



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL**

**RASGOS MORFOLÓGICOS DE DEFENSA Y DIVERSIDAD DE
ARTRÓPODOS ASOCIADOS A CULTIVOS DE LA MILPA EN LA
PENÍNSULA DE YUCATÁN**

REPOSITORIO

Que presenta:

Roberto Rafael Ruiz Santiago

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Doctor en ciencias en agricultura tropical sustentable

Director de tesis:

Dr. Horacio Salomón Ballina Gómez

Conkal, Yucatán, México

Septiembre, 2023.





Conkal, Yucatán, México, a 01 de septiembre de 2023

El comité de tesis del candidato a grado: Roberto Rafael Ruiz Santiago, constituido por los CC. Dr. Horacio Salomón Ballina Gómez, Dr. Esaú Ruiz Sánchez, Dr. Rubén Humberto Andueza Noh, Dra. Ana Paola Martínez Falcon, Dra. Alejandra González Moreno. Habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **Rasgos morfológicos de defensa y diversidad de artrópodos asociados a cultivos de la milpa en la Península de Yucatán**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. Horacio Salomón Ballina Gómez
Director de Tesis

Dr. Esaú Ruiz Sánchez
Asesor de Tesis

Dr. Rubén Andueza Noh
Asesor de Tesis

Dra. Ana Paola Martínez Falcon
Asesor de Tesis

Dra. Alejandra González Moreno
Asesor de Tesis



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Conkal

División de Estudios de Posgrado e Investigación

Conkal, Yucatán, México a 01 de septiembre de 2023

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Roberto Rafael Ruiz Santiago.

INDICE DE CONTENIDO

I. CAPÍTULO 1. Introducción general.	1
1.2.1. Los cultivos de milpa en la península de Yucatán.	2
1.2.2. Rasgos morfológicos como mecanismo de defensa a insectos fitófagos.	3
1.2.3. Asociaciones de los rasgos vegetales con la diversidad de artrópodos.	4
1.3 Hipótesis.	5
1.4 Objetivos (general y específicos).	5
1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.	7
1.6 LITERATURA CITADA.	8
II. CAPÍTULO 2. Determining relevant traits for selecting landrace accessions of <i>Phaseolus lunatus</i> L. for insect resistance	11
2.1 Abstract.	11
2.2 Introduction.	12
2.3 Materials y methods.	12
2.4 Results y discussion	15
2.5 Conclusions.	25
2.6 Acknowledgments.	26
2.7 Literature cited.	27
III. CAPÍTULO 3. Leaf damage by <i>Diabrotica</i> spp. (Coleoptera: Chrysomelidae) and leaf morphological traits in landrace accessions of two edible Fabaceae species	34
3.1 Abstract.	34
3.2 Introduction.	35
3.3 Materials y methods.	38
3.4 Results y discussion.	40
3.5 Conclusions.	45
3.6 Acknowledgment.	45
3.7 Literature cited.	46
IV. CAPÍTULO 4. Damage by <i>Spodoptera frugiperda</i> J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in maize landraces and characterization of leaf morphological and physiological traits.	52
4.1 Abstract.	52
4.2 Introduction.	53
4.3 Materials y methods.	54
4.4 Results y discussion.	57
4.5 Conclusions.	65

4.6 Acknowledgments.	66
4.7 Literature cited.	66
V. CAPÍTULO 5. Linking plant traits to insect communities: identifying ecological relationships between plant characteristics and insect community composition.	71
5.1 Abstract.	71
5.2 Introduction.	72
5.3 Materials y methods.	73
5.4 Results y discussion.	76
5.5 Conclusions.	82
5.6 Acknowledgments	82
5.7 Literature cited.	83
VI. CAPÍTULO 6. Rasgos morfológicos del maíz y su impacto en la comunidad de artrópodos asociada y patrones de redes de interacción ecológica	89
6.1 Resumen.	89
6.2 Introducción.	89
6.3 Materiales y métodos	91
6.4 Resultados y discusión.	96
6.5 Conclusiones.	105
6.6 Agradecimientos.	105
6.7 Literatura citada.	105
VII CONCLUSIONES GENERALES.	110
Supplementary data	112

ÍNDICE DE CUADROS Y/O FIGURAS.

I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.	1
Figura 1. Estrategia experimental, etapas de estudio y ordenamiento de capítulos de investigación.	7
II. CAPÍTULO 2. Determining relevant traits for selecting landrace accessions of <i>Phaseolus lunatus</i> L. for insect resistance	11
Table 1. Origin of accessions of lima bean (<i>P. lunatus</i>) evaluated in this study.	13
Fig. 1. Resistance traits of 27 <i>Phaseolus lunatus</i> accessions from southeastern Mexico Different letters within a column denote a significant difference among accessions within the DAE (Scott-Knott, $p < 0.05$).	17
Fig. 2. Physiological tolerance traits of 27 <i>Phaseolus lunatus</i> accessions from southeastern Mexico Different letters within a column denote a significant difference among accessions within the DAE	

(Scott-Knott, $p < 0.05$).	19
Table 2. Leaf damage caused by herbivorous insects and total damage index at three growth ages of lima bean (<i>P. lunatus</i>) and bean yield at 60 DAE.	20
Table 3. Variance explained by five main components derived from 13 leaf characteristics lima bean (<i>P. lunatus</i>) and their contribution among the original variables in each component	21
Fig. 3. Redundancy analysis showing the ordering of foliar morphological and physiological variables associated with the total damage index and bean yield of 27 accessions of <i>Phaseolus lunatus</i> from southeastern Mexico.	22
III. CAPÍTULO 3. Leaf damage by <i>Diabrotica</i> spp. (Coleoptera: Chrysomelidae) and leaf morphological traits in landrace accessions of two edible Fabaceae species.	34
Table 1. Origin of the <i>V. unguiculata</i> landrace accessions evaluated in this study.	38
Table 2. Origin of the <i>P. lunatus</i> (<i>P. lunatus</i>) landrace accessions evaluated in this study.	39
Figure 1. Damage by <i>Diabrotica</i> spp. on the leaves of <i>V. unguiculata</i> and <i>P. lunatus</i> .	39
Figure 2. Means (\pm E.E) of the level of leaf damage caused by <i>Diabrotica</i> spp. insects in <i>V. unguiculata</i> (A) and <i>P. lunatus</i> (B). Different letters above histograms denote a significant difference among accessions.	41
Table 3. Leaf morphological traits in cowpea (<i>V. unguiculata</i>) accessions	41
Table 4. Leaf morphological traits in lima bean (<i>P. lunatus</i>) accessions	42
Table 5. Pearson correlation coefficients between the percentage of leaf damage caused by <i>Diabrotica</i> spp. and the leaf morphological traits in accessions of <i>V. unguiculata</i> and <i>P. lunatus</i> .	42
IV. CAPÍTULO 4. Damage by <i>Spodoptera frugiperda</i> J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in maize landraces and characterization of leaf morphological and physiological traits.	52
Table 1. Landrace maize <i>Zea mays</i> L. accessions from the Yucatan, Mexico evaluated in this study.	54
Table 2. Percent of damaged plants and level of leaf damage (Davis, Baker, and William scale, 0–9) caused by <i>Spodoptera frugiperda</i> of landraces accession of maize <i>Zea mays</i> L.	58
Figure 1. Leaf morphological traits of 24 landrace accessions of maize <i>Zea mays</i> L.	59
Figure 2. Physiological characteristics of 24 landraces accessions of maize <i>Zea mays</i> L.	60
Table 3. Summary of variance explained in PCA by 7 principal components derived from seven leaf traits of 24 accessions of <i>Zea mays</i> L. and contributions of the original variables to each component. (SLA) specific leaf area, (PN) photosynthesis, (gs) stomatal conductance, (E) transpiration.	61
Table 4. Pearson correlation coefficients (r) between the level of leaf damage with leaf morphological and physiological traits in maize <i>Zea mays</i> L.	62
Figure 3. Estimates of path analysis examining the effects of the plants traits SLA, PN (photosynthesis), E (transpiration) and gs (stomatal conductance) on the leaf toughness, thickness, trichomes and damage in accession of maize with low and high susceptibility to leaf damage by phytophagous insects.	63

V. CAPÍTULO 5. Linking plant traits to insect communities: identifying ecological relationships	
---	--

between plant characteristics and insect community composition.	71
Table 1. Multiple Factor Analysis (MFA) for the groups of plants traits, and insects associated to lima bean <i>P. lunatus</i> L. accessions in southeastern Mexico: Lg and Rv coefficients are shown.	76
Figure 1. Results of variables reduced through the Multiple Factor Analysis (MFA), relationship between Factors (Vg–Clor, Rp–Clor, InsG–V, InsF–V, InsF–R) summarized in partial axes onto MFA.	77
Table 2. Diversity of order $q_0 =$, $q_1 =$ and q_2 according to the 95% confidence limits obtained by bootstrapping in the two states of growth.	78
Figure 2. Venn diagrams representing shared families of insects among two stages of growth of lima bean.	78
Figure 3. Rank—abundance plots of insect’s families during two stages of growth of lima bean <i>P. lunatus</i> L. Abundance was plotted on a logarithmic scale ordered by insect family’s abundance.	79
VI. CAPÍTULO 6. Rasgos morfológicos del maíz y su impacto en la comunidad de artrópodos asociada y patrones de redes de interacción ecológica	89
Table 1. Description of the origin, geographic coordinates and common name of landraces of maize (<i>Zea mays</i> L.) from Yucatan peninsula.	92
Table 2. Morphological plant traits of five landraces of maize (<i>Zea mays</i> L.).	96
Figure 1. Biplot of principal component analysis of resistant and tolerance traits on five landraces of maize <i>Zea mays</i> L. from southeastern Mexico.	97
Figure 2: Redundancy analysis showing the ordination of arthropod and morphological plant traits associated with the resistance and tolerance groups of landraces of maize <i>Zea mays</i> L. from southeastern Mexico.	98
Figure 3. Venn diagrams representing shared families of insects among resistance and tolerance plants of <i>Zea mays</i> L. landraces.	98
Figure 4. Rank—abundance plots of arthropods families of two groups resistance and tolerance plants of <i>Zea mays</i> L. landraces. Abundance was plotted on a logarithmic scale ordered by insect family’s abundance.	99
Figure 3. Comparisons of the diversity values q_D for arthropod communities between resistant and tolerant plants of maize a) q_0 , b) q_1 c) q_2 , Shaded areas represent $\pm 95\%$ CI.	100
Table 3. Network attributes NODF, qualitative nestedness estimator; WNODF, quantitative nestedness estimator; SA, qualitative modularity estimator; C, connectance. *Significant values ($P < 0.05$).	101
SUPPLEMENTARY DATA	112
Table S1. Factor loads for over all groups of plants characteristics and insects associated to lima bean <i>P. lunatus</i> L.	112
Table S2. Factor loads for the family of insects in the vegetative state of growth	113
Table 4. Factor loads for the family of insects in the reproductive state of growth	113
Table S3. List of arthropods observed in resistance and tolerance groups in native maize populations.	114

Resumen.

Alrededor del mundo se estima que existen cerca de 2500 especies de cultivos agrícolas, los cuales se han obtenido a través de la selección artificial de características que mejoran el rendimiento y calidad de productos cosechados. Si bien el mejoramiento agronómico ha mejorado de manera exitosa la productividad global, esto ha tendido a producir variedades de cultivos con bajos niveles de diversidad genética, así como dependencia a insumos químicos contaminantes. Al perderse la diversidad de los cultivos, también puede verse perdida en ciertas características que pueden utilizarse para el mejoramiento agroecológico. La milpa en México es la base de la alimentación y se compone de tres cultivos principales (Maíz frijol y calabazas) los cuales cuando se producen de manera local a baja escala se siembran de manera asociada o separado, usando poblaciones adaptadas con un pool genético que contiene la expresión de características adaptadas al ambiente y a las plagas de la región. Es por esto que las poblaciones criollas usadas en la milpa son una fuente de variabilidad genética importante, donde se pueden encontrar características deseables con adaptación a las plagas y relación idóneas con la entomofauna benéfica, para la mejora de los cultivos y producción alimentaria. Partimos de la siguiente hipótesis: Las poblaciones criollas de la milpa en Yucatán, cuentan con rasgos morfológicos defensivos y fisiológicos, que pueden tener un efecto en la disminución del daño ocasionado por insectos fitófagos. Además, los rasgos morfológicos y sus cambios durante el crecimiento, tienen un efecto en la comunidad de insectos asociados y en las redes de interacción ecológica planta – artrópodo. Es por esto que el objetivo de este estudio es determinar los rasgos de defensa vegetal y la diversidad de insectos en poblaciones criollas de cultivos asociados a la milpa en Yucatán, México. Esto se verá en dos etapas experimentales. La primera sección se enfoca en evaluar los rasgos morfológicos de defensa y su relación con los insectos fitófagos esto en el cultivo de dos especies leguminosas *P lunatus* y *Vigna unguiculata* y en una especie gramínea *Zea mays* L. La segunda sección aborda el estudio de la relación entre las características morfológicas de sobre la comunidad de artrópodos asociados en los cultivos de *P lunatus* y *Zea mays*.

Abstract.

Around the world, it is estimated that there are about 2,500 species of agricultural crops, which have been obtained through the artificial selection of characteristics that improve the yield and quality of harvested products. While agronomic improvement has successfully improved overall productivity, this has tended to produce crop varieties with low levels of genetic diversity, as well as dependence on polluting chemical inputs. As crop diversity is lost, certain traits that can be used for agroecological improvement may also be lost. The milpa in Mexico is the basis of food and is made up of three main crops (corn, beans and squash) which, when produced locally on a low scale, are planted in association or separately, using adapted populations with a genetic pool that contains the expression of characteristics adapted to the environment and to the pests of the region. For this reason, the Creole populations used in the milpa are a source of important genetic variability, where desirable characteristics can be found with adaptation to pests and an ideal relationship with the beneficial entomofauna, for the improvement of crops and food production. We start from the following hypothesis: The Creole populations of the milpa in Yucatan have morphological, defensive and physiological traits, which may have an effect on reducing the damage caused by phytophagous insects. Furthermore, morphological traits and their changes during growth have an effect on the associated insect community and on plant-arthropod ecological interaction networks. That is why the objective of this study is to determine the plant defense traits and the diversity of insects in Creole populations of crops associated with milpa in Yucatan, Mexico. This will be seen in two experimental stages. The first section focuses on evaluating the morphological defense traits and their relationship with phytophagous insects, in the cultivation of two leguminous species *P. lunatus* and *Vigna unguiculata* and in a grass species *Zea mays* L. The second section deals with the study of the relationship among the morphological characteristics of the associated arthropod community in *P. lunatus* and *Zea mays* crops.

I. CAPÍTULO 1. Introducción general.

La domesticación de los cultivos agrícolas, está estimada en 2500 especies a nivel mundial (Meyer *et al.*, 2012), a través de la selección de rasgos de interés que mejoran el rendimiento y la calidad de los productos cosechados. Mientras que los cultivos con fines agronómicos en entornos de alto insumo han aumentado con éxito la productividad global de los cultivos (Lynch, 2007), se ha realizado investigación en variedades modernas en cultivos con una diversidad relativamente baja (Khush, 2001). Causando problemáticas al limitar la diversidad genética de variedades adaptadas para la producción de cultivos en condiciones no óptimas. Esta selección artificial podría estar causando pérdidas de rasgos defensivos de las plantas ya que pueden faltar o expresarse débilmente en plantas domesticadas como consecuencia de la selección de otros rasgos deseables (Chen *et al.*, 2015).

Esto plantea un desafío particular para mejorar la sostenibilidad de la producción de cultivos, ya que apunta a que las variedades modernas tendrían un desempeño deficiente en los sistemas de bajos insumos con el uso restringido de pesticidas. Si bien la productividad de los cultivos ha aumentado durante el último siglo, las pérdidas globales de estos debido al efecto combinado de las malezas, plagas y enfermedades pueden ser de hasta el 40% (Oerke y Dehne, 2004).

En todos los sistemas de vegetación, los insectos herbívoros que se alimentan de follaje, eliminan un 20% de la productividad neta de la planta (Agrawal, 2011). Estas pérdidas ocurren a pesar del aumento en el uso de pesticidas en las últimas décadas (Oerke y Dehne, 2004), esto destaca la necesidad de desarrollar enfoques sostenibles para el control de plagas con menos dependencia de los insumos químicos. (Strauss y Agrawal, 1999; Stowe *et al.*, 2000). Stinchcombe (2002) sugieren que en algunas circunstancias los rasgos de tolerancia podrían influir en el rendimiento de los herbívoros. De este modo, es probable que los rasgos de resistencia impongan una presión de selección más fuerte debido a los impactos más severos en la actividad de la plaga, lo que sugiere que los rasgos de tolerancia serán más estables con mayores posibilidades de proporcionar un control duradero de plagas. De manera adicional las características vegetales pueden tener efectos directos con los insectos herbívoros, pero también en la comunidad de artrópodos asociados, ya que los rasgos morfológicos de las plantas tienen la capacidad de imponer una fuerte presión sobre la comunidad de

insectos asociados. En este sentido, la estabilidad y aptitud de la planta son el resultado de las interacciones entre los rasgos de la planta, sus consumidores y sus enemigos naturales a lo largo de la ontogenia de la planta (Boege and Marquis 2005). Es por lo anterior, que el objetivo de este estudio es determinar los rasgos de defensa vegetal y la diversidad de insectos en poblaciones criollas de cultivos asociados a la milpa originarios de Yucatán, México.

1.2. Antecedentes.

1.2.1. Los cultivos de milpa en la península de Yucatán.

El sistema de producción tradicional “milpa” es un método de policultivo en México, en el cual se cultivan principalmente maíz (*Zea mays*), frijoles (*Phaseolus* spp.) y calabaza. (*Cucurbita* spp.). Se pueden encontrar diferencias en los cultivos asociados entre regiones y costumbres, ya que se pueden encontrar otras especies de leguminosas, chiles e inclusive quelites (Teran y Rasmussen, 1995). Además, las familias cultivan sus productos para la comida. que consumirán durante todo el año en sus milpas, por lo que representa la base de alimentación en México. En la alimentación el maíz aporta carbohidratos, los frijoles proteínas además de fibras y las calabazas aportan aceites y grasas naturales (Zizumbo-Villareal et al., 2012). Además, la diversidad fenotípica de las especies que se cultivan producto de la selección de varias generaciones ha generado poblaciones criollas o poblaciones nativas que han desarrollado adaptaciones a las condiciones De esto modo, la importancia de la milpa radica en el aspecto social, natural y económico (Drexler, 2023).

Es por lo anterior que la milpa es de interés el mejoramiento agroecológicas para el manejo de plagas incluyen el uso de plantas resistentes. En este contexto, el germoplasma de variedades locales representa una fuente adecuada para la resistencia de la planta huésped y para mejorar la productividad de los sistemas agrícolas (Dwivedi et al. 2016). Particularizando, en esta investigación se trabajará sobre los cultivos de *Phaseolus luntus* L y *Zea mays* L.

Los frijoles son el segundo cultivo más importante del mundo. De acuerdo con la FAO en 2018, el frijol ocupó el tercer lugar de importancia por superficie sembrada en México, con 7.9% del total. Además, la Península de Yucatán tiene la mayor riqueza de frijol domesticado cultivado en todo México, y las variedades tienen altos niveles de diversidad genética incluyendo las de *P. lunatus* (Martínez-Castillo et al., 2012) y frijol caupí *Vigna unguiculata* L. Por su parte el maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más

cultivados del mundo junto con el trigo y el arroz. El grano de maíz se consume directamente o se industrializa en una amplia variedad de productos (Gaufichon et al. 2011). A pesar de que el maíz híbrido comercial se siembra en sistemas agrícolas a gran escala en todo el mundo, las poblaciones nativas locales de maíz desempeñan un papel importante en México. El cultivo de variedades locales de maíz es una estrategia de subsistencia que, en algunas áreas, satisface mejor las necesidades de producción y las preferencias culturales de los agricultores locales creando una "cultura de maíz" (Orozco-Ramírez y Astier, 2017).

1.2.2. Rasgos morfológicos como mecanismo de defensa a insectos fitófagos.

La asociación entre las plantas y los insectos se ha dado desde la aparición de las plantas como individuos colonizadores de la mayoría de los hábitats en el mundo. Esta relación prolongada e íntima, ha dado lugar al desarrollo de diversas estrategias de las plantas para lidiar con el ambiente y con sus enemigos naturales; esto se conoce como estrategias de defensa vegetal, la cual se separa en dos componentes: la resistencia (características físicas y químicas) y la tolerancia (incremento en área fotosintética, asignación de recursos, entre otras). La resistencia ocurre cuando las características de las plantas impiden la alimentación de los herbívoros. Mientras que la tolerancia se presenta cuando los rasgos de las plantas reducen los efectos negativos del daño de los herbívoros en el rendimiento del cultivo (Mitchell *et al.* 2016). El manejo de plagas, así como la reducción del uso de pesticidas y agroquímicos son de los paradigmas de mayor importancia para la producción de agrícola. Para lograr esto, una estrategia que se ha venido desarrollando, es la exploración de defensas naturales a través de la selección de variedades, poblaciones criollas, accesiones o materiales locales que presenten características funcionales que favorezcan la capacidad de presentar menor susceptibilidad al daño por plagas (Stinchcombe, 2002).

Dado que muchos organismos nacionales e intergubernamentales han respaldado firmemente las estrategias del manejo integrado de plagas como paradigma para la protección de las plantas, la importancia de las variedades resistentes es cada vez más importante. En la península de Yucatán, se han realizado estudios sobre la búsqueda de este arsenal defensivo de las plantas (características físicas, fisiológicas y químicas) así como su impacto sobre el daño ocasionado por diferentes insectos consumidores del follaje de las plantas. A continuación, mencionaremos algunos casos, plantas y su relación con artrópodos insectos. En 2020 dos Santos y colaboradores, evaluaron el daño

ocasionado por *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (lepidóptero conocido como el gusano cogollero del maíz) y su relación con características morfológicas en poblaciones criollas y mejoradas de maíz *Zea mays* L (Poaceae). Los investigadores encontraron que las poblaciones criollas muestran menores daños que las poblaciones mejoradas, esto atribuido a la dureza de las hojas. Finalmente, la literatura indica una alta variedad de compuestos químicos que tienen propiedades defensivas en las plantas, por ejemplo, α -solanina, un alcaloide esteroide saponina de las solanáceas como el tomate *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) y la patata *Solanum tuberosum* L. (Solaneae) (Paudel *et al.* 2017); Gossypol, un aldehído sesquiterpénico del algodón *Gossypium* sp L. (Malvaceae). (Tian *et al.* 2016); Nicotina, un alcaloide del tabaco *Nicotiana tabacum* L.(Solaneae); y (*E*)- β -cariofileno, un sesquiterpeno volátil presente en el maíz *Zea mays* L (Poaceae). (Köllner *et al.* 2008). Lo anterior es muestra de las diferentes estrategias defensivas de las plantas, la efectividad de la defensa vegetal dependerá en gran medida del estado nutricional de las plantas, a las condiciones del medio ambiente y ultimadamente a la presión ejercida por parte de los insectos.

1.2.3. Asociaciones de los rasgos vegetales con la diversidad de artrópodos.

Además de las implicaciones de los rasgos sobre los artrópodos insectos fitófagos también se pueden observar efectos alternativos sobre la entomofauna general de cada especie cultivada en particular. Actualmente, los principales problemas para la producción de alimentos se basan en la dependencia de pesticidas y otros insumos químicos (War *et al.* 2012). En la búsqueda de los rasgos morfológicos asociados a la defensa que inciden en la interacción entre la planta y los insectos, se ha visto como los rasgos físicos (área foliar, tricomas, grosor y dureza de las hojas), químicos (exudados, taninos y volátiles) y bióticos (mutualismo, comensalismo, depredación, parasitismo y competencia, entre otros) y su interacción, puede utilizarse para seleccionar poblaciones de interés económico para la sostenibilidad ecológica de los sistemas agrícolas (Stenberg *et al.* 2015). En este sentido, la estabilidad y aptitud de la planta ultimadamente de un cultivo son el resultado de las interacciones entre los rasgos de la planta, sus consumidores y sus enemigos naturales a lo largo de la ontogenia de la planta (Boege y Marquis 2005). Por esto es importante predecir y evaluar los cambios en los caracteres ontogenéticos, ya que estos factores pueden alterar las consecuencias ecológicas de las interacciones planta-insecto. Por lo es importante identificar los rasgos funcionales de las plantas y para esto, se requiere de estudios que aborden los rasgos defensivos y las condiciones ambientales, así como su impacto en la conformación de la comunidad de artrópodos asociados

(Mitchell *et al.*, 2016).

Existen pocos estudios que aborden la estructura de comunidades de genotipos de plantas y su impacto sobre los artrópodos. La hipótesis de interacción de especies fundacionales, postula que las relaciones como la planta huésped y otras especies ecológicamente importantes (defoliador o un polinizador), pueden dar forma a la comunidad más grande (comunidad de insectos) (Keith *et al.*, 2011;). Sin embargo, estas interacciones centrales entre las especies fundacionales no siempre se identifican con facilidad y es posible que no se presenten en sistemas particulares o cerrados (Lamit., 2015). La relación entre las plantas y los artrópodos insectos es un tema determinante para la productividad de plantas en la vegetación natural y cultivada, por esta razón es importante predecir y evaluar los cambios en los rasgos y características ontogenéticas de las plantas y su impacto en las interacciones ecológicas con la comunidad insectos.

1.3 Hipótesis.

Las poblaciones criollas de los cultivos asociados a la milpa en Yucatán, cuentan con rasgos morfológicos defensivos (grosor, dureza, densidad de tricomas) y fisiológicos (fotosíntesis, conductancia estomática, carbono intercelular), que pueden tener un efecto en la disminución del daño ocasionado por insectos fitófagos. Además, los rasgos morfológicos y sus cambios durante el crecimiento y entre poblaciones de diferentes especies, tienen un efecto en la comunidad de insectos asociados (diversidad y abundancia de familias) y en las redes de interacción ecológica planta – artrópodo.

1.4 Objetivos (general y específicos).

Objetivo General

Determinar los rasgos de defensa vegetal y la diversidad de insectos en poblaciones criollas de cultivos asociados a la milpa en Yucatán, México.

Objetivos específicos

Evaluar los rasgos morfológicos y fisiológicos asociadas al daño por fitófagos en poblaciones criollas de lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) de Yucatán.

Determinar la relación entre los rasgos morfológicos foliares y el daño causado por *Diabrotica* spp en poblaciones locales de *Vigna unguiculata* L. y *Phaseolus lunatus* L. de la península de Yucatán.

Evaluar los rasgos morfológicos y fisiológicos del maíz y su relación al daño foliar causado por *Spodoptera frugiperda* en poblaciones criollas en el estado de

Yucatán.

Caracterizar la comunidad de plagas de insectos benéficos a nivel supragenérico asociados a poblaciones criollas de lima bean (*P. lunatus* L.) de la Península de Yucatán.

Determinar las redes de interacción ecológica, planta – plaga – enemigo natural, en poblaciones criollas de maíz (*Zea mays* L.), y su asociación a los rasgos de defensa.

1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

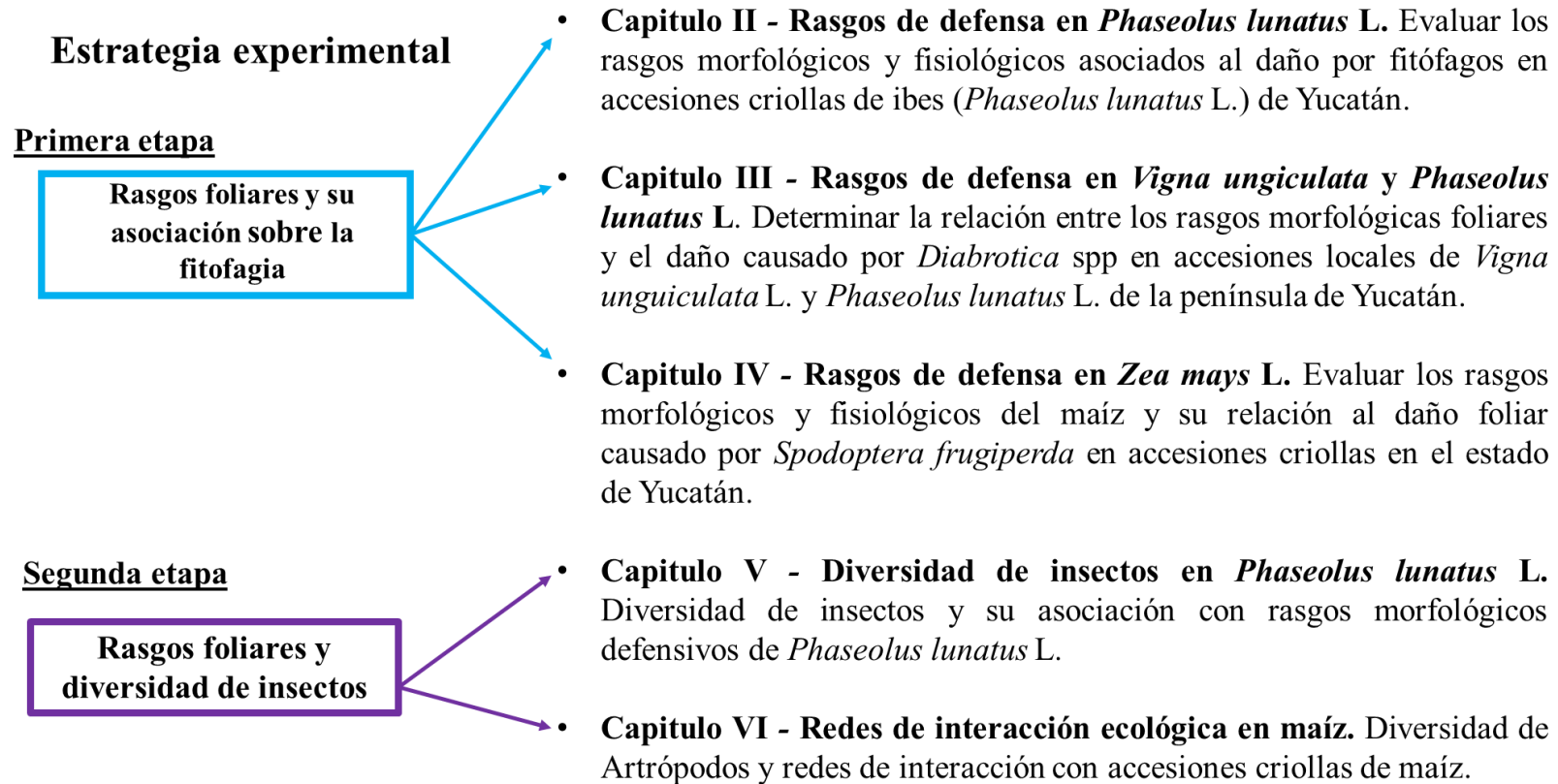


Figura 1. Estrategia experimental, etapas de estudio y ordenamiento de capítulos de investigación.

1.6 LITERATURA CITADA.

- Agrawal, A. A. (2011). Current trends in the evolutionary ecology of plant defence. *Funct. Ecol.* 25, 420–432. Doi: 10.1111/j.1365-2435.2010.01796.x
- Boege, K., Marquis, R. J., 2005. Mechanisms of herbivore resistance. *Trends in Ecology & Evolution*, 8, 441–448. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.001>.
- Chen, Y. H., Gols, R., and Benrey, B. (2015). Crop domestication and its impact on naturally selected trophic interactions. *Annu. Rev. Entomol.* 60, 35–58. Doi: 10.1146/annurev-ento-010814-020601
- Drexler, K. A (2020). Government Extension, Agroecology, and Sustainable Food Systems in Belize Milpa Farming Communities: A Socio-ecological Systems Approach. *J Agric Food Syst Community Dev.* 2020, 9(3), 85–97. <https://doi.org/10.5304/jafscd.2020.093.001>.
- Dwivedi, S. L., S. Ceccarelli, M. W. Blair, H. D. Upadhyaya, A. K. Are, and R. Ortiz. (2016). Landrace germplasm for improving yield and abiotic stress adaptation. *Trends in Plant Science* 21 (1): 31-42. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.10.012>.
- Gaufichon, L., B. Bachelier, and J. L. Prioul. (2011). “The Contribution of Biotechnology to Improve Drought Tolerance of Cereals. In Plant biotechnology”. Environment, Food, Health. Under Direction of Ricoch A., Dattée Y. and Fellous M. Ed. VUIBERT–AFBV, Paris. 170–184.
- Keith AR, Bailey JK, Whitham TG. (2010). A genetic basis to community repeatability and stability. *Ecology.* 91: 3398–3406. <https://doi.org/10.1890/09-1236.1>.
- Khush, G. S. (2001). Green revolution: the way forward. *Nat. Rev. Genet.* 2, 815–822. Doi: 10.1038/35093585
- Köllner T.G., Held M., Lenk C., Hiltbold I., Turlings T.C., Gershenzon J., y Degenhardt J. 2008. A maize (E)-beta-caryophyllene synthase implicated in indirect defense responses against herbivores is not expressed in most American maize varieties. *Plant Cell* 20: 482-94. <https://doi.org/10.1105/tpc.107.051672>.
- Lamit LJ, Busby PE, Lau MK, Compson ZG, Wojtowicz T, Keith AR. (2015). Tree genotype mediates covariance among communities from microbes to lichens and arthropods. *Ecology.* 103: 840– 850. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12416>.
- Lynch, J. P. (2007). Roots of the second green revolution. *Aust. J. Bot.* 55, 493–512. Doi:

10.1071/bt06118

- Martínez-Castillo J, Zizumbo-Villarreal D, Perales-Rivera H, Colunga-García M. (2004). Intraspecific diversity and morpho-phenological variation in *Phaseolus lunatus* L. from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Economic Botany*. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2004\)058\[0354:IDAMVI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0354:IDAMVI]2.0.CO;2).
- Meyer, R. S., DuVal, A. E., and Jensen, H. R. (2012). Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative analysis of 203 global food crops. *New Phytol.* 196, 29–48. Doi: 10.1111/j.1469-8137.2012.04253.x
- Mitchell C, Brennan RM, Graham J, Karley AJ. 2016. Plant Defense against Herbivorous Pests: Exploiting Resistance and Tolerance Traits for Sustainable Crop Protection. *Frontiers in Plant Science* 7:1132 <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01132>.
- Oerke, E. C., and Dehne, H. W. (2004). Safeguarding production – losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Prot.* 23, 275–285. Doi: 10.1016/j.cropro.2003.10.001
- Orozco-Ramírez Q, Astier M (2017) Socio-economic and environmental changes related to maize richness in Mexico's central highlands. *Agric Hum Values* 34:377–391
- Paudel J.R., Davidson C., Song J., Maxim I., Aharoni A., y Tai H.H. 2017. Pathogen and pest responses are altered due to RNAi-mediated knockdown of GLYCOALKALOID METABOLISM 4 in *Solanum tuberosum*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 30: 876- 885. <https://doi.org/10.1094/MPMI-02-17-0033-R>.
- Stinchcombe, J. (2002). Can tolerance traits impose selection on herbivores? *Evol. Ecol.* 16, 595–602. Doi: 10.1023/A:1021617418037
- Stowe, K. A., Marquis, R. J., Hochwender, C. G., and Simms, E. L. (2000). The evolutionary ecology of tolerance to consumer damage. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 31, 565–595. Doi: 10.1146/annurev.ecolsys.31.1.565
- Strauss, S. Y., and Agrawal, A. A. (1999). The ecology and evolution of plant tolerance to herbivory. *Trends Ecol. Evol.* 14, 179–185. Doi: 10.1016/s0169-5347(98)01576-6
- Terán, S.; Rasmussen, C. H. (1995). Genetic Diversity and Agricultural Strategy in 16th Century and Present-day Yucatecan Milpa Agriculture. *Biodivers Conserv.* 4(4), 363–381. DOI: 10.1007/BF00058422

Tian X., Ruan J., Huang J., Fang X., Mao Y., Wang L., Chen X., y Yang C. 2016. Gossypol: phytoalexin of cotton. *Science China Life Sciences* 59: 122-129. <https://doi.org/10.1007/s11427-016-5003-z>.

Zizumbo-Villarreal, D.; Flores-Silva, A.; Marin, P. C. G. (2012). The Archaic Diet in Mesoamerica: Incentive for Milpa Development and Species Domestication. *Econ. Bot.* 2012, 66(4), 328–343. <https://doi.org/10.1007/s12231-012-9212-5>.

II. CAPÍTULO 2. Determining relevant traits for selecting landrace accessions of *Phaseolus lunatus* L. for insect resistance

Artículo publicado: PeerJ 2021 DOI: [10.7717/peerj.12088](https://doi.org/10.7717/peerj.12088)

Roberto R. Ruiz-Santiago¹, Horacio S. Ballina-Gómez^{1,2}, Esaú Ruiz-Sánchez¹, Jaime Martínez-Castillo³, René Garruña-Hernández⁴ and Rubén Humberto Andueza-Noh⁴

roberto.ruiz@itconkal.edu.mx

horacio.bg@conkal.tecnm.mx

¹Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal, Conkal, Yucatán, México.

³Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

⁴Conacyt-Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal, Conkal, Yucatán, México.

Corresponding Author:

Horacio Salomón Ballina-Gómez²

Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México.

Email address: horacio.bg@conkal.tecnm.mx

2.1 Abstract.

Plant–insect interactions are a determining factor for sustainable crop production. Plants have been successful in colonizing most environments due in part to their ability to resist or tolerate herbivores. However, despite the use of pesticides, herbivorous insects can cause enough damage to plants to reduce their net productivity by as much as 20%, but modern crop varieties tend to have relatively low levels of diversity. Sustainable strategies for pest control with less dependence on chemical inputs are thus needed. Selecting plants with resistance and photosynthetic traits can help minimize damage and maintain productivity. Here, 27 accessions of lima beans, *Phaseolus lunatus* L., from the Yucatan Peninsula were evaluated in the field for morphological resistance traits, photosynthetic characteristics, insect damage and seed yield. Variation was found in physical leaf traits (number, area, and dry mass of leaves; trichome density, specific leaf thickness and hardness) and in physiological traits (photosynthetic rate, stomatal conductance, intercellular carbon, water-use efficiency, and transpiration). In a redundancy analysis, 10 accessions (JMC1325, JMC1348, JMC1273, JMC1208, JMC1339, JMC1288, JMC1264, RRS001, JMC1280, and

JMC1271) were the best performers based on yield even though two (JMC128839, JMC128839) had the greatest damage. Likewise, resistance traits such as the number of leaves, specific leaf area and foliar area were important in maintaining high yields. This study identified 12 important morphological and physiological traits for selecting native accessions of *P. lunatus* for high yields (regardless of damage level) with less agrochemical inputs toward sustainable, environmentally safe crop protection.

III. CAPÍTULO 3. Leaf damage by *Diabrotica* spp. (Coleoptera: Chrysomelidae) and leaf morphological traits in landrace accessions of two edible Fabaceae species.

Capítulo enviado a la revista: Archives of Phytopathology and Plant Protection

Roberto Rafael Ruiz-Santiago^{1*}, Esaú Ruiz-Sánchez¹, Horacio Salomón Ballina-Gómez¹, Chan-Arjona Daniel¹, Jacques Fils Pierre²

¹Division of Postgraduate Studies and Research, Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal, Conkal 973453, Mexico

²International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, AL 35662, United States

roberto.ruiz@itconkal.edu.mx

horacio.bg@conkal.tecnm.mx

3.1 Abstract.

Abstract: Chrysomelid pests are not only known as bean leaf feeders but also as viral vectors. Chemical control is the most common, although it comes at a great economic and environmental cost. *Diabrotica* species that attack cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. and lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) are known as significant threats to the agricultural system of the Yucatan Peninsula. *Diabrotica* spp. causes significant leaf damage in edible Fabaceae, especially during the initial growth stages. Therefore, the objective of this study was to assess the damage caused by adults of *Diabrotica* spp. to the leaves of landrace accessions of *V. unguiculata* and *P. lunatus* and to examine leaf morphological characteristics associated with plant defense. In the field, accessions were grown using a randomized complete block design, and leaf damage caused by *Diabrotica* spp. was evaluated based on the percentage of leaf loss. Leaf area, leaf specific area, hardness, and thickness were evaluated as morphological leaf traits. Additionally, the correlation between leaf damage and morphological leaf traits was examined. Overall, *V. unguiculata* landrace accessions showed more variability in leaf damage than those of *P. lunatus*. Our results showed that *V. unguiculata* landrace accessions 04CAMCL and 17YUCVA showed the lowest leaf damage from *Diabrotica* spp., ranging from 0.10 to 0.78%, while *P. lunatus* landrace accessions JMC1297, JMC1348 and JMC1357, presented the lowest leaf damage from

Diabrotica spp., where the damage ranged from 11.50 to 15%. Additionally, significant differences in leaf morphological traits were found among accessions in both legume species ($p > 0.0003$). Pearson correlation analysis showed that leaf damage had a slight positive correlation with leaf thickness in *V. unguiculata* ($r = 0.27$, $p < 0.05$), but had a slight positive correlation with SLA in *P. lunatus* ($r = 0.30$, $p < 0.05$). Therefore, this study identified two *V. unguiculata* and three *P. lunatus* landrace accessions that can be utilized as a starting point to identify morphological traits and select landrace accessions that are resistant to leaf damage by *Diabrotica* spp. in edible Fabaceae on the Yucatan peninsula.

Keyword: Insect-plant interaction, plant pest, Fabaceae accessions, leaf chewer.

IV. CAPÍTULO 4. Damage by *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in maize landraces and characterization of leaf morphological and physiological traits.

Capítulo en revisión en la revista Archives of Phytopathology

Roberto Rafael Ruiz-Santiago^a, Esaú Ruiz-Sánchez^{a*}, Horacio Salomón Ballina-Gómez^a, Rubén Humberto Andueza-Noh^a, Alejandra González-Moreno^a, Ana Paola Martínez-Falcón^b, René Garruña^a

^aDivision of Graduate Studies and Research, Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal. Avenida Tecnológico s/n, Municipio de Conkal. C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México.

^bCentro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca- Tulancingo Km. 4.5, Col. Carboneras, Mineral Reforma, C. P. 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

roberto.ruiz@itconkal.edu.mx

horacio.bg@conkal.tecnm.mx

4.1 Abstract.

In the search for environmentally friendly options to manage plant pest and enhance productivity with less external inputs in agriculture, the screening of landraces accessions has gained importance. In this work, the leaf damage by *S. frugiperda* in landraces accessions of maize was evaluated in a naturally infested field, additionally, morphological (thickness, toughness, specific leaf area and trichomes) and physiological (photosynthesis, transpiration and stomatal conductance) leaf traits were measured to determine associations with the leaf damage and the potential productivity of the maize. The plant damage was above 50 % and the level of leaf damage was moderate. Leaf morphological and physiological traits varied among accessions. Interrelationships among traits and leaf damage were determined using correlation, and sequential path analyses. We found associations between leaf damage and photosynthesis ($r = -0.44$), transpiration rate ($r = -0.64$), and stomatal conductance ($r = -0.50$). In addition, a pathway analysis was run showing differential interaction pathways between low and high damage susceptibility. Given this scenario, the most outstanding accessions would be those that show less damage by *S. frugiperda* and high photosynthesis, transpiration rate and stomatal conductance (accessions 2020-005 and 2020-082).

Keywords: Plant defense, maize physiology, maize pests, chewing insect.

V. CAPÍTULO 5. Linking plant traits to insect communities: identifying ecological relationships between plant characteristics and insect community composition.

Este capítulo se planea enviar a la revista: Arthropod-Plant Interactions (APIS)

Roberto Rafael Ruiz-Santiago^a, Horacio Salomón Ballina-Gómez^{*a}, Esaú Ruiz-Sánchez^a, Ana Paola Martínez-Falcón^b, Alejandra González-Moreno^a, Rubén Humberto Andueza-Noh^a, Jacques Fils Pierre^c, Jaime Martínez-Castillo^d.

^a *Division of Postgraduate Studies and Research, Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal, Conkal, Yucatán, México.*

^b *Center for Biological Research, Autonomous University of the State of Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, Mexico. 1 National Technological Institute of Mexico, Campus Conkal. Technological Avenue s/n, Municipality of Conkal. CP 97345, Conkal, Yucatan, Mexico.*

^c *International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, AL 35662, United States*

^d *Centro de Investigacion Cientifica de Yucatan, Merida, Yucatan, Mexico*

roberto.ruiz@itconkal.edu.mx

horacio.bg@conkal.tecnm.mx

5.1 Abstract.

Abstract: The study of the interactions between plants and insects is a determining issue for the productivity of plants in natural and managed vegetation. Therefore, the need arises to develop sustainable strategies for food production focused on concerns about human health, environmental safety, and resistance to pesticides. Likewise, it is important to predict and evaluate changes in traits and ontogenetic characteristics since these factors can alter the ecological consequences of plant-insect interactions. Therefore, the objective of the study was to analyze the relationship between morphological traits and the insect population through the ontogeny of the lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) crop. Creole populations of lima bean from the Yucatan Peninsula were evaluated in the field. Information on the phenotypic traits of the accessions and the composition of the community of insect families was collected in the field. The relationship between morphological traits of plants and insect communities was evaluated. In addition, the structure of the insect population in the vegetative and reproductive growth stages (richness, abundance, and evenness) was analyzed through Whittaker abundance range curves. In general, the most important group of variables were color traits, insect families, and insect guilds. This indicates that, specifically, the

color traits of cotyledons, hypocotyls, and seeds, together with the specific leaf area, have an outstanding association with the Chrysomelidae and Rhyarochromidae families. In addition, the insect community was better adapted to the vegetative state in terms of diversity and dominance. These results show the relationship of plant morphological traits with insect families and the change in lima bean ontogeny, which contributes to the understanding of the ecological relationships of various groups of insects and their ecological roles. In this way, they can develop strategies with important implications for reducing the use of pesticides that strengthen knowledge for a more sustainable and environmentally friendly agro–food production.

Keywords: *Lima bean, associations, plant–insect interaction, Landraces.*

VI. CAPÍTULO 6. Rasgos morfológicos del maíz y su impacto en la comunidad de artrópodos asociada y patrones de redes de interacción ecológica

Roberto Rafael Ruiz–Santiago^a, Ana Paola Martínez–Falcón^b, Horacio Salomón Ballina–Gómez^a, Esaú Ruiz–Sánchez^a, Alejandra González–Moreno^a, Rubén Humberto Andueza–Noh^a.

^aDivision de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal, Conkal, Yucatán, México.

^bCentro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, México.

roberto.ruiz@itconkal.edu.mx

horacio.bg@conkal.tecnm.mx

6.1 Resumen.

Identificar los rasgos funcionales de las plantas para la protección se requiere de estudios que aborden los rasgos defensivos y las condiciones ambientales, así como su impacto en la conformación de la comunidad de artrópodos asociados. Para el uso de redes ecológicas en estudios que incluyan los atributos propios de las especies interactuantes y los patrones fenológicos de las especies. Es por lo anterior que los maíces nativos de la península de Yucatán representan un recurso de gran interés debido a su gran acervo genético, a su adaptación a diferentes condiciones ambientales y a su importancia cultural en la región. El objetivo de este estudio fue determinar los rasgos de defensa asociados a las estrategias de resistencia y tolerancia, y su impacto sobre la comunidad de artrópodos y los patrones de interacción de redes en las poblaciones nativas criollas de maíz (*Zea mays* L.) originarios de la península de Yucatán. Este estudio proporciona información valiosa sobre la relación entre las estrategias de defensa de las plantas y las comunidades de artrópodos en las poblaciones de maíz en la península de Yucatán, en la búsqueda de materiales valiosos económicos, ecológicos y sociales para la agricultura.

Key words: Landraces populations, agriculture, diversity, community.

VII CONCLUSIONES GENERALES.

Los rasgos de defensa vegetal y la diversidad de insectos en poblaciones criollas de cultivos asociados a la milpa originarios de Yucatán, México. Se evaluaron en las especies de *P. lunatus* L. lima bean, *Vigna unguiculata* L. y *Zea mays* L. maíz. En experimentos separados y con la finalidad de ver su potencial intrínseco de cada especie.

En la primera etapa de rasgos foliares y su asociación sobre la fitofagia se evaluaron en tres especies *P. lunatus* L., *V. unguiculata* L. y *Zea mays* L. Para el caso de *P. lunatus*. mostró una respuesta similar en los rasgos morfológicos, fisiológicos y respuesta al daño. Sin embargo, al considerar de manera global el conjunto de variables, las accesiones 19= JMC1339 y 20= JMC1288 mostraron la mayor asociación al daño por insectos fitófagos, a pesar de esto sobresalieron en cuanto al rendimiento de grano. Por su parte al comparar *P. lunatus* con *V. unguiculata* se observó un mayor grado de daño en *V. unguiculata* en comparación con *P. lunatus*, el análisis de correlación indica que el daño casado por *Diabrotica* spp está relacionado con el área foliar específica (SLA) en *P. lunatus* y al grosor en *V. unguiculata*. Por lo que en el caso de las leguminosas los rasgos de defensa estarían mostrando un rasgo de criterio de selección para los insectos como mejor recurso alimenticio que como mecanismo de defensa. En el caso del maíz, los rasgos morfológicos variaron principalmente en las etapas iniciales de crecimiento, el daño por gusano cogollero mostró correlaciones negativas únicamente con los rasgos fisiológicos: fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática. Las accesiones más destacadas fueron aquellas que presentaron menor daño por *S. frugiperda* y alta tasa fotosintética (P_N), transpiración y (E) y conductancia estomática (g_s) (2020-005 y 2020-082).

Para la segunda etapa llamada, rasgos foliares y diversidad de insectos, se realizaron los estudios en lima bean *P. lunatus* y maíz *Zea mays*. Los rasgos morfológicos en mostraron implicaciones importantes en la conformación de la comunidad de insectos en ambos cultivos. Cuando se estudió la relación de los rasgos morfológicos y la comunidad de insectos en el frijol lima (*P. lunatus* L.). Las variables que estuvieron más asociadas entre sí fueron los rasgos: color de las semillas, color de cotiledones e hipocótilos, así como las familias Chrysomelidae y Rhyparochromidae. Estos resultados muestran la relación de los rasgos morfológicos de las plantas con las familias de insectos y el cambio en la ontogenia del frijol lima, lo que contribuye a la

comprensión de las relaciones ecológicas de varios grupos de insectos y sus roles ecológicos. Finalmente, en el caso de maíz, el estudio de redes mostró la implicación diferencial en las estrategias de defensa (resistencia y tolerancia) sobre la comunidad de artrópodos. La asociación entre las redes de la comunidad de artrópodos y plantas de maíz mostraron anidamiento cualitativo y cuantitativo respectivamente. La raza con que mostró mayores interacciones fue *Ek juub* con artrópodos, mientras que en las plantas con rasgos tolerantes fue la población *X Nuuk nal*.

A pesar de que la capacidad defensiva de las plantas ha mostrado resultados positivos, esta estrategia no es la panacea, debido a que la efectividad de la defensa vegetal dependerá de las condiciones ambientales, el nivel de infestación de las plagas y en la capacidad de respuesta de las plantas. En escenarios de altas infestaciones de insectos, las plantas se pueden ver rebasadas en su capacidad defensiva, lo cual representaría afectaciones importantes para los agricultores. En estos casos, se podría recurrir a otras estrategias como a la aplicación de insecticidas biológicos basados en plantas, agentes de control biológico como insectos benéficos (depredadores y parasitoides) y microorganismos benéficos (hongos y bacterias). Los cuales han mostrado no tener efectos negativos en el ambiente ni en la salud. Aunado a esto es fundamental el desarrollo y uso de herramientas estadísticas robustas que comprueben las hipótesis de los investigadores, la relación de variables de las plantas y los insectos, así como su función y el cambio dentro de un ecosistema. Es por lo anterior que se recomienda realizar estudios que contribuyan al entendimiento de las interrelaciones entre la capacidad defensiva de las plantas y los insectos ante diferentes condiciones de los sistemas de producción agroecológica en Yucatán.