

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Estudio de la Diversidad de Insectos Plaga Asociados a Mazorcas con Huitlacoche
en Cinco Maíces Híbridos

Por

JOSÉ ELDER PÉREZ PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2019.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Estudio de la Diversidad de Insectos Plaga Asociados a Mazorcas con Huitlacoche
en Cinco Maíces Híbridos

Por

JOSÉ ELDER PÉREZ PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



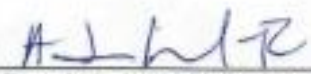
Dr. Alonso Méndez López
Asesor Principal Interno



Dra. Miriam Sánchez Vega
Asesor Principal Externo



Dra. Silvia Yudith Martínez Amador
Coasesor



Dra. Aida Isabel Leal Robles
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Mayo, 2019.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme primeramente la vida y sus bendiciones, por las fuerzas necesarias para lograr mis metas en la vida, por estar conmigo en los momentos buenos y malos, Gracias Papá Dios por guiarme por un buen camino y por ser mi sustento de cada día.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Mi Alma Terra Mater, por abrirme sus puertas para así yo poder cumplir una de mis grandes metas en la vida y darme la oportunidad de formarme profesionalmente, estoy orgulloso de ser Narro.

Al Dr. Alonso Méndez López, por haberme brindado su confianza, por darme su apoyo como director de mi Tesis.

A las Doctoras Miriam Sánchez Vega, Aida Isabel Leal Robles y Silvia Yudith Martínez Amador, por sus atinadas observaciones y aportaciones a la tesis.

A los Profesores del Departamento de Botánica, por contribuir en mi formación académica y Humana.

A mis compañeros de la Carrera, por todo su apoyo y vivencias compartidas.

DEDICATORIAS

Mis padres

María Pérez Aguilar: mamá eres un ser divino, hoy en día te dedico con mucho amor esta tesis que demuestra la inteligencia y la capacidad que me heredaste, te doy las gracias por darme la vida y por guiarme por un buen camino. Te agradezco por confiar en mí y por apoyarme incondicionalmente en mi vida sin pedirme nada a cambio.

Margarito Pérez García: papá te agradezco por ser mi guía y mi ejemplo, sin tus consejos y cariño nunca hubiera cumplido mi sueño de ser un Profesionista. Siempre has sido responsable y dedicado en tu trabajo para que mis hermanos y yo seamos unas personas exitosas, te dedico mi tesis que demuestra un agradecimiento a todo lo que has hecho por mí.

A mis hermanos

Erik Margarito Pérez Pérez: eres mi hermano menor al que respeto y quiero, hoy se cumple mi sueño de ser Profesionista y quiero dedicarte con mucho cariño esta tesis en agradecimiento a tu ejemplo, porque me ha guiado a ser una persona de bien.

Yeseni Marbey Pérez Pérez: la tesis que hoy escribo te la dedico con mucho cariño por ser mi hermanita que quiero tanto y por quererme y respetarme.

A mis hijas:

Yurani Mayerli y Kimberly Pérez Esperón: son las mejores bendiciones en mi vida, es el mejor regalo que Dios me dio al tenerlas, mi esfuerzo y dedicación se refleja en esta tesis que hoy me hace ser profesionista, se las dedico con tanto amor mis hijas únicas y especiales.

A mis primos:

Eloin, Dany, Luis Alexis, Evelin, Wendy gracias por ser los mejores primos y amigos de mi vida, gracias por las palabras de aliento y por la motivación constante que me brindaron.

A mis Tíos

Luis Pérez García, José Pérez García, Esther, Antonio y Augusto gracias por ser los mejores tíos en mi vida, por el apoyo, por la motivación para lograr mi meta en la vida y por brindarme sus cariños y respeto.

A mis Abuelos:

Ramiro Pérez López: gracias por ser la persona que me ha brindado tanto cariño, por el respeto que me ha proporcionado y con ello su confianza, y por el apoyo constante que me ha dado, por las palabras de aliento y por la motivación durante toda la etapa de mi carrera.

Juana García Hernández†: desde el cielo me has cuidado, me has observado, con mucho amor te dedico esta tesis, por todo el apoyo que me brindaste y por los consejos que siempre he guardado en mi corazón, por siempre te recordaré y gracias por haber sido la mejor abuela que he tenido en mi vida.

A Yolanda Méndez Gonzales por su apoyo, motivación y cariño para lograr mi meta.

A Rosario Cruz Gonzáles por su apoyo incondicional, por su motivación constante para lograr mi meta y por ser una persona importante en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS	iv
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	4
1.1.1. Objetivo general.....	4
1.1.2. Objetivos específicos.....	4
1.2. Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Características de los hongos.....	5
2.2. Características del <i>Ustilago maydis</i>	6
2.2.1. Ciclo de vida.....	7
2.2.2. <i>Ustilago maydis</i> descripción como enfermedad.....	7
2.3. Propiedades alimentarias y nutraceuticas del huitlacoche.....	8
2.3.1. Proteínas y aminoácidos.....	8
2.3.2. Sustancias involucradas en el sabor.....	9
2.4. Generalidades del maíz.....	9
2.4.1. Principales plagas presentes en el maíz.....	10
2.4.1.1. Gusano cogollero <i>Spodoptera frugiperda</i> Walker.....	11
2.4.1.2. Gusano trozador <i>Agrotis ipsilon</i> (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae) ..	12
2.4.1.3. Gusano elotero <i>Helicoverpa zea</i> (Lepidoptera: Noctuidae).....	13
2.4.1.4. <i>Frankliniella occidentalis</i> Pergande (Thysanoptera: Thripidae).....	14
2.4.2. Enfermedades causadas por hongos fitopatogenos.....	15
2.4.3. Enfermedades causadas por Bacterias Fitopatogenas.....	15
2.5. Métodos para medir la biodiversidad ecológica.....	16
2.5.1. Diversidad-alfa (α).....	17
2.5.1.1. Índice de Shannon.....	18
2.5.1.2. Curva de rarefacción.....	19

2.5.2.	Diversidad- beta (β).....	19
2.5.3.	Diversidad-gamma (γ).....	20
2.5.4.	BioDiversity Pro	20
III.	MATERIALES Y METODOS	22
3.1.	Ubicación del experimento	22
3.2.	Establecimiento del experimento.....	22
3.3.	Manejo del cultivo	22
3.4.	Metodología de inoculación.....	23
3.5.	Recolecta de los individuos.....	23
3.6.	Identificación de los especímenes recolectados.....	24
3.7.	Análisis de datos.....	25
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
3.8.	Composición de la entomofauna.....	26
3.9.	Análisis de los parámetros de la diversidad de insectos recolectados en huitlacoche.	28
3.9.1.	Diversidad específica	28
3.9.2.	Análisis de la diversidad a nivel Familia	31
3.9.3.	Análisis de los índices de diversidad	32
3.9.4.	Análisis de similitud de especies y rarefacción.....	33
3.10.	Estimación de daños por plagas en huitlacoche.	36
V.	CONCLUSIÓN.....	38
VI.	LITERATURA CITADA.....	39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Compuestos que intervienen en el sabor del huitlacoche.....	9
Cuadro 2. Familias, especies e individuos de los órdenes de insectos recolectados en mazorcas de huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i>) en cinco maíces híbridos. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México, 2018.....	26
Cuadro 3. Distribución por Orden del número y proporción de individuos recolectados en mazorcas de huitlacoche de cinco híbridos de maíz. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México, 2018.....	27
Cuadro 4. Distribución proporcional de las especies de insectos plaga recolectadas en mazorcas de huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i>) de cinco híbridos de maíz.	30
Cuadro 5. Distribución por familia del número y proporción de individuos recolectados en mazorca de huitlacoche de cinco híbridos de maíz. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México, 2018.....	32
Cuadro 6. Índice de diversidad de Shannon, Simpson y Margalef en la entomofauna recolectada en mazorca de huitlacoche de cinco híbridos de maíz. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México, 2018.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida ustilago maydis. A. Teliospora (2n), b. Teliospora germinando, c. Basidiosporas o esporidias (n), d. fusión de células compatibles (n + n) y la hifa dicariótica ataca tejidos meristemáticos, e. agallas formándose en cualquier parte de la planta (Banuett, 1992).	8
Figura 2. Recolecta de mazorcas con huitlacoche seleccionadas para la recolecta de insectos en laboratorio.	24
Figura 3 Recolecta de insectos y lavar en el interior de la mazorca de huitlacoche para su separación y posterior identificación por cada híbrido de maíz.	25
Figura 4. Grupo de coleópteros de la especie <i>Cotinis mutabilis</i> alimentándose de las agallas de huitlacoche en la mazorca.	29
Figura 5. Presencia de larva de gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) alimentándose de las agallas de huitlacoche en el interior de la mazorca.	29
Figura 6. Dendrograma de similitud mediante el coeficiente de Jaccard de las especies de insectos recolectados del huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i>) en los cinco maíces híbridos. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México, 2018.	34
Figura 7. Curvas de rarefacción de la riqueza de especies de entomofauna recolectada en el huitlacoche (<i>Ustilago maydis</i>) de cinco maíces híbridos. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México, 2018.	36
Figura 8. Sintomatología del daño ocasionado por el escarabajo <i>Cotinis mutabilis</i>	37
Figura 9. Sintomatología del daño ocasionado por larvas de Lepidopteros.	37

RESUMEN

El huitlacoche es un hongo comestible generado por la infección del patógeno biotrófico *Ustilago maydis* que ocasiona el carbón común del maíz; las agallas que se generan principalmente en la mazorca son aprovechadas como hortaliza fresca o industrializada. Actualmente en diversas regiones de México se establecen siembras de maíz con fines de producción comercial de huitlacoche mediante el método de inducción, por lo que este cultivo como cualquier otro es susceptible a la presencia de insectos plagas que afecten su calidad y disminuyen su rendimiento. El objetivo de este trabajo fue conocer la entomofauna presente en las mazorcas de huitlacoche e identificar las especies que están actuando como plaga en el cultivo de huitlacoche en cinco híbridos de maíz. Se recolectó un total de 515 especímenes, distribuidos en cuatro órdenes, siete familias y 11 especies. Los órdenes Coleoptera y Lepidoptera concentraron el 71.43% del total de familias, 81.81% de las especies (45.45 y 36.36%, respectivamente), y 99.61% de los individuos (48.54 y 51.07%, respectivamente). Las especies *Cotinis mutabilis* (Gory y Percheron), *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), *Heliothis virescens* (Fabricius) y *Carpophilus lugubris* (Murray) estuvieron presente en todas la variedades de maíz evaluados, considerándose como plagas primarias del huitlacoche y fue corroborado por el análisis de similitud de Jaccard. El porcentaje de mazorcas dañadas se presentó en un intervalo de 47.5 % a 65.0%. Los maíces híbridos que presentaron los mayores daños fueron AN338 y H-318 con 65.0% y 60.0%, respectivamente. Los índices de diversidad de Shannon-Wiener ($\bar{X}=0.592$ bits/individuo), Simpson ($\bar{X}=0.302$ bits/individuo) manifestaron baja diversidad de individuos y moderada dominancia de especies; la mayor riqueza de especies la presentaron los híbridos, siete en cada caso, para AN338 y H-318, entre las que se identificaron algunas reportadas como plagas de importancia económica agrícola.

Palabras clave: huitlacoche, hortaliza, entomofauna, plagas, índices de diversidad.

I. INTRODUCCIÓN

Ustilago maydis es un basidiomicete que infecta el maíz y sirve como un modelo excelente para la patogenicidad vegetal. (Nadal *et al.*, 2008; Brefort *et al.*, 2009). Este agente patogénico produce el carbón común del maíz, el cual se consume en México como alimento desde la época prehispánica. El tumor o agalla que se forma en la mazorca del maíz fue llamado por los aztecas “Popoyotl” (maíz quemado), “Huitlacoche” o “Cuitlacoche). (Paredes-López *et al.*, 2006). El Huitlacoche es un alimento con características nutrimentales esenciales para el ser humano. Se ha encontrado que los altos niveles de fibra dietaria y oligosacáridos sugieren que el huitlacoche puede aportar un beneficio importante a la salud, ya que dichos componentes han demostrado estar directamente involucrados en disminuir el riesgo de contraer cáncer de colon asimismo, las concentraciones elevadas de compuestos fenólicos de este hongo proporcionan una alta actividad antioxidante; dichos componentes bioactivos están relacionados con la disminución de la incidencia de enfermedades crónicas degenerativas (Méndez-Moran y Ruiz-Herrera, 2008; Beas *et al.*, 2011). La evaluación de genotipos de maíz para fines de producción de Huitlacoche permite conocer su nivel de susceptibilidad genética. (Pan *et al.*, 2008). El hongo *Ustilago maydis* ataca potencialmente porciones de la planta, pero ocurre con más frecuencia en las mazorcas. Las plantas atacadas desarrollan malformaciones en la forma de agallas abultadas, en un principio de color gris pálido, pero que se oscurecen al aproximar la maduración, y que contienen en su interior esporas reproductivas en un tejido esponjoso de color negro. Económicamente el huitlacoche presenta una doble característica, ya que puede causar pérdidas en el rendimiento del cultivo y por otro lado, en algunas partes del centro y sur de México es usado como alimento, (Chávez-Ontiveros *et al.*, 2000).

El huitlacoche aparecen en casi todas las regiones productoras de maíz; las condiciones climáticas favorables para su desarrollo son muy variadas: la producción natural de este hongo puede aumentar en ambientes húmedos (humedad relativa de 72 a 80 %) templadas (17 a 20 °C) (Martinez-Martinez *et al.*, 2005), y es más en frecuentes en áreas cálidas (26 a 34 °C) y moderadamente secas (Agrios, 2006). Diferentes estudios han permitido la producción exitosa del huitlacoche, y se ha encontrado que la técnica de inoculación por inyección produce excelentes rendimientos y buena calidad del hongo (Valdez *et al.*, 2009).

En años recientes la demanda de este hongo comestible ha ido en aumento tanto en el mercado nacional como en el internacional debido a las propiedades funcionales y sustancias bioactivas que se le atribuyen (Juárez-Montiel *et al.*, 2011), al grado que ha pasado de ser un producto de recolección en temporada de lluvia a establecerse como un cultivo hortícola durante todo el año por medio de inoculación inducida (Villanueva *et al.*, 2007; Castañeda de Leon *et al.*, 2016). Sin embargo muchos factores limitan el rendimiento y la productividad del maíz en todo el mundo. Las malezas, el principal problema de plagas, reducen el potencial de rendimiento hasta en un 11%; las plagas de animales contribuyen con el 10% de la reducción y los patógenos de las plantas un 11% adicional (Oerke, 2006).

El maíz y el huitlacoche tienen una estrecha relación de coevolución, la cual se ha generado por la interacción biotrófica verdadera que persiste a lo largo del desarrollo del hongo dentro de la planta huésped (Brefort *et al.*, 2009); este vínculo también puede manifestarse con la incidencia de los diversos insectos plagas que atacan el maíz durante su cultivo y al hacerlo pueden demeritar su rendimiento y calidad. Entre ellos se tiene el grupo de las palomillas que, en su esto larvario, son conocidas como gusanos cortadores, soldados, eloteros, barrenadores, etc., y son los que más daños causan; luego están los escarabajos que en general son llamados gusanos de las raíces, gusanos de alambre, gallinas ciegas, barrenadores del grano y

gorgojos. En orden de importancia, les sigue el grupo de insectos que actúan como vectores de virus, microplasma, bacterias y hongos; que pueden provocar la pérdida completa del cultivo (Deras, 2014).

El cultivo de maíz presenta plagas concurrentes como: gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J.E Smith), Gusano soldado *Spodoptera exigua* (Hübner), gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie), (Lepidoptera: Noctuidae); mosca de los estigmas: *Euxesta stigmatias* Loew, *Eumecosomyia nubila* (Wiedemann) y *Chaetopsis massyla* (Walker) (Diptera: Otitidae), *Rhopalosiphum maidis* (Fitch.) (Homoptera: Aphididae) y *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae), la especie de plaga está en función de la región geográfica donde se establezca el cultivo (FAO, 2012).

La evaluación de genotipos de maíz para fines de producción de huitlacoche permite conocer su nivel de susceptibilidad genética a enfermedades (Pan *et al.*, 2008). Los daños causados por las plagas de forma individual son importantes por lo que estos se magnifican si se considera la afectación en su conjunto por diversas especies, durante el proceso de desarrollo hasta postcosecha del huitlacoche, por tal motivo es de gran importancia conocer la diversidad de insectos que interactúan en las mazorcas infectadas de forma inducida con este hongo comestible a fin de definir estrategias de control y manejo.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Conocer la entomofauna asociada a las mazorcas de huitlacoche de cinco maíces híbridos e identificar las especies que actúan como plaga en el cultivo del hongo.

1.1.2. Objetivos específicos

- Identificar la composición de la entomofauna recolectada en mazorcas infectadas con huitlacoche.
- Cuantificar la diversidad y abundancia de especies de insectos plaga presentes en las mazorcas de huitlacoche de cinco maíces híbridos por medio de índices ecológicos.

1.2. Hipótesis

El maíz y el huitlacoche tienen una estrecha relación de coevolución histórica, la cual se ha generado por la interacción biotrófica que persiste a lo largo del desarrollo del hongo dentro de la planta hospedera, por lo que éste vínculo también se manifiesta con la incidencia de los diversos insectos plagas que atacan al maíz durante su cultivo y al hacerlo en el huitlacoche demerita su rendimiento y calidad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características de los hongos

Hasta cerca de la mitad del siglo XX, los hongos fueron considerados como organismos pertenecientes al reino vegetal debido a que se nutren por absorción, por la carencia de órganos locomotores y por algunas características morfológicas. Sin embargo, existían similitudes que los acercaban al reino animal, como su naturaleza heterotrófica y la incapacidad para efectuar la fotosíntesis. Además, por tratarse de organismos eucariotes y con ribosomas tipo 80s, quedaron fuera del reino Monera. (Alexopoulos *et al.*, 1996). Whittaker en 1969 propuso la separación en un reino independiente de todos los organismos que reunían las características mencionadas, este nuevo reino fue denominado Fungi. Los hongos integran uno de los reinos más diversos de la naturaleza. Y se calcula que existen cerca de 250,000 especies. Son organismos heterotróficos que viven como parásitos, simbioses o saprófitos; además de ser eucariotes sin clorofila, se reproducen en forma sexual y asexual; son pluricelulares de aspecto filamentosos y sus células se hallan típicamente rodeadas de una pared que contiene quitina y/o celulosa (Alexopoulos *et al.*, 1996).

Dentro de la División Eumycota se encuentran los llamados hongos verdaderos, existen alrededor de 80,000 especies y comprenden levaduras, ciertos mohos, royas, tizones y setas. Entre las especies de hongos pueden encontrarse variedades micro y macroscópicas. Los hongos macroscópicos conforman un enorme grupo de más o menos 10,000 especies, cuya apariencia es diferente en color, forma y tamaño; pueden ser comestibles o venenosos (Martínez Carrera *et al.*, 1993).

Los hongos comestibles han sido muy apreciados debido a sus atributos sensoriales y nutricionales, como parte de la dieta humana en muchas culturas. El consumo de hongos se encuentra principalmente en el sureste de Asia, Europa y Mesoamérica. Actualmente se conocen cerca de 2000 especies de hongos comestibles; pero sólo aproximadamente 22 especies han sido 3 cultivadas comercialmente y sólo 10 se producen a escala industrial (Paredes-López y Valverde, 1999).

2.2. Características del *Ustilago maydis*

Ustilago maydis pertenece a la división Amastigomycota que son los hongos verdaderos y a la subdivisión Basidiomycotina que se caracteriza por producir esporas en estructuras especializadas llamadas basidios (Alexopoulos *et al.*, 1996), es un organismo que se ha establecido como modelo para el estudio de interacciones planta-microorganismo. Este hongo basidiomiceto es 4 patogénico e infecta al maíz (*Zea mays*), uno de los principales cereales en el mundo, y a su ancestro el teosintle (Valverde y Paredes-López, 1993, Kämper *et al.*, 2006).

El huitlacoche (*Ustilago maydis*) es un hongo parasito perteneciente al orden de los Ustilaginales (hongos del carbón); este hongo es el agente causante del carbón del maíz (Guerra, 2005). Los Ustilaginales constituyen un importante grupo de hongos fitopatógenos con más de 50 géneros y 1200 especies, que infectan a más de 4000 plantas monocotiledóneas divididas en 75 familias en todo el mundo. Estos patógenos poseen el potencial de causar severas epifitias e importantes pérdidas económicas a la agricultura, aún con el uso de tratamientos químicos a las semillas y a las plantas, la existencia de cultivares parcialmente resistentes y los diferentes métodos de cultivo empleados. Entre las especies de Ustilaginales fitopatógenos podemos citar a *Ustilago hordei* (carbón cubierto) y *Ustilago nuda* (carbón volador), que parasitan a la cebada, y a *Ustilago nigra* (carbón volador negro) de la avena. Entre los patógenos del trigo se puede citar a *Tilletia indica* (carbón parcial), *T.*

caries y *T. controversa* (carbones hediondo y causantes de enanismo). *T. scitaminea* es un importante parásito de la caña de azúcar. (Herrera, 2014).

2.2.1. Ciclo de vida

El ciclo de vida de *Ustilago maydis* inicia cuando la basidiospora o esporidia germina y produce una hifa que infecta la planta de maíz; las hifas compatibles se fusionan, ocurre la plasmogamia y se forma el micelio dicariótico (dos núcleos) que crece y ataca las zonas meristemáticas de la planta; formándose agallas en cualquier parte aérea de ésta (Christensen, 1963). La fusión nuclear o cariogamia ocurre antes de que se formen las teliosporas que son las esporas de color negro que forman las agallas (Banuett, 1992; Figura 1).

2.2.2. *Ustilago maydis* descripción como enfermedad

Es un hongo que parasita específicamente al maíz (*Zea mays* L.); y a su ancestro el teocintle (*Z.mays ssp. Parviglumis*), a los que produce la enfermedad conocida como huitlacoche (Agrios, 2005). El carbón común ocurre ampliamente en los lugares que se produce el maíz, siendo más severo en ambientes húmedos y templados. Ataca los tallos, hojas, mazorcas y espigas. Los granos son reemplazados por unas agallas blancas que con el tiempo se rompen y liberan masas negras de esporas que infectaran siembras subsiguientes. La incidencia de este carbón es mayor en suelos altos nitrógenos y en campos de producción de semilla donde se realiza remoción manual de la mazorca. La enfermedad es más severa en plantas jóvenes en estado activo causándoles enanismo o la muerte (Agrios, 2005; Klosterman, 2007; Villanueva-Verduzco *et al.*, 2007).

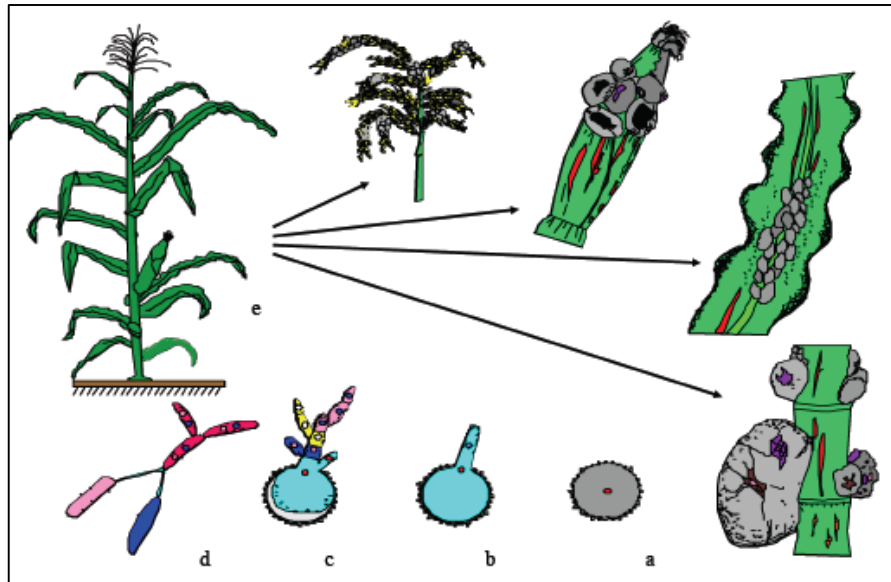


Figura 1. Ciclo de vida ustilago maydis. A. Teliospora (2n), b. Teliospora germinando, c. Basidiosporas o esporidias (n), d. fusión de células compatibles (n + n) y la hifa dicariótica ataca tejidos meristemáticos, e. agallas formándose en cualquier parte de la planta (Banuett, 1992).

2.3. Propiedades alimentarias y nutraceuticas del huitlacoche

2.3.1. Proteínas y aminoácidos

La cantidad de proteínas es relativamente moderada pero más alta que la que presenta el maíz y otros cereales. El huitlacoche contiene grandes cantidades de los aminoácidos histidina, treonina, lisina, ácido aspártico, ácido glutámico y serina. La proteína del huitlacoche contiene cantidades adecuadas de todos los aminoácidos esenciales para adultos. Las proteínas de los hongos, como otras proteínas fúngicas, son consideradas proteínas de calidad intermedia entre las vegetales y animales (Valverde y *et al.*, 1995).

2.3.2. Sustancias involucradas en el sabor

El sabor del huitlacoche está determinado por una amplia gama de compuestos, tanto volátiles (derivados de ácidos grasos, cetonas, aldehídos, etc.) como no volátiles (AA libres, carbohidratos) (Paredes *et al.*, 2006).

Cuadro 1. Compuestos que intervienen en el sabor del huitlacoche

Compuestos no volátiles:	
Aminoácidos libres	Alanina y ácido glutámico.
Carbohidratos	Glucosa, manitol, sacarosa.
Compuestos volátiles:	
Derivados de ácido graso	1-octeno-3-ol
Cetonas	[1(2-hidroxi-5-metil-fenil)]
Aldehídos	Octanal, fenilacetaldehido, undecenal, dodecenal.
Ésteres	Ácido heptadecanoico, metil éster; ácido 9-hexadecanoico, metil éster, ácido linoleico, etil éster, ácido oleico, etil éster.

Fuente: Paredes *et al.*, 2006.

2.4. Generalidades del maíz

El maíz es la forma domesticada de la gramínea silvestre mexicana conocida como teocintle raza Balsas, siendo Mesoamérica centro de origen y de diversidad genética del maíz; en México se han identificado 59 razas (Sánchez y Goodman, 1992; Sánchez *et al.*, 2000).

Zea mays es una planta gramínea alta, anual, con vainas foliares que se superponen y láminas alternadas anchas. Posee espigas (inflorescencias

femeninas encerradas por "chalias") de 7 a 40 cm. de largo y flores estaminadas que, en conjunto, forman grandes panojas terminales o inflorescencias masculinas. Se propaga por semillas producidas mayormente por fecundación cruzada (alógama) y depende del movimiento del polen por el viento.

El maíz se originó en América y fue introducido en Europa a partir de las expediciones de Cristóbal Colón; estableciéndose como cultivo habitual durante los siglos XVI y XVII. El destino principal del maíz en América era el consumo humano, pero en Europa su uso en la alimentación humana tuvo un papel secundario en las regiones donde el trigo estaba bien implantado. El consumo de maíz para la alimentación humana tiene dos vertientes, por una parte se usa como base de la alimentación en numerosos países en vías de desarrollo y, por otra parte, constituye un elemento de especialidad culinaria en determinadas regiones de países desarrollados. En el mundo hay más de 40 alimentos tradicionales hechos con maíz. (Serna-Saldívar *et al.*, 2001)

2.4.1. Principales plagas presentes en el maíz

El maíz es susceptible a varias plagas, que afectan en alguna forma el normal desarrollo de las plantas, las plagas dañan a las plantas en diversas formas. Causan daño directo cuando destruyen sus órganos (raíces, tallos, hojas, yemas, flores frutos o semillas) en forma parcial o total, o las debilitan reduciendo su capacidad de producción. También existen daños indirectos que pueden ser de gran importancia; por ejemplo, cuando las plagas participan en la propagación de virus, micoplasmas, bacterias y hongos que causan enfermedades en las plantas; cuando la presencia de insectos o cicatrices de sus daños dañan la apariencia de los productos y reducen su valor comercial; o cuando se ocurren dificultades la cosecha o la selección del producto cosechado (Serria *et al.*, 2003).

2.4.1.1. Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* Walker

Descripción: la palomilla oviposita por la noche comúnmente en el envés de las hojas, en la parte baja de las mismas (de la mitad hacia al ápice), en grupos de 100 a 200 huevecillos, los cuales durante la ovipostura de la hembra, son cubiertos con escamas de las alas para su protección. Las larvas jóvenes son de color verde-amarillo con bandas longitudinales de tonos claros y con la cabeza oscura, las larvas grandes son de color café oscuro grisáceo, con tres líneas longitudinales más claras, llegan a medir alrededor de 3.5 cm de largo. En la cabeza presentan líneas que forman una “Y” vista desde el dorso del cuerpo del insecto, y sobre el último segmento abdominal presentan cuatro puntos negros con forma de trapecio. El cuerpo del adulto mide alrededor de 1.8 cm de longitud y 3.8 cm de extensión alar; las alas son de color café oscuro y gris. Una hembra puede ovipositar más de 1,000 huevecillos durante Cortez-Mondaca, 2008).su periodo reproductivo. Estos eclosionan en tres o cinco días; las larvas al nacer se alimentan de un área foliar reducida pero en los días siguientes se distribuyen a plantas vecinas, estableciéndose en el cogollo. Tienen hábitos caníbales, por lo que a partir del tercer periodo sólo se observa una larva por cogollo; pasan por seis estadios de desarrollo en un rango de 14 a 21 días, de acuerdo a la temperatura. La etapa de pupa ocurre en el suelo y alrededor de 9 a 13 días, después emerge el adulto (

Daños: este insecto es considerado la plaga más dañina del maíz; se presenta en poblaciones elevadas, sobre todo en siembras extemporáneas, perfora el tallo de las plantas a la altura del cuello de la raíz, con lo que provoca el marchitamiento de la planta; también actúa como barrenador del tallo de la planta y daña los estigmas, las espigas, y el elote. Infestaciones y daño severo de la plaga pueden reducir el rendimiento en porcentajes superiores al 30%. El gusano cogollero puede estar presente durante la mayor parte del desarrollo del cultivo, pero el daño más

importante lo ocasiona de la emergencia a la emisión del jilote y el daño es mayor entre menor sea la edad de la planta (Cortez-Mondaca, 2008).

2.4.1.2. Gusano trozador *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae)

Descripción: los huevecillos en general son blancos, de tamaño pequeño (0.5 a 0.6 mm de diámetro), esféricos, aunque ligeramente aplastados en su base, adornados por unas cuarenta líneas radiales y recubiertos de una secreción viscosa. Las larvas miden entre 30 y 45 mm de largo. La cabeza es de color castaño rojizo. La cutícula es de color gris a casi negro de aspecto grasiento, en el lado ventral y lateral tienen adornos pálidos. En la línea media dorsal lleva una franja más clara, cuerpo con pocas sedas, aunque tienen algunas dispuestas regularmente en cada segmento del abdomen, poseen cinco pares de falsas patas y en cada una de ellas unos ganchitos dispuestos circularmente en su parte inferior. Las larvas se curvan sobre un costado de su cuerpo. Los segmentos abdominales tienen en su parte superior cuatro manchas negras, siendo las dos anteriores unas tres veces más pequeñas y menos brillantes que las dos posteriores, saliendo de cada una seta. La pupa se encuentra siempre en la tierra, son de color obscuro-rojizo y de diferente tamaño según la especie. El adulto es de tamaño mediano, envergadura alar entre 28 y 51 mm. El cuerpo es grisáceo a castaño grisáceo; el abdomen es más claro que el tórax. Las alas anteriores son de color castaño oscuro en los dos primeros tercios basales; el segundo par de alas es claro. Debajo del ala existe una mancha negra triangular y en la parte terminal del ala dos triángulos negros más difusos y de menor tamaño. Los huevecillos son colocados en lugares con bastante humedad en el suelo. Las hembras ponen sus huevecillos en grietas en el suelo, cada una entre 1500 y 2500 en verano y menos de la mitad en invierno. El ciclo anual es variable según la especie. Pasan el invierno en forma de pupa, introducida en el suelo (10-12 cm). Reinician su actividad en primavera, alimentándose de malas

hierbas, de día permanecen escondidas debajo de la tierra a unos dos centímetros. Cuando llega el final de su desarrollo larvario se introducen en el suelo y se transforman en pupa, las larvas siguen dos caminos según la especie: se introducen en el suelo, después de haberse alimentado durante un período de tiempo para pasar el invierno, o continúan su desarrollo para dar lugar a otra generación antes de introducirse en la tierra antes del invierno, pueden existir más de una generación al año, dependiendo de las condiciones climáticas (temperatura, lluvia, fotoperiodo, principalmente) (Cortez-Mondaca, 2008).

Daños: las larvas muerden los tallos y destruyen las plantas en secciones de surco, consumen las raíces, cortan el cuello de la planta y consumen hojas tiernas, se les considera en el grupo de los "gusanos cortadores", especialmente perjudiciales en plantas jóvenes. Al terminar de comer una planta se trasladan a la planta más cercana. Tienen hábitos alimenticios nocturnos; durante el día se les encuentra semienterrados en el suelo cerca de las plantas. Esta plaga tiene hábitos solitarios, comúnmente se alimentan de plantas de semillero a nivel del suelo, cortan el tallo y, a veces arrastran las plantas a sus refugios. Las larvas en ocasiones se alimentan de las raíces. Debido a la naturaleza de su alimentación en las plantas jóvenes, esta plaga puede hacer daño en los campos recién sembrados (Cortez-Mondaca, 2008).

2.4.1.3. Gusano elotero *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae)

Descripción: los huevecillos son depositados uno a uno en los estigmas del jilote y eclosionan dos o tres días después. A pesar de que puede haber decenas de huevecillos por jilote, al final, generalmente, sólo queda una larva, ya que las larvas del tercer periodo son de hábitos caníbales, la que sobrevive se alimenta de los granos en formación. Las larvas pequeñas tienen la cabeza de color negro y el resto del cuerpo de color blanco hialino (cristalino), con numerosas cerdas; en la tercera fase son predominantemente de color café y en ocasiones son de color verde con

líneas longitudinales blancas, amarillas o de color crema; al final de su desarrollo pueden medir alrededor de 3.5 cm de largo. El periodo larval dura un promedio de 16 días y la etapa de pupa transcurre en nueve días aproximadamente. Los adultos son palomillas de color café cobrizo con marcas irregulares más oscuras en las alas anteriores y miden 2.5 cm de largo y más de 3 cm de extensión alar (Cortez-Mondaca, 2008).

Daños: el insecto daña los granos del ápice del elote y propicia la presencia de otros insectos plaga como nitidúlidos y la mosca de los estigmas *Euxesta sp.* Puede llegar a causar pérdidas del 10 al 30% (Cortez-Mondaca, 2008).

2.4.1.4. *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae)

Descripción: Huevos reniformes, de color blanco hialino, encontrándose insertados dentro de los tejidos de los vegetales. Los adultos son alargados, las hembras de unos 1,2 mm y los machos de 0,9 mm de longitud, con dos pares de alas plumosas replegadas sobre el dorso en estado de reposo. Las hembras son de color amarillento-ocre con manchas oscuras en la parte superior del abdomen. Esta coloración es más clara en verano y en los machos. Presentan un aparato bucal rascador–chupador. **Daños:** Raspan y succionan la savia de la hoja, retraso en el crecimiento durante las primeras etapas, enrollamiento del cogollo, que puede provocar la muerte de la planta, daño en la lámina foliar que disminuye el área fotosintética, puede transmitir algunas enfermedades, puede causar pérdidas en el rendimiento (Pioner, 2012a).

2.4.2. Enfermedades causadas por hongos fitopatógenos

En la agricultura mundial los hongos Fitopatógenos son causantes de enfermedades de pre y poscosecha en los cultivos de hortalizas, cereales y frutas, siendo estos responsables de pérdidas económicas cuantiosas; el daño que ocasiona no solo se refiere a las pérdidas de producción económica, sino también a las pérdidas en la producción biológica, es decir, a la alteración que existe en el crecimiento y desarrollo de las plantas hospedantes atacadas por estos microorganismos (Agrios, 2005). Algunos de los principales agentes patogénicos que afectan al maíz se encuentra la roya común *Puccinia sorghi*, carbón común *Ustilago maydis*, carbón de la espiga *Sphacelotheca reiliana* Kühn.

2.4.3. Enfermedades causadas por Bacterias Fitopatógenas

Probablemente este grupo de patógenos constituye el segundo en importancia luego de los hongos, si tenemos en cuenta el número y gravedad de las enfermedades que producen estos microorganismos. Pueden ser considerados como los organismos más pequeños capaces de desarrollarse independientemente, a diferencia de los virus. Normalmente tienen forma esférica o de varilla y se pueden encontrar agrupadas en racimos, cadenas, u otras formas. Por otra parte, pueden multiplicarse rápidamente a través del proceso conocido como fisión binaria, pudiendo doblar su población en periodos tan cortos como 20 minutos (Vidaver y Lambrecht, 2004). Las principales enfermedades producidas por bacterias en el cultivo de maíz son: marchitez bacterial de Stewart *Pantoea stewartii* (Mergaert, Verdoncky y Kersters) esta enfermedad puede ser transmitida por algunos coleópteros (Wilson *et al.*, 1999), y la pudrición bacteriana del tallo *Erwinia chrysanthemi* pv. *zea*, el mal olor que produce este microorganismo en la planta, es atrayente de insectos, por lo que es común la presencia de larvas de dípteros y los tejidos presentan proceso acelerado de descomposición (Schaad *et al.*, 2001)

2.5. Métodos para medir la biodiversidad ecológica

La diversidad de especies es un tema central tanto en ecología de comunidades como en biología de la conservación. Su estudio ha adquirido mayor relevancia en los últimos años debido a su posible relación con el funcionamiento de los ecosistemas (a través de procesos tales como la productividad y la estabilidad) y por su modificación como resultado de actividades humanas (Maclaurin y Sterelny, 2008).

Desde el enfoque de la ecología de comunidades, la diversidad de especies es esencialmente un concepto relacionado con la estructura de las comunidades: el recíproco de un promedio de las abundancias relativas. Por lo tanto, teóricamente, si en una comunidad todas las especies tienen exactamente la misma abundancia (por ejemplo, son igualmente comunes, o equivalentes en número), entonces la diversidad debe ser proporcional al número de especies (riqueza específica). Lo que es necesario enfatizar es que las herramientas de medición aplicables al concepto de diversidad no deben confundirse con las teorías que las soportan (Hill, 1973).

Los índices de diversidad de especies más frecuentemente utilizados por quienes miden la magnitud de la diversidad biológica son los siguientes:

Riqueza de especies:

$$D_{\text{rich}} = S = \sum P_i^0$$

Índice de Shannon:

$$H_{\text{Shannon}} = - \sum p_i \times \log_b(P_i)$$

Exponencial del índice de Shannon:

$$D_{\text{exp Shannon}} = b^{H_{\text{Shannon}}}$$

Índice de Gini-Simpson:

$$H_{\text{Gini-Simpson}} = 1 - \sum p_i^2$$

Inverso del índice de Gini-Simpson:

$$D_{\text{inv Gini-Simpson}} = 1 / (1 - H_{\text{Gini-Simpson}}) = 1 / \sum p_i^2$$

En estas expresiones, p_i es la abundancia relativa de la especie i , es decir, la abundancia de la especie i dividida entre la suma de las abundancias de la S especies que componen la comunidad; $\log_b(p_i)$ es el logaritmo en base b de p_i ; y la sumatoria (Σ) se extiende a la S especies. Para calcular el índice de Shannon, generalmente se toman logaritmos naturales ($\ln(p_i)$), cuya base es el número $e = 2,71828\dots$), pero también son válidas otras bases, como 2 ó 10. En función de la base de los logaritmos utilizada, el índice de Shannon se expresa en unas unidades o en otras (v.g., nats, cuando la base es el número e ; bits, cuando la base es 2; y decits, cuando la base es 10), aunque es mucho más frecuente ver expresiones como $H = 1,95$ o $H = 2,39$ (sin unidades). Por ello, siempre es necesario indicar qué base de logaritmos hemos utilizado en los cálculos. De hecho, una de las fuentes de error más habituales al comparar índices de diversidad de especies radica en que se toman índices que fueron calculados usando logaritmos con distinta base (Feinsinger, 2004).

2.5.1. Diversidad-alfa (α)

La diversidad-alfa representa la diversidad de especies a lo largo de todas las subunidades (o escalas) locales relevantes (como el hábitat), y por definición abarca dos variables importantes: la riqueza de especies, y la abundancia relativa de especies. Existen muchos índices para calcular diversidad-alfa, como el índice alfa de Fisher (Fisher *et al.*, 1943), el índice de Simpson (Simpson, 1949), y el índice de Shannon-Wiener (Shannon, 1948). La gran mayoría de estos índices de diversidad-

alfa utilizan los valores de riqueza y abundancia relativa, solamente que las operaciones matemáticas de estos valores se organizan de diferentes formas.

2.5.1.1. Índice de Shannon

El índice de Shannon es una medida de la entropía que está presente en un sistema, o de la incertidumbre asociada con el resultado de un proceso; por ello, el índice de Shannon es una medida razonable de la complejidad biológica, pero no es la diversidad *per se*. Es necesario distinguir claramente entre la entropía de un sistema cualquiera y el número equivalente de elementos con la misma abundancia que componen dicho sistema, pues es este último concepto el que está más ligado a la diversidad biológica (Jost, 2006; Jost, 2007).

Este índice es uno de los más populares en la literatura de ecología, se calculará de acuerdo a la fórmula:

$$H_{\text{Shannon}} = - \sum p_i \times \log_b(P_i)$$

Donde el variable “ p_i ” representa la proporción de la abundancia relativa de la especie “ i ” en relación a la abundancia de todas las especies detectadas en un muestreo. El valor mínimo puede aproximarse al cero y el valor máximo, en teoría, no está consolidado a un límite. El valor (H) del índice Shannon-Wiener aumenta con respecto a una de dos razones: (1) un aumento en la riqueza de especies, y/ o (2) un aumento en la equitatividad de la representación de la abundancia relativa especies. Es decir, cuando el índice de diversidad-alfa aumenta, el número del índice en si no es suficiente para determinar si el cambio es por un aumento en la riqueza o equitatividad de especies. Por esta razón, los índices de diversidad-alfa

siempre se reportan en conjunto con análisis de riqueza y equitatividad de especies detectadas en un muestreo (Shannon, 1948).

2.5.1.2. Curva de rarefacción

Por ser un índice, existe un procedimiento importante en el momento de comparar la diversidad-alfa entre hábitats: el número de individuos muestreado en ambos hábitats nunca es el mismo. Es decir, los índices de diversidad que se desean comparar no están basados en el mismo número de individuos, ya que en cada hábitat se ha recolectado un número diferente de organismos. Para poder comparar índices de diversidad-alfa entre hábitats, es crítico hacer una corrección matemática para que el número de individuos sea igual. El procedimiento se llama rarefacción, y se utiliza para comparar índices de diversidad entre hábitats en base a un mismo número de individuos. La rarefacción es una técnica donde el hábitat con el mayor número de individuos se submuestra sin remplazo aleatoriamente y con múltiples ejecuciones para generar un índice promedio que se puede comparar con el índice de otro hábitat en base a un mismo número de individuos. El resultado de esta técnica es una curva rarificada de valores del índice de diversidad que disminuye conforme con el muestreo sin remplazo del número de individuos (Colwell, 2006).

2.5.2. Diversidad- beta (β)

La diversidad-beta, de acuerdo a Whittaker (1960), se define como el diferencial entre la diversidad de un hábitat (i.e. diversidad-alfa [α]) y la diversidad total de un paisaje de hábitats (i.e. diversidad-gamma [γ]). Por ende, existen varias formas de calcular diversidad-beta, sin embargo en términos simples, la diversidad-beta juega el papel de representar la diversidad de especies entre hábitats que no está compartida; aquí expresado por la fórmula:

$$\beta = (S_1 - c) + (S_2 - c)$$

Donde “S” representa la riqueza de especies en dicho hábitat (n = 1, 2, etc.) y “c” representa la riqueza de especies compartidas entre los hábitats. Sin embargo, la literatura ecológica señala una tendencia de utilizar la disimilitud composicional de especies entre hábitats como una forma de medir diversidad-beta (Whittaker, 1960).

2.5.3. Diversidad-gamma (γ)

Se define como la diversidad total de especies en un paisaje, donde los componentes independientes de diversidad-alfa (α) y diversidad-beta (β) juegan un papel con efecto multiplicativo; aquí expresado por la fórmula:

$$\gamma = \alpha * \beta$$

No existe consenso en cuanto a la escala apropiada para calcular diversidad-gamma (Whittaker *et al.*, 2001). Sin embargo, la costumbre es utilizar la escala proporcionada por la base de datos en general, y aceptar el hecho de que cualquier esfuerzo de muestreo siempre sub-estima la diversidad total de una área grande. El nivel de sub-estimación de especies solamente se puede determinar a través de una curva de acumulación de especies por área (Colwell y Coddington, 1994).

2.5.4. BioDiversity Pro

El software BioDiversity Pro es un programa de paquete estadístico gratuito para PC con Windows que permite calcular muchas medidas de diversidad para un

conjunto de datos de taxones por muestras. El programa permanece disponible de forma gratuita en SAMS, ya que se reconoce que aún es útil para muchas personas en todo el mundo.

Las gráficas son posibles, tales como rarefacción, componentes principales, correspondencia y análisis de conglomerados, así como estadísticas descriptivas, Kulczynski, Mann-Whitney, correlación de rangos, varianza-covarianza y otros (McAleece *et al.*,1997)

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación del experimento

El trabajo se realizó en el campo agrícola experimental “el Bajío” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), con ubicación geográfica a 25°21’18” LN y 101°01’55” LW a una altitud de 1742 msnm en Buenavista, Saltillo, México.

3.2. Establecimiento del experimento

El experimento se estableció el 27 de mayo de 2018, la siembra se realizó en forma manual depositando dos semillas por golpe cada 25 cm, el ancho de los surcos fue de 80 cm. Cada unidad experimental consistió de dos surcos de 5 m de longitud. El diseño experimental utilizado fue en Bloques Completamente al Azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, los híbridos de maíz utilizados fueron Euros, Gold XR60, AN388, H-318 y Noble.

3.3. Manejo del cultivo

El manejo agronómico del cultivo consistió de 2 t·ha⁻¹ abono orgánico ÓrganoDel® como fertilización de fondo, un deshierbe y dos aporques; se aplicó riego por goteo cada ocho días o antes si el cultivo lo requería. Para el manejo de plagas durante la etapa vegetativa se hicieron dos aplicaciones preventivas con *Bacillus thuringiensis* (Dippel®) a dosis de 0.5 Kg·ha⁻¹.

3.4. Metodología de inoculación

La cepa utilizada para la inoculación se produjo en el Laboratorio de Microbiología del Departamento de botánica, a partir de agallas de huitlacoche infectado naturalmente en el campo agrícola de la misma institución. Cuando los jilotes tenían expuesto los estilos de 1-3 cm, se hizo la inoculación siguiendo la técnica propuesta por Villanueva *et al.*, (2007) con una modificación, se aplicaron 3 mL de la solución inoculante distribuidos en dos inyecciones en vez de las tres que propone. La inoculación se hizo con una Jeringa semiautomática Vet-Matic 5cc marca Henke®.

3.5. Recolecta de los individuos

Para llevar a cabo la recolecta de los especímenes previamente fueron seleccionadas y marcadas 10 plantas con mazorca infectada con huitlacoche por repetición para un total de 40 mazorcas por tratamiento (Figura 2). La recolecta consistió de captura manual de todos los individuos que se encontraron alimentándose o posando en las mazorcas etiquetadas, posteriormente el mismo día estas fueron cosechada y trasladadas al laboratorio donde se les retiró las brácteas (totomoxtle) y se recolecto todo insecto (adultos y larvas) que se encontraron en el huitlacoche. El material recolectado de las cuatro repeticiones de cada maíz fue conservado por separado en una solución de alcohol al 70 %, organizado de acuerdo con el diseño del experimento.



Figura 2. Recolecta de mazorcas con huitlacoche seleccionadas para la recolecta de insectos en laboratorio.

3.6. Identificación de los especímenes recolectados.

La clasificación taxonómica de los especímenes se realizó mediante el uso de claves taxonómicas generadas por Cabello *et al.*, (1997), Bitar *et al.*, (2016), y corroborados en la página web <https://bugguide.net> del Departamento de Entomología de la Universidad Estatal de Iowa.

3.7. Análisis de datos

De los individuos recolectados en las mazorcas de huitlacoche se consideraron dos tipos de datos: el total de insectos por híbrido de maíz muestreado y el total de ejemplares por especies plaga en cada maíz híbrido (Figura 3). De esta forma se calculó la frecuencia relativa, la varianza (S^2), la abundancia proporcional de las especies plaga por tratamiento a través del índice de equidad de Shannon-Weaver (Shannon y Weaver, 1949) y el índice de dominancia de Simpson (Simpson, 1949), el coeficiente de similitud de Jaccard expresado mediante un análisis de agrupamiento (dendrograma) y finalmente la riqueza específica de las especies plaga a través del método de rarefacción. Para los cálculos se utilizó el programa BioDiversity Pro (McAleece *et al.* 1997).



Figura 3 Recolecta de insectos y lavar en el interior de la mazorca de huitlacoche para su separación y posterior identificación por cada híbrido de maíz.

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.8. Composición de la entomofauna

Se recolecto un total de 515 especímenes, distribuidos en cuatro órdenes, siete familias y 11 especies (Cuadro 2). Los órdenes Coleoptera y Lepidoptera concentraron el 71.43% del total de familias, 81.81% de las especies (45,45 y 36.36%, respectivamente), y el 99.61% del total de los individuos (48.54 y 51.07%, respectivamente). Los órdenes Diptera y Hemiptera estuvieron representados por una familia, una especie y un individuo cada uno. Corrales-Castillo *et al.* (2017) indican Lepidoptera y Coleoptera como los órdenes que concentran las principales especies plagas del maíz, las que, con algunas excepciones, en su estado larvario causan los mayores daños. Garcia-Guitierrez *et al* (2012) citan tres especies del Orden Lepidoptera tres de Diptera una de Homoptera y una de Thysanoptera como las principales plagas concurrentes en el maíz de Sinaloa.

Cuadro 2. Familias, especies e individuos de los órdenes de insectos recolectados en mazorcas de huitlacoche (*Ustilago maydis*) en cinco maíces híbridos. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México, 2018.

Orden	Familia		Especies		Individuos	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Coleoptera	4	57.14	5	45.45	250	48.54
Diptera	1	14.29	1	9.09	1	0.194
Hemiptera	1	14.29	1	9.09	1	0.194
Lepidoptera	1	14.29	4	36.36	263	51.07
Total	7	100	11	100	515	100

N: número de individuos; %: proporción de individuos respecto al total, representados en porcentajes.

Los órdenes más representados por su abundancia de especímenes en los cinco maíces estudiado en este trabajo fueron Coleoptera y Lepidoptera. Los datos fluctuaron para Coleóptera entre 37.23% para AN388 y 58.62% para H-318 en proporción respecto al total de individuos recolectados para cada maíz (Cuadro 3). Los especímenes con una baja representatividad por su abundancia en los cinco maíces estudiados en este trabajo fueron los órdenes Diptera y Hemiptera. Los datos fluctuaron entre 0.99% para Noble y 1.0% para Euros en proporción respecto al total de individuos recolectados. Cabe, mencionar que los órdenes Coleoptera y Lepidoptera, existe mayor susceptibilidad en la aparición de individuos de los órdenes mencionados. El bajo porcentaje respecto al total de individuos en los órdenes Diptera y Hemiptera significa que existe una susceptibilidad mínima en presenciar individuos en los cinco maíces evaluados.

Cuadro 3. Distribución por Orden del número y proporción de individuos recolectados en mazorcas de huitlacoche de cinco híbridos de maíz. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México, 2018.

ORDEN	Euros		Gold XR60		AN388		H-318		Noble	
	n	%	n	%	N	%	N	%	N	%
Coleoptera	48	45.71	42	49.41	51	37.23	51	58.62	58	57.43
Diptera	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.99
Hemiptera	1	0.95	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Lepidoptera	56	53.33	43	50.59	86	62.77	36	41.38	42	41.58
Total	105	100	85	100	137	100	87	100	101	100

N: número de individuos; %: proporción de individuos respecto al total, representada en porcentaje.

3.9. Análisis de los parámetros de la diversidad de insectos recolectados en huitlacoche.

3.9.1. Diversidad específica

Las 11 especies de insectos plaga ubicadas taxonómicamente en diez géneros integran la diversidad de fauna insectil recolectada en mazorcas de huitlacoche (Cuadro 4), se identificó a cinco especies como las más importantes por su presencia recurrente, mismas que se les encontró alimentándose en las agallas del huitlacoche, lo que ocasionó daños directos en las mazorcas muestreadas de los cinco híbridos de maíz utilizados para la producción del hongo, estas especies fueron las mejor representadas y se diferenciaron por su abundancia relativa y en algunos casos por su preferencia específica a los maíces. *Cotinis mutabilis* Gory y Percheron (Coleoptera) (Figura 4), tuvo un rango de fluctuación proporcional entre 23.36 (AN388) a 51.72% (H-318) con varianza (S^2)=65.37 y media (\bar{X}) =37.2; *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera) (Figura 5), se presentó en un rango entre 9.20% (H-318) a 51.82% (AN388) con S^2 =519.7 y \bar{X} =35.2; *Heliothis virescens* Fabricius (Lepidoptera), tuvo un rango proporcional de presencia entre 5.94% (Noble) y 19.54% (H-318), la S^2 =20.8 y \bar{X} =12.6; *Carpophilus lugubris* Murray (Coleoptera), se ubicó en el rango de 5.75% (H-318) a 17.65% (Gold XR60) con S^2 =19.8 y \bar{X} =11.6. *Mythimna unipuncta* Haworth también es una especie de importancia agrícola, sin embargo, solo se recolectó en tres de los cinco híbridos de maíz (Euros, AN388 y H-318) con un rango de proporción entre 3.65 a 11.49%, S^2 =19.3 y \bar{X} =4.4, con la información recabada y analizada, además del comportamiento de esta especie, se puede considerar como una plaga secundaria en el cultivo de huitlacoche.



Figura 4. Grupo de coleópteros de la especie *Cotinis mutabilis* alimentándose de las agallas de huitlacoche en la mazorca.



Figura 5. Presencia de larva de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) alimentándose de las agallas de huitlacoche en el interior de la mazorca.

Blanco *et al.* (2014) indican que el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith) es la principal especie plaga del maíz y en la que anualmente se aplican 3 000 toneladas de ingrediente activo para su control. Por otro lado, Faulkner (2011) cita a *Cotinis mutabilis* como una plaga de importancia de frutas de piel suave como higos, melocotones, uvas, peras y tomates, entre otros. Vadheim (2013) menciona que los escarabajos son atraídos por frutos en maduración, fermentación o dañados por otros insectos; los resultados encontrados en este trabajo concuerdan con los autores antes citados, en el sentido de que el huitlacoche también presenta una fase blanda y succulenta que es atractiva para las plagas. Myers (2004) y Dowd (2000) destacan a *Carpophilus lugubris* como una plaga de importancia agrícola en el maíz dulce, que además del daño que causa al alimentarse, también es reconocida como vector de los hongos *Aspergillus* o *Fusarium*.

Cuadro 4. Distribución proporcional de las especies de insectos plaga recolectadas en mazorcas de huitlacoche (*Ustilago maydis*) de cinco híbridos de maíz.

Especie	Estadísticos		Euros		Gold XR60		AN338		H-318		Noble	
	S ²	\bar{X}	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%
<i>Diabrotica longicornis</i>	0.2	0.2	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	1.15	0	0.00
<i>Carpophilus lugubris</i>	19.8	11.6	9	8.57	15	17.65	15	10.95	5	5.75	14	13.86
<i>Lobiapa sp.</i>	0.8	0.6	0	0.00	1	1.18	2	1.46	0	0.00	0	0.00
<i>Cotinis mutabilis</i>	65.7	37.2	39	37.14	26	30.59	32	23.36	45	51.72	44	43.56
<i>Scolytus spp.</i>	0.8	0.4	0	0.00	0	0.00	2	1.46	0	0.00	0	0.00
<i>Dolichopus spp.</i>	0.2	0.2	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.99
<i>Orius tristicolor</i>	0.2	0.2	1	0.95	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
<i>Heliethis virescens</i>	20.8	12.6	16	15.24	14	16.47	10	7.30	17	19.54	6	5.94
<i>Spodoptera frugiperda</i>	519.7	35.2	33	31.43	28	32.94	71	51.82	8	9.20	36	35.64
<i>Spodoptera exigua</i>	0.3	0.4	0	0.00	1	1.18	0	0.00	1	1.15	0	0.00
<i>Mythimna unipuncta</i>	19.3	4.4	7	6.67	0	0.00	5	3.65	10	11.49	0	0.00
Abundancia	436	103	105	100	85	100	137	100	87	100	101	100
Especies	2.3	6.6	6		6		7		7		5	
Daños en la mazorca (%)	240.7	54.7	47.5		52.5		65.0		60.0		48.7	

S²=Varianza; \bar{X} =media; n°=número de individuos recolectados en cada tipo de maíz; %=proporción que representa el número de individuos presentes en cada tipo de maíz, en porcentaje.

La distribución de la abundancia de los especímenes recolectados en los cinco híbridos de maíz, varió desde 85 (Gold XR60) hasta 137 (AN388), los datos presentaron una $S^2=436.0$ y $\bar{x}=103.0$; en tanto que el número de especies presentes en los maíces evaluados fluctuó entre cinco y siete con $S^2=2.3$ y $\bar{x}=6.6$, recolectándose la mayor cantidad en los híbridos AN388 y H-318 (Cuadro 4).

3.9.2. Análisis de la diversidad a nivel Familia

Las familias más abundantes respecto a su abundancia de individuos son: Noctuidae y Scarabaeidae, los datos fluctuaron para la familia de Noctuidae entre el 36% para H-318 y 86% para AN388, según los datos reflejados se presentaron en cada uno de los maíces evaluados. La familia que se presentó con una moderada cantidad de individuos fue la familia: Nitidulidae, los datos fluctuaron entre 5% para H-318 y 18.82% para Gold XR60, los datos obtenidos señalan que se presentaron en cada uno de los maíces evaluados. Las familias con una mínima cantidad de individuos fueron: Anthocoridae, Chrysomelidae, Dolichopodidae y Scolytidae, los datos fluctuaron entre 0.95 % para Euros y 2% para AN388. Los datos señalan que para la familia Anthocoridae, Chrysomelidae, Dolichopodidae y Scolytidae no se presentaron en cada uno de los maíces evaluados (Cuadro 5).

Cuadro 5. Distribución por familia del número y proporción de individuos recolectados en mazorca de huitlacoche de cinco híbridos de maíz. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México, 2018.

FAMILIA	Euros		Gold XR60		AN388		H-318		Noble	
	N	%	n	%	N	%	N	%		%
Anthocoridae	1.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Chrysomelidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.15	0.00	0.00
Dolichopodidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.99
Nitidulidae	9.00	8.57	16.00	18.82	17.00	12.41	5.00	5.75	14.00	13.86
Noctuidae	56.00	53.33	43.00	50.59	86.00	62.77	36.00	41.38	42.00	41.58
Scarabaeidae	39.00	37.14	26.00	30.59	32.00	23.36	45.00	51.72	44.00	43.56
Scolytidae	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	1.46	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	105	100	85	100	137	100	87	100	101	100

N: número de individuos; %: proporción de individuos respecto al total, representado en porcentaje.

3.9.3. Análisis de los índices de diversidad

Los valores de índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') fluctuaron entre 0.529 y 0.631 bits por individuo, por lo que la presencia de entomofauna en los cinco híbridos de maíz fue estable y consistente. Estos resultados manifiestan baja diversidad de fauna insectil identificada en las mazorcas del huitlacoche. Al respecto, Magurran (1988) indica que el índice de Shannon-Weaver con valores inferiores a 1.5 representan baja diversidad, valores entre 1.6 a 3.0 diversidad media, y superiores a 3.1 reflejan una alta diversidad. Los valores del índice de Simpson (D_s) se ubicaron en un rango entre 0.252 a 0.333 bits por individuo con media=0.302 bits por individuo y varianza de 0.0016 (Cuadro 6) por lo que de acuerdo con Méndez-López *et al.* (2018), la dominancia entre las especies plaga asociadas al huitlacoche es moderada, este comportamiento se atribuye a que solo cuatro de las 11 especies se presentaron de manera constante en todos los muestreos e híbridos de maíz. Estos resultados son congruentes con Loera-Alvarado *et al.* (2017), quienes mencionan que el número de especies no es

sinónimo de diversidad, ya que en ésta intervienen también la abundancia y equidad entre las especies.

Cuadro 6. Índice de diversidad de Shannon, Simpson y Margalef en la entomofauna recolectada en mazorca de huitlacoche de cinco híbridos de maíz. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México, 2018.

Índice	S ²	\bar{x}	Euros	Gold Xr60	AN338	H-318	Noble
Shannon-Weaver (H')	0.0017	0.596	0.631	0.624	0.59	0.606	0.529
Simpson (Ds)	0.0016	0.302	0.265	0.252	0.337	0.323	0.333

S²: se refiere a la varianza de los datos; \bar{x} : se refiere a la media de los datos.

3.9.4. Análisis de similitud de especies y rarefacción

El análisis de similitud total (Jaccard = 1, 0) generó una distribución las especies de insectos en razón del porcentaje de abundancia de especímenes y la similitud observada en el huitlacoche de los cinco maíces híbridos evaluados, los cuales se caracterizaron por la presencia de las especies *Spodoptera frugiperda* (Smith), *Heliothis virescens*, *Cotinis mutabilis*, *Carpophilus lugubris* con 100% de similitud entre ellos, cerca de éstos se localizó *Mythimna unipuncta* con 60% de similitud, éstas especies es posible apreciarlas en un grupo bien definido, en el dendrograma que arrojó el análisis de agrupamiento (Figura 7). Este comportamiento se explica por el hecho que el grupo de las primeras cuatro especies se encontraron invariablemente en los cinco maíces evaluados, por tal razón se les pudo ubicar como las principales especies plaga presentes en el huitlacoche en esta investigación. En este sentido, Pielou (1975) y Magurran (1988) indican que el coeficiente de similitud de Jaccard expresa el grado de semejanza entre las muestras por las especies presentes en ellas, por lo que es una medida inversa de la diversidad, la que se refiere al cambio de especies entre los tratamientos.

Por otro lado, en el análisis de agrupamiento también se aprecian la distribución de aquellas especies de insectos que se encontraron con menor abundancia y que no se presentaron en forma homogénea en los maíces híbridos en estudio, dichas especies no forman un grupo específico debido a su comportamiento diferenciado, tal es el caso de las especies: *Scolytus sp.*, *Lobiopa sp.* (50% de similitud), *Spodoptera exigua*, y *Diabrotica longicornis* (50% de similitud), por lo que, en este trabajo se les considera como especies ocasionales en el cultivo del huitlacoche. En tanto que, la presencia de las especies *Dolichopus sp.* y *Orius tristicolor* en las mazorcas con huitlacoche, con apenas 20 y 33.33% de similitud, respectivamente; pueden ser consideradas de tipo accidental.

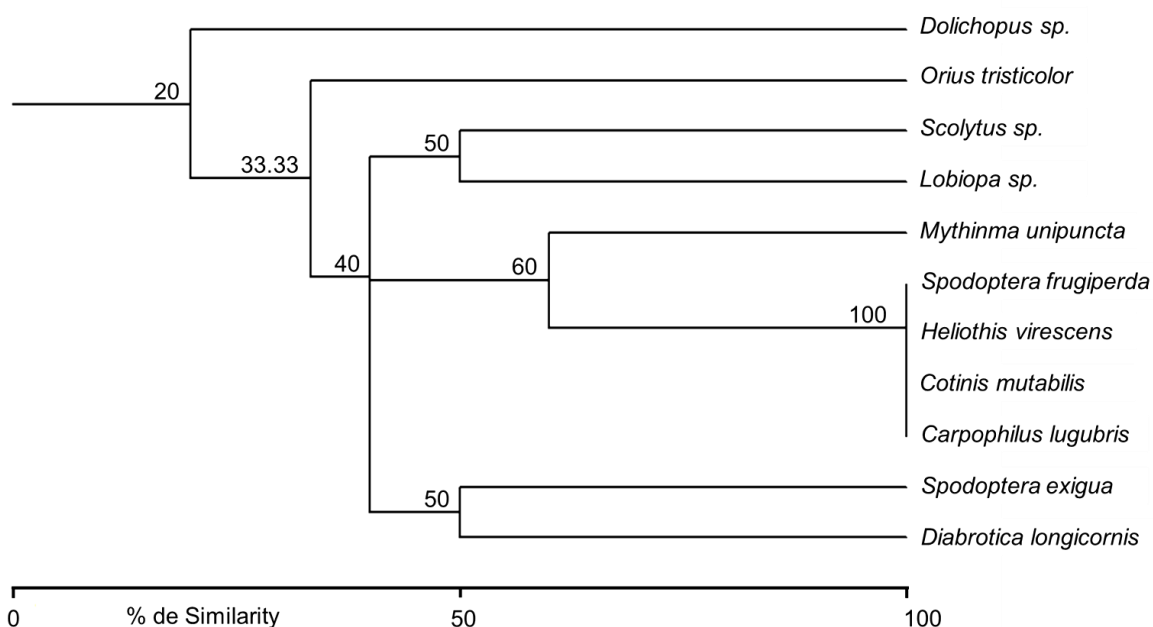


Figura 6. Dendrograma de similitud mediante el coeficiente de Jaccard de las especies de insectos recolectados del huitlacoche (*Ustilago maydis*) en los cinco maíces híbridos. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México, 2018.

Para el análisis de la riqueza de especie los datos obtenidos se estandarizaron y con ellos se generaron las curvas de rarefacción, ya que según Magurran (2004), cuando los datos consisten en un listado de especies y en sus abundancias

relativas, su estandarización es necesaria para que el método de rarefacción exprese de forma apropiada la riqueza específica de los datos. En este sentido, la mayor riqueza esperada de especies se ubicó en el maíz AN388, siete especies y la mayor abundancia con 131 especímenes seguida de H-318 con 6.86 especies y 87 ejemplares, aunque fue el híbrido Gold XR60 el que presentó la menor abundancia de especímenes con 81 individuos. Los datos demuestran que los híbridos AN388 y H-318 fueron los que tuvieron mayor preferencia e incidencia de especies plagas. El híbrido Euros presentó una riqueza moderada con 5.96 especies y su abundancia fue de 101 individuos. La menor riqueza de especies se observó en el híbrido Noble con cinco especies y su abundancia moderada con 101 especímenes (Figura 2). Jiménez-Velarde y Hortal (2003) indican que la rarefacción calcula el número esperado de especies reduciendo las muestras a un tamaño estándar, por medio de la interpolación a un mismo número de individuos, considerando a la comunidad que presente la menor abundancia. Gotelli y Colwell (2001) mencionan que la rarefacción a partir de muestras conserva la estructura espacial de los datos, por lo que es un procedimiento aceptable y congruente de las unidades de muestreo utilizadas con frecuencia en estudios de diversidad biológica.

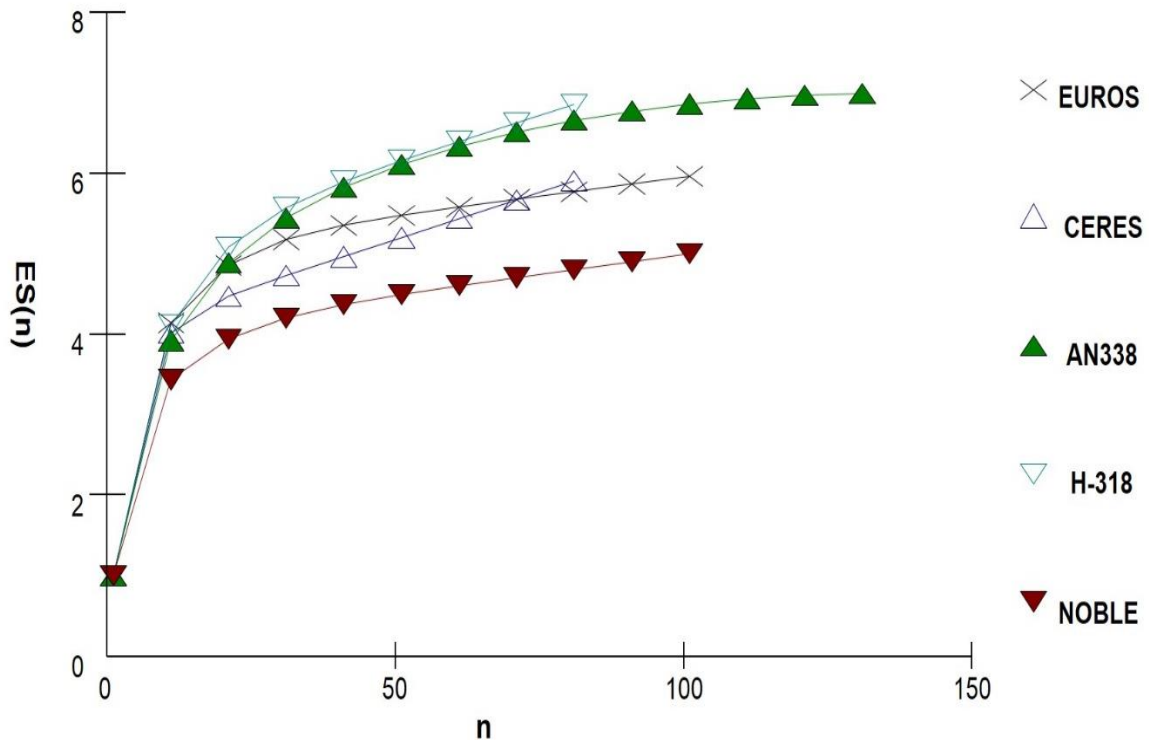


Figura 7. Curvas de rarefacción de la riqueza de especies de entomofauna recolectada en el huitlacoche (*Ustilago maydis*) de cinco maíces híbridos. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México, 2018.

3.10. Estimación de daños por plagas en huitlacoche.

La cuantificación de los daños se hizo de acuerdo al porcentaje de mazorcas dañadas por cualquier plaga con respecto al total de las mazorcas muestreadas en cada maíz (Figuras 8 y 9); en este sentido, el porcentaje de mazorcas dañadas se presentó en un intervalo de 47.5% a 65.0%, con media de 54.7% y $S^2=15.5$. Los maíces híbridos que presentaron los mayores daños fueron AN338 y H-318 con 65.0% y 60.0%, respectivamente; en tanto que el menor daño lo registro Euros con 47.5% de mazorcas afectadas por las plagas. Mientras que los híbridos Noble y Gold XR60 presentaron porcentajes de daños intermedios con 48.7% y 52.5% de mazorcas afectadas por cualquier plaga o en su conjunto (Cuadro 4).



Figura 8. Sintomatología del daño ocasionado por el escarabajo *Cotinis mutabilis*.



Figura 9. Sintomatología del daño ocasionado por larvas de Lepidopteros.

V. CONCLUSIÓN

De los 515 especímenes recolectados, se identificaron 11 especies de insectos, de las cuales *Cotinis mutabilis* (Gory y Percheron), *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), *Heliothis virescens* (Fabricius) y *Carpophilus lugubris* (Murray), estuvieron presentes en los cinco maíces híbridos evaluados y revelaron 100% de similitud en el coeficiente de Jaccard, por lo que se consideran plagas primarias del huitlacoche.

Los índices de diversidad Shannon-Wiener y Simpson revelaron baja diversidad de especies y moderada abundancia de individuos; la mayor riqueza de especies plaga se encontró en los maíces AN388 y H-318, y fueron los de mayor preferencia e incidencia de insectos.

En los huitlacoques de los cinco maíces híbridos evaluados se encontró daño de las plagas identificadas en este trabajo, lo que demeritó la calidad del hongo, es fundamental poner especial atención en su prevención y manejo para evitar pérdidas en este nuevo cultivo.

VI. LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N (2006). Fitopatología. 2ª ed. ED.LIMUSA. Mexico, D.F. Guevara, L. F
- Agrios, G. N. (2005). Plant pathology 5ta edición. Ed. Academic press. Nueva york. Pp.883.
- Alexopoulos C. J., Mims C. y Blackwell M. (1996). Introductory mycology. Fourth Edition. Ed. John Wiley & Sons, Inc. USA. pp: 3-12.
- Argentina, I. L. S. I. (2006). Perfil de la composición de la producción del maíz cultivado en la Argentina. *Serie de Informes Especiales de ILSI Argentina, Volumen II: Maíz y Nutrición*, 51.
- Banuet F. (1992). *Ustilago maydis*, the delightful blight. Trends in Genetics 5:174-180.
- Beas, F. R.; Loarca, P. G.; Guzmán, M. S. H.; Rodríguez, G. M.; Vasco, M. N. L. y Guevara, L. F. (2011). Potencial nutracéutico de componentes bioactivos presentes en huitlacoche de la zona de centro de México. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas. Asociación Farmacéutica Mexicana, A. C. México. Abril-junio. 42(2):36-44.
- Beas-Fernández, R., Guzmán-Maldonado, S. H., Herrera-Hernández, G., Pérez-Molphe-Balch, E., Gámez-Roldán, Y., & Guevara-Lara, F. (2006). Análisis de compuestos fenólicos presentes en huitlacoche (*Ustilago maydis*-*Zea mays*). In *Presentación oral y resumen presentados en el Segundo Congreso Estatal "La Investigación en el Posgrado". Universidad Autónoma de Aguascalientes* (Pp. 21-24).
- Bentacourt, M., C., Scatoni B. I. (2010). Guía de insectos y ácaros de importancia agrícola y forestal en el Uruguay; Tercera edición. Universidad de la Republica, Fac. de Agronomía, Montevideo. Pp. 57-83.

- Bitar, A.; Sánchez, J. D. J.; Salcedo, E.; Castañeda-Nava, J. J. (2016). Sinopsis de las formas cromáticas de *Cotinis mutabilis* (Gory & Percheron, 1833) (Coleoptera, Cetoniidae, Cetoniinae, Gymnetini). *Acta zoológica mexicana*, 32(3): 270-278.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372016000300270
- Blanco, C. A.; Pellegaud, J. G.; Nava-Camberos, U.; Lugo-Barrera, D.; Vega-Aquino, P.; Coello, J.; Terán-Vargas, A. P.; Vargas-Camplis, J. (2014). Maize Pests in Mexico and Challenges for the Adoption of Integrated Pest Management Programs. *Journal of Integrated Pest Management*. 5(4):E1-E9.
<https://doi.org/10.1603/IPM14006>
- Brefort T, Doehlemann G, Mendoza- Mendoza A, Reissmann S, Djamei A & Kahmann R (2009) *Ustilago maydis* as pathogen, *Annu Rev Phytopathol* 47: 423-445.
- Cabello, G. T.; Torres, G. M.; Barranco, V. P. (1997). Plagas de los cultivos: Guía de identificación. Primera edición. Universidad de Almería. España. 80 p.
https://www.researchgate.net/profile/Tomas_Cabello/publication/272362544_Plagas_de_los_cultivos_Guia_de_identificacion/links/54e6ca750cf2cd2e02907338/Plagas-de-los-cultivos-Guia-de-identificacion.pdf
- Chávez-Ontiveros, J., Martínez-Espinoza, A.D., Ruiz-Herrera, J. (2000). Doublechitin synthetase mutans from the corn smut fungus *Ustilago maydis*. *New Phytol.*, 146:335-341.
- Christensen J. J. (1963). Corn smut caused by *Ustilago maydis*. Monograph No. 2. The American Phytopathological Society. p: 41.
- Colwell, R .K. (2006). Estimates: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.2.0. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>.
- Colwell, R.K., y J.A. Coddington. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 345: 101-118.

- Corrales-Castillo, J.; Villalobos-Moya, K.; Vargas-Martínez, A.; Rodríguez-Arrieta, J. A.; González-Herrera, A. (2017). Principales plagas de artrópodos en el cultivo de maíz blanco en Costa Rica; Guía ilustrada de artrópodos adultos en campo y grano almacenado. 2da. ed. Heredia, C. R. 86 p.
- Cortez-Mondaca, E. (2008). Recomendaciones para el manejo de las principales plagas insectiles del maíz en el Norte de Sinaloa. En: Jornada de manejo sustentable del cultivo de maíz. Memoria de capacitación. Fundación Produce Durango. 41-51 pp.
- Del Rincón M.C., Méndez J., Ibarra J. (2006). Caracterización de cepas nativas de *Bacillus Thuringiensis* con actividad insecticida hacia el gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Folia Entomológica Mexicana, 45 (2): 157-164.
- Deras, H. (2014). Guía Técnica: El cultivo de maíz. El Salvador: CENTA.
- Dowd, P. F. (2000). Dusky sap beetle (Coleoptera: Nitidulidae) and other kernel damaging insects in Bt and non-Bt sweet corn in Illinois. Journal of Economic Entomology 93(6): 1714-1720. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.6.1714>
- FAO. (2012). Los plaguicidas, en cuanto contaminantes del agua. (En línea). Disponible en <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s06.htm>.
- Faulkner, D. (2011). "*Cotinis mutabilis*". Field Guide: Arthropods. San Diego Natural History Museum. Retrieved 27, January 30, 2019. <http://archive.sdnhm.org/fieldguide/inverts/coti-mut.html>
- Feinsinger, P. (2004). El diseño de estudios de campo para la conservación de la biodiversidad. FAN, Santa Cruz de la Sierra.
- Fisher, R.A., A.S. Corbet, y C.B. Williams. (1943). The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. Journal of Animal Ecology 12: 42-58.
- García-Gutiérrez, C.; González-Maldonado, M. B.; Cortez-Mondaca, E. (2012). Uso de enemigos naturales y biorracionales para el control de plagas de maíz.

Revistas Ra Ximhai, 8(3): 57-70. <http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-25barticulosPDF/6%20GARCIA-GUTIERREZ.pdf>

García-Lara, S.; Burt, A. J.; Serratos J. A.; Díaz-Pontones, D. M.; Arnason, J. T. and Bergvinson, D. (2003). Defensas naturales en el grano de maíz al ataque de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae): mecanismos y bases de la resistencia. Rev. Educ.Bioquímica. 22:138-145.

Goodman, M. M. and Stuber, C. W. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. Econ. Bot. 54:43-59.

Gotelli, N. J.; Colwel, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. Ecology letters. 4: 379-391. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x>

Guerra, S.G. (2005). Caracterización bioquímica de la H+ATPPasa de membrana plasmática de *Ustilago maydis* en la forma micelial en condiciones de estrés nutricional. Memorias del XIV Congreso de Bioenergética y Biomembranas. Oaxaca, México.

Herrera, J. R. (2014). *Ustilago maydis*: ascenso de un hongo mexicano de la gastronomía local al mundo científico. *Nova Scientia*, 1(1): 118-135. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/H10-10934.pdf>

Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. Ecology 54:427-432.

Jiménez-Valverde, A.; Hortal, J. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. Revista Ibérica de Aracnología, Sección Boletín. 8: 151-161. <http://jhortal.com/pubs/2003-Jimenez-Valverde&Hortal Rev Ib Aracnol.pdf>

Jost, L. 2006. Entropy and diversity. Oikos, 113: 363- 375.

Jost, L. (2007). Partitioning diversity into independent alpha and beta components. Ecology, 88: 2427- 2439.

- Juárez-Montiel, M., S. Ruiloba de León, G. Chávez-Camarillo, C. Hernández-Rodríguez, and L. Villa-Tanaca. (2011). Review article: Huitlacoche (corn smut), caused by the phytopathogenic fungus *Ustilago maydis*, as a functional food. *Rev.Iberoam. Micol.* 28:69-73.
- Kämper J. , R. Kahmann , [...], Bruce W. Birren. (2006). Insights from the genome of the biotrophic fungal plant pathogen *Ustilago maydis*. *Nature* 444: 97-101. <https://doi.org/10.1038/nature05248>
- Kiosterman, S.J. (2007). Genetics of Morphogenesis an Pathogenic Development of *Ustilago maydis*. *Advances in Genetics* Pp. 1-24 y 57.
- Loera-Alvarado, E.; Ortega-Arenas, L. D.; Johansen-Naime, R. M.; González-Hernández, H.; Lomelí-Flores, J. R.; Santillán-Galicia, M. T.; Ochoa-Martínez, D. L. (2017). Diversity of Thysanoptera in chrysanthemum [*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura] var. Harman in Texcoco, state of Mexico. *Acta zoológica mexicana.* 33: 1-8. <http://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v33n1/0065-1737-azm-33-01-00001.pdf>.
- Maclaurin, J. y K. Sterelny. (2008). What is biodiversity? The University of Chicago Press, Chicago. 224 p.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Croom Helm, London, 179 pp. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>, ISBN: 9780691084916
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing: Oxford, UK. and Victoria. https://www2.ib.unicamp.br/profs/thomas/NE002_2011/maio10/Magurran%202004%20c2-4.pdf
- Martinez, C. A.; C. Jauneau.; C. Roux; C. Savy; R. Dargent. (2000). Early infection of maize roots by *Sporisorium reilianum* sp, *zeae*. *Protoplasma* Pp. 83-92.

- Martínez-Carrera D., Larqué-Saavedra A., Morales P., Sobal M., Martínez W. y Aguilar A. (1993). Los hongos comestibles en México: biotecnología de su reproducción. *Ciencia y desarrollo* 41-49.
- Martínez-Martínez, L.; Muñoz-Orozco, A.; Mejía-Contreras, J. A.; Molina-Galán, J. D.; Zavaleta-Mejía, E.; Sandoval-Islas, J .S. y Villanueva-Verduzco, C. (2005). Efectos genéticos e interacciones entre familias de maíz y aislados de huitlacoche (*Ustilago maydis* D. C. Corda). *Revista Chapingo serie Horticultura*, 11 (1) 121-128.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60912502018>
- McAleece, N.; Gage, J. D. G.; Lamshead, P. J. D.; Paterson, G. L. J. (1997). BioDiversity Professional Statistics Analysis Software. Jointly developed by the Scottish Association for Marine Science and the Natural History Museum London. <https://www.sams.ac.uk/science/outputs/>
- Méndez, M, L. y Ruiz, H. J. (2008). Estudio de genes diferenciales durante el proceso patogénico de *Ustilago maydis* en *Arabidopsis thaliana* un huésped no natural. *Avances en la Investigación Científica en el CUCBA. In: XIX Semana Nacional de la Investigación Científica*. Zapopan, Jalisco. México. 407-414 pp.
- Méndez-López, A.; Córdova-Téllez, L.; Sánchez-Vega, M.; Salazar-Torres, J. C.; García-Martínez, O. (2018). Diversidad y Abundancia de Chicharritas en *Jatropha curcas* L., en Mazatepec, Morelos, México. *Southwestern Entomologist*. 43(3): 733-741. <https://doi.org/10.3958/059.043.0319>
- Myers, L. (2004). Sap beetles (of Florida) Nitidulidae (Insecta: Coleoptera: Nitidulidae). *Featured Creatures. Entomology and Nematology*. University of Florida. USA. 1-13 p. Available in: http://entnemdept.ufl.edu/creatures/field/corn/sap_beetles.htm
- Nadal M, Garcia-Pedrajas MD & Gold SE (2008) Dimorphism in fungal plant pathogens. *FEMS Microbiol Lett* 284: 127-134.

- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*. 144(1): 31-43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- Pan, J. J.; Baumgarten, A. M and May, G. (2008). Effects of host plant environment and *U. maydis* Cda., infection on the fungal endophyte community of maize (*Zea mays* L.) *New Phytologist*. (178):147-156.
- Paredes López, O., Guevara Lara, F. y Bello Pérez, L. A. (2006). Los Alimentos Mágicos de las Culturas Indígenas Mesoamericanas. Fondo de Cultura Económica- Serie Ciencia para Todos. México, DF. 205 pp. ISBN 968-16-7567-3.
- Paredes-López O. y Valverde M. E. (1999). Los alimentos mágicos de las culturas indígenas de México – El caso del huitlacoche. El Colegio de Sinaloa. México. Pp: 19-23.
- Paredes-López, O. (1993). Pasado, presente y futuro de la biotecnología Azteca. *Revista Ciencia y Desarrollo*, 9(12): 35-45.
- Paredes-López, O.; Guevara-Lara, F.; Bello-Pérez, L .A. (2006). Los alimentos mágicos de las culturas indígenas Mesoamericanas. 1ª edición. FCE, SEP, CONACYT, CAB. México. Pag. 134-148.
- Pielou E. C. (1975). *Ecological diversity*. John Wiley & Sons, New York. 165 pp. ISBN 13: 9780471689256
- Pingali, P. L. and Pandey, S. (2001). World maize needs meeting: Technological opportunities and priorities for the public sector. In: Pingali, P. L. (ed.). CIMMYT 1999-2000. World maize facts and trends. Meeting world maize needs: Technological opportunities and priorities for the public sector. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Estado de México, México.
- Pioneer. (2012a). Trips *Frankliniella* spp. y su impacto en el cultivo de maíz y sorgo. (En línea). Disponible en:

<http://mexico.pioneer.com/LinkClick.aspx?fileticket=rXEi4wGTyQ0=&tabid=84&language=en-US>.

- Sánchez, G. J. J. and Goodman, M. M. (1992). Relationships among Mexican and some North American and South American races of maize. *Maydica* 37:41-51.
- Schaad, N.W.; J.B. Jones and W. Chun. (2001). *Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria*. The American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota, USA. 373 p.
- Parbey, D. G. (1967). Studies on graminicolous species of *Phyllachora* Nke. in Fckl. V. A taxonomic monograph. *Aust. J. Bot.* Pp. 271-375.
- Serna-Saldivar, S. O.; Hilda Gómez, M.; Rooney, I. W. (2001). Specialty Crops: Food uses of regular and specialty crops and their dry-milled fractions. Ed. CRC Press. Boca Raton, EE.UU. pp: 303-337.
- Serria G., A., F. Varón de A. y C. Huertas. (2003). *Mildiu Velloso del maíz*. ICA, FENALCE, Plegable divulgativo. 30.12.19.03.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379-423.
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature* 163: 688
- UHI, S. (2019). *Outputs: The Scottish Association for Marine Science*. [on line] Sams.ac.uk. Available at: <https://www.sams.ac.uk/science/outputs/> [Accessed 11 May 2019].
- Vadheim, M. C. (2013). "Green Fig Beetle (Figeater Beetle/ Green Fruit Beetle)—*Cotinis mutabilis*". *Mother Nature's Backyard*. Retrieved January 30, 2019. <http://mother-natures-backyard.blogspot.com/2013/08/green-fig-beetle-figeater-beetle-green.html>
- Valdez, M. M.; Valverde, G. M. E.; Paredes, L. O. (2009). Procedimiento tecnológico para la producción masiva de huitlacoche. CINVESTAV-Irapuato. Sinco. Pp. 1-16.

- Valverde M. E. y Paredes-López O. (1993). Production and evaluation of some food properties of huitlacoche (*Ustilago maydis*). *Food Biotechnology* 3:207-219.
- Valverde, M. E., Paredes-López, O., Pataky, J. K., Guevara-Lara, F., Pineda, T. S. (1995). Huitlacoche (*Ustilago maydis*) as a food source-biology, composition, and production. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 35(3): 191-229.
- Vidaver, A. K. y Lambrecht, P. A. (2004). Las bacterias como patógenos vegetales. *El instructor de sanidad vegetal*, 1-11.
- Vidaver, A. K. and P. A. Lambrecht. (2004). Bacteria as plant pathogens. Apsnet, Introduction to the Pathogen Groupus. Recuperado de <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/PathogenGroupus/Pages/Bacteria.asp>.
- Villanueva, V., C.; E. Sánchez R.; y E. Villanueva S. (2007). El huitlacoche y su cultivo. Ed. Mundi-Prensa México, S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 96.
- Whittaker, R. H. (1960). Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, 30(3): 279-338.
- Whittaker, R. J., K. J. Willis, y R. Field. (2001). Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. *Journal of Biogeography* 28(4): 453-470.
- Wilson, W. J.; H. R. Dillard and S. V. Beer. (1999) Assessment of phenotypic variability in *Erwinia stewartii* based on metabolic profiles. *Plant Disease*, Pp.114-118.