



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación -DIGI-



Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas

Informe final

“Identificación de variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) como estrategia de control utilizando defensas directas e indirecta contra *Spodoptera frugiperda*”

Equipo de investigación

Ing. Agr. MSc. Edin Alejandro Gil Esturban
Coordinador el Proyecto

PhD. Heisler Gómez
Investigador Colaborador

Ing. Agr. Pablo Polo
Investigador

Bach. José Nufio
Auxiliar de investigación I

Guatemala, febrero ,2021

DIGI (Dirección General de Investigación
Unidad de investigación avaladora
IIA (Instituto de Investigaciones Agronómicas)
Otras instituciones participantes

Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera

Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Nombre Coordinador del Programa de Investigación

Ing. Agr. MSc. Edin Alejandro Gil Esturban
Nombre del coordinador del proyecto

Equipo de Investigadores

PhD. Heisler Gómez
Nombre del investigador

Contratados Por la dirección General de Investigación

Ing. Agr. Pablo Polo
Investigador
Bach. José Nufio
Auxiliar de investigación I

Esta investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la Partida Presupuestaria 4.8.63.4.41. durante el año 2020 en el Programa Universitario de Investigación de ___DES6-2020_____

Índice

1. Resumen y palabras clave:	8
2. Palabras clave:	8
3. Abstract	8
4. Introducción:	10
5. Planteamiento del problema:	11
6. Pregunta de investigación:	12
7. Delimitación en tiempo y espacio	13
7.1 7.2 Delimitación en tiempo	13
7.2 7.2 Delimitación espacial:	13
8. Marco teórico:	15
8.1 Control Biológico	15
8.2 Resistencia de plantas	15
8.3 Interacciones entre una planta e insecto	15
8.4 Defensas Directas	16
8.4.1 Antibiosis	17
8.4.2 No Preferencia	17
8.5 Defensas Indirectas	17
8.6 Cultivo del maíz	18
8.6.1 Descripción del maíz (<i>Zea mays</i> , L.)	18
8.6.2 Taxonomía	18
8.6.3 Características Botânicas	18
8.6.3.1 Raíces	19
8.6.3.2 Tallo	19
8.6.3.3 Hojas	19
8.6.3.4 Inflorescencia	19
8.6.3.5 Grano	19

8.6.4	Ciclo de cultivo	20
8.6.5	El origen maíz (<i>Zea Mays L.</i>).....	21
8.6.6	Valor nutricional	21
8.6.7	Dieta alimenticia del guatemalteco	22
8.6.8	Variedades de estudio, breve descripción de las plagas.....	23
8.6.9	Plagas	23
8.7	<i>Spodoptera frugiperda</i>	24
8.7.1	Morfología.....	25
8.7.2	Adulto.....	25
8.7.3	Huevos.....	25
8.7.4	Larva.....	25
8.7.5	Ciclo de vida del cogollero.....	26
8.7.6	Insectos benéficos como agentes de control biológico de <i>S. frugiperda</i>	27
8.7.7	Parasitoides contra <i>S. frugiperda</i> en el cultivo de maíz	27
8.7.8	Depredadores para el control de <i>Spodoptera frugiperda</i>	27
8.7.9	Estado del arte:	28
9.	Objetivos	29
9.1	General	29
9.2	Específico	29
10.	Hipótesis:	29
10.1	Explicar cómo contribuye la investigación propuesta a la solución de problemas nacionales.	30
12.	Materiales y métodos	30
12.1	12.1 Enfoque y tipo de investigación	30
12.1.1	Indicar el enfoque de la investigación:.....	30
12.1.2	Indicar el tipo de la investigación:	30
12.2	12.2 Método	30
12.3	Técnicas e instrumentos:	30
12.3.1	Cultivo de las plantas de maíz	30

12.3.2	Cría Orius insidiosus y Telenomus sp.....	31
12.3.3	Cría de Spodoptera frugiperda	31
12.3.4	Diseño Experimental	31
12.3.5	Modelo Estadístico	32
12.3.6	Tratamientos.....	32
12.3.7	Preferencia de oviposición	33
12.3.8	Consumo folia de larvas de primer instar de <i>S. frugiperda</i>	33
12.3.9	Ganancia de peso de larvas de tercer instar de <i>S. frugiperda</i>	34
12.3.10	Mortalidad de larvas de primer instar de <i>S. frugiperda</i>	34
12.3.11	Defensas Indirectas usando <i>Orius insidiosus</i> y <i>Telenomus</i>	34
13.	Estrategia de difusión y divulgación	35
14.	Vinculación	35
15.	Procesamiento y análisis de la información:.....	35
16.	Resultados	35
16.1	Consumo foliar en larvas del primer Instar de <i>S. frugiperda</i>	36
16.2	Ganancia de peso de larvas de tercer instar de <i>S. frugiperda</i>	36
16.3	Mortalidad de larvas de primer instar de <i>S. frugiperda</i>	37
16.4	Preferencia de oviposición	38
17.	Discusión	39
18.	Conclusiones	41
19.	Impacto esperado.....	41
20.	Referencias	42
20.1	Cronograma	63
20.2	Datos brutos.....	65
Dados.....		67
20.3	Análisis de los modelos.....	68
20.4	Modelo GLM 1 (Analise outlier)	68
20.5	Análisis del Consumo foliar	68
20.6	Sobrevivencia 24, 48 y 120 Horas	69
20.7	Grafica.....	70

20.8	Ganancia de Peso	70
20.9	Fotografías del proceso de los ensayos realizados.	71

Índice de Imágenes

Imagen 1. Mapa de ubicación del CEDA y UVIGER	14
Imagen 2. Etapas fenológicas del cultivo del Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	21
Imagen 3. Estado de Pupa en ambos sexos de <i>Spodoptera frugiperda</i> (A) macho (B) Hembra	26
Imagen 4. <i>Ciclo de vida de la S. frugiperda</i>	26
Figura1. Consumo foliar de larvas de gusano cogollero	36
Figura 2. Ganancia de peso de larvas de gusano cogollero alimentadas con diferentes variedades de maíz 72 horas,.....	37
Figura 3. Mortalidad de larvas de gusano cogollero alimentadas con diferentes variedades de maíz A 24 Horas, B 48 Horas, C 120 Horas,	38
Imagen 5. Adulto de <i>Spodoptera frugiperda</i> en plántulas de maíz, CEDA.	72
Imagen 6. Aislamiento de Individuos colectados de <i>Spodoptera frugiperda</i> en campo.....	72
Imagen 7. Aislamiento de Individuos colectados de <i>Spodoptera frugiperda</i> en campo.....	72
Imagen 8. Revisión de posturas en laboratorio de UVIGER de <i>Spodoptera frugiperda</i> , colectadas en campo.	73
Imagen 9. Construcción del Invernadero experimental.	73
Imagen 10. Mantenimiento de la cría de <i>Orius insidiosus</i> , en instalaciones de UVIGER.....	74
Imagen 11. Elaboración dieta artificial para alimentación de <i>Spodoptera frugiperda</i> en laboratorio.	74
Imagen 12. Estructura del invernadero experimental finalizada.....	75
Imagen 13. Toma de datos (peso inicial en gramos) para experimento de ganancia de peso en el tercer Instar de <i>Spodoptera frugiperda</i>	76

Imagen 14. Plántulas de maíz de variedades criollas (tratamientos), aisladas en invernadero experimental.	76
Imagen 15. Larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i> individualizadas para su alimentación en laboratorio.	77
Imagen 16. Larvas colectadas en campo de <i>Spodoptera frugiperda</i>	77
Imagen 17. Plántulas de maíz en el ensayo de consumo foliar en el primer instar de <i>Spodoptera frugiperda</i>	78
Imagen 18. Toma de datos de consumo foliar primer instar de <i>Spodoptera frugiperda</i> en cada uno de los tratamientos.	78
Imagen 19. Alimentación de primera generación de <i>Spodoptera frugiperda</i> obtenida en laboratorio.	79
Imagen 20. Preparación de las bandejas en Invernadero, instalaciones del CEDA.	79
Imagen 21. Colecta de <i>Spodoptera frugiperda</i> en Amatitlán, Guatemala.	80
Imagen 22. Colecta de <i>Spodoptera frugiperda</i> en Amatitlán, Guatemala.	80
Imagen 23. Pupas obtenidas de la primera generación de <i>Spodoptera frugiperda</i> , criadas en laboratorio.	81
Imagen 24. Recipientes de la cría de <i>Orius insidiosus</i> en el laboratorio de UVIGER.	82
Imagen 25. Colecta <i>Spodoptera frugiperda</i> en el CEDA.	82
Imagen 26. Selección de bandejas para la siembra de las variedades (tratamientos) de maíz <i>Zea mays</i>	83
Imagen 27. Alimentación de <i>Spodoptera frugiperda</i> con dieta artificial en condiciones de laboratorio.	84
Imagen 28. Variedades de maíz <i>Zea mays</i> a evaluarse en este estudio.	84
Imagen 29. Montaje de experimento preferencia de oviposición.	85

Índice de tablas

Tabla 1. Mecanismos internos y externos de defensa en las plantas.	16
Tabla 2. Valores nutricionales en 100 g.	22
Tabla 3 . Aporte Nutricional de los granos básicos	23
Tabla 4 Tratamientos evaluados	32
Tabla 5. Cronograma de actividades	63
Tabla 6. Libreta de datos de Ensayo de mortalidad en el primer Instar de <i>S. frugiperda</i>	65
Tabla 7. Libreta de ensayo de consumo foliar en el primer Instar de <i>S. frugiperda</i>	65

Índice de figuras

Figura1. Consumo foliar de larvas de gusano cogollero	36
Figura 2. Ganancia de peso de larvas de gusano cogollero alimentadas con diferentes variedades de maíz 72 horas,	37

Figura 3. Mortalidad de larvas de gusano cogollero alimentadas con diferentes variedades de maíz A 24 Horas, B 48 Horas, C 120 Horas, 38

1. Resumen y palabras clave:

Spodoptera frugiperda es una de las plagas más importantes en el cultivo de maíz, reduciendo hasta un 50% la producción de granos. La exploración de métodos alternativos de control de la plaga que aprovechen la resistencia de la planta puede contribuir al manejo integrado de plagas (MIP). Esta investigación tuvo como objetivo identificar variedades criollas de maíz (*Zea mays*) con potencial de resistencia directa a la infestación del gusano cogollero *S. frugiperda*. Bioensayos realizados para determinar el consumo foliar de las variedades, muestran que variedad criolla 1 fue consumida cinco veces menos que las otras variedades, mostrando una no preferencia a esta variedad, también se encontró que la variedad criolla 2 brinda mejores nutrientes para que la larva de *S. frugiperda* obtenga una ganancia de peso mayor que las otras variedades, la variedad criolla aumento en un 20% la mortalidad de larvas del primer instar demostrando un efecto de antibiosis. La variedad criolla 1 es promisorio para ser introducida en el manejo integrado del gusano cogollero ya que, reduce su consumo y provoca una mayor mortalidad. Se identificó que la variedad criolla 2 debe reducirse su siembra debido a que, brindo una mayor ganancia de peso y fue una de las variedades más consumidas. Los resultados también sugieren que las variedades criollas 1 y 2 pueden ser utilizadas en el sistema “push-pull” y con esto generando una opción de manejo de la plaga con variedades criollas originarias de Guatemala.

2. Palabras clave:

Insecto-Planta, Volátiles, Control biológico, Antibiosis, No preferencia

3. Abstract

Spodoptera frugiperda is one of the most important pests in corn crops, reducing up to y up to 50%. Exploring alternative pest control methods that take advantage of plant

resistance can contribute to integrated pest management (IPM). The objective of this research was to identify landraces of corn (*Zea mays* L.) with potential for direct resistance to infestation by the fall armyworm *S. frugiperda*. Bioassays carried out to determine the foliar consumption of the varieties show that Creole variety 1 was consumed 5 times less than the other Creole varieties, showing a non-preference to this Creole variety, it was also found that variety 2 provides better nutrients for the larvae of *S. frugiperda* obtained a greater weight gain than the other varieties, the Creole variety increased the mortality of larvae of the first instar by 20%, demonstrating an antibiosis effect. The Creole variety 1 is promising to be introduced in the integrated management of the fall armyworm since it reduces its consumption and causes a higher mortality, it was also identified that the Creole variety 2 should be reduced its planting because it provides a greater gain in weight and it was one of the most consumed varieties. The results also suggest that Creole varieties 1 and 2 can be used in the "push-pull" system and with this generating an option for pest management with native varieties originating in Guatemala.

Key Word: Insect-Plant, Volatile, Biological Control, Antibiosis, No preference

4. Introducción:

El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith; Lepidoptera: Noctuidae) una de las plagas más importante debido a que puede provocar daños hasta de un 50% de la productividad de los campos de maíz de los pequeños productores en las diferentes regiones de Guatemala (Filho Wordell, Ribeiro, Chiaradia, Madalóz, & Nesi, 2016; Nexticapán-Garcéz, Magdub-Méndez, Vergara-Yoisura, Martín-Mex, & Larqué-Saavedra, 2009).

El gusano cogollero es un insecto holometábolo (huevo, larva, pupa y adulto): Las hembras tienen una capacidad de oviposición de 30 hasta 300 huevos formando una masa de huevos agregadas en capas. Aproximadamente después de 3 días las larvas eclosionan y pasan por seis o siete estadios hasta el último instar esto sucede en aproximadamente 18 días a 25 ° C (Cruz, Figueiredo, Gonçalves, Lima, & Diniz, 1997).

Guatemala es un país donde sus habitantes tienen como dieta principal el maíz y frijol siendo el primero la principal fuente de carbohidratos, este cultivo es afectado principalmente por el gusano cogollero (Mendoza et al., 2018). El control de esta plaga se basa en aplicaciones de insecticidas químicos, siendo que el uso indiscriminado de estos productos causa un desequilibrio de los agroecosistemas, causando una mayor dependencia a los insumos químicos. Por eso búsqueda de alternativas de manejo sustentable es necesario. La resistencia de plantas es uno de los componentes del manejo integrado de plagas (MIP) siendo esta una forma sustentable del manejo de plagas. La resistencia de las plantas contra herbívoros plaga es a consecuencia de varias estrategias para tornarse menos atractivas, menos succulentas o hasta más tóxicas impidiendo el acceso de los herbívoros a las plantas o reduciendo el consumo de sus tejidos (Almeida Cortez, 2005; Cingolani, Posse, & Collantes, 2005). Esas defensas son mediadas a través de sustancias químicas que las plantas pueden producir de manera constitutiva y/o inducida, de manera directa o indirecta sobre los herbívoros (Bezemer & van Dam, 2005).

Las constitutivas son aquellas que constituyen la planta, es decir, está presente en la planta independientemente de cualquier estrés y constituye la primera barrera para los insectos herbívoros (Stout, 2013; War et al., 2012). Las defensas inducidas ocurren cuando hay una acumulación de sustancias o compuestos defensivos para proteger contra herbívoros o incluso plantas que producen químicos dañinos para reducir los alimentos herbívoros, la oviposición, el crecimiento y el desarrollo después de una lesión (Knolhoff & Heckel, 2014; Koch, Chapman, Louis, Heng-Moss, & Sarath, 2016; Mitchell, Brennan, Graham, & Karley, 2016). Estas defensas son activadas por inductores, que es el fenómeno resultante de la activación de las vías de defensa de la planta que causa la formación de compuestos químicos (fitoalexinas). Entre ellos se encuentran HAMPs, DAMPs, MAMPs y PAMPs (Gatehouse, 2002; Kloth, Thoen, Bouwmeester, Jongsma, & Dicke, 2012).

La resistencia directa se puede definir como el mecanismo de defensa de la planta que afecta directamente la supervivencia de los insectos plagas a través de estructuras físicas o químicas de la planta (Aljbory & Chen, 2018). Como ejemplos las estructuras morfológicas tricomas, el espesor de la cutícula y los compuestos químicos como toxinas que reducen la digestibilidad.

Las variedades de maíz locales al estar adaptadas a las condiciones locales y a su constitución genotípica sus defensas tanto directa como indirecta son más resistente a plagas y enfermedades (D'Alessandro, Held, Triponéz, & Turlings, 2006; Köllner, Schnee, Gershenzon, & Degenhardt, 2004; Tumlinson, Turlings, & Lewis, 1993; Turlings et al., 1998). Por lo que el objetivo de la presente investigación es evaluar e identificar variedades criollas de maíz que tengan potencial resistencia directa (antibiosis y no preferencia). Los tratamientos a evaluar serán distintas variedades de maíz provenientes de distintas zonas del país, en las cuales se evaluaron las variables como: consumo foliar y mortalidad para primer instar de larvas de *S. frugiperda* y el efecto de la ganancia en peso de cada uno de los tratamientos(variedades) en larvas del tercer instar.

5. Planteamiento del problema:

Según la Food and Agriculture Organization, 2017 en Guatemala se producen 1.92 millones de toneladas de maíz y más de la mitad de este valor se consume como tortilla, el maíz es tan importante que se tiene un consumo per cápita de 170 kg anualmente

(Mendoza et al., 2017). Esto representa un aporte de 37.7 % de los carbohidratos consumidos por los guatemaltecos (Fuentes López, Van Etten, Aparicio, & Vivero Pol, 2005; Roberto & López, 2002).

El cambio climático es uno de los factores de riesgo en la producción de maíz (Schmidt, Eitzinger, Sonder, & Sain, 2012) puede incrementar las poblaciones de plagas como *S. frugiperda* reduciendo los ciclos y aumentando el número de generaciones en los cultivo provocando más daños (de Lange et al., 2018); aunado a esto el uso indiscriminado de agroquímicos hace necesario la búsqueda de alternativas más sostenibles de producción (Garzona, 2009), ya que el uso de insecticidas causan desequilibrio en el ecosistema aumentando el riesgo de nuevas plagas ya que se eliminan los enemigos naturales.

Uno de los desafíos de la investigación es promover una agricultura sustentable y al mismo tiempo tener productividad en las áreas de producción de maíz y el uso de la resistencia directa e indirecta de las plantas a insectos plaga es una herramienta del control biológico (Arimura, Kost, & Boland, 2005; Bernays & Chapman, 1994).

La utilización de volátiles como herramientas de control biológico han sido utilizadas en cultivos como cítricos, identificando y evaluando los compuestos como cebos para captura de *Diaphorina citri* (Amorós et al., 2019), otro ejemplo es identificación de los volátiles de guayaba utilizadas como repelentes contra *Diaphorina citri* reduciendo la llegada del insecto hasta dos años, también los volátiles son parte fundamental del sistema *push.pull* que es utilizada con éxito en áreas de cultivo en África (Yan, Zeng, & Zhong, 2015) entender las interacciones insecto-planta puede identificar variedades criollas de maíz que tengan resistencia directa a *S. frugiperda* y que puedan emitir volátiles que recluten a los enemigos naturales, *Orius insidiosus*) y *Telenomus* reducir el daño de *S. frugiperda*.

6. Pregunta de investigación:

¿Las variedades criollas de maíz tienen niveles de antibiosis (desempeño) o no preferencia (preferencia hospedera) ante el gusano cogollero (*S. frugiperda*), presentando defensas directas que reducen el daño del mismo?

7. Delimitación en tiempo y espacio

7.17.2 Delimitación en tiempo

Se obtuvo semillas de las diferentes variedades criollas de maíz en el Instituto de Ciencia y Tecnología (ICTA) y de las 3 regiones principales productoras de maíz criollo del occidente de la república de Guatemala (Instituto Nacional de Estadística, 2015) estos se realizó en los meses de febrero a mayo del 2020.

Las evaluaciones de las defensas directas de las variedades criollas se realizarán en los meses de junio a diciembre del 2010-2021

7.2 7.2 Delimitación espacial:

Todas las evaluaciones se tendrían estipuladas para realizar en las instalaciones de la facultad de Agronomía USAC, Ciudad universitaria Zona 12, debido a la pandemia de COVID-19 estas se realizaron en un invernadero experimental y en un laboratorio privado ubicados en la colonia fuentes del valle II, en el municipio de villa nueva, Guatemala, Guatemala.

La parte inicial de la siembra de las variedades de maíz se realizó en el Centro de Docentes de Agronomía -CEDA- y esta se trasladó al invernadero experimental, así como la parte de evaluación y experimentos se realizarán en el laboratorio de entomología de la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos -UVIGER-, como también en el laboratorio privado.

El espacio para llevar a cabo la investigación se muestra en el siguiente mapa:

MAPA DE UBICACIÓN CEDA Y UVIGER, FAUSAC

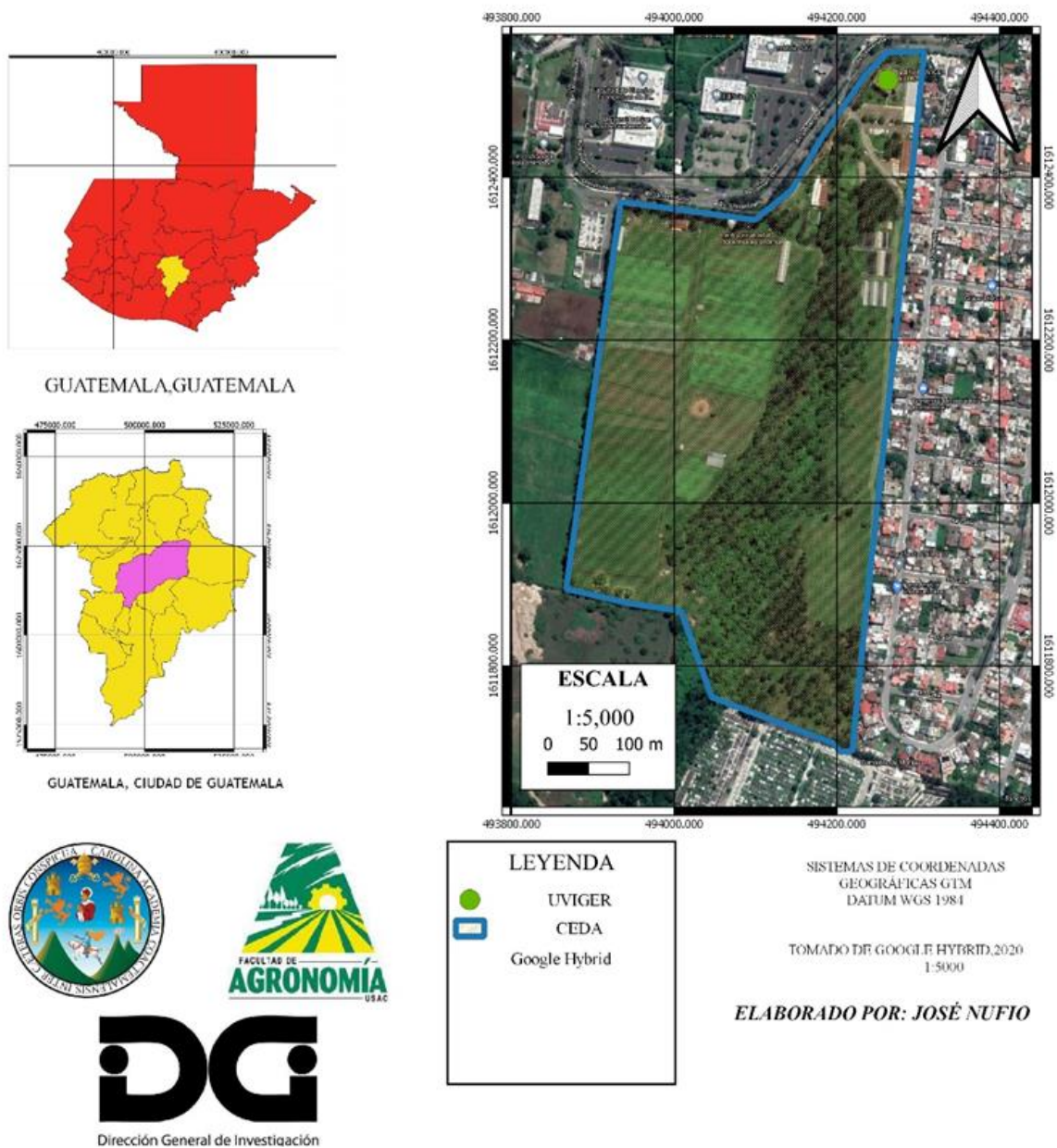


Imagen 1. Mapa de ubicación del CEDA y UVIGER

8. Marco teórico:

8.1 Control Biológico

El control biológico implica el uso, de poblaciones de enemigos naturales para reducir temporal o permanentemente las poblaciones de plagas de baja densidad. En algunos casos, las poblaciones de enemigos naturales se manipulan para provocar un cambio permanente en las redes alimenticias que rodean la plaga (Van, Hoddle, & Center, 2007).

El método biológico se propone como una alternativa ecológica para sustituir el control en base a plaguicidas y las razones que lo impulsan a nivel mundial son paradójicamente desventajas del control químico (Chambers, Long, & Helyer, 1993); y estas son: alto costo de los productos químicos, resistencia adquirida de la plaga, ruptura del balance natural en la naturaleza que destruye la fauna silvestre incluyendo a insectos benéficos, contaminación ambiental y el impacto negativo en la salud de los trabajadores y consumidores (Colfer, Rosenheim, Godfrey, & Hsu, 2003).

8.2 Resistencia de plantas

Las plantas están constantemente afectadas por efectos abióticos siendo los ambientales generando una adaptación a su medio, de igual manera están relacionada con una gran cantidad de organismos biológicos como los son, fauna, flora, fitófagos, patógenos y los virus, por lo que generan una adaptación y por ende una resistencia. Las plantas resistentes son aquellas que, en igualdad de condiciones, tienen menos infestación o daño a un insecto debido a su constitución genética (Rossetto, 1973).

8.3 Interacciones entre una planta e insecto

Para percibir la presencia de insectos plaga, las plantas se valen de secreciones que estos liberan, provocando la producción de metabolitos tóxicos o repelentes de naturaleza muy volátil por parte de las dichas plantas. Dichas volátiles desempeñan un papel importante en el defensa de la planta. Algunos de esto compuesto parecen ser comunes en muchas especies, encontrando principalmente aldehídos, alcoholes, ésteres, y terpenoides. Sin embargo, algunos otros compuestos sirven para atraer a los depredadores y parásitos como medio de control de la plaga agresora (Intagri, 2017).

Tabla 1. Mecanismos internos y externos de defensa en las plantas.

Mecanismo internos y externos de defensa en las plantas	
Mecanismos internos de defensa en la planta	
Barrera en la superficie	Se encuentran; la cutina, suberina y las ceras
Barreras internas	Se encuentran; la cutina, suberina y las ceras
Metabolitos Secundarios	Se encuentran; compuestos que contienen nitrógeno (alcaloides), terpenos (piretrinas y aceites esenciales), compuestos fenólicos (alelopatías)
Mecanismos de defensa inducida en la planta	
Resistencia de gen a gen	Mejoramiento Genético
Resistencia hipersensitiva	Sistema inmunitario innato (resistencia natural, bloqueo de células, muerte celular programada).
Resistencia sistemática adquirida (RSA)	Immune por ataques anteriores (ruta-ácido salicílico).
Resistencia sistemática inducida (RSI)	Immune por ataques anteriores (ruta-ácido jasmonico y etileno)
Resistencia inducida por mordeduras	Mecanismo de sellado-sistemática hormonal (ácido jasmónico)
Resistencia inducida por elicitores (Inductores)	Agroquímicos con función específicas-fosfito, quitosano, azúcares, proteínas, jasmonato, etileno (formación de fitoalexinas)
Resistencia inducida por químicos	Reducción de estrés, expresión de potencial genético, aporte a procesos fisiológicos específicos (aminoácidos, biorreguladores micro elementos).

Fuente: (Intagri, 2017)

8.4 Defensas Directas

Un mecanismo de adaptación de plantas, es su habilidad de reconocer y responder rápidamente frente a un posible invasor mediante respuestas de defensa. Respuestas gen-gen se observan cuando un patógeno con un gen dominante de avirulencia es reconocido por una planta con un gen dominante de resistencia (R); en interacciones incompatibles el hospedero es resistente, pero en las compatibles no hay reconocimiento gen-gen, el patógeno es virulento y el hospedero susceptible. En las respuestas de resistencia gen-gen, mediadas por hormonas como ácido salicílico (SA), ácido jasmónico (JA) y etileno (ET), las plantas presentan mecanismos de defensa mediante efectores, con producción de metabolitos, proteínas y acumulación de calosa y lignina (Glazebrook, 2005).

Recientemente se ha estudiado que la saliva de los insectos o los fluidos secretados durante la puesta de huevos serían posibles transportadores de compuestos que activan el sistema inmunológico de las plantas atacadas.

La saliva de larvas de la oruga militar (*Spodoptera exigua*), aparentemente, la membrana de las células de las hojas posee un receptor para estos compuestos que le permite a la planta percibir el ataque de los insectos y, así, activar sus defensas. Los iones de calcio han sido identificados como posibles mensajeros celulares frente a la repuesta a estreses abióticos y bióticos, como la deshidratación y el daño por insectos. Estos iones se acumulan dentro de las células dañadas y activan moléculas de calmodulina y otras proteínas sensibles al calcio, induciendo la activación de pasos metabólicos y la transcripción de genes relacionados con las defensas. El daño celular en hojas de *Phaseolus lunatus* (una especie de frijol) producido por larvas de *Spodoptera litoralis* (oruga militar) aumenta la cantidad de calcio que activa la calmodulina, compuesto que se une a proteínas del núcleo celular para activar la expresión de genes de defensa (Zabala, 2020).

8.4.1 Antibiosis

Esta es un mecanismo por el cual las plantas afectan el crecimiento, desarrollo o supervivencia del mismo, incluso algunas proteínas pueden inhibir el crecimiento y desarrollo de los áfidos, produciendo antibiosis (Luciana & Castro, 2011).

8.4.2 No Preferencia

La antixenosis o no preferencia, permite a las plantas no compatibilizar con el insecto, evitando que éste la utilice para oviposición, alimento o refugio. Dicho mecanismo afecta en forma adversa el comportamiento del insecto no permitiéndole parasitar ciertos genotipos de sus hospedantes (Luciana & Castro, 2011).

8.5 Defensas Indirectas

Frente al ataque de insectos las plantas responden produciendo compuestos volátiles, como los monoterpenos o sesquiterpenos, que atraen a insectos carnívoros o parasitoides que se alimentan de las larvas que dañaron las hojas. Es interesante destacar que el ácido jasmónico regula la activación no solo de las defensas directas, ya mencionadas, sino también las indirectas (volátiles), coordinando la defensa contra los insectos herbívoros. Tanto los insectos carnívoros como los parasitoides tienen

receptores que pueden detectar los diferentes compuestos volátiles que emiten las plantas. La atracción de avispas parasitoides por compuestos volátiles de plantas es un fenómeno bastante conocido y muy bien estudiado en el maíz. Este responde al daño producido por larvas de Lepidópteros *Spodoptera litoralis* emitiendo volátiles específicos que atraen al parasitoide Cotesia, que ovipone sobre estas larvas (Zabala, 2020).

8.6 Cultivo del maíz

El cultivo del maíz, *Zea mays* L. (Fam. Poaceae), es uno de los cultivos de subsistencia más importantes en Guatemala y el mundo debido a sus diversos usos en la agroindustria, siendo base de la dieta en la población guatemalteca.

8.6.1 Descripción del maíz (*Zea mays*, L.)

Esta es una planta monocotiledónea que es cultivada a lo largo de todo el mundo, siendo un alimento de consumo básico en el mundo. Perteneciente a la familia de las Poáceas, de la tribu *Maydeas*, las especies del género *Tripsacum* son formas salvajes parientes del maíz, también con origen americano, pero sin valor económico directo (Sánchez, 2020).

8.6.2 Taxonomía

El maíz (*Zea mays* L.) está la siguiente clasificación taxonómica.

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

8.6.3 Características Botánicas

El *Zea mays* L., tiene la siguiente característica botánicas; (Guacho, 2014).

8.6.3.1 Raíces

Son fasciculadas y su misión es aportar un perfecto anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias (Guacho, 2014).

8.6.3.2 Tallo

Simple, erecto en forma de caña y macizo en su interior, tiene una longitud elevada pudiendo alcanzar los 4 metros de altura, además es robusto y no presenta ramificaciones (Guacho, 2014).

8.6.3.3 Hojas

Son largas, lanceoladas, alternas, paralelinervias y de gran tamaño. Se encuentran abrazando al tallo y con presencia de vellosidad en el haz, además los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes (Guacho, 2014).

8.6.3.4 Inflorescencia

Es una planta monoica pues presenta inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. La inflorescencia masculina es una panícula (vulgarmente denominado espigón o penacho) de coloración amarilla que posee aproximadamente entre 20 a 25 millones de granos de polen, además cada flor que compone la panícula contiene tres estambres donde se desarrolla el polen.

En cambio, la inflorescencia femenina cuando ha sido fecundada por los granos de polen se denomina mazorca, aquí se encuentran las semillas (granos de maíz) agrupadas a lo largo de un eje, esta mazorca se halla cubierta por hojitas de color verde, terminando en una especie de penacho de color amarillo oscuro, formado por estilos (Guacho, 2014).

8.6.3.5 Grano

La cubierta de la semilla (fruto) se llama pericarpio, es dura, por debajo se encuentra la capa de aleurona que le da color al grano (blanco, amarillo, morado), formando un solo cotiledón que, constituido por proteínas y en su interior se halla el endospermo con el

85-90% del peso del grano. El embrión está formado por la radícula y la plúmula (Guacho, 2014).

8.6.4 Ciclo de cultivo

Las variedades de maíz suave son diferentes para cada zona. Por lo general la mayoría de los productores siembran desde septiembre hasta mediados de enero, coincidiendo la siembra con el inicio del periodo de lluvias, obteniendo de esta forma un mayor grado de germinación y producción. El ciclo del cultivo, en variedades mejoradas, llega hasta los 270 días; sin embargo, el periodo depende de la variedad y del propósito, si es para choclo o grano seco (INIAP, 2011).

Esta atraviesa por distintas fases de crecimiento y desarrollo a lo largo de su ciclo, la cuales se caracterizan por cambios cualitativos en los órganos. El periódico vegetativo se subdivide en estadios identificados con la letra V y su subíndice, que señale el número de orden de la última hoja completamente expandida, el índice VE se utiliza para identificar la emergencia del cultivo. El número total de subdivisiones de periodo vegetativo varía con el genotipo y el ambiente considerando, por modificar ambos el número de hojas. Una vez producida la aparición de todas las hojas, el estado es definido por la aparición de la panoja, que corresponde a (VT): panojamiento.

El período reproductivo este se subdivide en estadios con la letra R y con un subíndice, el Comienza con la emergencia de los estigmas (R1), continua con el cuaje del grano (R2) y el llenado de los granos (R3= grano lechoso, R4=grano patoso y R5 grano Duro o indentado) y finaliza con la madurez fisiológica (R6).

Las etapas de crecimiento se pueden agrupar en cuatro grandes períodos:

- *Crecimiento de la plántula (etapas VE Y V1)*
- *Crecimiento vegetativo (etapas V2, V3—Vn)*
- *Floración y la fecundación (Etapas VT, R0 Y R1)*
- *Llenado de grano y la madurez (etapas R2 a R6)*

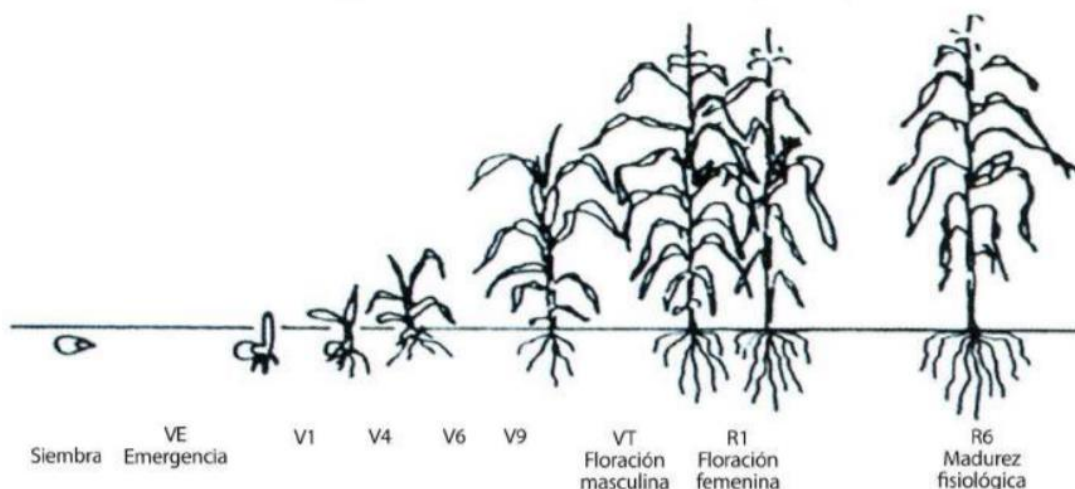


Imagen 2. Etapas fenológicas del cultivo del Maíz (*Zea mays* L.)

Fuente: Imagen adaptada (Orellana & Ernesto, 2014).

8.6.5 El origen maíz (*Zea Mays* L.)

Este surgió aproximadamente entre los años 8 000 y 600 AC en Mesoamérica (México y Guatemala), probablemente a lo largo del acantilado occidental de México Central o del Sur, a 500 km de la Ciudad de México. El ecosistema que dio lugar al maíz era de invierno – seco estacional en alternancia con las lluvias de verano- y en una región montañosa, de cuevas empinadas y sobre roca caliza. Las propiedades anteriores también describen el área mayor ocupada por el género *Tripsacum*. (Acosta, 2009)

El maíz es el principal cultivo alimenticio en Guatemala, que es a su vez, centro de origen y diversidad de esta especie. Basados en caracteres morfológicos, determinaron que existen 13 razas y 9 sub razas en el país (Santos, López, Avila, Sivera, & Longo, 2007).

8.6.6 Valor nutricional

El cereal posee importantes cantidades de dos antioxidantes: la zeaxantina, que juega un importante papel en la salud de nuestros ojos, y la luteína, que protege la piel de los rayos del sol y previene su envejecimiento. Es por último una importante fuente de fibra que ayuda a regular la digestión, así como los niveles de colesterol y glucosa en sangre. (Alimente, 2019)

Tabla 2. Valores nutricionales en 100 g

Calorías	95 kcal
Carbohidratos	18.3 g
Grasas	0.8 g
Proteínas	3.2 g
Fibra Alimentaria	3.8 g

Kcal = kilocalorías**g** = gramo**Fuente:** Datos obtenidos de (Alimento, 2019).

Las vitaminas esenciales presentes en Grano de maíz, amarillo son: Vitamina B-3 (3,6 mg), Vitamina A (214 mg) y Vitamina B-9 (19 mg).

El cuerpo usa minerales para realizar algunas funciones diferentes -desde produce huesos fuertes a la transmisión de impulsos nerviosos. Como las vitaminas, los minerales ayudan al crecimiento del cuerpo, su desarrollo y que se mantenga saludable (Todo Alimentos, 2020).

Potasio (287 mg), Fósforo (210 mg) y Magnesio (127 mg) son algunos de los minerales presentes en Grano de maíz, amarillo (Todo Alimentos, 2020).

8.6.7 Dieta alimenticia del guatemalteco

En Guatemala un gran sector de la población no alcanza a cubrir sus necesidades energéticas, ni proteínicas, ni las de vitamina A ni hierro. El consumo de los alimentos está determinada relación al ingreso mensual, se estima que en la mayoría de las familias guatemaltecas se dificulta tener acceso a la canasta básica alimentaria. Aunque los salarios mínimos para actividades agrícolas se han incrementado (alrededor de Q.25.00) estos no llenan la expectativa de cubrir las necesidades de cubrir los requerimientos mínimos. La dieta básica del guatemalteco está compuesta por la asociación de cereal/leguminosa, en donde el maíz y el frijol son de relevante importancia, como puede observarse en el cuadro 2 (Fuentes, 2002)

Tabla 3 . Aporte Nutricional de los granos básicos

Producto	Nivel de Ingreso Mensual (Q)	Aporte en Calorías (kcal)	Aporte en proteínas (grs)	Aporte en Grasas (grs)
Maíz y derivados (tortillas)	< 500.00	897	23.20	12.60
Maíz y derivado(tortillas)	550.00-900.00	99	1.70	0.50
Maíz y derivados (tortillas)	> 900.00	111	1.90	1.3

Fuente: Adaptado de (Fuentes, 2002)

8.6.8 Variedades de estudio, breve descripción de las plagas

La producción de maíz es afectada por varios factores que ocasionan daños en la producción al no ser controlados. Este es el caso de las plagas y las enfermedades que cíclicamente se presentan y atacan a las plantas. (AgroSintesis, 2016)

8.6.9 Plagas

Entre sus plagas se encuentran las siguientes:

- Gusanos trozadores, *Agrotis ipsilon*, (*Feltia subterranea* y *Peridroma saucia* Hubner)
- Trips, *Caliothrips phaseoli* (Hood), *Frankiniella* spp
- Pulgón cogollo, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch)
- Gusano elotero, *Helicoverpa zea* (Boddie)
- Chinchas apestosas, *Nezara viridula* (L) y (Say)
- Araña roja, *Tetranychus* sp
- Chicharrita del maíz, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott)

Los últimos años, la incidencia de insectos se ha incrementado considerablemente en el cultivo de maíz. Una de las plagas más importantes es el gusano cogollero que, de cierta forma, ha tenido la capacidad de cambiar de hábitos. (AgroSintesis, 2016)

8.7 *Spodoptera frugiperda*

El gusano cogollero *S. frugiperda* es un insecto holometábolo (huevo, larva, pupa y adulto): Las hembras tienen una capacidad de oviposición de 30 hasta 300 huevos formando una masa de huevos agregadas en capas. Aproximadamente después de 3 días las larvas eclosionan y pasan por seis o siete estadios hasta el último instar, esto sucede en aproximadamente 18 días a 25 ° C (Cruz, Figueiredo, Gonçalves, Lima, & Diniz, 1997).

La clasificación de la *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) es:

- *Reino: Animal*
- *Sub-reino: Bilate*
- *Infra-reino: Protostomia*
- *Superphylum: Ecdysozoa*
- *Phylum: Arthropoda*
- *Subphylum: Hexapoda*
- *Clase: Insecta*
- *Subclase: Pterygota*
- *Infraclase: Neoptera*
- *Superorden: Holometabola*
- *Orden: Lepidoptera*
- *Superfamilia: Noctuoidea*
- *Familia: Noctuidae*
- *Subfamilia: Noctuinae*
- *Tribu: Prodeniini*
- *Género: Spodoptera*
- *Especie: Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797)*

Es considerada una plaga polífaga, debido a que es reportada en más de 80 especies hospederas, pero su importancia radica en que es considerada la principal plaga en el cultivo de maíz (Filho Wordell et al., 2016; Pogue, 2000; Rajapakse & Walter, 2007).

El principal daño lo ocasiona la larva al alimentarse de las hojas de la planta de maíz, este daño puede llegar hasta un 90% en ataques severos disminuyendo la producción hasta un 55% (Cruz et al., 1997).

8.7.1 Morfología

Según Sánchez y Vergara (2010), la morfología de *Spodoptera frugiperda* es la siguiente (Ojeda, Roberto, 2018):

8.7.2 Adulto.

Presenta dimorfismo sexual. En la hembra las alas anteriores son de color gris uniforme a marrón con manchas apenas perceptibles. Las alas del macho de color pardo – grisáceo con un par de manchas irregulares y claras hacia la región central y una línea de color blanco hacia la región anal. Expansión alar; 30 – 38 mm.

8.7.3 Huevos.

Son de color blanco amarillento brillantes y de 0.5 mm de diámetro, esféricos y achatados en uno de sus polos. Ovipositados en masa y cubiertos con escamas gris rosadas de las hembras.

8.7.4 Larva.

Esta cuenta con 6 estadios larvales los cuales son (Guzman & Rodriguez, 2016):

- **Estadios larval 1 tardío (1):** la larva recién emergida tiene la cabeza más grande que el resto de su cuerpo. Además, las setas (vellosidades) en todo su cuerpo son muy visibles.
- **Estadios larval 2 tardío (2):** A medida que se desarrolla la larva, las bandas antocianóticas en el costado son más notorias.
- **Estadios larval 3 tardío (3):** En este estadio, las líneas longitudinales de color rojizo son evidentes y están presentes en todo su cuerpo.
- **Estadios larval 4 tardío (4):** En este estadio, las líneas longitudinales de color rojizo son evidentes y están presentes en todo su cuerpo.
- **Estadio larval 5 tardío (5):** La larva toma un color café oscuro, al tiempo que sus setas son poco visibles
- **Estadio larval 6 tardío (6):** La larva en este estadio tiene una apariencia notable en su desarrollo: los segmentos son poco visibles, con una tonalidad brillante.

Pupa. - De color marrón oscuro y mide de 18 a 20 mm de longitud. (Ojeda, Roberto, 2018)

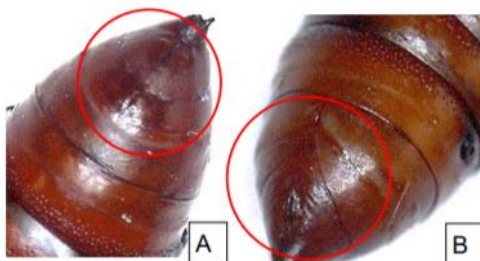


Imagen 3. Estado de Pupa en ambos sexos de *Spodoptera frugiperda* (A) macho (B) Hembra

Fuente: (Álvarez, 2019)

8.7.5 Ciclo de vida del cogollero

Esta plaga pasa por cuatro diferentes etapas: huevo, larva, pupa y adulto. Las hembras depositan los huevecillos en forma de masas durante la noche y las pueden colocar en el haz o envés.

Los huevecillos son de forma globosa con estrías radiales, de color rosa pálido al principio y finalmente de color gris.

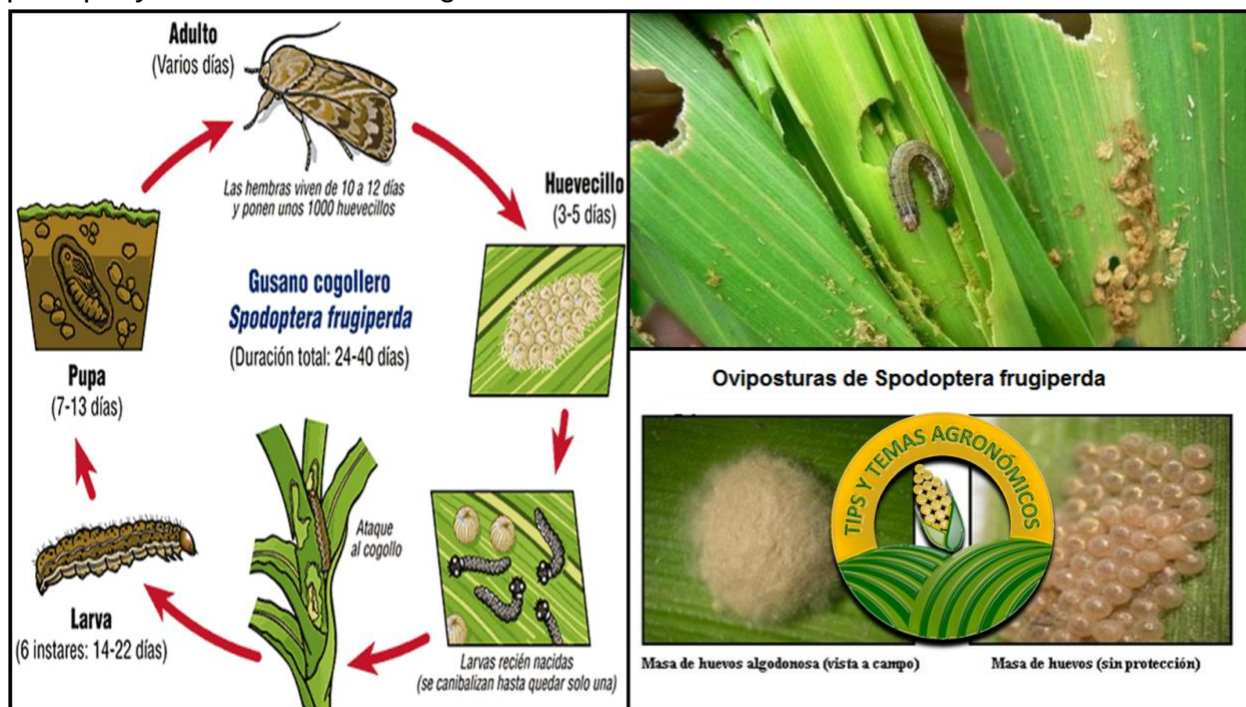


Imagen 4. Ciclo de vida de la *S. frugiperda*.

Fuente: Adaptado de (Agropecuaria, 2021)

8.7.6 Insectos benéficos como agentes de control biológico de *S. frugiperda*

Un método de control biológico de las plagas , es la utilización de insectos benéficos , como los enemigos naturales de la plaga , para la regulación de sus poblaciones; por lo tanto, es necesario realizar actividades de conservación como la desarrolla la entomofauna benéfica, ya que los insectos parasitoides y depredadores muchas veces están asociados con el control natural de poblaciones plaga, así como a las condiciones ambientales específicas en las cuales se desarrolla esta interacción. Esta dinámica se ha visto afectada por el uso de pesticidas los cuales han disminuido la entomofauna benéfica.

8.7.7 Parasitoides contra *S. frugiperda* en el cultivo de maíz

Los cuales son insectos que se desarrollan, ya sea dentro o fuera de su hospedero hasta causar la muerte por lo general, son para el control específico de un hospedero Algunas pequeñas avispas son altamente activas, como los de las familias Braconidas e Ichneumonidae; estas suelen identificar a su hospedero mediante diversas señales sensoriales, una vez que lo ubican depositan sus huevecillos sobre o dentro del huésped, provocando la muerte de este cuando las larvas de los parasitoides consumen sus tejidos (Figura) .Por lo anterior, el comportamiento de este tipo de insectos es utilizado ampliamente para el control biológico de algunos insectos plaga. En este sentido, alrededor de 76% de la entomofauna benéfica total son parasitoides y se consideran de mayor importancia en comparación con los depredadores (Trejo, y otros, 2018).

8.7.8 Depredadores para el control de *Spodoptera frugiperda*

Estos se consideran como insectos polípagos, de modo que son menos específicos que los parasitoides, de estos destaca los hemimetábolos, el orden Hemíptera es uno de los más efectivos, sobresaliendo la familia Pentatomidae, Lygaeidae, Nabidae, Miridae, entre otros. Ejemplo de estos es la chinche pirata (*Orius insidiosus*) (Say) (Hemíptera: Anthrenidae) el cual es depredador de la mosca de los estigmas en diferentes estados biológicos y por lo que se considera promisorio para ser utilizado como agente de control biológico, además de que se ha observado que se alimenta de huevos de lepidópteros; la chinche asesina *Sinea sp.*, (Hemiptera: Reduviidae) que depreda larvas de *S. frugiperda* (Hernández, y otros, 2019).

8.7.9 Estado del arte:

El maíz y sus interacciones tritróficas han sido muy investigadas y los resultados reflejan que los volátiles de maíz son mayores en las variedades menos sometidas a selección como muestra el estudio tritrófico que comprendió teosinte (*Zea spp.*), el ancestro del maíz, *Spodoptera frugiperda* y *Campoletis sonorensis* Cameron (Hymenoptera: Ichneumonidae) de Lange et al., 2018 determinó que en las plantas más silvestres emitían mayor cantidad de volátiles y perfiles de volátiles diferentes y en las mismas el daño del herbívoro fue menor en un experimento de campo.

La oviposición de *Chilo partellus* Swinhoe (Lepidoptera: Crambidae) fue diferente en cinco diferentes teosintes y estas especies también tenían cambios en los volátiles producidos por lo que su atractivo fue diferente en los parasitoides de huevo *Trichogramma bournieri* Pintureau & Babault (Hymenoptera: Trichogrammatidae) como a la de larva *Cotesia sesamiae* Cameron (Hymenoptera: Braconidae) (Mutiyambai et al., 2015). Los volátiles producidos también puede ser aerotransportada y ser un efecto priming en las plantas vecinas (Mutiyambai et al., 2016; Peñaflor, Erb, Miranda, Werneburg, & Bento, 2011). El continuo mejoramiento de los cultivos en busca de la productividad es contraproducente porque se pierden los rasgos de defensa como lo demuestran Tamiru et al., 2011.

Los volátiles también son diferentes dependiendo del tipo de hábito de alimentación de los herbívoros en un estudio se comparó larva folívora (*Spodoptera littoralis*), un barrenador (*Ostrinia nubilalis*) y un áfido (*Rhopalosiphum maidis*), los perfiles de volátiles en la planta de maíz fue diferente llegando a la conclusión que los volátiles son específicos para cada especie y su enemigo natural (Elena Hoballah, G. Köllner, Degenhardt, & C. J. Turlings, 2004; Sotelo, 1997; Turlings et al., 1998), además los parasitoides son específicos en cuanto a su preferencia de volátiles de daños recientes o daños antiguo en maíz (M. E. Hoballah & Turlings, 2005).

Hoballah, Tamò, y Turlings, (2002) determinaron que hay diferencia entre la cantidad y la calidad de volátiles emitidos en 12 variedades de maíz utilizados en la atracción del parasitoide generalista *Cotesia marginiventris* por lo que la posibilidad de obtener variedades criollas con alta emisión de volátiles inducidos por la herbívora es una opción para un mayor reclutamiento de parasitoides o depredadores. Las variedades OPV Jowi y Nyamula, recolectadas de agricultores en el oeste de Kenia demostraron

tener mayor cantidad de volátiles para la atracción de la avispa parasitoide *Cotesia sesamiae* (Tamiru et al., 2012).

Las diferentes variedades de maíz nativas confieren diferentes niveles de resistencia por lo que identificarlas es una opción de control biológico utilizando la resistencia (Cortez-Mondaca, Pérez-Márquez, & Bahena-Juárez, 2012; Oliveira, 2017; Reséndiz Ramírez et al., 2017)

9. Objetivos

9.1 General

El siguiente proyecto tiene como objetivo evaluar las defensas directas y el efecto de los volátiles de las variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) con infestación del gusano cogollero *S. frugiperda* y su atractividad para los enemigos naturales *O. insidiosus* y *Telenomus* sp.

9.2 Especifico

- a) Evaluar la preferencia de oviposición de hembras de *S. frugiperda* en las diferentes variedades criollas de maíz (*Z. mays*)
- b) Evaluar la mortalidad de larvas de primer instar de *S. frugiperda* en las diferentes variedades criollas de maíz (*Z. mays*)
- c) Evaluar el consumo foliar de larvas de primer instar de *S. frugiperda* en las diferentes variedades criollas de maíz (*Z. mays*)
- d) Evaluar la ganancia de peso de larvas de tercer instar de *S. frugiperda* en las diferentes variedades criollas de maíz (*Z. mays*)

10. Hipótesis:

- a) Existe alguna variedad de maíz (*Z. mays*) criollo que reduce la preferencia hospedera de *S. frugiperda* (Oviposición)
- b) Existe alguna variedad de maíz (*Z. mays*) criollo que sea desfavorable para el desempeño de *S. frugiperda* (Mortalidad, consumo foliar y ganancia de peso).

10.1 Explicar cómo contribuye la investigación propuesta a la solución de problemas nacionales.

La identificación de una variedad criolla de maíz con características de resistencia o de emisión de volátiles que pueda reducir el daño del gusano cogollero, puede ser el inicio de programas de mejoramiento genético con fines de resistencia. Al comprobar que las variedades criollas emiten volátiles para atraer enemigos naturales, se podrían identificar estos volátiles y utilizarlos en plantaciones comerciales para mantener regulada la plaga de gusano cogollero con la atracción de parasitoides y depredadores.

12. Materiales y métodos

12.1 12.1 Enfoque y tipo de investigación

12.1.1 Indicar el enfoque de la investigación:

La presente propuesta de investigación es de carácter cuantitativo debido a que se explora desde el análisis estadístico, Preferencia de oviposición (Numero de huevos), Mortalidad (Numero de larvas muestras), Consumo foliar (centímetros cuadrados), Ganancia de peso (gramos), Preferencia olfativa (número de elecciones)

12.1.2 Indicar el tipo de la investigación:

Esta investigación es básica y aplicada porque reunió los criterios de profundizar el conocimiento de las infecciones insecto-planta y la potencial identificación de una variedad que tenga características de resistencia directa o indirecta en el control biológico de *S. frugiperda*.

12.2 12.2 Método

Se desarrollaron diseños experimentales para la medición de Preferencia de oviposición, Mortalidad, Consumo foliar, Ganancia de peso, Preferencia olfativa. Con cuatro tratamientos y 12 repeticiones para cada experimento, en cada caso se utilizaron diseños completamente al azar por ser ensayos en laboratorio

12.3 Técnicas e instrumentos:

12.3.1 Cultivo de las plantas de maíz

Las semillas fueron obtenidas del ICTA, y fueron sembradas 2 L. de volumen con 1.5 kilos de suelo en cada maceta. Se colocarán dos semillas por maceta después de 5 días

se realizarán la eliminación de una dejando únicamente una plántula por maceta. Para todos los ensayos fueron utilizados plántulas de 15-20 días de edad (estado vegetativo V4), las plántulas serán mantenidas con luz natural, y sin el control de temperatura y humedad, será irrigada según las necesidades de la plántula, 24 horas antes de realizar los experimentos serán llevados al laboratorio.

Las variedades evaluadas como tratamiento fueron las siguientes:

- Maíz blanco proveniente de Zaragoza, Chimaltenango
- Maíz amarillo proveniente de Zaragoza, Chimaltenango
- Maíz negro proveniente de Zaragoza, Chimaltenango
- Maíz amarillo proveniente de ICTA - Cuyuta, Escuintla
- Maíz negro proveniente de ICTA - Cuyuta, Escuintla
- Maíz comercial híbrido HB83

12.3.2 Cría *Orius insidiosus* y *Telenomus* sp.

Los insectos se obtuvieron de cría del laboratorio de entomología-UVIGER, los insectos fueron alimentados con huevos de *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) (Lepidoptera: Pyralidae) y estos fueron ofrecidos flores de mozote (*Bidens pilosa* L.) (Asteraceae) para que oviposite (V. H. P. Bueno, 2009; Silveira, Bueno, & Van Lenteren, 2004).

12.3.3 Cría de *Spodoptera frugiperda*

Los insectos fueron obtenidos principalmente en el CEDA y giras de campo a Escuintla y las larvas serán mantenidos en el laboratorio con dieta artificial según metodología de (V. H. P. Bueno, 2009; Lopes, Parra, Justi Jr., & Oliveira, 1989), los adultos serán mantenidos en jaulas cilíndricas con una solución de miel al 10% y papel mantequilla para su oviposición.

12.3.4 Diseño Experimental

Se desarrollaron diseños experimentales para la medición de Preferencia de oviposición, Mortalidad, Consumo foliar, Ganancia de peso, Preferencia olfativa. Con cinco tratamientos y 12 repeticiones para cada experimento, en cada caso se utilizarán diseños completamente al azar por ser ensayos en laboratorio.

12.3.5 Modelo Estadístico

Fue utilizado el modelo estadístico-matemático correspondiente al diseño completamente al azar.

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

Donde:

Y_{ij} = Respuesta de las variables (preferencia de oviposición, mortalidad, consumo foliar en mm. y ganancia de peso en gr.) ij -ésima de las 80 unidades experimentales (Macetas con 1 plántula de las variedades de maíz (*Z. mays*)).

μ = Media general de las variables de respuesta (preferencia de oviposición, mortalidad, consumo foliar en mm. y ganancia de peso en gr.) por tratamiento de maíz (*Z. mays*).

τ_i = Efecto del i -ésima tratamientos de maíz (*Zea mays* L.).

E_{ij} = Error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental ((Macetas con 1 plántula de las variedades maíz (*Z. mays*)).

12.3.6 Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron 5 (variedades de maíz) en las cuales fueron 4 criollas y una comercial que se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla 1 Tratamientos evaluados

Código tratamiento	Tratamiento (variedad de <i>Zea mays</i>)
1	Blanco criollo de Zagaroza
2	Amarillo criollo de costa
3	Negro criollo Zaragoza
5	Variedad comercial
4	Negro criollo de costa

12.3.7 Preferencia de oviposición

Las pupas de *S. frugiperda* se sexaron en base al dimorfismo sexual (LUGINBILL, 1928) con la ayuda de un microscopio estereoscópico luz led cuello de ganso con una vista de 40x . Se realizaron jaulas con vasos de polietileno (capacidad de 50 ml) se realizarán pequeños orificios en sus tapas que contendrán una pareja en cada jaula durante un período de 48 h para la cópula. Luego del período de apareamiento, se colocaron cuatro hembras dentro de cada jaula acrílica (30 x 30 x 60 cm) donde se encontraban 4 plántulas de maíz, variedad criolla 1, variedad criolla 2 variedad criolla 3 y variedad comercial. El sustrato y la maceta se cubrieron con papel de aluminio para evitar la oviposición en el suelo y la maceta. Dentro de cada jaula se colocará una placa de Petri (6 cm Ø) que contenía algodón empapado con una solución de miel al 10% para alimentar a las polillas. Después de 48 h de liberación femenina, se contaron los números de masas y huevos en las plantas. Las masas de huevos se retiraron de las plantas con un pincel húmedo y delgado y se transfirieran a placas de Petri para contar los huevos bajo un microscopio estereoscópico. Los huevos se separaron de la masa con la ayuda de dos pinceles delgados, donde se extraerán cuidadosamente de la masa mediante toques suaves. Se realizarán 12 repeticiones en una sala (25 ± 2 °C, $60 \pm 10\%$ de humedad relativa y 12 h de fotofase).

12.3.8 Consumo folia de larvas de primer instar de *S. frugiperda*

El consumo foliar en la variedad criolla 1, variedad criolla 2, variedad criolla 3, variedad criolla 4 y variedad comercial por larvas de primer estadio de *S. frugiperda* se evaluó en un ensayo sin opción de elección. Para esto se utilizó una estructura que sirviera de plataforma que consistía en una placa de Petri (9 cm de diámetro) con un corte horizontal en el fondo de la placa, de aproximadamente 1.5 cm de largo, para el paso de la tercera hoja de la planta de maíz. El algodón se colocó entre la hoja y la placa cortada para evitar el escape de las larvas. Luego, 40 larvas de *S. frugiperda* de primer instar fueron liberadas en las placas cerradas. Después de 7 horas desde el inicio de la alimentación, se retiraron las larvas y se cortaron las hojas y se calculó el área consumida en mm². Las plantas se colocaron al azar dentro del laboratorio (25(2) °C, HR 60(10)% y fotofase 10 h), totalizando ocho réplicas de cada tratamiento.

12.3.9 Ganancia de peso de larvas de tercer instar de *S. frugiperda*.

Inicialmente, se colocaron 10 larvas de *S. frugiperda* en el tercer estadio durante 12 h en un horno a 60 °C y luego se pesaron individualmente en una balanza analítica, para estimar la masa seca inicial, que se consideró el promedio de las 10 repeticiones. Un segundo grupo de larvas de 3er instar de la misma generación que las larvas de *S. frugiperda* anteriores se colocaron en plantas de maíz variedad criolla 1, variedad criolla 2 variedad criolla 3, variedad criolla 4 y variedad comercial (1 oruga / planta) encerradas en una jaula cilíndrica de "clip-cage" (1 cm de alto x 2 cm de diámetro), con un total de 12 repeticiones de cada tratamiento. Las jaulas con orugas se desplazaban sobre la hoja diariamente para que siempre hubiera comida disponible. Después de las 72 horas se recogieron y se deshidrataron en un horno (12 h a 60 °C) y se pesaron para obtener la masa seca. La ganancia de masa se estimó restando la masa seca final de la masa seca promedio inicial (obtenida de la alícuota de 10 larvas). Las plantas se colocaron al azar dentro del laboratorio (25(2) °C, HR 60(10)% y 10 h de fotofase).

12.3.10 Mortalidad de larvas de primer instar de *S. frugiperda*

Para este experimento, se liberaron 10 larvas del gusano cogollero de 1er instar en la hoja candela de cada planta de maíz, variedad criolla 1, variedad criolla 2 variedad criolla, variedad criolla 4 y variedad comercial y cada jaula se envolvieron con tela anti-afidos para evitar el escape de insectos. Después de un intervalo de 24, 48 y 120 h, con la ayuda de un pincel, se determinó el número de larvas muertas contando el número de larvas vivas en cada tratamiento. Las plantas de cada tratamiento se colocarán al azar dentro del laboratorio (25 ± 2 °C, HR 60 ± 10% y fotofase de 10 h), con un total de 8 repeticiones.

12.3.11 Defensas Indirectas usando *Orious insidiosus* y *Telenomus*

Estos ensayos no se pudieron realizar, debido que por motivos de pandemia de COVID-19 no se pudo hacer la compra de los instrumentos como el olfatometro, así como la cámara bioclimáticas para la cría de *Telenomus* sp. y *Orious Insidiosus*, esto por la falta de seguimiento y poco personal del departamento de compras de la DIGI 2020.

13. Estrategia de difusión y divulgación

En relación a la estrategia de difusión y divulgación se realizaron las siguientes actividades:

- Un curso corto sobre las interacciones Insecto-Planta y ecología química.
- Un artículo científico sobre variedades criollas de maíz y su importancia en el control biológico de plagas.
- Presentación de Resultados en el Simposio Guatemalteco de Control Biológico

14. Vinculación

Se pueden crear vínculos con Organizaciones Gubernamentales para que apoyen la creación de los Centros de mejoramiento de variedades de maíz. Debido a que los resultados encontrados indica que la variedad 1 de maíz “Blanco Zaragoza” generaremos investigación aplicada sobre alternativas al uso de Insecticidas Químicos. Vínculos con organismos internacionales que manejen laboratorios de Ecología Química de Insectos para el control de plagas.

15. Procesamiento y análisis de la información:

Para evaluar el efecto de las defensas directas de las variedades criollas de maíz sobre *S. frugiperda* fue usado GLM (Modelo Linear Generalizado) con distribución de Poisson y Binomial Negativa. La prueba de Verosimilitud (log-likelihood ratio) fue utilizada para comparar el efecto de los tratamientos, seguido de comparaciones de Bonferroni $p = .05$. La calidad del ajuste fue determinada a través de una gráfica seminormal.

Todos los análisis fueron hechos utilizando el software R 3.6 (R Core Team, 2019) utilizando los siguientes paquetes lme4 (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015), emmeans (Searle, Speed, & Milliken, 1980), drc (Ritz, Baty, Streibig, & Gerhard, 2015) e hnp (Moral, Hinde, & Demétrio, 2017).

16. Resultados

Los resultados evaluando las defensas directas en las 5 variedades de maíz evaluadas contra *Spodoptera frugiperda* son los siguiente:

16.1 Consumo foliar en larvas del primer Instar de *S. frugiperda*

En la evaluación del consumo foliar de las variedades criollas evaluadas se determinó que hay una variedad menos consumida que las demás (GLM prueba de razón de verosimilitud $X^2 = 151.43$, d.f. = 4, $p < .001$, figura 1), siendo esta la Variedad criolla 1 .

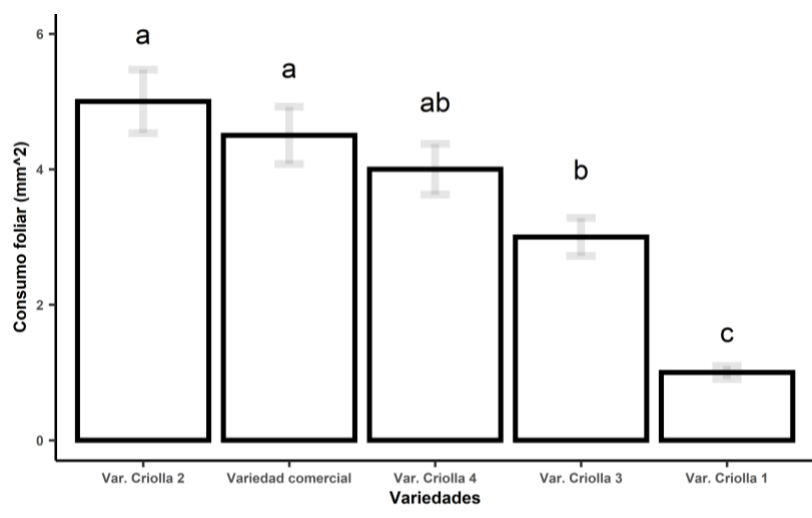


Figura1. Consumo foliar de larvas de gusano cogollero

alimentadas con diferentes variedades de maíz durante 7 horas después de alimentadas sin opción de elección, las barras muestran el error estándar. Fue analizado con un GLM distribución Gamma ($n = 8$, 10 insectos liberados). Misma letra no tienen diferencia significativa, test Bonferroni ($p = .05$).

16.2 Ganancia de peso de larvas de tercer instar de *S. frugiperda*.

En la evaluación del consumo foliar de las variedades criollas evaluadas se determinó que hay una variedad menos consumida que las demás (GLM prueba de razón de verosimilitud $X^2 = 151.43$, d.f. = 4, $p < .001$, Imagen 12), siendo esta la variedad criolla 1.

En la que se muestra la gráfica en el eje Y la ganancia de peso (miligramos) y en el eje X las variedades.

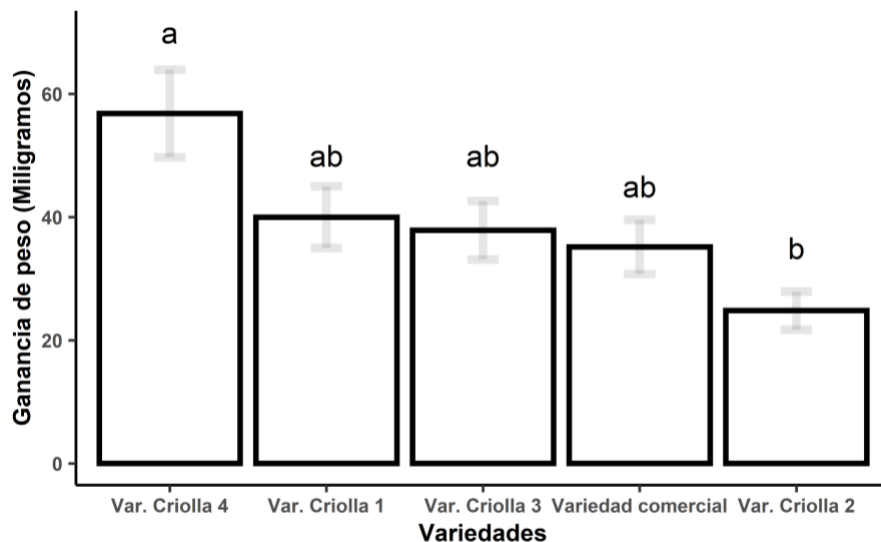


Figura 2. Ganancia de peso de larvas de gusano cogollero alimentadas con diferentes variedades de maíz 72 horas,
sin opción de elección, las barras muestran el error estándar. Fue analizado con un GLM distribución Gamma ($n=8$, 10 insectos liberados). Misma letra no tienen diferencia significativa, test Bonferroni ($p = .05$)

16.3 Mortalidad de larvas de primer instar de *S. frugiperda*

Las mortalidad de larvas de primer instar del gusano cogollero alimentadas con hojas de maíz no mostro diferencia entre las variedades evaluadas, a las 24 horas de evaluación (GLM, prueba de razón de Verosimilitud $X^2 = 1.43$, d.f. = 4, $p = .15$ fig. 4A), como tambien a las 48 horas (GLM, prueba de razón de Verosimilitud $X^2 = 1.51$, d.f. = 4, $p = .17$, Fig. 4B). Sin embargo, despues de 72 h se muestra una diferencia en el porcentaje de mortalidad (GLM, prueba de razón de verosimilitud $X^2 = 43.069$, d.f. = 4, $p < .001$), siendo la variedad criolla 1 la que provoca un mayor efecto de antibiosis, alcanzando un 55% de mortalidad.

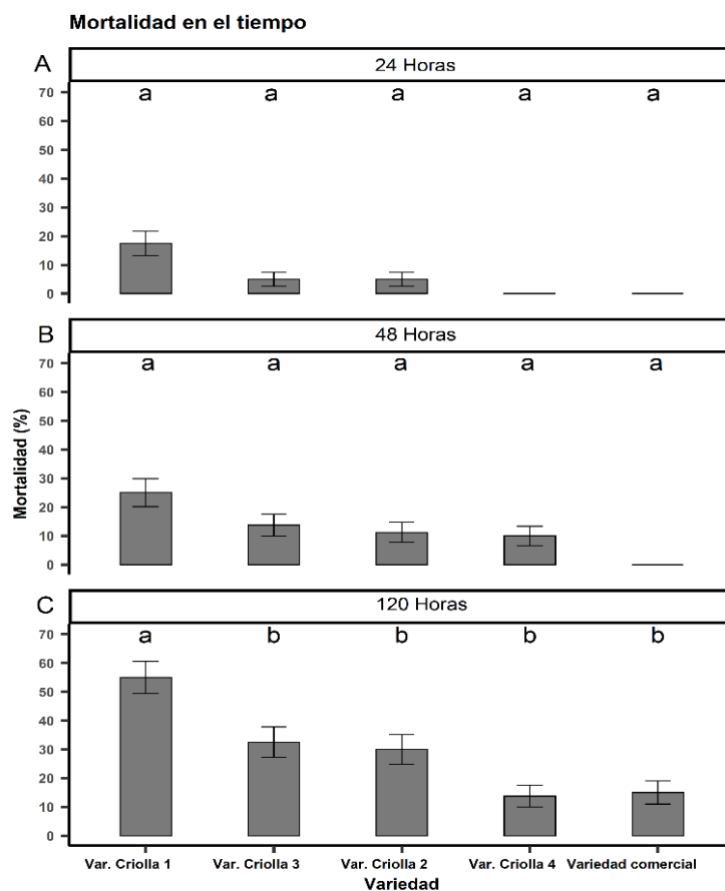


Figura 3. Mortalidad de larvas de gusano cogollero alimentadas con diferentes variedades de maíz A 24, B 48 y C 120 h, después de alimentadas sin opción de elección, las barras muestran el error estándar. Fue analizado con un GLM distribución binomial ($n=8$, 10 insectos liberados). Misma letra no tienen diferencia significativa, test Bonferroni ($p = .05$).

16.4 Preferencia de oviposición

Se realizó el experimento llevando a cabo la metodología del protocolo y no se encontró preferencia por parte de las adultas de *S. frugiperda* por ninguno de los tratamientos evaluados.

17. Discusión

El maíz y sus interacciones tritróficas han sido muy investigadas y los resultados reflejan que sus características de defensa son mayores en las variedades menos sometidas a selección como muestra el estudio tritrófico que comprendió teosinte (*Zea spp.*), el ancestro del maíz, *S. frugiperda* y *C. sonorensis* Cameron (Hymenoptera: Ichneumonidae) de Lange y colaboradores, 2018 determinó que en las plantas más silvestres emitían mayor cantidad de volátiles y perfiles de volátiles diferentes y en las mismas el daño del herbívoro fue menor en un experimento de campo.

Las plantas resistentes son aquellas que, en igualdad de condiciones, tienen menos infestación o daño a un insecto debido a su constitución genética (Rossetto, 1973). Las diferentes variedades de maíz nativas confieren diferentes niveles de resistencia por lo que identificarlas es una opción de control biológico utilizando la resistencia (Cortez-Mondaca, Pérez-Márquez, & Bahena-Juárez, 2012; Oliveira, 2017; Reséndiz Ramírez et al., 2017).

En resistencia directa se pueden observar dos tipos antibiosis y antixenosis o no preferencia. La antibiosis, caracterizada por efectos negativos en los parámetros biológicos y / o reproductivos de un herbívoro en respuesta a la ingestión de la planta, y la antixenosis o no preferencia se caracteriza por un cambio en el comportamiento de alimentación u oviposición, mediado por una cadena de estímulos que pueden involucrar compuestos volátiles o no volátiles de un herbívoro dado en respuesta a la estimulación de la planta (Fürstenberg-Hägg et al., 2013).

Los resultados son la primera parte de la evaluación de resistencia de plantas a insectos plagas evaluando únicamente los efectos de las defensas directas de las plantas hacia los insectos como se muestra a continuación el consumo foliar de los insectos fue reducido en la variedad 1, una hipótesis sería que las hojas de esta variedad criolla contengan un mecanismo directo de defensa, como tricomas que dificultan el consumo de las larvas de primer instar o modificaciones en la epidermis que dificultan el consumo. Algunas variedades criollas también presentan sustancias químicas de origen constitutivo como fenoles o compuestos que generan una antixenosis o no preferencia de parte de las larvas de *S. frugiperda*. Esta variedad podría catalogarse según Badii, & Almanza 2007, como Antixenótica ya que no se le dio chance al insecto de/ escoger, no es preferida al insecto para su ataque cuando se compara con variedades susceptibles. También puede deberse a la activación de reacciones químicas en las plantas, desencadenan una reacción en respuesta al daño celular y el contacto de secreción

oral por parte de los insectos (Mattiacci, Dicke, & Posthumus, 1995; Moujahed et al., 2014), los receptores en las células vegetales activan vías de señalización bioquímicas coordinadas por tres hormonas vegetales; (ácido jasmónico (AJ), ácido salicílico (AS) y etileno (ET) (Howe & Jander, 2008; Salerno, De Santis, Iacovone, Bin, & Conti, 2013), que pueden hacer una reducción en el consumo de las plantas.

La variedad criolla 4 muestra ser una variedad que brinda los requerimientos nutricionales para que las larvas del gusano cogollero se desarrollen de mejor manera como muestran los bioensayos. Para fines de mejoramiento genético la Variedad criolla 4 podría ser descartada ya que puede catalogarse como una variedad susceptible para la plaga. Las variedades restantes no tuvieron una menor ganancia de peso seco, posiblemente a que presentan de las características de resistencia de plantas a insectos denominada Antibiosis que pudo haber provocado la inhibición del crecimiento y menos acumulación de peso seco.

Las evaluaciones de la mortalidad no se observó una diferencia en la mortalidad de larvas de primer instar evaluadas en plantas de maíz criollas y variedad comercial a las 24 y 48 h. Sin embargo, en la evaluación a las 120 h se muestra que larvas alimentadas con la Variedad criolla 1 se obtiene una mortalidad media de 60%. Esta variedad presenta factores antinutricionales o compuesto del metabolismo secundario de las plantas que le confieren características de antibiosis y no permiten el desarrollo del insecto provocando mortalidad.

Nuestros resultados muestran que la Variedad criolla 1 es promisoría para ser introducida en el manejo integrado del gusano cogollero ya que reduce su consumo y provoca una mayor mortalidad, también se identificó que la Variedad criolla 2 debe ser reducida su siembra porque fue la que brindo una mayor ganancia de peso y fue una de las variedades más consumidas. Nuestros resultados también sugieren que las variedades criollas 1 y 2 pueden ser utilizadas en el sistema “push-pull” y con esto generando una opción de manejo de la plaga con variedades criollas originarias de Guatemala.

Sin embargo, todavía faltan resultados de las mediciones de los compuestos químicos inmersos en la defensa directa, como medición de fenoles o niveles de lignina, también si estas plantas emiten una mayor cantidad de volátiles que pueda ser utilizado en la atracción de enemigos naturales.

18. Conclusiones

- La mortalidad de las larvas de *S. frugiperda* en su primer instar fue observada hasta las 120 horas debido a que la absorción en su sistema digestivo es lenta.
- Se utilizó un modelo lineal generalizado simple en los ensayos realizados, debido a la falta normalidad y homogeneidad de varianzas de los datos, y con este modelo se ajustó de sobres de simulación.
- La variedad **criolla 1** (Maíz blanco proveniente de Zaragoza, Chimaltenango) evaluada, en los ensayos de defensas directas (mortalidad, consumo foliar y ganancia de peso en *S. frugiperda*), mostró un menor consumo foliar en mm² para las larvas del primer instar de *S. frugiperda*, al mismo tiempo en el ensayo de mortalidad en larvas de primer instar presentó un 55 % de mortalidad en larvas de *S. frugiperda*, esto indica que dicha variedad tiene una alta antibiosis, por lo que se tendría que someter a la identificación del genoma causante de esta defensa e iniciar un programa de mejoramiento genético.
- Para la variable de ganancia en peso durante 72 horas la variedad **criolla 2** (Maíz amarillo proveniente de ICTA - Cuyuta, Escuintla) presentó el menor incremento en peso, debido a algunos compuestos (anti nutrientes) produciendo cierto grado de antibiosis y afectando el crecimiento de las larvas de *S. frugiperda* en este período de tiempo. Se sugiere someter a análisis a esta variedad para encontrar las sustancias que produjeron este efecto (antibiosis).

19. Impacto esperado

- a) Impacto social: La identificación de variedades criollas resistentes a *S. frugiperda* genera un impacto como alternativa al uso desmedido que se está haciendo de insecticidas químicos para control de dicha plaga en cultivos de maíz. Con esta investigación se pretende fortalecer la producción limpia, y reducir el riesgo de intoxicaciones a los aplicadores, como también como protección a la salud de los consumidores porque actualmente desconocemos la cantidad de residualidad de plaguicidas que se ingieren en los vegetales donde se aplican una gran cantidad de químicos.
- b) Impacto Ambiental: La protección al ambiente incluye la conservación de la biodiversidad, los depredadores juegan un papel importante en los agroecosistemas y para conservarlos necesitamos conservar la diversidad de enemigos naturales que tenemos. Conocer variedades criollas resistentes será

un paso importante en el establecimiento de programas de control biológico, los cuales tienen como objetivo la disminución de aplicaciones de pesticidas químicos, protegiendo de esta manera el ambiente.

- c) Impacto Económico Financiero: Esta primera etapa esencial estimulará la implementación de programas de control biológico de plagas los cuales al ser utilizados reducen costos de producción al minimizar aplicaciones de insecticidas, con ello también se evita el rechazo de productos agrícolas de exportación por exceso de residualidad.

20. Referencias

- Aljbory, Z., & Chen, M. S. (2018). Indirect plant defense against insect herbivores: a review. *Insect Science*, 25(1), 2–23. doi:10.1111/1744-7917.12436e
- Almeida Cortez, J. (2005). Herbivoria e mecanismos de defesa vegetal. *Estresses Ambientais: Danos e Benefícios em Plantas. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Imprensa Universitária, Recife, Brazil*, 389-396.
- Amorós, M. E., Pereira das Neves, V., Rivas, F., Buenahora, J., Martini, X., Stelinski, L. L., & Rossini, C. (2019). Response of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) to volatiles characteristic of preferred citrus hosts. *Arthropod-Plant Interactions*, 13(3), 367–374. doi:10.1007/s11829-018-9651-8
- Arimura, G., Kost, C., & Boland, W. (2005). Herbivore-induced, indirect plant defences. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1734(2), 91–111. doi:10.1016/J.BBALIP.2005.03.001
- Auger, J., Lecomte, C., Paris, J., & Thibout, E. (1989). Identification of leek-moth and diamondback-moth frass volatiles that stimulate parasitoid, *Diadromus pulchellus*. *Journal of Chemical Ecology*, 15(4), 1391–1398. doi:10.1007/BF01014838
- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, SU origen y clasificación. EL MAÍZ en Cuba. La Habana: INCA .
- AgroSintesis. (29 de Febrero de 2016). Principales plagas que atacan al cultivo de Maíz. Recuperado de <https://www.agrosintesis.com/principales-plagas-que-atacan/>
- Alimente. (5 de Junio de 2019). Maíz: Fuente de Vitaminas, minerales antioxidantes y Fibra. Recuperado de https://www.alimente.elconfidencial.com/nutricion/2019-05-04/maiz-vitaminas-minerales-fibra_1517062/
- Álvarez, D. (2019). Controladores de los biotipos de arroz y maíz. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Avellaneda, J. (2013). Reconomiento de Especies Promisorias del Genero Orious y Estudios Biologicos de Orious Insidiosus (Say 1982) (Hemiptera Anthocoridae).

Santafe: Universidad Militar Nueva Granada.

- Beevers, M., Lewis, W. J., Gross, H. R., & Nordlund, D. A. (1981). Kairomones and their use for management of entomophagous insects: X. Laboratory studies on manipulation of host-finding behavior of *Trichogramma pretiosum* riley1 with a kairomone extracted from *Heliothis zea* (boddie) moth scales. *Journal of Chemical Ecology*, 7(3), 635–648. doi:10.1007/BF00987711
- Bernando, G. (2017). Determinación, ciclo biológico, parámetros biológicos y comportamiento de *Telenomus* sp. (HYMENOPTERA: SCELIONIDAE) parasitoide de huevos de *Liorhyssus hyalinus*. F (HEMIPTERA: RHOPALIDAE) “chinche de la quinoa” en condiciones de laboratorio, 2015-2016. Arequipa: Universidad Nacional de San Angustin de Arequipa.
- Bernays, E. A., & Chapman, R. E. (1994). *Host-Plant Selection by Phytophagous Insects*. Vol. 2. Boston, Estados Unidos de América, Springer. doi:10.1007/b102508
- Bezemer, T. M., & van Dam, N. M. (2005). Linking aboveground and belowground interactions via induced plant defenses. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(11), 617–624. doi:10.1016/J.TREE.2005.08.006
- Bueno, R. C. O. de F., Carneiro, T. R., Pratissoli, D., Bueno, A. de F., & Fernandes, O. A. (2008). Biology and thermal requirements of *Telenomus remus* reared on fall armyworm *Spodoptera frugiperda* eggs. *Ciência Rural*, 38(1), 1–6. doi:10.1590/S0103-84782008000100001
- Bueno, V. H. P. (2009). Desenvolvimento e criação massal de percevejos predadores *Orius*. In *Controle biológico de pragas: produção massal e controle de qualidade* (pp. 33–76). Editora UFLA, Lavras, Brasil.
- Carvalho, L. M., Bueno, V. H. P., & Castañé, C. (2011). Olfactory response towards its prey *Frankliniella occidentalis* of wild and laboratory-reared *Orius insidiosus* and *Orius laevigatus*. *Journal of Applied Entomology*, 135(3), 177–183. doi:10.1111/j.1439-0418.2010.01527.x
- Carvalho, Livia M, Bueno, V. H. P., & Mendes, S. M. (2005). Desenvolvimento, Consumo Ninfal e Exigências Térmicas de *Orius thyestes* Herring (Hemiptera: Anthocoridae) Development, Nymphal Consumption and Thermal Requirements of *Orius thyestes* Herring (Hemiptera: Anthocoridae). *Neotropical Entomology*, 34(4), 607–612.
- Chambers, R. J., Long, S., & Helyer, N. L. (1993). Effectiveness of *Orius laevigatus* (Hem.: Anthocoridae) for the control of *Frankliniella occidentalis* on cucumber and pepper in the UK. *Biocontrol Science and Technology*, 3(3), 295–307. doi:10.1080/09583159309355284
- Cingolani, A. M., Posse, G., & Collantes, M. B. (2005). Plant functional traits, herbivore selectivity and response to sheep grazing in Patagonian steppe grasslands. *Journal of Applied Ecology*, 42(1), 50–59. doi:10.1111/j.1365-2664.2004.00978.x
- Colazza, S., Rosi, M. C., & Clemente, A. (1997). Response of Egg Parasitoid *Telenomus*

- busseolae to Sex Pheromone of *Sesamia nonagrioides*. *Journal of Chemical Ecology*, 23(11), 2437–2444. doi:10.1023/B:JOEC.0000006657.11973.27
- Colfer, R. G., Rosenheim, J. A., Godfrey, L. D., & Hsu, C. L. (2003). Interactions Between the Augmentatively Released Predaceous Mite *Galendromus occidentalis* (Acari: Phytoseiidae) and Naturally Occurring Generalist Predators. *Environmental Entomology*, 32(4), 840–852. doi:10.1603/0046-225X-32.4.840
- Cortez-Mondaca, E., Pérez-Márquez, J., & Bahena-Juárez, F. (2012). Control Biológico Natural de Gusano Cogollero ¹ (Lepidoptera: Noctuidae) en Maíz y en Sorgo, en el norte de Sinaloa, México. *Southwestern Entomologist*, 37(3), 423–428. doi:10.3958/059.037.0320
- Cruz, I., Figueiredo, M. L. C., Gonçalves, E. P., Lima, D. A. N., & Diniz, E. E. (1997). Efeito da idade de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) no desempenho do parasitóide *Campoletis flavicincta* (Ashmead) (Hymenoptera: Ichneumonidae) e consumo foliar por lagartas parasitadas e não-parasitadas. *Anais Da Sociedade Entomológica Do Brasil*, 26(2), 229–234. doi:10.1590/S0301-80591997000200003
- Carrillo, L., & Infante, F. (2019). Chinchas Piratas. México: CONABIO.
- DBA Organismos Beneficos para la Agricultura. (13 de Julio de 2020). Chinche pirata (*Orius insidiosus*). Recuperado de <http://oba.mx/producto/chinche-pirata/>
- D'Alessandro, M., Held, M., Triponez, Y., & Turlings, T. C. J. (2006). The Role of Indole and Other Shikimic Acid Derived Maize Volatiles in the Attraction of Two Parasitic Wasps. *Journal of Chemical Ecology*, 32(12), 2733–2748. doi:10.1007/s10886-006-9196-7
- De Bortoli, S. A., & Oliveira, J. E. M. (2006). Densidade populacional e comportamento de predação de *Orius insidiosus* (Say, 1832) (Hemiptera: Anthocoridae) em agroecossistemas de algodoeiro e milho. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 32(4), 465–472.
- de Lange, E. S., Farnier, K., Degen, T., Gaudillat, B., Aguilar-Romero, R., Bahena-Juárez, F., ... Turlings, T. C. J. (2018). Parasitic Wasps Can Reduce Mortality of Teosinte Plants Infested With Fall Armyworm: Support for a Defensive Function of Herbivore-Induced Plant Volatiles. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 55. doi:10.3389/fevo.2018.00055
- Dicke, M., Van Beek, T. A., Posthumus, M. A., Ben Dom, N., Van Bokhoven, H., & De Groot, A. (1990). Isolation and identification of volatile kairomone that affects acarine predatorprey interactions Involvement of host plant in its production. *Journal of Chemical Ecology*, 16(2), 381–396. doi:10.1007/BF01021772
- DBA Organismos Beneficos para la Agricultura. (13 de Julio de 2020). Chinche pirata (*Orius insidiosus*). Obtenido de <http://oba.mx/producto/chinche-pirata/>
- Dicke, Marcel, & van Loon, J. J. A. (2000). Multitrophic effects of herbivore-induced plant

- volatiles in an evolutionary context. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 97(3), 237–249. doi:10.1046/j.1570-7458.2000.00736.x
- Elena Hoballah, M., G. Köllner, T., Degenhardt, J., & C. J. Turlings, T. (2004). Costs of induced volatile production in maize. *Oikos*, 105(1), 168–180. doi:10.1111/j.0030-1299.2004.12831.x
- Ester, L. (2013). Control Integrado de *Frankliniella occidentalis* (Pergande)(Thysanoptera:Thripidae) con insecticidas y liberaciones de Orious Insidious (Say) (Hemiptera: Anthocoridae) sobre Pimiento en Invernadero . Esperanza: Universidad Nacional litoral.
- FAO. (2017). Producción de maíz en Guatemala. Retrieved July 23, 2019, from FAOSTAT website: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Filho Wordell, J. A., Ribeiro, D. P. L., Chiaradia, L. A., Madalóz, J. C., & Nesi, N. C. (2016). Pragas e doenças do milho: diagnose, danos e estratégias de manejo. *Epagri. Boletim Técnico*, 170. *Milho; Fitossanidade; Manejo.*, 170, 82.
- Fuentes López, R. M., Van Etten, J., Aparicio, Á. O., & Vivero Pol, J. L. (2005). Maíz para Guatemala Propuesta para la Reactivación de la Cadena Agroalimentaria del Maíz Blanco y Amarillo. In *PESA Investigación, FAO Guatemala* (Vol. 1).
- Fürstenberg-Hägg, J., Zagrobelny, M., Bak, S., Fürstenberg-Hägg, J., Zagrobelny, M., & Bak, S. (2013). Plant Defense against Insect Herbivores. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 10242–10297. doi:10.3390/ijms140510242
- Fuentes, R. (2002). El cultivo de Maíz en Guatemala Una Guía para su Manejo agronómico. Guatemala: ICTA.
- Garzona, E. (2009, June 15). Plaguicidas peligrosos. *Prensa Libre*, p. 2. Retrieved from <http://www.prensalibre.com/pl/2003/junio/15/58743.html>
- Gatehouse, J. A. (2002a). Plant resistance towards insect herbivores: a dynamic interaction. *New Phytologist*, 156(2), 145–169. doi:10.1046/j.1469-8137.2002.00519.x
- Gatehouse, J. A. (2002b). Plant resistance towards insect herbivores: A dynamic interaction. *New Phytologist*, 156(2), 145–169. doi:10.1046/j.1469-8137.2002.00519.x
- Goulart, M. M. P., Bueno, A. de F., Bueno, R. C. O. de F., & Vieira, S. S. (2011). Interaction between *Telenomus remus* and *Trichogramma pretiosum* in the management of *Spodoptera* spp. *Revista Brasileira de Entomologia*, 55(1), 121–124. doi:10.1590/S0085-56262011000100019
- Gerardo, A., & Araiza, S. (2015). Enemigos Naturales de *Spodoptera frugiperda* y *Helicoverpa zea* como una alternativa al uso de Insecticidas. *Jovenes en la Ciencia*, 52.
- Guacho, E. (2014). Caracterización Agro-Morfológica del Maíz (*Zea Mays* L.) de la

- localidad de San José Chazo. Riobomba: Escuela Superiõr Politénica del Chimborazo.
- Guzman, D., & Rodriguez, J. (2016). Indentificación de Estadios Larvales de Lipidópteros en la PLaga del Maíz. Cali: CIAT.
- Hernández, A., Estrada, B., Rodríguez, R., García, J., Patiño, S., & Osorio, E. (2019). Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays* L.). Coahuila: Universidad Autónoma de Coahuila-Facultad de Ciencias Químicas.
- Halitschke, R., Schittko, U., Pohnert, G., Boland, W., & Baldwin, I. T. (2001). Molecular Interactions between the Specialist Herbivore *Manduca sexta* (Lepidoptera, Sphingidae) and Its Natural Host *Nicotiana attenuata* . III. Fatty Acid-Amino Acid Conjugates in Herbivore Oral Secretions Are Necessary and Sufficient for Herbivore-Specific Plant Responses. *Plant Physiology*, 125(2), 711–717. doi:10.1104/pp.125.2.711
- Hoballah, M. E. F., Tamò, C., & Turlings, T. C. J. (2002). Differential Attractiveness of Induced Odors Emitted by Eight Maize Varieties for the Parasitoid *Cotesia marginiventris*: Is Quality or Quantity Important? *Journal of Chemical Ecology*, 28(5), 951–968. doi:10.1023/A:1015253600083
- Hoballah, M. E., & Turlings, T. C. J. (2005). The Role of Fresh versus Old Leaf Damage in the Attraction of Parasitic Wasps to Herbivore-Induced Maize Volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 31(9), 2003–2018. doi:10.1007/s10886-005-6074-7
- Howe, G. A., & Jander, G. (2008). Plant Immunity to Insect Herbivores. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 41–66. doi:10.1146/annurev.arplant.59.032607.092825
- INE. (2015). Encuesta Nacional Agropecuaria 2014. Retrieved April 2, 2019, from Instituto Nacional de Estadística Guatemala website: www.ine.gob.gt
- Isenhour, D. J., Wiseman, B. R., & Layton, R. C. (1989). Enhanced Predation by *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) on Larvae of *Heliothis zea* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Caused by Prey Feeding on Resistant Corn Genotypes. *Environmental Entomology*, 18(3), 418–422. doi:10.1093/ee/18.3.418
- Kenis, M., du Plessis, H., Van den Berg, J., Ba, M. N., Goergen, G., Kwadjo, K. E., ... Polaszek, A. (2019). *Telenomus Remus*, a Candidate Parasitoid for the Biological Control of *Spodoptera frugiperda* in Africa, is already Present on the Continent. *Insects*, 10(4). doi:10.3390/insects10040092
- Kloth, K. J., Thoen, M. P. M., Bouwmeester, H. J., Jongsma, M. A., & Dicke, M. (2012). Association mapping of plant resistance to insects. *Trends in Plant Science*, 17(5), 311–319. doi:10.1016/J.TPLANTS.2012.01.002
- Knolhoff, L. M., & Heckel, D. G. (2014). Behavioral Assays for Studies of Host Plant Choice and Adaptation in Herbivorous Insects. *Annual Review of Entomology*, 59(1), 263–278. doi:10.1146/annurev-ento-011613-161945

- Koch, K. G., Chapman, K., Louis, J., Heng-Moss, T., & Sarath, G. (2016). Plant Tolerance: A Unique Approach to Control Hemipteran Pests. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1363. doi:10.3389/fpls.2016.01363
- Köllner, T. G., Schnee, C., Gershenzon, J., & Degenhardt, J. (2004). The sesquiterpene hydrocarbons of maize (*Zea mays*) form five groups with distinct developmental and organ-specific distributions. *Phytochemistry*, 65(13), 1895–1902. doi:10.1016/J.PHYTOCHEM.2004.05.021
- Lopes, J. R. S., Parra, J. R. P., Justi Jr., J., & Oliveira, N. H. (1989). Metodologia para infestação artificial de ovos de *Diatraea saccharalis*(Fabr., 1794) em cana-de-açúcar visando estudos com *Trichogramma* spp. *Anais Da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, 46(2), 375–390. doi:10.1590/S0071-12761989000200007
- Mattiacci, L., Dicke, M., & Posthumus, M. A. (1995). beta-Glucosidase: an elicitor of herbivore-induced plant odor that attracts host-searching parasitic wasps. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 92(6), 2036. doi:10.1073/PNAS.92.6.2036
- Mendes, S. M., & Bueno, V. (2001). Biología de *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthrenidae) Alimentado con *Caliothrips phaseoli* (Hood) (Thysanoptera: Thripidae). *Neotropical Entomology*, 30(3), 423–428. doi:10.1590/S1519-566X2001000300014
- Mendoza, J.R., Sabillón, L., Martínez, W., Campabadal, C., Hallen-Adams, H. E., & Bianchini, A. (2017). Traditional maize post-harvest management practices amongst smallholder farmers in Guatemala. *Journal of Stored Products Research*, 71, 14–21. doi:10.1016/J.JSPR.2016.12.007
- Mendoza, José Rodrigo, Rodas, A., Oliva, A., Sabillón, L., Colmenares, A., Clarke, J., ... Bianchini, A. (2018). Safety and Quality Assessment of Smallholder Farmers' Maize in the Western Highlands of Guatemala. *Journal of Food Protection*, 81(5), 776–784. doi:10.4315/0362-028X.JFP-17-355
- Mitchell, C., Brennan, R. M., Graham, J., & Karley, A. J. (2016). Plant Defense against Herbivorous Pests: Exploiting Resistance and Tolerance Traits for Sustainable Crop Protection. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1132. doi:10.3389/fpls.2016.01132
- Moujahed, R., Frati, F., Cusumano, A., Salerno, G., Conti, E., Peri, E., & Colazza, S. (2014). Egg parasitoid attraction toward induced plant volatiles is disrupted by a non-host herbivore attacking above or belowground plant organs. *Frontiers in Plant Science*, 5, 601. doi:10.3389/fpls.2014.00601
- Mutyambai, D. M., Bruce, T. J. A., Midega, C. A. O., Woodcock, C. M., Caulfield, J. C., Van Den Berg, J., ... Khan, Z. R. (2015). Responses of Parasitoids to Volatiles Induced by *Chilo partellus* Oviposition on Teosinte, a Wild Ancestor of Maize. *Journal of Chemical Ecology*, 41(4), 323–329. doi:10.1007/s10886-015-0570-1
- Mutyambai, D. M., Bruce, T. J. A., van den Berg, J., Midega, C. A. O., Pickett, J. A., &

- Khan, Z. R. (2016). An Indirect Defence Trait Mediated through Egg-Induced Maize Volatiles from Neighbouring Plants. *PloS One*, 11(7), e0158744. doi:10.1371/journal.pone.0158744
- Nexticapan-Garcéz, A., Magdub-Méndez, A., Vergara-Yoisura, S., Martín-Mex, R., & Larqué-Saavedra, A. (2009). Fluctuación poblacional y daños causados por gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) en maíz cultivado en el sistema de producción continua afectado por el huracán Isidoro. *Universidad y Ciencia*, 25(3). Retrieved from <http://www.redalyc.org/comocitar.oe?id=15416281009>
- Oliveira, G. M. de. (2017). Indução de resistência em cultivares de *Zea mays* L. A *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Universidade Federal Da Paraíba*, 40. Retrieved from <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/3651>
- Ojeda, Roberto. (2018). Insecticidas Para el control de *Spodoptera Frugiperda* (J.E. Smith) en maíz (*Zea mays* L.) en la Molina. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Orellana, A., & Ernesto, D. (2014). Aspecto Generales y guía para el manejo agronomico del Maíz en Guatemala. Guatemala: ICTA (Insitito de Ciencias y Tecnología Agrícolas).
- Paré, P. W., & Tumlinson, J. H. (1999). Plant Volatiles as a Defense against Insect Herbivores. *Plant Physiology*, 121(2), 325–332. doi:10.1104/pp.121.2.325
- Peñaflor, M. F. G. V., Erb, M., Miranda, L. A., Werneburg, A. G., & Bento, J. M. S. (2011). Herbivore-Induced Plant Volatiles Can Serve as Host Location Cues for a Generalist and a Specialist Egg Parasitoid. *Journal of Chemical Ecology*, 37(12), 1304–1313. doi:10.1007/s10886-011-0047-9
- Pogue, M. (2000). A world revision of the genus *Spodoptera gueneae* (Lepidoptera: Noctuidae). *Memoirs of the American Entomological Society*, 2.
- Rajapakse, C. N. K., & Walter, G. H. (2007). Polyphagy and primary host plants: oviposition preference versus larval performance in the lepidopteran pest *Helicoverpa armigera*. *Arthropod-Plant Interactions*, 1(1), 17–26. doi:10.1007/s11829-007-9003-6
- Reséndiz Ramírez, Z., López Santillán, J. A., Estrada Drouaillet, B., Osorio Hernández, E., Pecina Martínez, J. A., Mendoza Castillo, M. del C., ... Mendoza Castillo, M. del C. (2017). Efectos genéticos de la resistencia a *Spodoptera frugiperda* en líneas de maíz derivadas de germoplasma nativo de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1329–1341. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000601329&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Roberto, M., & López, F. (2002). EL CULTIVO DEL MAIZ EN GUATEMALA Una guía para su manejo agronómico. *Instituto de Ciencia y Tecnologías Agrícolas*, 1–45.
- Rossetto, C. J. (1973). *Resistencia de plantas aos insetos* (I. Agronomico, Ed.). Piracicaba: ESALQ.

- Salerno, G., De Santis, F., Iacovone, A., Bin, F., & Conti, E. (2013). Short-range cues mediate parasitoid searching behavior on maize: The role of oviposition-induced plant synomones. *Biological Control*, 64(3), 247–254. doi:10.1016/J.BIOCONTROL.2012.12.004
- Schmidt, A., Eitzinger, A., Sonder, K., & Sain, G. (2012). *Tortillas on the roaster (ToR) Central America maize-beans systems and the changing climate: full technical report*. Retrieved from <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/4220/97718.pdf>
- Silveira, L., Bueno, V., & Van Lenteren, J. C. (2004). *Orius insidiosus* as biological control agent of Thrips in greenhouse chrysanthemums in the tropics. *Bulletin of Insectology*, 57(2), 103–109.
- Sánchez, I. (2020). Maíz I (Zea mays). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Santos, S., López, F., Avila, D., Sivera, F., & Longo, R. (2007). Caracterización molecular de la diversidad existente en la colección nacional de maíz (Zea mays L.) utilizando marcadores de secuencia simple repetida. Guatemala : Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales, Guatemala (Guatemala).
- SENASA. (2015). Producción de Insectos Benéficos . SENASA.
- Sosa, G. (16 de Enero de 2021). Deviantart. Obtenido de <https://www.deviantart.com/meremmanno/art/Ciclo-de-vida-de-Telenomus-podisi-529735967>
- Sotelo, A. (1997). Constituents of Wild Food Plants. In *Functionality of Food Phytochemicals*, Boston , Estados Unidos de América, Springer, (pp. 89–111). doi:10.1007/978-1-4615-5919-1_4
- Stout, M. J. (2013). Reevaluating the conceptual framework for applied research on host-plant resistance. *Insect Science*, 20(3), 263–272. doi:10.1111/1744-7917.12011
- Tamiru, A., Bruce, T. J. A., Midega, C. A. O., Woodcock, C. M., Birkett, M. A., Pickett, J. A., & Khan, Z. R. (2012). Oviposition Induced Volatile Emissions from African Smallholder Farmers' Maize Varieties. *Journal of Chemical Ecology*, 38(3), 231–234. doi:10.1007/s10886-012-0082-1
- Tamiru, A., Bruce, T. J. A., Woodcock, C. M., Caulfield, J. C., Midega, C. A. O., Ogol, C. K. P. O., ... Khan, Z. R. (2011). Maize landraces recruit egg and larval parasitoids in response to egg deposition by a herbivore. *Ecology Letters*, 14(11), 1075–1083. doi:10.1111/j.1461-0248.2011.01674.x
- Tiago, P. V., de Souza, H. M. L., Moysés, J. B., de Oliveira, N. T., de Lima, E. A. L. A., Souza, H. M. de L., ... Lima, E. Á. de L. A. (2011). Differential pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* and the control of the sugarcane root spittlebug *Mahanarva fimbriolata*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54(3), 435–440. doi:10.1590/S1516-89132011000300002

- Todo Alimentos. (21 de Junio de 2020). Tabla Nutricional: Grano de maíz, amarillo. Obtenido de <http://www.todoalimentos.org/grano-de-maiz-amarillo/>
- Trejo, H., Hernández, O., Santillan, L., Velasco, R., Fuentes, V., & Fuentes, R. (2018). Insectos Bèneficos asociados al Control del Gusano Cogollero(*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de Maíz (*Zea mays* L.). Cuauhtémoc, Chihuahua: Centro Universitario Adolfo López Mateos.
- Tommasini, M. G., Van Lenteren, J. C., & Burgio, G. (2004). Biological traits and predation capacity of four Orius species on two prey species. *Bulletin of Insectology*, 57(2), 79–93. Retrieved from <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol57-2004-079-093tommasini.pdf>
- Tumlinson, J. H., Turlings, T. C. J., & Lewis, W. J. (1993). Semiochemically mediated foraging behavior in beneficial parasitic insects. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 22(3–4), 385–391. doi:10.1002/arch.940220307
- Turlings, T. C. ., Bernasconi, M., Bertossa, R., Bigler, F., Caloz, G., & Dorn, S. (1998). The Induction of Volatile Emissions in Maize by Three Herbivore Species with Different Feeding Habits: Possible Consequences for Their Natural Enemies. *Biological Control*, 11(2), 122–129. doi:10.1006/BCON.1997.0591
- Van, R. G., Hoddle, M. S., & Center, T. D. (2007). *Control de plagas y malezas por enemigos naturales* (1 er.; United States Department of Agriculture, Ed.). Retrieved from https://www.fs.fed.us/foresthealth/technology/pdfs/VANDRIESCHE_CONTROL_Y_PLAGAS_WEB.pdf
- Vet, L. E. M., & Dicke, M. (1992). Ecology of Infochemical Use by Natural Enemies in a Tritrophic Context. *Annual Review of Entomology*, 37(1), 141–172. doi:10.1146/annurev.en.37.010192.001041
- War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., & Sharma, H. C. (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signaling & Behavior*, 7(10), 1306–1320. doi:10.4161/psb.21663
- Yan, H., Zeng, J., & Zhong, G. (2015). The push-pull strategy for citrus psyllid control. *Pest Management Science*, 71(7), 893–896. doi:10.1002/ps.3915

1. Apéndice

Listado de los integrantes del equipo de investigación (en una sola hoja)

Equipo de investigadores

Contratados por unidad avaladora	Otros colaboradores
	Dr. Heisler Alexsander Gómez Méndez

Contratados por la Dirección General de Investigación					
Nombre	Categoría	Registro de Personal	Pago		Firma
			Sí	No	
Ing. Agr. Pablo Antonio Polo Juárez	Investigador	20010270	X		
José Guillermo Nufio Martínez	Auxiliar de investigación	20200599	X		

Fecha de entrega: 30 de Diciembre 2020

Ing. Agr. MSc. Edin Alejandro Gil Esturban



Coordinador proyecto DES6-2020

Firma

Ing. Agr. Julio Rufino Salazar

Vo.Bo. Coordinador PUICB

Ing. MARYOLY SALAZAR PEREZ
Coordinador de Programas
DIGI-USAC

Firma

Ing. Agr. Julio Rufino Salazar

coordinador General de Programas

Ing. MARYOLY SALAZAR PEREZ
Coordinador de Programas
DIGI-USAC

Firma

Convocatoria 2019

Dirección General de Investigación –DIGI–

20.1 Cronograma

Tabla 2. Cronograma de actividades

Etapas	2020									
	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Obtención de semillas de maíz criollos	x									
Obtención de <i>S frugiperda</i> en campo		x								
Iniciar cría de <i>S frugiperda</i>			x							
Siembra maíz para ensayo de oviposición y mortalidad <i>S frugiperda</i>			x							
Ensayo de Oviposición y mortalidad de <i>S frugiperda</i>				x						
Siembra maíz para ensayo de consumo foliar <i>S frugiperda</i>				x						
Ensayo consumo foliar de <i>S frugiperda</i>					x					
Siembra maíz para ensayo de ganancia de peso <i>S frugiperda</i>					x					
Ensayo ganancia de peso de <i>S. frugiperda</i>						x				
Siembra de maíz para olfatometría primera parte										
Ensayo de olfatometría primera parte (<i>O. insidiosos</i>)						x				
Siembra de maíz para olfatometría segunda parte							x	x	x	
Ensayo de olfatometría segunda parte (<i>Telenomus</i> sp)								x	x	
Informes mensuales	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Elaboración informa final										x

20.2 Datos brutos

Tabla 3. Libreta de datos de Ensayo de mortalidad en el primer Instar de *S. frugiperda*.

No.1	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	Número de larvas (instar L1)			
			Inicial	24 hrs.	48 hrs.	120 hrs.
2	Amarillo costa	1	10	9	9	8
2	Amarillo costa	2	10	10	9	8
2	Amarillo costa	3	10	11	16	8
2	Amarillo costa	4	10	9	7	1
1	Blanco Zaragoza	1	10	8	7	10
1	Blanco Zaragoza	2	10	9	9	4
1	Blanco Zaragoza	3	10	8	8	4
3	Negro Zaragoza	1	10	9	9	8
3	Negro Zaragoza	2	5	5	5	1
5	Variedad comercial	1	10	10	10	4
5	Variedad comercial	2	10	10	10	8
5	Variedad comercial	3	10	10	10	5
4	Negro costa	1	5	5	5	5
4	Negro costa	2	5	5	2	1

Tabla 4. Libreta de ensayo de consumo foliar en el primer Instar de *S. frugiperda*

Negro criollo costa	5
Amarillo costa	8.5
Negro criollo costa	18
Dulce	10
Amarillo Zaragoza	12
Blanco mejorado	11.5
Blanco mejorado	17
Amarillo Zaragoza	25
Blanco Zaragoza	33
Negro Zaragoza	14
Negro Zaragoza	17

Tabla 5. *Libreta de campo de S. frugiperda.*

	Tratamiento	Gramos
1	Amarillo criollo	0.116
	Amarillo criollo	0.0255
	Amarillo criollo	0.0456
2	Blanco mejorado	0.0201
	Blanco mejorado	0.0442
	Blanco mejorado	0.055
3	Negro Zaragoza	0.0511
	Negro Zaragoza	0.0663
	Negro Zaragoza	0.0612
4	Amarillo costa	0.0396
	Amarillo costa	0.0448
	Amarillo costa	0.0328
5	Blanco Zaragoza	0.0485
	Blanco Zaragoza	0.0405
	Blanco Zaragoza	0.0331
6	Dulce	0.0174
	Dulce	0.0511
	Dulce	0.0348

Análisis proyecto volátiles

Datos

```

setwd("C:/Users/peche/Google Drive (pecmarvin@usp.br)/R/DIGI 2019")

datos <- read_excel("Proyecto_volatiles.xlsx",
                    sheet = "Data_R")

datos

## # A tibble: 40 x 9
##   Tratamiento   Repeticion Consumo_Foliar Consumo_Foliar1 Inicial   H24   H48
##   <chr>         <dbl>         <dbl>         <dbl>     <dbl> <dbl>
## 1 Var. Criolla 2         1           5           6         10     1
## 2 Var. Criolla 2         2           4           5         10     0
## 3 Var. Criolla 2         3         2.5         3.5         10     0
## 4 Var. Criolla 2         4           2           3         10     1
## 5 Var. Criolla 2         5         6.5         7.5         10     1
## 6 Var. Criolla 2         6           4           5         10     0
## 7 Var. Criolla 2         7           3           4         10     0
## 8 Var. Criolla 2         8           5           6         10     1
## 9 Var. Criolla 1         1           0           1         10     2
## 10 Var. Criolla 1        2           0           1         10     1
## # ... with 30 more rows, and 2 more variables: H120 <dbl>, Ganancia_Peso <dbl>

datos$Tratamiento=as.factor(datos$Tratamiento)
datos$Repeticion=as.factor(datos$Repeticion)
datos$Consumo_Foliar=as.numeric(datos$Consumo_Foliar)
datos$Inicial=as.numeric(datos$Inicial)
datos$H24=as.numeric(datos$H24)
datos$H48=as.numeric(datos$H48)
datos$H120=as.numeric(datos$H120)
datos$Ganancia_Peso=as.numeric(datos$Ganancia_Peso)

dim(datos)

## [1] 40  9

str(datos)

## tibble [40 x 9] (S3: tbl_df/tbl/data.frame)
##  $ Tratamiento   : Factor w/ 5 levels "Var. Criolla 1",...: 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 ...
##  $ Repeticion    : Factor w/ 8 levels "1","2","3","4",...: 1 2 3 4 5 6 7 8 1 2 ...
##  $ Consumo_Foliar : num [1:40] 5 4 2.5 2 6.5 4 3 5 0 0 ...
##  $ Consumo_Foliar1: num [1:40] 6 5 3.5 3 7.5 5 4 6 1 1 ...
##  $ Inicial       : num [1:40] 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 ...
##  $ H24           : num [1:40] 1 0 0 1 1 0 0 1 2 1 ...
##  $ H48           : num [1:40] 1 1 0 1 1 1 1 3 3 1 ...
##  $ H120          : num [1:40] 2 2 2 2 2 3 2 9 3 6 ...
##  $ Ganancia_Peso : num [1:40] 0.0116 0.0255 0.0456 0.0115 0.0456 0.0355 0.0115 0.0116 0.048
## 5 0.0405 ...

attach(datos)
head(datos)

```

```
## # A tibble: 6 x 9
##   Tratamiento   Repeticion Consumo_Foliar Consumo_Foliar1 Inicial   H24   H48
##   <fct>         <fct>          <dbl>          <dbl>    <dbl> <dbl> <dbl>
## 1 Var. Criolla 2 1             5              6         10      1      1
## 2 Var. Criolla 2 2             4              5         10      0      1
## 3 Var. Criolla 2 3             2.5            3.5        10      0      0
## 4 Var. Criolla 2 4             2              3          10      1      1
## 5 Var. Criolla 2 5             6.5            7.5        10      1      1
## 6 Var. Criolla 2 6             4              5          10      0      1
## # ... with 2 more variables: H120 <dbl>, Ganancia_Peso <dbl>
```

20.3 Analisis de los modelos

20.4 Modelo GLM 1 (Analise outlier)

20.5 Analisis del Consumo foliar

```
mod1<-glm(Consumo_Foliar1~Tratamiento, data = datos, family = Gamma(link = "inverse"))
hnp(mod1,print.on=T, plot=T, halfnormal = T, main="Gamma")
```

```
## Gamma model
```

```
Anova(mod1)
```

```
## Analysis of Deviance Table (Type II tests)
```

```
##
```

```
## Response: Consumo_Foliar1
```

```
##           LR Chisq Df Pr(>Chisq)
```

```
## Tratamiento   151.43  4 < 2.2e-16 ***
```

```
## ---
```

```
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
tukey<-cld(emmeans(mod1, ~ Tratamiento),type="response", alpha = 0.05, Letters = letters, adj
ust = "bonferroni", reversed=T)
```

```
tukey
```

```
##   Tratamiento      response      SE df asymp.LCL asymp.UCL .group
```

```
## Var. Criolla 2          5.0 0.4687 Inf    4.027    6.59    a
```

```
## Variedad comercial      4.5 0.4219 Inf    3.625    5.93    a
```

```
## Var. Criolla 4          4.0 0.3750 Inf    3.222    5.27   ab
```

```
## Var. Criolla 3          3.0 0.2812 Inf    2.416    3.96    b
```

```
## Var. Criolla 1          1.0 0.0937 Inf    0.805    1.32    c
```

```
##
```

```
## Confidence level used: 0.95
```

```
## Conf-level adjustment: bonferroni method for 5 estimates
```

```
## Intervals are back-transformed from the inverse scale
```

```
## Note: contrasts are still on the inverse scale
```

```
## P value adjustment: bonferroni method for 10 tests
```

```
## significance level used: alpha = 0.05
```

```
grafico1
```


20.6 Sobrevivencia 24, 48 y 120 Horas

24 Horas

```
mod2<-glm(cbind(H24,Inicial-H24)~Tratamiento, data = datos, family = binomial(link = "logit"))
hnp(mod2,print.on=T, plot=T, halfnormal = T, main="Binomial")

## Binomial model
```

```
Anova(mod2)
```

```
## Analysis of Deviance Table (Type II tests)
##
## Response: cbind(H24, Inicial - H24)
##           LR Chisq Df Pr(>Chisq)
## Tratamiento  32.665  4  1.399e-06 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

48 Horas

```
mod3<-glm(cbind(H48,Inicial-H48)~Tratamiento, data = datos, family = binomial(link = "logit"))
hnp(mod3,print.on=T, plot=T, halfnormal = T, main="Binomial")

## Binomial model
```

```
Anova(mod3)
```

```
## Analysis of Deviance Table (Type II tests)
##
## Response: cbind(H48, Inicial - H48)
##           LR Chisq Df Pr(>Chisq)
## Tratamiento  31.215  4  2.767e-06 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

120 Horas

```
mod4<-glm(cbind(H120,Inicial-H120)~Tratamiento, data = datos, family = binomial(link = "probit"
))
hnp(mod4,print.on=T, plot=T, halfnormal = T, main="Binomial")

## Binomial model
```

```
Anova(mod4)
```

```
## Analysis of Deviance Table (Type II tests)
##
## Response: cbind(H120, Inicial - H120)
```

```
##          LR Chisq Df Pr(>Chisq)
## Tratamiento  43.069  4  1.001e-08 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

20.7 Grafica

```
table
```

```
## Tratamiento      prob      SE df asymp.LCL asymp.UCL .group Behavioral
## Var. Criolla 1    0.175 4.25e-02 Inf    0.0904    0.312  a      H24
## Var. Criolla 2    0.050 2.44e-02 Inf    0.0138    0.165  a      H24
## Var. Criolla 3    0.050 2.44e-02 Inf    0.0138    0.165  a      H24
## Variedad comercial 0.000 1.07e-06 Inf    0.0000    1.000  a      H24
## Var. Criolla 4    0.000 1.07e-06 Inf    0.0000    1.000  a      H24
## Var. Criolla 1    0.250 4.84e-02 Inf    0.1463    0.393  a      H48
## Var. Criolla 3    0.138 3.85e-02 Inf    0.0646    0.269  a      H48
## Var. Criolla 2    0.112 3.53e-02 Inf    0.0485    0.240  a      H48
## Var. Criolla 4    0.100 3.35e-02 Inf    0.0408    0.225  a      H48
## Variedad comercial 0.000 1.76e-06 Inf    0.0000    1.000  a      H48
## Var. Criolla 1    0.550 5.56e-02 Inf    0.4066    0.687  a      H120
## Var. Criolla 3    0.325 5.24e-02 Inf    0.2037    0.469  b      H120
## Var. Criolla 2    0.300 5.12e-02 Inf    0.1830    0.442  b      H120
## Variedad comercial 0.150 3.99e-02 Inf    0.0698    0.276  b      H120
## Var. Criolla 4    0.138 3.85e-02 Inf    0.0615    0.261  b      H120
##
## Confidence level used: 0.95
## Conf-level adjustment: bonferroni method for 5 estimates
## Intervals are back-transformed from the logit scale
## P value adjustment: bonferroni method for 10 tests
## Tests are performed on the log odds ratio scale
## significance level used: alpha = 0.05

g1
```

20.8 Ganancia de Peso

```
mod5<-glm(Ganancia_Peso~Tratamiento, data = datos, family = Gamma(link = "log"))
hnp(mod5,print.on=T, plot=T, halfnormal = T, main="Gamma")

## Gamma model
```

```
Anova(mod5)
```

```
## Analysis of Deviance Table (Type II tests)
##
## Response: Ganancia_Peso
##          LR Chisq Df Pr(>Chisq)
## Tratamiento  22.361  4  0.0001699 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
tukey5<-cld(emmeans(mod5, ~ Tratamiento),type="response", alpha = 0.05, Letters = letters, ad
just = "bonferroni", reversed=T)
```

```
tukey5
```

```
## Tratamiento      response      SE df asymp.LCL asymp.UCL .group
## Var. Criolla 4    0.0568 0.00711 Inf  0.0412    0.0784    a
## Var. Criolla 1    0.0400 0.00500 Inf  0.0290    0.0552   ab
## Var. Criolla 3    0.0379 0.00474 Inf  0.0274    0.0522   ab
## Variedad comercial 0.0351 0.00440 Inf  0.0255    0.0485   ab
## Var. Criolla 2    0.0248 0.00310 Inf  0.0180    0.0342    b
##
## Confidence level used: 0.95
## Conf-level adjustment: bonferroni method for 5 estimates
## Intervals are back-transformed from the log scale
## P value adjustment: bonferroni method for 10 tests
## Tests are performed on the log scale
## significance level used: alpha = 0.05
```

```
grafico2
```

20.9 Fotografías del proceso de los ensayos realizados.



Imagen 5. Adulto de *Spodoptera frugiperda* en plántulas de maíz, CEDA.



Imagen 6. Aislamiento de Individuos colectados de *Spodoptera frugiperda* en campo.



Imagen 7. Aislamiento de Individuos colectados de *Spodoptera frugiperda* en campo.



Imagen 8. Revisión de posturas en laboratorio de UVIGER de *Spodoptera frugiperda*, colectadas en campo.



Imagen 9. Construcción del Invernadero experimental.



Imagen 10. Mantenimiento de la cría de *Orius insidiosus*, en instalaciones de UVIGER.



Imagen 11. Elaboración dieta artificial para alimentación de *Spodoptera frugiperda* en laboratorio.



Imagen 12. Estructura del invernadero experimental finalizada



Imagen 13. Toma de datos (peso inicial en gramos) para experimento de ganancia de peso en el tercer Instar de *Spodoptera frugiperda*.



Imagen 14. Plántulas de maíz de variedades criollas (tratamientos), aisladas en invernadero experimental.



Imagen 15. Larvas de *Spodoptera frugiperda* individualizadas para su alimentación en laboratorio.



Imagen 16. Larvas colectadas en campo de *Spodoptera frugiperda*.



Imagen 17. Plántulas de maíz en el ensayo de consumo foliar en el primer instar de *Spodoptera frugiperda*



Imagen 18. Toma de datos de consumo foliar primer instar de *Spodoptera frugiperda* en cada uno de los tratamientos.



Imagen 19. Alimentación de primera generación de *Spodoptera frugiperda* obtenida en laboratorio.



Imagen 20. Preparación de las bandejas en Invernadero, instalaciones del CEDA.



Imagen 21. Colecta de *Spodoptera frugiperda* en Amatitlán, Guatemala.



Imagen 22. Colecta de *Spodoptera frugiperda* en Amatitlán, Guatemala.



Imagen 23. Pupas obtenidas de la primera generación de *Spodoptera frugiperda*, criadas en laboratorio.



Imagen 24. Recipientes de la cría de *Orius insidiosus* en el laboratorio de UVIGER.



Imagen 25. Colecta *Spodoptera frugiperda* en el CEDA.



Imagen 26. Selección de bandejas para la siembra de las variedades (tratamientos) de maíz *Zea mays*.



Imagen 27. Alimentación de *Spodoptera frugiperda* con dieta artificial en condiciones de laboratorio.



Imagen 28. Variedades de maíz *Zea mays* a evaluarse en este estudio.



Imagen 29. Montaje de experimento preferencia de oviposición.

Guatemala, 25 de febrero del 2021

Señor Director
Dr. Félix Alan Douglas Aguilar Carrera
Director General de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Adjunto a la presente el informe final “**Identificación de variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) como estrategia de control utilizando defensas directas e indirecta contra *Spodoptera frugiperda*”** del proyecto DES6-2020 y avalado por el Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este informe final fue elaborado con base en la guía de presentación de la Dirección General de Investigación, el cual fue revisado su contenido en función del protocolo aprobado, por lo que esta unidad de investigación da la aprobación y aval correspondiente.

Así mismo, el coordinador del proyecto, se compromete a dar seguimiento y cumplir con el proceso de revisión y edición establecido por DIGI del **informe final y del manuscrito científico**. El manuscrito científico debe enviarse, por el coordinador del proyecto, para publicación al menos en una revista de acceso abierto (*Open Access*) indexada y arbitrada por expertos en el tema investigado.

Sin otro particular, suscribo atentamente.

“Id y enseñad a todos”



Ing. Agr. MSc. Edin Alejandro Gil Esturban
Coordinador(a) del proyecto de investigación



Ing. Agr. Carlos Fernando López Búcaro
Director del Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA)
Facultad de Agronomía