de incubación se metieron las cajas en el congelador a una temperatura de -15°C a -20°C durante 24 horas. Transcurrido el tiempo de congelación se colocaron las cajas en 12 h de luz difusa y 12 de oscuridad a temperatura ambiente 20 ± 4 °C durante un periodo de 11 días, se realizaron cuatro repeticiones por muestra de cebada maltera para las dos variedades.

Las colonias de hongos fitopatógenos que se desarrollaron en la prueba de papel secante y congelación fueron observadas bajo el estéreomicroscopio, en cada grano de forma individual; tomando muestras de los micelios desarrollados en cada semilla con cinta adhesiva transparente para realizar preparaciones microscópicas, utilizando como medio de montaje agua destilada estéril y/o lactofenol claro y azul.

Para la identificación de los diferentes géneros de hongos que se desarrollaron en los granos de cebada, se hizo uso de las claves taxonómicas de identificación de hongos especializadas (Wharham *et al.*, 1999), con las cuales se determinó la variable; número de géneros de hongos fitopatógenos (NHF) presentes en los seis almacenes de las dos variedades de cebada maltera (Esmeralda y Doña Josefa).

Los géneros de hongos fitopatógenos reportados como potencialmente productores de micotoxinas, fueron identificados y se determinó enfocarse al género *Fusarium* spp para identificar y cuantificar especies, dada la importancia socioeconómica de su incidencia.

2. Identificar y cuantificar las especies del género *Fusarium*, presentes en el grano de cebada maltera almacenada de dos variedades comerciales cultivadas en diversas áreas agrícolas del Estado de Hidalgo, México.

Para el género *Fusarium* spp, se usaron las claves taxonómicas especializadas para la identificación de las especies (Wharham *et al.*, 1999) en las que se enfatizaron en sus características morfológicas, tales como:

- Forma de las macroconidias;
- Presencia o ausencia de microconidias;
- Color del micelio;
- Forma y modo de la formación de microconidias.

Considerando el género *Fusarium* spp, identificado en la prueba papel secante y congelación se consideró evaluar la variable número de especies de *Fusarium* (NSPFUS) con apoyo de las claves taxonómicas mencionadas anteriormente. Se analizó cada grano de forma individual de las cuatro repeticiones con 100 granos cada una.

Dada la importancia de la especie de *Fusarium graminearum*; se determinó evaluar la incidencia de *Fusarium graminearum* (IFGRAM) en las dos variedades de cebada Esmeralda y Doña Josefa. El consumo de granos o productos de cebada maltera contaminados afecta a la salud de las personas y de los animales debido a la producción de compuestos tóxicos como la micotoxina Deoxinivalenol (DON), del grupo de los tricotecenos (Bezerra *et al.*, 2014); por lo que se decidió realizar la detección de la micotoxina Deoxinivalenol (DON) entre el grupo de micotoxinas que potencialmente puede producir esta especie y por la importancia potencial que tiene en la industria maltera.

3. Cuantificar micotoxinas de *Fusarium* spp de mayor incidencia de infección en grano de dos variedades comerciales de cebada maltera cultivadas y almacenadas en diversas áreas agrícolas del Estado de Hidalgo, México.

Considerando la importancia de *Fusarium graminearum* por su potencial de daño a la inocuidad agroalimentaria industrial a la cebada maltera, así como su incidencia en el grano de cebada maltera en las regiones templadas del Altiplano Central de México, donde se ubica el área de estudio, se procedió a aplicar biotécnicas para detectar los niveles de Deoxinivalenol (DON) en las muestras obtenidas.

Para determinar el Deoxinivalenol se utilizaron reactivos inmunológicos AgraQuant 0.25/5.0 ppm (Romer&Labs®), que es un enzimoimmuno análisis directamente competitivo (ELISA) que determina en forma cuantitativa niveles para la presencia de DON en granos, cereales, nueces, raciones para animales y otras materias primas.

Preparación y extracción de la muestra

Para la preparación primero se pesó 1 kg de la muestra, enseguida se molió el grano de cebada maltera con una licuadora (Oster), se tamizó con una malla # 20 y se colocó la harina en una bolsa para homogenizarse. De la muestra se dispusieron de 20 grs que se mezclaron con 100 ml de agua destilada, enseguida se licuó durante 3 minutos, se dejó descansar y luego se filtró el sobrenadante a través de un filtro de papel Whatman #1. Se colectó el filtrado en un matraz kitazato utilizando extracción al vacío. El extracto obtenido se le midió el PH, determinando que fue de 6-8. Posteriormente con una pipeta de 1000 µl, se agregó 950 µl de agua destilada y 50 µl del extracto en un recipiente de plástico se agitó, posteriormente la muestra está lista para analizarla sin otra preparación.

El ensayo se realizó de acuerdo a las instrucciones del proveedor (Romer&Labs 2012). Se colocaron 17 micropocillos de dilución en una placa de soporte, correspondiendo cinco para los patrones estándar (0.0, 0.25, 1.0, 2.5 y 5.0 ppm) y 12 pocillos para las muestras de cebada maltera, y en otra placa de soporte se colocaron el mismo número de micropocillos previamente recubiertos de anticuerpos.

Se midió 4 ml de conjugado enzimático (~240 µl/pocillo o 2 ml/tira) se agregó 200 µl de conjugado en cada micropocillo de dilución: posteriormente con una pipeta monocal, se agregaron 100 µl del extracto ya diluido de cada muestra y de los estándares en cada pocillo que contiene los 200 µl de conjugado previamente identificado: con una pipeta multicanal de 8 vías se mezclaron perfectamente y cuidadosamente cada tira de micropocillos hacia arriba y hacia abajo haciendo tres

repeticiones y se transfirió de inmediato 100 μ l de los contenidos de cada dilución en los micropocillos con anticuerpo.

Se incubó a temperatura ambiente por 15 minutos, después; se vació el contenido de las tiras de pocillos en un contenedor para residuos, se lavó llenando cada pocillo con la solución de lavado, y luego se volcó el agua de las tiras, este paso se repitió cuatro veces.

Se extendieron varias capas de toallas de papel sobre una superficie plana y se golpeó ligeramente la tira de pocillos con el fin de eliminar la mayor cantidad de solución de lavado residual tras el último lavado. Se midieron 2 ml de sustrato (\sim 120 μ l/pocillo o 1 ml/tira) y se depositó dentro de un contenedor por separado, se pipeteó 100 μ l de sustrato dentro de cada micropocillo de la tira. Las reacciones se percibieron visualmente, al cambiar de color transparente del sustrato al azul, donde la intensidad de color es inversamente proporcional a la concentración de la micotoxina en las muestras y los patrones estándar.

Se dejó incubar a temperatura ambiente durante 5 minutos, para luego añadir una solución que detenga tales reacciones, depositando en cada pocillo; 2 ml de dicha solución (Solución Stop (\sim 120 μ l/pocillo o 1 ml/tira de pocillos); el color cambió de azul a amarillo. En ese momento las tiras de pocillos fueron leídas con un lector de placas (Biotek modelo ELx808®) utilizando un filtro de 450 nm. Las lecturas de las densidades ópticas para cada micropocillo se registraron automáticamente en una hoja de cálculo, convirtiéndolas en partes por millón (ppm) mediante la función Logit.

Porcentaje de humedad

Para determinar el contenido de humedad del grano de cebada maltera se utilizó la técnica de secado, primero se pesó un recipiente de aluminio de cinco centímetros de diámetro con tapa, se registró su peso, posteriormente se pesó el recipiente con tapa y la muestra de 5 gramos la cual fue distribuida uniformemente, se registró el peso, enseguida se colocó el recipiente de aluminio con la muestra en un horno de secado (Precision®) a una temperatura de 103°C por 17 horas, una vez transcurrido el tiempo se sacó el recipiente de aluminio con la muestra del horno de secado y se colocó en un desecador para que se enfriara por 30 minutos, una vez seca la muestra se pesó nuevamente y se registró el peso final.

Análisis estadístico univariado

Las variables determinadas en este estudio fueron; contenido de humedad (%H), número de géneros de hongos fitopatógenos (NHF), especies de *Fusarium* (NSPFUS), incidencia de *Fusarium graminearum* (IFGRAM) y niveles de Deoxinivalenol (NDON), se estudiaron con un diseño experimental completamente al azar y se utilizó para la comparación de medias para las variables evaluadas en los seis almacenes para cada variedad de cebada. El análisis realizado se aplicó el siguiente modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación del i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición.

μ = Media general del variable.

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

E_{ij} = Efecto del error experimental.

$i = 1, 2, \dots, t$ (tratamientos).

$j = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones).

Conversión de los datos

Antes de analizar los datos obtenidos de la prueba de papel secante y congelación, se transformaron los datos de la variable incidencia de *Fusarium graminearum* (IFGRAM) y número de especies de *Fusarium* (NSPFUS) para regular el coeficiente de variación, para esto se utilizó la fórmula:

$$\sqrt{x} + 1$$

Donde

X= datos obtenidos.

1= constante

Prueba de Tukey, se realizó para comparar las medias de los seis almacenes utilizando la probabilidad de error $\alpha=0.05$).

$$DMSH=q(\alpha, T, gl \text{ error}) S_{\bar{x}}$$

Dónde: $q(\alpha, T, gl \text{ error})$ = al valor tabular de Tukey que se encuentra en tablas, con número de tratamientos T, los grados de libertad del error y nivel de significancia α .

$S_{\bar{x}}$ = error estándar de la media $=\sqrt{CMerror/r}$

CMerror= cuadro medio del error; r = repeticiones.

El **coeficiente de variación** se estimó para cada una de las variables analizadas, donde se utilizó la fórmula:

$$C. V. (\%) = \frac{\sqrt{CMEE}}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

C.V. = Coeficiente de variación

CMEE = Cuadrado medio del error experimental

X = Media general de tratamientos

100 = Constante para expresar el C.V. en porcentaje

Con los valores obtenidos se realizó un análisis ANOVA ($P \geq 0.5$), comparación entre las medias mediante la prueba de Tukey ($P=0.05$), utilizando el programa estadístico Minitab 16 (2009).

Análisis de componentes principales

Utiliza una matriz X de orden $(n \times p)$, de np observaciones correspondientes a los valores de p variables de cada una de n unidades de estudio (variedad) y consiste en transformar un conjunto de variables x_1, x_2, \dots, x_p a un nuevo conjunto de variables y_1, y_2, \dots, y_p . Estas nuevas variables deben tener las siguientes propiedades (Johnson, 2000):

1. Es una combinación lineal de las x 's. Por ejemplo, para el primer componente. $Y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p = a_1'x$. Donde $x = [x_1 \ x_2 \dots \ x_p]$ es el vector de valores muestrales de las variables originales, y a_{ij} es el valor del j -ésimo elemento del vector característico a_1 asociado al valor característico más grande λ_1 .
2. En forma matricial para todos los componentes, $Y = XA$, en donde Y es la matriz de orden $n \times p$ de componentes principales; A es una matriz de orden $p \times p$ de vectores característicos y X es la matriz de orden $n \times p$ de observaciones.
3. La suma de cuadrados de los coeficientes a_{ij} para cada i ($j=1, 2, \dots, p$) es la unidad.
4. De todas las posibles combinaciones, Y_1 tiene la máxima varianza: $\text{Var}(Y_1) > \text{Var}(Y_2) > \dots > \text{Var}(Y_p)$.
5. Las Y no están correlacionadas, por lo que los componentes generados no están asociados entre sí.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Detectar hongos fitopatógenos potencialmente toxigénicos en el grano de cebada maltera almacenada de dos variedades comerciales cultivadas en diversas áreas agrícolas del Estado de Hidalgo, México.

En este estudio se exploró la microbiota existente en las variedades de cebada maltera Esmeralda y Doña Josefa donde se identificaron un total de 16 géneros de hongos en ambas variedades (Figura 8) que potencialmente pudieran producir micotoxinas.

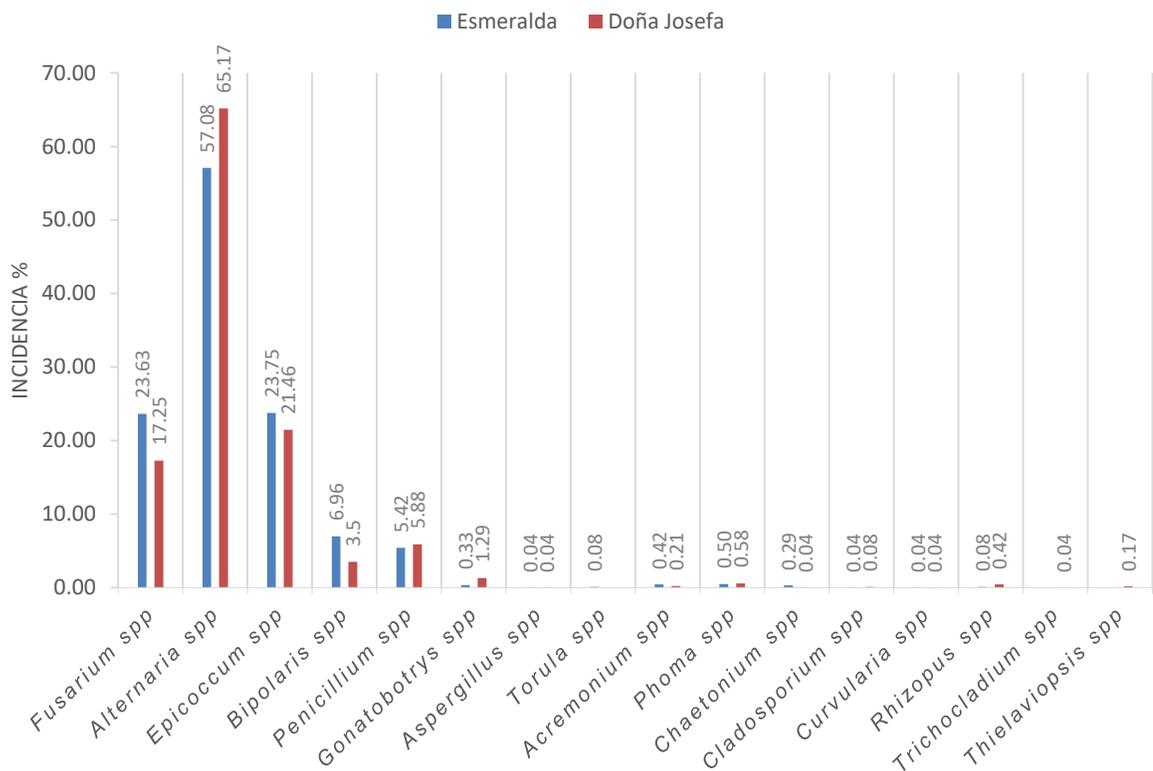


Figura 8. Géneros de hongos fitopatógenos identificados en el grano de dos variedades de cebada maltera almacenadas en el Estado de Hidalgo, México.

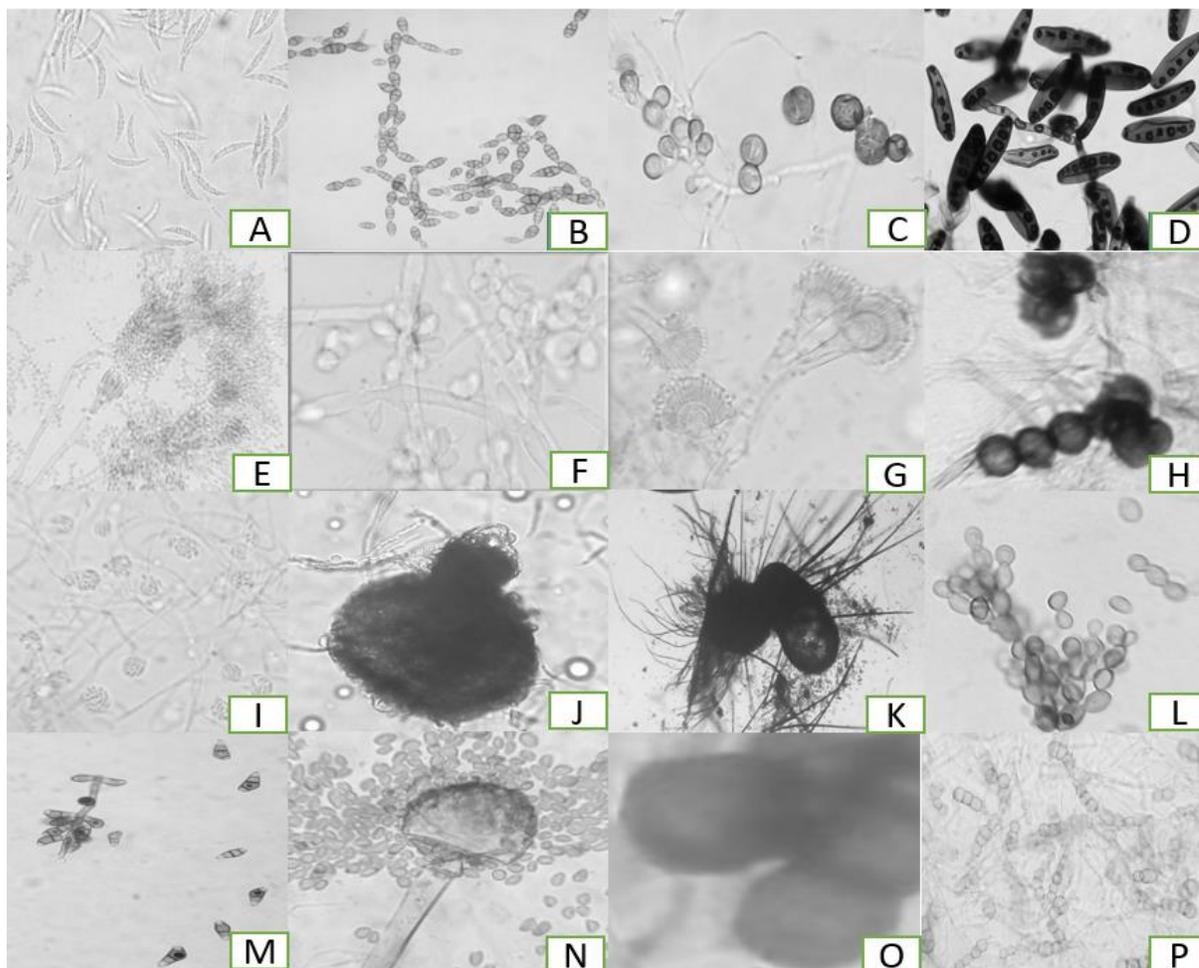


Figura 9. Fotografías de los géneros de hongos identificados en el grano de cebada maltera almacenada en las variedades Esmeralda y Doña Josefa. A= *Fusarium* spp, B= *Alternaria* spp, C= *Epicoccum* spp, D= *Bipolaris* spp, E= *Penicillium* spp, F= *Gonatobotrys* spp, G= *Aspergillus* spp, H= *Torula* spp, I= *Acremonium* spp, J= *Phoma* spp, K= *Chaetonium* spp, L= *Cladosporium* spp, M= *Curvularia* spp, N= *Rhizopus* spp, O= *Trichocladium* spp y P= *Thielaviopsis* spp.

En los resultados que se obtuvieron en esta investigación en la variedad de cebada Esmeralda se identificaron un total de 14 géneros de hongos (Cuadro 17), donde los promedios de los géneros más sobresalientes fueron: *Alternaria* spp (57.08 %), *Epicoccum* spp (23.75 %), *Fusarium* spp (23.63 %), *Bipolaris* spp (6.96 %) y *Penicillium* spp (5.42 %); por otro lado, en la variedad Doña Josefa se identificaron 15 géneros de hongos (Cuadro 18) con una incidencia promedio de: *Alternaria* spp (65.17 %), *Epicoccum* spp (21.46 %), *Fusarium* spp (17.25 %), *Penicillium* spp (5.88 %), *Bipolaris* spp (3.5 %) y *Gonatobotrys* spp (1.29 %). De los géneros de hongos identificados en

las dos variedades de cebada maltera (Figura 9) antes mencionadas; se consideró como estudio principal al género *Fusarium* spp, en específico a *Fusarium graminearum* por el potencial toxigenico que tiene para producir la micotoxinas, DON entre otras (Díaz *et al*, 2007; Cabañes *et al*, 2007; Valle, 2010 y Sosa *et al*, 2017).

Análisis estadístico para variedad de cebada Esmeralda

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza completamente al azar para la variedad Esmeralda (Cuadros 19, 20, 21, 22 y 23), los cuales se muestran sintéticamente en el Cuadro 7, donde se observa que se presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre almacenes para las variables excepto para NSPFUS y los coeficientes de variación mostraron valores específicos para cada variable, en los que NSPFUS obtuvo un valor máximo de coeficiente de variación de 29.674.

Cuadro 7. Cuadros medios del análisis de varianza y coeficiente de variación (C.V.) de las variables evaluadas en la variedad Esmeralda

F.V.	G.L.	Cuadros medios				
		%H	NHF	NSPFUS	IFGRAM ¹	NDON
Almacenes	5	1.515824**	3.742**	1.142	6.059**	0.0240667**
Error	18	0.000122	0.958	0.569	0.343	0.0000222
Total	23					
C.V. (%)		0.1035	17.661	29.674	18.422	2.031
\bar{X}		10.675	5.542	2.542	3.179	0.232

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01; %H= porcentaje de humedad; NHF= número de géneros fitopatógenos; NSPFUS= número de especies de *Fusarium*; IFGRAM= incidencia de *Fusarium graminearum*; NDON= niveles de Deoxinivalenol; ¹IFGRAM provienen de datos transformados por $\sqrt{x+1}$.

Respecto a la detección de DON, en la variable Esmeralda, dicha micotoxina solo fue detectada en el almacén 4, sin embargo, el resto de los almacenes presentaron lecturas por debajo del nivel de detección especificado para la prueba correspondiente (<0.200 ppm) (Cuadro 24).

En la comparación de medias (Cuadro 8) (Tukey 0.05) para los seis almacenes estudiados se presentó un contraste entre el almacén A2 y el A4 que nos indica que al

incrementarse la incidencia de *Fusarium graminearum* (20.50 %) se incrementa el nivel de micotoxina (DON=0.390 a). En el A1 reporto los más altos promedios para las variables %H y NSPFUS, observándose que se generó mayor biodiversidad de *Fusarium* spp, cuando la humedad determinada fue de 11.39%, aunque no se observaron diferencias estadísticas significativas en los 6 almacenes muestreados. Los hongos requieren para su desarrollo: alimento, agua, temperatura adecuada, oxígeno y tiempo para desarrollarse; de estos factores el contenido de humedad del grano es fundamental para el éxito o fracaso del almacenamiento comercial de semillas y granos, ya que a humedades superiores al 13.5% en cereales y 12 % en oleaginosas, se iniciara el daño causado por hongos (Moreno, 1977).

Cuadro 8. Comparación de medias para las variables evaluadas en los seis almacenes del Estado de Hidalgo para la variedad Esmeralda

Almacenes	%H	NHF	NSPFUS	IFGRAM ² (%)	NDON (ppm)
A1	11.39 a	6.00 ab	3.25 a	16.00 ab	<0.200 b
A2	9.86 e	5.00 b	3.00 a	0.25 d	<0.200 b
A3	10.11 d	7.25 a	2.50 a	10.75 bc	<0.200 b
A4	10.68 c	4.50 b	2.25 a	20.50 a	0.390 a
A5	11.29 b	5.25 ab	2.50 a	10.25 bc	<0.200 b
A6	10.70 c	5.25 ab	1.75 a	6.00 cd	<0.200 b
Tukey 0.05	0.025	2.197	1.693	9.337	0.01

Medias con letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey 0.05); %H= porcentaje de humedad; NHF= número de géneros fitopatógenos; NSPFUS= número de especies de *Fusarium*; IFGRAM= incidencia de *Fusarium graminearum*; NDON= niveles de Deoxinivalenol; ²IFGRAM se muestran datos originales.

Análisis de componentes principales

En el Cuadro 9 se observa que con los dos primeros componentes principales se explica el 68.4% de la variación total de los datos (acumulada). En el primer componente principal las variables de mayor peso son NDON e IFGRAM, y en el segundo componente principal las variables %H y NSPFUS son las de mayor peso.

Cuadro 9. Valores y vectores propios del análisis de componentes principales para las variables evaluadas en los seis almacenes de la variedad Esmeralda

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
--	-----	-----	-----	-----	-----

Valor propio	2.0618	1.3572	0.8009	0.7793	0.0008
Proporción (%)	41.20	27.10	16.00	15.60	100.00
Acumulada (%)	41.20	68.40	84.40	100.00	100.00
Variable	Vectores propios				
%H	0.325	0.573*	-0.287	0.590*	0.369
NHF	-0.395	0.422	0.737*	-0.051	0.348
NSPFUS	-0.217	0.523*	-0.489	-0.662*	0.058
IFGRAM	0.563*	0.412	0.342*	-0.165	-0.607*
NDON	0.611*	-0.226	0.141	-0.430	0.609*

*Cargas del vector propio con mayor peso; %H= porcentaje de humedad; NHF= número de géneros fitopatógenos; NSPFUS= número de especies de *Fusarium*; IFGRAM= incidencia de *Fusarium graminearum*; NDON= niveles de Deoxinivalenol

En la gráfica biplot (Figura 10) se observan la correlación entre las variables estudiadas, donde los ángulos agudos indican correlaciones positivas, ángulos obtusos corresponden a correlaciones negativas y ángulos rectos indican que no hay correlación entre las variables (Balzarini *et al*, 2006).

En el A4 se presentaron los niveles más altos de IFGRAM y NDON, estas variables se correlacionaron positivamente (Cuadro 10, $r=0.677$) por lo que gráfica se representa con un ángulo menor a 90° , estableciendo que las correlaciones observadas entre ambas variables resultaron estadísticamente no significativas. Esto posiblemente significa que las cepas de *F. graminearum* detectadas pueden ser fitopatógenas, dadas las incidencias de infección en grano, sin embargo no necesariamente son productoras de DON a esos niveles de contenido de humedad del grano de cebada maltera, lo cual tampoco se correlacionaron con los niveles de contaminación de DON detectados.

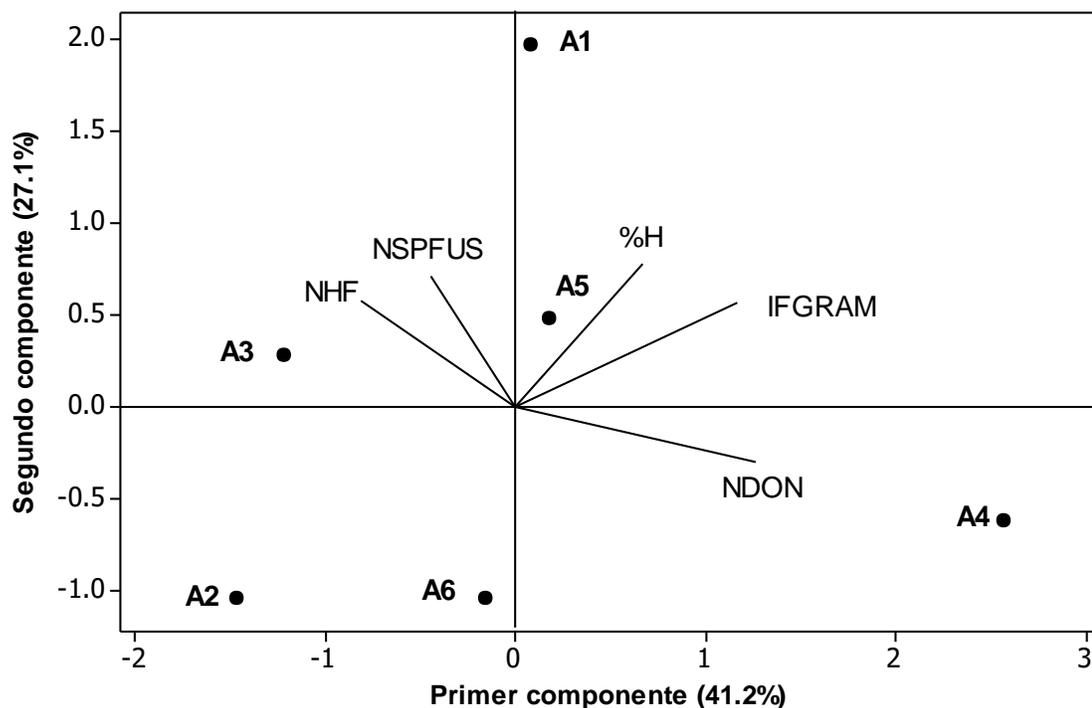


Figura 10. Grafica biplot que muestra las variables y la distribución de los seis almacenes en base a los dos primeros componentes principales.
 %H= porcentaje de humedad; NHF= número de géneros fitopatógenos; NSPFUS= número de especies de *Fusarium*; IFGRAM= incidencia de *Fusarium graminearum*; NDON= niveles de Deoxinivalenol; An= Almacenes.

Cuadro 10. Correlaciones Pearson entre las variables evaluadas en la variedad Esmeralda

Variable	%H	NHF	NSPFUS	IFGRAM
NHF	-0.130			
NSPFUS	0.069	0.214		
IFGRAM	0.544	-0.015	-0.008	
NDON	0.004	-0.528	-0.267	0.677

%H= porcentaje de humedad; NHF= número de géneros fitopatógenos; NSPFUS= número de especies de *Fusarium*; IFGRAM= incidencia de *Fusarium graminearum*; NDON= niveles de Deoxinivalenol

Análisis estadístico para variedad de cebada Doña Josefa

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza completamente al azar para la variedad Doña Josefa (Cuadros 25, 26, 27, 28 y 29) se presenta sintéticamente en el Cuadro 11, donde se observan diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre almacenes para las variables %H, IFGRAM y NDON, los coeficientes de variación mostraron valores de C.V.=0.12 para %H y para IFGRAM un C.V. de 32.742.

Cuadro 11. Cuadros medios del análisis de varianza y coeficientes de variación (C.V.) de las variables evaluadas en la variedad Doña Josefa

F.V.	G.L.	Cuadros medios				
		%H	NHF	NSPFUS ³	IFGRAM ⁴	NDON
Almacenes	5	1.94316**	2.042	0.1617	3.605**	0.03984**
Error	18	0.000167	0.931	0.0852	0.872	0.00231
Total	23					
C.V.		0.12	16.195	15.42	32.742	17.165
\bar{X}		10.824	5.958	1.878	2.852	0.280

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01; %H= porcentaje de humedad; NHF= número de géneros fitopatógenos; NSPFUS= número de especies de *Fusarium*; IFGRAM= incidencia de *Fusarium graminearum*; NDON= niveles de Deoxinivalenol; NSPFUS³ Y ⁴IFGRAM provienen de datos transformados por $\sqrt{x+1}$.

La comparación de medias (Tukey 0.05) para los seis almacenes evaluados se muestran en el Cuadro 12, en el cual se puede observar que los almacenes A1 (0.290 ppm) y el A3 (0.470 ppm) registraron los niveles más altos niveles de DON de los cuales el A3 se acerca al límite aceptado para la compra del grano de cebada que debe ser no mayor a 0.500 ppm para el proceso de malteo. Se presentó una alta incidencia de *Fusarium graminearum* en los A5 (19.25 %) y A6 (7.75 %), sin embargo indicaron niveles bajos de DON (0.200 ppm).

Cuadro 12. Comparación de medias para las variables evaluadas en seis almacenes del Estado de Hidalgo para la variedad Doña Josefa

Almacenes	%H	NHF	NSPFUS ⁵	IFGRAM ⁶	NDON
A1	11.35a	6.25a	2.00a	11.50ab	0.29b
A2	10.41d	5.25a	2.00a	1.75b	0.26b
A3	11.22b	5.50a	2.75a	6.00ab	0.47a
A4	11.22b	6.75a	3.75a	5.00b	0.26b
A5	11.17c	5.25a	3.25a	19.25a	<0.20b
A6	9.58e	6.75a	2.00a	7.75ab	<0.20b
Tukey 0.05	0.029	2.17	0.655	13.338	0.107

Medias con letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey 0.05); %H= porcentaje de humedad; NHF= número de géneros fitopatógenos; NSPFUS= número de especies de *Fusarium*; IFGRAM= incidencia de *Fusarium graminearum*; NDON= niveles de Deoxinivalenol; NSPFUS⁵ y IFGRAM⁶ se muestran datos originales.

Análisis de componentes principales

En el Cuadro 13 se presentan los cinco componentes principales, de los cuales los tres primeros componentes reportaron un valor mayor a la unidad los cuales explican el 86.6% de la variación total de los datos. Con los dos primeros componentes principales se explica el 65.5 % de la variación total.

En el primer componente principal las variables de mayor importancia fueron %H y NSPFUS; en el segundo componente sobresalen las variables IFGRAM y NDON.

En la gráfica biplot se observa que con los dos primeros componentes principales explican el 65.5% de la variación total, en esta gráfica también se observa la relación entre las variables, indicado por los ángulos entre los vectores.

Cuadro 13. Valores y vectores propios del análisis de componentes principales para las variables evaluadas en los seis almacenes de cebada de la variedad Doña Josefa

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Valor propio	1.8736	1.4013	1.0550	0.4652	0.2050
Proporción (%)	37.50	28.00	21.10	9.30	4.10
Acumulada (%)	37.50	65.50	86.60	95.90	100.00
Variable	Vectores propios				
%H	0.673*	0.040	-0.132	0.299	0.663
NHF	-0.334	-0.227	-0.747	0.526	-0.033
NSPFUS	0.482*	-0.293	-0.511	-0.566	-0.318
IFGRAM	0.310	-0.614*	0.389	0.458	-0.406
NDON	0.328	0.695*	-0.108	0.321	-0.452

*Cargas del vector propio con mayor peso; %H= porcentaje de humedad; NHF= número de géneros fitopatógenos; NSPFUS= número de especies de *Fusarium*; IFGRAM= incidencia de *Fusarium graminearum*; NDON= niveles de Deoxinivalenol.

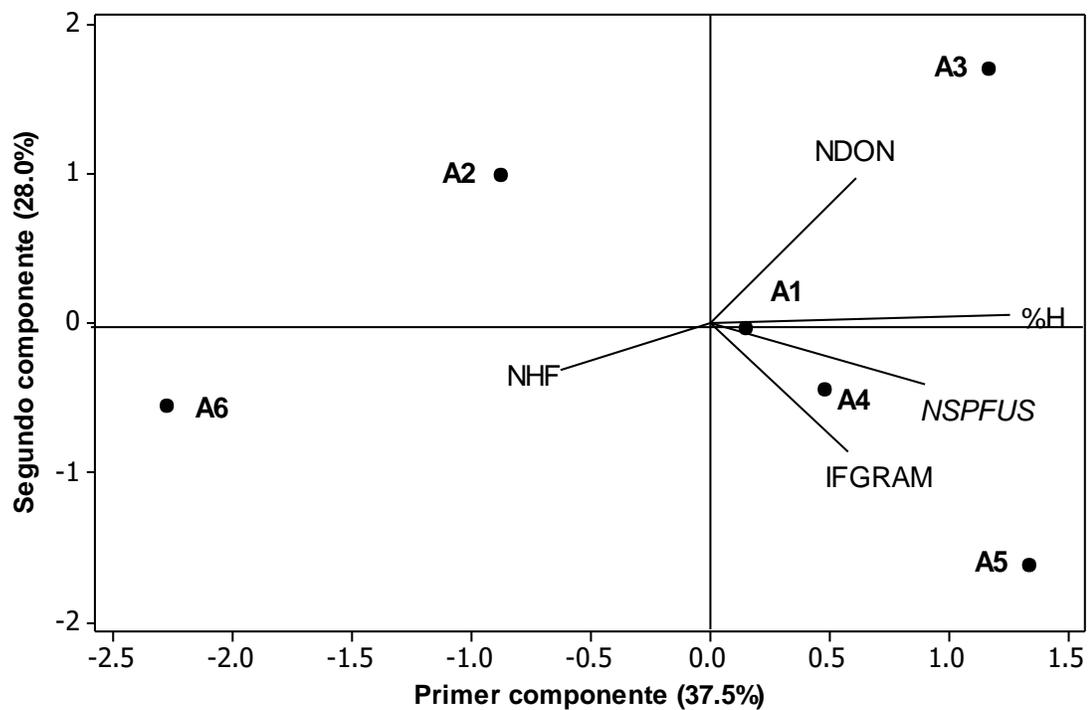


Figura 11. Grafica biplot que muestra las variables y la distribución de los seis almacenes en base a los dos primeros componentes principales.

%H= porcentaje de humedad; NHF= número de géneros fitopatógenos; NSPFUS= número de especies de *Fusarium*; IFGRAM= incidencia de *Fusarium graminearum*; NDON= niveles de Deoxinivalenol; An= Almacenes.

En la Figura 11 se observa la relación entre los almacenes y las variables donde el vector, NGHF indica que el almacén A6 presentó el mayor número de géneros de hongos para la variedad Doña Josefa (Cuadro 12). La variable-vector NDON señala que A3 (0.470 ppm) contiene el nivel más alto de la micotoxina superando los niveles obtenidos en la variedad Esmeralda. Las variables %H y NSPFUS mostraron una correlación positiva ($r= 0.540$, Cuadro 14), los altos promedios de estas variables se observan en A4.

Cuadro 14. Correlaciones Pearson entre las variables evaluadas en la variedad Doña Josefa

Variable	%H	NHF	NSPFUS	IFGRAM
NHF	-0.262			
NSPFUS	0.540	0.058		
IFGRAM	0.310	-0.190	0.228	
NDON	0.439	-0.259	0.020	-0.339

%H= porcentaje de humedad; NHF= número de géneros fitopatógenos; NSPFUS= número de especies de *Fusarium*; IFGRAM= incidencia de *Fusarium graminearum*; NDON= niveles de Deoxinivalenol.

Análisis estadístico de las dos variedades de cebada maltera

En el análisis de varianza completamente al azar que se utilizó para comparar el comportamiento entre las dos variedades evaluadas previamente por separado, aquí se presenta dicho análisis de varianza para las variables evaluadas, en las variedades de cebada maltera Esmeralda y Doña Josefa, dichas variedades mostraron diferencias altamente significativas ($p<0.01$) (Cuadros 30, 31, 32,33 y 34) para el porcentaje de humedad (%H) y los niveles de Deoxinivalenol (NDON) se presentan sintéticamente en el Cuadro 15. Las variables estudiadas registraron valores bajos en los coeficientes de variación (C.V.).

Cuadro 15. Cuadrados medios del análisis de varianza y coeficientes de variación (C.V.) de las variables evaluadas para las variedades de cebada maltera Esmeralda y Doña Josefa

F.V.	G.L.	Cuadrados medios				
		%H	NHF	NSPFUS	IFGRAM	NDON
Variedades	1	0.043616**	0.3458	0.013	8.69	0.0050**
Error	6	0.000029	0.0989	0.108	2.19	0.0003
Total	7					
C.V.		0.05	5.46	12.73	15.44	7.01
\bar{X}		10.75	5.75	2.58	9.58	0.26

**Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01; %H= porcentaje de humedad; NHF= número de géneros fitopatógenos; NSPFUS= número de especies de *Fusarium*; IFGRAM= incidencia de *Fusarium graminearum*; NDON= niveles de Deoxinivalenol.

La comparación de medias (Tukey 0.05) para las dos variedades de cebada maltera se muestran en el Cuadro 16, en el cual se puede observar que las variables %H y NDON estadísticamente son mayores en la variedad Doña Josefa en contraste a la variedad Esmeralda, por otra parte no se registraron diferencias significativas en las variables NHF, NSPFUS y IFGRAM.

Cuadro 16. Comparación de medias para las variedades de cebada maltera Esmeralda y Doña Josefa

Variedades	%H %	NHF	NSPFUS	IFGRAM %	NDON ppm
Esmeralda	10.675 b	5.541 a	2.541 a	10.625 a	0.230 b
Doña Josefa	10.823 a	5.957 a	2.622 a	8.540 a	0.280a
Tukey	0.009	0.544	0.568	2.560	0.031

Medias con letras iguales en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey 0.05); %H= porcentaje de humedad; NHF= número de géneros fitopatógenos; NSPFUS= número de especies de *Fusarium*; IFGRAM= incidencia de *Fusarium graminearum*; NDON= niveles de Deoxinivalenol.

2. Identificar y cuantificar las especies del género *Fusarium* presentes en el grano de cebada maltera almacenada de dos variedades comerciales cultivadas en diversas áreas agrícolas del Estado de Hidalgo, México.

Especies de *Fusarium* en las variedades de cebada maltera evaluadas

De las especies de *Fusarium* spp que son potencialmente toxígenicas presentes en la variedad Esmeralda, *Fusarium graminearum* se registró en todos los almacenes de los cuales en el A1 y A4 muestran la más alta incidencia de la especie (Figura 12, Cuadro 35). Otra especie importante que se registró fue *Fusarium verticillioides* con mayor incidencia en el A2 (52.75%) por lo que sería importante evaluar los niveles de micotoxina que produce esta especie que son las fumonisinas. Las demás especies de *Fusarium* spp solo se detectaron en determinados almacenes mostrando una baja incidencia que fluctuó entre 0.25% y 3.25%.

Para la identificación de las especies de *Fusarium* spp, se hizo uso de las claves rápidas de Wharham *et al.*, 1999 (Cuadro 36), en las cuales se observó el color del micelio y la forma de las macro y microconidias por cada especie registrada.

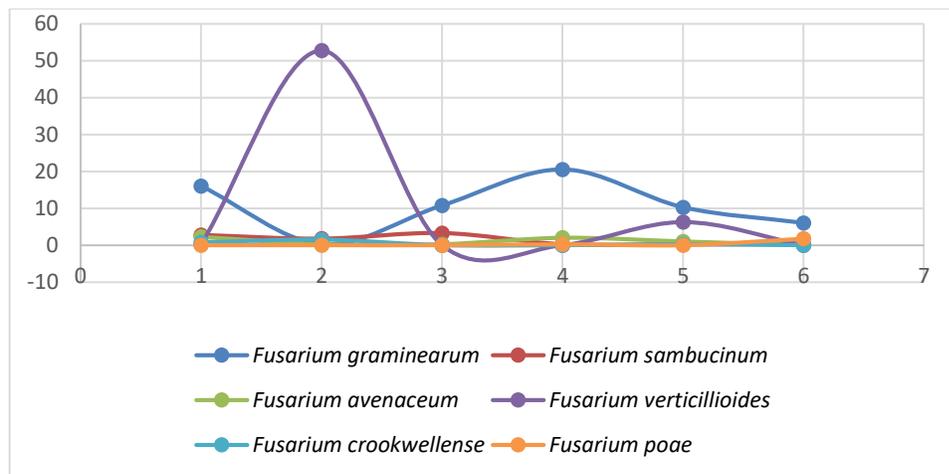


Figura 12. Especies de *Fusarium* spp detectadas en la variedad Esmeralda.

En la variedad Doña Josefa *Fusarium graminearum* tuvo mayor incidencia en los almacenes A4 y A5 (Figura 13, Cuadro 37) en el resto de los almacenes registró una menor incidencia. La especie *Fusarium verticillioides* reportó una incidencia del

27.50% en el A2, la cual es menor a la registrada en la variedad Esmeralda en el mismo almacén. De las restantes especies solo destaca la especie de *Fusarium avenaceum* por su incidencia registrada en el almacén A5.

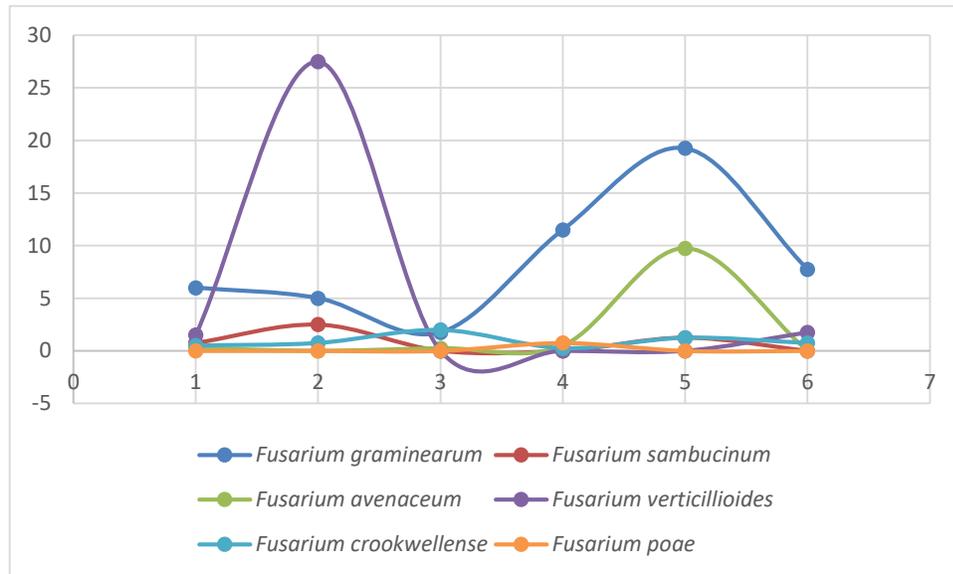


Figura 13. Especies de *Fusarium* spp detectadas en la variedad Doña Josefa.

Las especies detectadas (Figura 14) en esta investigación tienen la capacidad de producir las siguientes micotoxinas (Cuadro 4.) DONT-2, HT2, ZEA, MON Y FB (Cabañes *et al*, 2007); de las especies detectadas se consideró a *Fusarium graminearum* por la incidencia que mostro en las dos variedades de cebada maltera almacenada para los seis almacenes, y poder determinar los niveles de DON. Sosa *et al*, (2017) hace mención que a altos niveles de la micotoxina produce rechazo del alimento, disminución de peso corporal, alteraciones inmunológicas, vómitos, irritación. Por otra parte, en la industria maltera Haikara (1980) y Schwart *et al*, (1995) reportan que la cerveza elaborada con granos altamente infectados con *Fusarium* puede presentar características negativas como sabores extraños e inestabilidad de la espuma (efecto gushing).

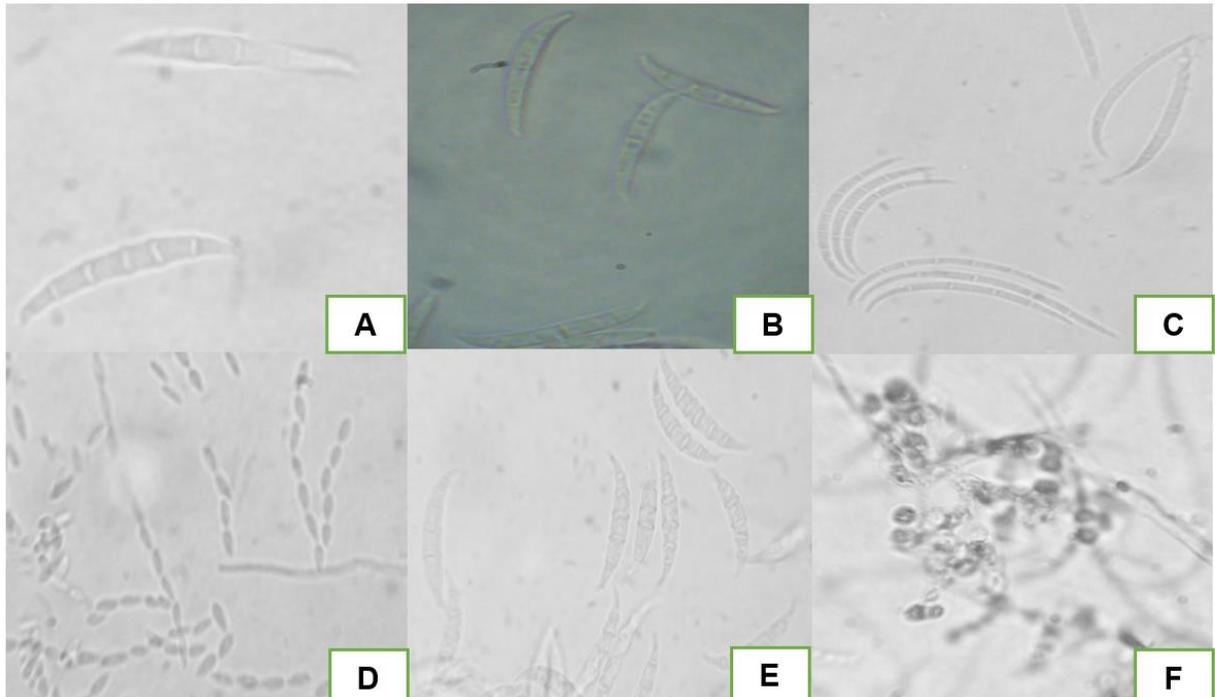


Figura 14. Fotografías de especies de *Fusarium* spp detectadas en granos de cebada maltera. A= *Fusarium graminearum*, B= *Fusarium sambucinum*, C= *Fusarium avenaceum*, D= *Fusarium verticillioides*, E= *Fusarium crookwellense* y F= *Fusarium poae*.

Desjardi (2006); Bobadilla *et al*, (2015) y Castañares, E. (2016) reportan la siguientes especies en sus investigaciones asociadas al género *Fusarium*, las cuales incluyeron a especies tales como: *F. avenaceum*, *F. graminearum*, *Fusarium sambucinum*, *Fusarium equiseti*, *F. crookwellense* y *Fusarium oxysporum* las cuales concuerdan con las especies identificadas en esta investigación.

3. Cuantificar micotoxinas de *Fusarium* spp de mayor incidencia de infección en grano de dos variedades comerciales de cebada maltera cultivadas y almacenadas en diversas áreas agrícolas del Estado de Hidalgo, México.

En la detección de los niveles de la micotoxina Deoxinivalenol se registró en las dos variedades de cebada maltera en los seis almacenes, donde se observó que cuando está presente *Fusarium graminearum* es muy probable la presencia de la micotoxina, considerando las condiciones del almacenamiento; las condiciones propicias para que se presente dicha especie son rangos de temperaturas de 27 a 31°C y una humedad relativa de 65 a 90 % (Moreno, 1984). La variedad Doña Josefa mostro los mayores niveles de DON (0.470 ppm) a comparación de Esmerada; aun con estos valores, los niveles de deoxinivalenol están dentro del estándar que es de 0.5 ppm de DON en la compra de cebada maltera que establecieron en el medio oeste de los Estados Unidos (McMullen *et al.*, 1997).

Windels (2000) reporta que en la industria cervecera estableció un límite de 0.5 ppm para la producción de malta; el exceso de esta micotoxina en la cerveza puede cambiar las cualidades organolépticas de esta, así como afectar su calidad industrial produciendo efervescencia excesiva al abrir el contenedor de la cerveza (Leonard y Bushnell, 2005).

La agencia de drogas y alimentación norteamericana (FDA, por su siglas en inglés) establece los siguientes límites en granos y subproductos de granos de trigo: 1 ppm para productos de trigo (harina, salvado, germen) destinados para consumo humano, 5 ppm para productos de grano para alimentos de cerdos, de 1 ppm para granos y subproductos de grano para la elaboración de alimentos para ganado bovino y pollos, y de 30 ppm en granos para destilaría (FDA, 2010).

Porcentaje de humedad

Los resultados obtenidos del porcentaje de humedad (%H) de las muestras de cebada maltera almacenada para las dos variedades de cebada, indicaron que existe una diferencia estadística altamente significativa ($P < 0.01$) (Cuadro 7 y 11), aun con los

resultado obtenidos todos los almacenes estudiados en esta investigación están por abajo del porcentaje de humedad recomendado para el almacenamiento de granos que es del 13% (Marques, 1993).

El porcentaje de humedad (%H) del grano de cebada es muy importante para el almacenamiento y comercialización, para así, evitar la proliferación de plagas insectiles y hongos de almacén (Moreno, E., 1984). Por otra parte, el porcentaje de humedad (%H) del grano de cebada es muy importante para mantener en óptimas condiciones el grano para el malteo, lo cual implica mantener el poder germinativo en más de 95% durante más de un año en el que se aplicaran medidas para evitar que el grano almacenado se deteriore, por lo que es indispensable contar con silos que tengan ventilación y control de temperatura (Arias, G. 1991).

5 CONCLUSIONES

Se registraron 13 géneros de hongos que coincidieron en las dos variedades de cebada maltera; adicionalmente en la variedad Esmeralda se registró al género *Torula* spp y en la variedad Doña Josefa *Trichocladium* spp, *Thielaviopsis* spp.

Los géneros de hongos con mayor incidencia que se identificaron en las dos variedades de cebada maltera fueron: *Alternaria* spp (61.13%), *Epicoccum* spp (22.61%), *Fusarium* spp (20.44%), *Penicillium* spp (5.65%) y *Bipolaris* spp (5.23%).

En la variedad de cebada Esmeralda en el almacén 4 se presentaron los más altos niveles de incidencia de *Fusarium graminearum* (20.50%) y niveles de Deoxinivalenol (0.390 ppm), y el almacén 1 destaca por mostrar el más alto porcentaje de humedad (11.39 %) y número de especies de *Fusarium* spp (3.25).

El análisis de componentes principales en la variedad Esmeralda mostro una correlación positiva entre incidencia *Fusarium graminearum* y niveles de Deoxinivalenol ($r=0.677$) y una correlación negativa entre número de géneros y niveles de Deoxinivalenol ($r= -0.528$).

En la variedad de cebada Doña Josefa el almacén 3 indicó el mayor nivel de la micotoxina Deoxinivalenol (0.470 ppm). El almacén 5 presentó mayor incidencia de *Fusarium graminearum* (19.25 %).

El análisis de componentes principales en la variedad Doña Josefa indicó una correlación positiva entre las variables porcentaje de humedad y especies de *Fusarium* ($r= 0.540$).

En la comparación de medias las variedades de cebada Doña Josefa indico mayor porcentaje de humedad y niveles de Deoxinivalenol que la variedad Esmeralda. De las dos variedades de cebada maltera (Esmeralda y Doña Josefa) ninguna rebaso los

niveles de contaminación de la toxina DON para la compra del grano para la industria maltera.

El contenido de humedad del grano de cebada maltera está abajo de lo recomendado para el almacenamiento del grano en general.

En los seis almacenes la presencia de la micotoxina DON estuvo relacionada con la incidencia de *Fusarium graminearum* para las dos variedades de cebada maltera.

6 LITERATURA CITADA

- Abarca**, M. L., Bragulat, M. R., Castellá, G., Accensi, F., & Cabañes, F. J. (2000). Hongos productores de micotoxinas emergentes. *Revista Iberoamericana de Micología*, 17(2), S63-S68.
- Arias**, G. (1991). Calidad industrial de la Cebada Cervecera. INIA.
- Arrazola**, G. 1990. Evaluación del comportamiento del banco de germoplasma de haba a la pudrición radicular o enfermedades de wilt causada por *Fusarium* spp, Tesis de grado. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología. Carrera de Biología. Cochabamba-Bolivia. P. 57-58.
- Balzarini**, M., Arroyo A., Bruno C. y Di Rienzo J. 2006. Análisis de datos de marcadores con Info-Gen. XXXV Congreso Argentino de Genética, San Luis. Argentina.
- Barnett** HL and Hunter BB. 1987. Illustrated genera imperfect fungus. Third Edition. Editorial Burgess Publishing Company. 241p.
- Bennett**, J. W. & Klich, M. 2003. *Clinical Microbiology Reviews*. 16:497-516.
- Bezerra**, RME; Oliveira FF Ch.; Feitosa, MFE; Florindo, GMI y Rondina D. 2014. Las micotoxinas y sus efectos en la salud humana y animal. *Control de Alimentos*. 36:159-165.
- Bobadilla et al**, 2015. Fuentes de resistencia a la roña de la espiga y producción de micotoxinas en líneas avanzadas de cebada maltera. Posgrado de Fitosanidad. Recuperado de: https://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/26_Avance_15.pdf#page=92 (02, noviembre, 2021).
- Cabañes**, F. J., Abarca, M. L., Bragulat, M. R., & Castella, G. 2007. Especies productoras de micotoxinas. Pp 47-50. Pp 29-50. En: Soriano, C. J. M. *Micotoxinas en Alimentos*. Díaz de Santos. España. 393 p.
- Cajamarca**, G. B. G & Montenegro P. S. I. 2015. "Selección de una línea promisoras de cebada (*Hordeum vulgare* L.) Bio-fortificada, de grano descubierto y bajo contenido de fitatos, en áreas vulnerables de la sierra sur ecuatoriana". Tesis de Licenciatura. Universidad de Cuenca. Cuenca. Ecuador. 118 p. recuperado

de:<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23473/1/TESIS%20C EBADA.pdf> (03/03/2020).

- Carmona, M. A., Barreto, D. E., & Wright, E. R. (1992).** Relevamiento de las enfermedades fúngicas de la cebada cervecera en la provincia de Buenos Aires. *Rev. Fac. Agron. (B. Aires)*, 13(2-3), 187-192.
- Carrasquel, A. S., Gutiérrez, A. D. R., & Ortiz, F. A. G. (2016).** Valorización y uso de cebada (*Hordeum vulgare*) para elaboración de maltas cerveceras. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n6/a6.html> (19, enero, 2020).
- Castañares, E. 2016.** Variabilidad genética de *Fusarium graminearum*, potencial producción de toxinas y sus implicancias en la calidad de los granos de cebada. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires, Argentina. 229 p. Recuperado de: <file:///C:/Users/Equipo/Downloads/Tesis%20Doctoral%20Casta%20C3%B1ares%20Eliana.pdf-PDFA.pdf> (02, noviembre, 2021).
- Celis, F. 2017.** Grupo Modelo invierte 15 millones para mejorar su cebada. Forbes. <https://www.forbes.com.mx/grupo-modelo-invierte-15-millones-investigacion-cebada/> (19, enero, 2020).
- Couretot, L., Parisi, L., Fernandez, M., Magnone, G., Russian, H., & Samoiloff, A. (2017).** Sanidad de semillas en trigo y cebada. Importancia del tratamiento de semillas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación experimental agropecuaria Pergamino. Buenos Aires, Argentina.
- De Ackermann, M. D., Pereyra, S., Stewart, S., & Mieres, J. (2011).** Fusariosis de la espiga de trigo y cebada. *Manejo de Enfermedades en Trigo y Cebada*, 95.
- De la Torre-Hernández, Ma. Eugenia, Sánchez-Rangel, Diana, Galeana-Sánchez, Eduardo, & Plasencia-de la Parra, Javier. (2014).** Fumonisin -Síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides*-maíz. TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas, 17(1), 77-91. Recuperado en 18 de septiembre de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2014000100006&lng=es&tlng=es.

- Dejardins, A. E.** 2006. *Fusarium* Mycotoxins Chemistry, Genetics, and Biology. APS Press, ilustrada. St. Paul, Minnesota. USA.
- Denli, M., & Pérez, J. F.** (2006). Contaminación por micotoxinas en los piensos: efectos, tratamiento y prevención. XXII Curso de especialización FEDNA, Barcelona, España.
- Díaz A. M., Pereyra S., Stewart S., & Mieres J.** 2007. Fusariosis de la Espiga en Trigo y Cebada. Obtenido de: <https://www.engormix.com/micotoxinas/articulos/fusariosis-en-trigo-y-cebada-t26159.htm>. (01, marzo, 2018).
- EPPO.** 2020. *Fusarium graminearum*. Base de datos mundial de EPPO. <https://gd.eppo.int/taxon/GIBBZE>. Fecha de consulta: Septiembre 2022.
- FDA.** 2010. Guidance for Industry and FDA: Advisory Levels for Deoxynivalenol (DON) in Finished Wheat Products for Human Consumption and Grains and Grain By-Products used for Animal Feed.
- Gimeno, A. & Martins, ML.** 2011. Micotoxinas y micotoxicosis en animales y humanos. 3 ed. Special nutrients Inc. Miami, FL, USA. 130p.
- Gimeno, A.** (2008). Las fumonisinas y sus efectos indeseables en la producción porcina. Albéitar: Publicación veterinaria independiente, (116), 54-57.
- Haikara, A.**1980.Gushing induced by fungi. *In*: European Brewery Convention Monograph VI. Pp. 251-259.
- Hernández, M. T. S.** 2006. Estudio de la composición química de cebada cultivada en Zapotlán, Villa de Tezontepec y Tultengo, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. UAEH. Pachuca, Hidalgo. 100 p.
- Ibarguren, L.** 2014. Catedra de Agricultora Especial. Recuperado de: https://nanopdf.com/download/cebada-hordeum-vulgare_pdf (03/03/2020).
- Impulsora Agrícola.** 2017. <http://impulsoraagricola.com.mx/nueva/> (19, enero, 2020).

- INEGI**, 2020. Marco geoestadístico. https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/hgo/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=13. Fecha de consulta: septiembre 2022.
- INIFAP**, 2017. Agenda Técnica Agrícola De Hidalgo. México. Progreso Núm.5, p 33-35.
- INIFAP**. 1997. Esmeralda variedad de cebada maltera para los valles altos. Folleto técnico núm. 5.
- Ireta M y Gilchrist S**. 1994. Roña o tizón de la espiga del trigo. Informe especial de trigo No. 20. México, D.F: CIMMYT. 6-7p.
- Islas**, G. J.; Zamora, D. M.; Gámez, V. F. P. y Solano, H. S. 2008. Rentabilidad de la cebada de riego en El Bajío In: III Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Yucatán, México. Memoria. 260 p.
- Johnson**, D. 2000. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos Internacional Thompson Editores S.A de C. V. New York, U.S.A. Pp. 3 – 4.
- Leonard**, Kurt. J. y Bushnell, W. R. 2005. Fusarium Head Blight of Wheat and Barley. APS Press. St. Paul, Minnesota. USA.
- Lomelí**, R. R. (1979). La cebada de temporal en el altiplano y su calidad maltera. Recuperado de: http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2210/Lomeli_Ramirez_Ramon.pdf?sequence=1 (16/03/2020).
- López**, L. 1991. Cultivos Herbáceos “Cereales”. Córdoba, Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 246-277 pp.
- López**, Naranjo, L. M. (2013). Principales micotoxicosis asociadas al consumo de maíz y sus subproductos (Doctoral disertación, Corporación Universitaria Lasallista).
- López**, P. P, Prieto, G. F., Gaytán, M. M., Román, G. A. D. (2007) Caracterización fisicoquímica de diferentes variedades de cebada cultivadas en la región centro de México. *Revista Chilena de Nutrición*, 34(1), 71-77.
- López**, P., Guzmán, F. A., Santos, E. M., Prieto, F., & Román, A. D. (2005). Evaluación de la calidad física de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum* Jess)

cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala, México. *Revista chilena de nutrición*, 32(3), Pp 247-253.

Lori G Y Rizzo I. 2007. Deoxinivalenol. Pp 269-286. En Soriano del Castillo J M... *Micotoxinas en alimentos*. Días de Santos. España. 393 p.

Mallmann, C. A., Dilkin, P., Giacomini, L. Z., Rauber, R. H., & Pereira, C. E. (2007). Micotoxinas en ingredientes para alimento balanceado de aves. In *Congreso latinoamericano de avicultura* (Vol. 20, pp. 191-204).

Manzo-Sánchez, G., James-Kay, A., Ortiz-Vázquez, E., & Simpson-Williamson, J. (2007). Desarrollo de mapas genéticos y físicos de hongos fitopatógenos: aplicaciones y perspectivas. *Revista mexicana de fitopatología*, 25(1), 54-65.

Marques, P. A. L. R. 1993. Almacenamiento de granos en propiedades rurales. Manual de poscosecha de granos a nivel rural. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. Obtenido de: <https://www.fao.org/3/X5027S/x5027S00.htm#Contents>. Consulta: 25 de septiembre de 2022.

McMullen, M, Jones, R, and Gallenberg, D. 1997. Scab of Wheat and Barley: A reemerging disease of devastating impact. *Plant Dis.* 81:1340-1348.

Méndez, A., & Moreno, E. (2009). Las micotoxinas, contaminantes naturales de los alimentos. *Revista Ciencia*, 61, 1-7. <https://docplayer.es/601742-Las-micotoxinas-contaminantes-naturales-de-los-alimentos-abraham-mendez-albores-y-ernesto-moreno-martinez.html>. (Consultado, 11 de septiembre 2018).

Minitab, Inc. 2009. Minitab Statistical Software, version 16 para Windows, State College, Pennsylvania. Minitab® es una marca comercial registrada de Minitab, Inc.

Moreno L, J., Pérez R, C., & Moreno M, E. 2016. Micotoxinas en cereales. *Claridades Agropecuarias*. No. 271. Pp 17-20.

Moreno, E. 1977. Los hongos y la calidad de los granos y semillas. Núm. 11: UNAM. México. Pp 127-135. Fecha de consulta: 25 de septiembre 2022. <https://www.scientiafungorum.org.mx/index.php/micologia/article/view/470/654>.

- Moreno, M. E.** 1982. Hongos de Granos Almacenados: su importancia y combate. Pp 49-50. En: Saldívar, R. Memorias del Curso de Actualización sobre Tecnología de Semillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Asociación Mexicana de Semillas, A.C. 167P.
- Moreno, M, E.** 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. UNAM. Ciudad Universitaria, México, D. F.
- NMX-FF-043-SCFI-2003**, Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereal-cebada maltera (*Hordeum vulgare* L. y *Hordeum distichum* L.)-Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México. http://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-FF-043-SCFI-2003_cebada.pdf (19, enero, 2020).
- OrdoñezM, K, C.** 2015. Potencial micotoxigenico de grano de maíz en el estado de poscosecha. Tesis de Maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila.
- Ocampo, I. O., Jaimez, J., Contreras, E., Carrazana, J., & Compostela, C. L.** (2004) Estudio de la Micoflora y Contenido de Aflatoxinas Presentes en Cebada Cultivada y Almacenada en el Estado de Hidalgo. UAEH. Pachuca. Hidalgo.
- Parsons, D., Mondoñedo, J.R., Kirchner, F., Medina, F. J. De la Rosa, I.** 2004. Trigo, Cebada, Avena. Manuales para la educación agropecuaria. Producción vegetal. México. Editorial Trillas. 14 p.
- Peraica, M., Radic, B., Lucic, A., & Pavlovic, M.** (2000). Efectos tóxicos de las micotoxinas en el ser humano.
- Pereyra, S., & Stewart, S.** 2004. Manejo de enfermedades en cebada. Jornada técnica, cultivos de invierno. INIA. Uruguay. Obtenido de: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6746/1/INIA.2004.SAD-n.357.pdf>. (01, marzo, 2018).
- Pérez, R. M.C.J.** 2016. “Efectos de la irradiación láser sobre la calidad fisiológica y sanitaria de semilla de cebada maltera: un enfoque de sistémico y transdisciplinario”. Tesis de Doctorado. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica Sección De Estudios De Posgrado E Investigación. Ciudad de México. 64 p.
- Pitt, J. I.** 1996. What are mycotoxins? Australian Mycotoxin Newsletter. 7(4).p. 1.

- Ponce-Molina, L., Noroña, P., Campaña Cruz, D. F., Garófalo, J., Coronel, J., Jiménez, C., & Cruz, E. (2020).** La Cebada (*Hordeum vulgare* L.): Generalidades y variedades mejoradas para la Sierra Ecuatoriana. Recuperado de: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5587/2/Manual%20116%20La%20cebada.pdf>.
- Rey V R. 2016.** Tricotecenos tipo B. Deoxinivalenol. <http://docplayer.es/20086683-Fig-10-1-estructura-molecular-del-deoxinivalenol.html> (consulta, diciembre 2018).
- Robles, S. R. & Garza, G. J. 1976.** Cultivo de la cebada. In Robles, S. R. Producción de granos y forrajes. México. Editorial Limusa. 247-266 pp.
- Rodríguez, C. N. 2014.** Identificación de los principales hongos en cebada (*Hordeum vulgare* L.) hidropónica y su patogénesis en cuyes (*Cavia porcellus* L.). Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Cajamarca. Escuela de Postgrado. Cajamarca. Perú. 183 p. recuperado de: <http://190.116.36.86/handle/UNC/1949> (10 de marzo 2020).
- SAGARPA. 2017.** Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257069/Potencial-Cebada.pdf> (consultado, 27 de diciembre de 2018).
- Sanchis, V., Marín, S., & Ramos, A. J. (2000).** Control de micotoxinas emergentes. Situación legislativa actual. *Rev Iberoam Micol*, 17, S69-S75.
- Schwarz, P.B., Casper, H.H y Beattie, S. 1995.** The fate and development of *Fusarium* mycotoxins during malting and brewing. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 53:121-127.
- Sosa, D., Escobar, A., & Faure, R. (2017).** Deoxinivalenol: métodos de análisis de residualidad en cereales. Toxicidad en animales de granjas. *Revista de Salud Animal*, 39(2).
- Soto et al. 2016.** Valoración y uso de cebada (*Hordeum vulgare*) para elaboración de maltas cerveceras. Universidad autónoma del Estado de Hidalgo. (08, noviembre, 2021). Recuperado de: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FRoman-Gutierrez-Alma->

Delia%2Fpublication%2F321956262_Valorizacion_y_uso_de_cebada_Hordeum_Vulgare_para_elaboracion_de_maltas_cerveceras%2Flinks%2F5d4b6db492851cd046a8a16c%2FValorizacion-y-uso-de-cebada-Hordeum-Vulgare-para-elaboracion-de-maltas-cerveceras.pdf&clen=153103.

Stewart, S. y Piñeiro, M. 1995. Micotoxinas en la cebada: Estabilidad de la toxina DON en el proceso de malteo. Pp. 110-111. *In*: VI Reunión Nacional de Investigadores de cebada. Montevideo, Uruguay.

Torres, E., Acuna, K., Naccha, LR., Montoya, R., Castellon, JP. 1995. Quantification of aflatoxins in corn distributed in the city of Monterrey, Mexico. *Foodadditcontam* 12:383-386.

UNAM. 2013. Cebada (*Hordeum vulgare* y *distichum* L). http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=23. (24, enero, 2022).

USDA. 2022. Producción mundial de cebada 2022/2023. <http://www.produccionagricolamundial.com/cultivos/cebada.aspx>. Recuperado: (17 de septiembre de 2022).

Valle, Algarra, F. (2010). Evaluación del peligro potencial y real de la presencia de ocratoxina A, tricotecenos B y patulina en trigo y manzana mediante técnicas microbiológicas y cromatografías. Universidad de Valencia.

Vázquez, B. M. E & Moreno, M. E. 2016. Poscosecha de Granos. Claridades Agropecuarias. No. 271. 3 p. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/185452/revista_271.pdf (19, enero, 2020).

Velluti, P. A. 2002. Ecofisiología de especies de *Fusarium* productoras de fumonisinas, zearalenona y deoxinivalenol en maíz: aceites esenciales como inhibidores fúngicos. Tesis de Doctorado. Universidad de Lleida, Escuela Técnica Superior de ingeniería Agraria. Lleida. Pp 5-6.

Warham EJ, Butler LD y Sulton BC. 1999. Ensayos para la semilla de maíz y trigo, manual de laboratorio. CIMMYT. CAB International Wallingford. 84 p.

Windels, C. E. 2000. Economic and social impacts of Fusarium head blight: changing farms and rural communities in the northern great plains. *Phytopathology*. 90(1):17-21.

Zillinsky, F. J. 1984. Guía para la identificación de enfermedades en Cereales de Grano Pequeño. CIMMYT. D.F. México.

7 ANEXOS

Cuadro 17. Géneros de hongos identificados en la variedad de cebada maltera Esmeralda y su incidencia por almacén

Géneros de hongos	Almacén					
	1	2	3	4	5	6

<i>Fusarium</i> spp	22.00	56.50	14.50	23.00	18.00	8.00
<i>Alternaria</i> spp	51.25	60.50	72.25	52.50	40.75	65.25
<i>Epicoccum</i> spp	41.25	2.75	20.25	40.00	22.00	16.25
<i>Bipolaris</i> spp	5.50	15.25	12.75	5.50	1.50	1.25
<i>Penicillium</i> spp	7.00	1.00	12.75	1.00	9.25	1.50
<i>Gonatobotrys</i> spp	0.25	0.00	1.75	0.00	0.00	0.00
<i>Aspergillus</i> spp	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Turula</i> spp	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Acremonium</i> spp	0.00	1.25	1.25	0.00	0.00	0.00
<i>Phoma</i> spp	0.00	0.00	2.00	0.00	1.00	0.00
<i>Chaetonium</i> spp	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75	0.00
<i>Cladosporium</i> spp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
<i>Curvularia</i> spp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
<i>Rhizopus</i> spp	0.00	0.00	0.25	0.00	0.25	0.00

Cuadro 18. Géneros de hongos identificados en la variedad de cebada maltera Doña Josefa y su incidencia por almacén

Géneros de hongos	Almacén					
	1	2	3	4	5	6
<i>Fusarium</i> spp	9.00	35.75	4.00	13.00	31.50	10.25
<i>Alternaria</i> spp	76.75	56.75	83.75	60.00	45.50	68.25
<i>Epicoccum</i> spp	19.50	16.50	19.25	19.00	24.50	30.00
<i>Bipolaris</i> spp	1.25	1.50	4.50	4.25	1.00	8.50

<i>Penicillium</i> spp	10.75	2.50	1.25	2.00	2.25	16.50
<i>Gonatotryps</i> spp	0.75	0.00	2.50	0.00	0.00	4.50
<i>Aspergillus</i> spp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
<i>Acremonium</i> spp	0.75	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25
<i>Phoma</i> spp	1.50	0.50	0.00	1.00	0.50	0.00
<i>Trichocladium</i> spp	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Thielaviopsis</i> spp	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
<i>Chaetonium</i> spp	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00
<i>Cladosporium</i> spp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
<i>Curvularia</i> spp	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00
<i>Rhizopus</i> spp	0.00	0.00	0.25	0.75	0.00	1.50

Cuadro 19. Análisis de varianza para porcentaje de humedad (%H) para la variedad Esmeralda

F.V.	G.L.	SC	CM	F	P
Almacenes	5	7.579120	1.515824	12402.20	0.000**
Error	18	0.002200	0.000122		
Total	23	7.581320			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada.

Cuadro 20. Análisis de varianza para número de hongos fitopatógenos (NHF) para la variedad Esmeralda

F.V.	G.L.	SC	CM	F	P
Almacenes	5	18.708	3.742	3.90	0.014**
Error	18	17.250	0.958		
Total	23	35.958			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada.

Cuadro 21. Análisis de varianza para número de especies de *Fusarium* (NSPFUS) para la variedad Esmeralda

F.V.	G.L.	SC	CM	F	P
Almacenes	5	5.708	1.142	2.00	0.127
Error	18	10.250	0.569		
Total	23	15.958			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada.

Cuadro 22. Análisis de varianza para incidencia de *Fusarium graminearum* (IFGRAMT) para la variedad Esmeralda

F.V.	G.L.	SC	CM ¹	F	P
Almacenes	5	30.294	6.059	17.64	0.000**
Error	18	6.181	0.343		
Total	23	36.475			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada. CM¹= datos transformados.

Cuadro 23. Análisis de varianza para niveles de Deoxinivalenol (NDON) para la variedad Esmeralda

F.V.	G.L.	SC	CM	F	P
Almacenes	5	0.1203333	0.0240667	1083.00	0.000**
Error	18	0.0004000	0.0000222		
Total	23	0.1207333			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada.

Cuadro 24. Determinación de niveles de contaminación de Deoxinivalenol (ppm) en las variedades Esmeralda y Doña Josefa

Almacén	Esmeralda		Doña Josefa	
	nm	ppm	nm	ppm
1	0.665	<0.200	0.614	0.290
2	0.645	<0.200	0.623	0.260
3	0.674	<0.200	0.560	0.470
4	0.584	0.390	0.623	0.260
5	0.646	<0.200	0.648	<0.200
6	0.666	<0.200	0.686	<0.200

nm= lectura de absorbancia en nanómetros ; ppm= lectura de absorbancia transformada en partes por millón.

Cuadro 25. Anexo 1. Análisis de varianza para porcentaje de humedad (%H) para la variedad Doña Josefa

F.V.	G.L.	SC	CM	F	P
Almacenes	5	9.715800	1.943160	11658.96	0.000**
Error	18	0.003000	0.000167		
Total	23	9.718800			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada.

Cuadro 26. Análisis de varianza para número de hongos fitopatógenos (NHF) para la variedad Doña Josefa

F.V.	G.L.	SC	CM	F	P
Almacenes	5	10.208	2.042	2.19	0.100
Error	18	16.750	0.931		
Total	23	26.958			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada.

Cuadro 27. Análisis de varianza para número de especies de *Fusarium* (NSPFUS) para la variedad Doña Josefa

F.V.	G.L.	SC	CM ²	F	P
Almacenes	5	11.38	0.1617	2.02	0.124
Error	18	20.25	0.0852		
Total	23	31.63			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P=diferencia observada. CM² datos transformados.

Cuadro 28. Análisis de varianza para incidencia de *Fusarium graminearum* (IFGRAMT) para la variedad Doña Josefa

F.V.	G.L.	SC	CM ³	F	P
Almacenes	5	18.026	3.605	4.13	0.011**
Error	18	15.703	0.872		
Total	23	33.729			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada. CM³ = datos transformados.

Cuadro 29. Análisis de varianza para niveles de Deoxinivalenol (NDON) para la variedad Doña Josefa

F.V.	G.L.	SC	CM	F	P
Almacenes	5	0.19920	0.03984	17.24	0.000**
Error	18	0.04160	0.00231		
Total	23	0.24080			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada.

Cuadro 30. Análisis de varianza para el porcentaje de humedad (%H) para las variedades Esmeralda y Doña Josefa

F.V.	G.L.	SC	CM	F	P
Variedades	1	0.0436160	0.0436160	1495.41	0.000**
Error	6	0.0001750	0.0000292		
Total	7	0.0437910			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada.

Cuadro 31. Análisis de varianza para número de hongos fitopatógenos (NHF) para las variedades Esmeralda y Doña Josefa

F.V.	G.L.	SC	CM	F	P
Variedades	1	0.3458	0.3458	3.50	0.11
Error	6	0.5936	0.0989		
Total	7	0.9395			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada.

Cuadro 32. Análisis de varianza para número de especies de *Fusarium* (NSPFUS) para las variedades Esmeralda y Doña Josefa

F.V.	G.L.	SC	CM	F	P
Variedades	1	0.013	0.013	0.12	0.740
Error	6	0.108	0.108		
Total	7	0.662			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada.

Cuadro 33. Análisis de varianza para incidencia de *Fusarium graminearum* (IFGRAM) para las variedades Esmeralda y Doña Josefa

F.V.	G.L.	SC	CM	F	P
Variedades	1	8.69	8.69	3.97	0.093
Error	6	13.15	2.19		
Total	7	21.84			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada.

Cuadro 34. Análisis de varianza para niveles de Deoxinivalenol (NDON) para las variedades Esmeralda y Doña Josefa

F.V.	G.L.	SC	CM	F	P
Variedades	1	0.005	0.005000	15.00	0.008**
Error	6	0.002	0.000333		
Total	7	0.007			

*Significativo al nivel de probabilidad del 0.05; **Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. F.V.= fuente de variación, G.L.= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios, F= f de tablas y P= diferencia observada.

Cuadro 35. Número de especies de *Fusarium* spp identificadas en la variedad Esmeralda

<i>Fusarium</i> spp	Almacén					
	1	2	3	4	5	6
<i>Fusarium graminearum</i>	16.00	0.25	10.75	20.5	10.25	6.00
<i>Fusarium sambucinum</i>	2.75	1.75	3.25	0.25	0.25	0.25
<i>Fusarium avenaceum</i>	2.25	0.25	0.25	2.00	1.00	0.00
<i>Fusarium verticillioides</i>	0.25	52.75	0.00	0.00	6.25	0.00
<i>Fusarium crookwellense</i>	0.75	1.50	0.00	0.00	0.25	0.00
<i>Fusarium poae</i>	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	1.75

Cuadro 36. Características que se tomaron en cuenta para identificar especies de *Fusarium* spp

Especies	Micelio	Clave rápida
<i>Fusarium graminearum</i>	Micelio de color rosado a café rojizo.	Las macroconidias son ostensiblemente largas, grandes y con paredes gruesas. Célula basal semejante aun pie bien desarrolladas y una célula apical curva y muy puntiaguda. Ausencia de microconidias.

<i>Fusarium sambucinum</i>	El Micelio de color durazno, anaranjado o amarillo perduzco claro.	Celula apical en forma de pico de pajaró. Ausencia de microconidias.
<i>Fusarium avenaceum</i>	Micelio blanco, muy fino, como telaraña con penachos y un tinte color durazno.	Macroconias muy largas y muy estrechas, en forma de arco. Ausencia de microconidias.
<i>Fusarium verticillioides</i>	Micelio color blanco que a menudo se tiñe de purpura,	Abuntes micronidias uniformes en cadenas larga. Microconidias unicelulares.
<i>Fusarium crookwellense</i>	Micelio aereo color blanco y luego café, masas de esporas color anaranjado a café rojizo.	Macroconideas con paredes gruesas, la célula basal tiene forma notable de pie. Ausencia de microconidias.
<i>Fusarium poae</i>	Micelio blanco que se vuelve a café rojizo.	Producción abundante de micronidios esfericos u ovalados y unicelulares.

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de Wharham *et al.*, 1999.

Cuadro 37. Número de especies de *Fusarium* spp identificadas en la variedad Doña Josefa

<i>Fusarium</i> spp	Almacén					
	1	2	3	4	5	6
<i>Fusarium graminearum</i>	6.00	5.00	1.75	11.5	19.25	7.75
<i>Fusarium sambucinum</i>	0.75	2.50	0.00	0.00	1.25	0.00
<i>Fusarium avenaceum</i>	0.25	0.00	0.25	0.50	9.75	0.00
<i>Fusarium verticillioides</i>	1.50	27.50	0.00	0.00	0.00	1.75
<i>Fusarium crookwellense</i>	0.50	0.75	2.00	0.25	1.25	0.75
<i>Fusarium poae</i>	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00