



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



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

**EFFECTO DEL SISTEMA ASOCIADO MAÍZ-LEGUMINOSA
SOBRE EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y
FISIOLÓGICO DE MAÍZ NATIVO**

TESIS

Que presenta:

Aldo Daniel Chan Arjona

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

Dr. Esaú Ruiz Sánchez

Conkal, Yucatán, México

Octubre, 2024



TecNM



Conkal, Yucatán, México a 21 de octubre de 2024.

El comité de tesis del candidato a grado: Aldo Daniel Chan Arjona, constituido por los CC. Dr. Esaú Ruiz Sánchez, Dr. Luis Latournerie Moreno y el Dr. Rene Garruña Hernández, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **EFFECTO DEL SISTEMA ASOCIADO MAÍZ-LEGUMINOSA SOBRE EL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y FISIOLÓGICOS DE MAÍZ NATIVO**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical, 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. Esaú Ruiz Sánchez
Director de Tesis

Dr. René Garruña Hernández
Asesor de Tesis

Dr. Luis Latournerie Moreno
Co-director de Tesis



Conkal, Yucatán, México a 21 de octubre de 2024

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.

Aldo Daniel Chan Arjona

IV. AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Esaú Ruiz Sánchez y al Dr. Roberto Rafael Ruiz Santiago por su paciencia, disponibilidad y amistad constante para motivarme día con día para ser mejor en esta bella profesión dedicada a la investigación agrícola. Pero sobre todo por brindarme su confianza y buen consejo en los momentos que más los necesité. Y de manera especial, estoy agradecido de todo corazón al Dr. Esaú Ruiz Sánchez por haber sido mi mentor durante todo mi proceso de formación desde la Licenciatura y hasta hoy en día culminando la maestría.

A mis asesores del comité de tesis conformado por el Dr. Luis Latournerie Moreno y al Dr. René Garruña Hernández por sus aportaciones, conocimientos, objetividad, por su tiempo y honestidad durante el desarrollo de este trabajo.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por brindarme el apoyo económico para mis estudios de maestría.

A mis amigos Julio Cesar Ahuatzin Hernández y Mauricio Moguel Chiu, por su amistad durante estos dos años de carrera juntos, donde me demostraron coleguismo y amistad sincera, es por esto por lo que estoy muy agradecido a la vida de haberlos conocido.

A mi madre, mi padre y familia en general, que me apoyaron incondicionalmente durante este proceso y sobre todo por las enseñanzas que me brindaron desde pequeño, por el cual, gracias a ello, nunca me he rendido a pesar de las dificultades que la vida me ha hecho pasar.

A la madre de mi hijo por su comprensión y apoyo durante estos dos años, los cuales fueron difíciles para mí como estudiante y padre al mismo tiempo. Sin embargo, nada es imposible cuando se tiene una meta fija, y sobre todo cuando alguien viene atrás de ti siguiendo tus pasos. Es por esto, que les agradezco desde lo más profundo de mi corazón y decirles que los quiero mucho.

Por último, agradezco a todos los estudiantes del Tecnológico Nacional de México “Campus Conkal” que colaboraron en los procesos experimentales de esta tesis.

“El agradecimiento es la memoria del corazón”

V. INDICE DE CONTENIDO

I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.2.1 Importancia del maíz y las leguminosas en México.....	2
1.2.2 Sistema de producción asociado maíz-leguminosa.....	3
1.2.3 Beneficios de la asociación con leguminosas.....	4
1.3 Hipótesis.....	5
1.4 Objetivos (general y específicos).....	5
1.5 Procedimiento experimental.....	6
1.6 Literatura citada.....	7
II. CAPÍTULO 2. EFECTO DEL CULTIVO INTERCALADO MAÍZ- LEGUMINOSA EN EL CRECIMIENTO Y DAÑOS POR PLAGAS EN MAÍZ CRIOLLO EN YUCATÁN.....	11
2.1 Resumen.....	11
2.2 Introducción.....	12
2.3 Materiales y métodos.....	14
2.4 Resultados.....	15
2.5 Discusión.....	18
2.6 Conclusión.....	20
2.7 Literatura citada.....	21
III. CAPÍTULO 3. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y FISIOLÓGICO DE TRES CULTIVARES DE MAÍZ CRIOLLO EN MONOCULTIVO Y ASOCIADO CON FRIJOL CAUPÍ (<i>Vigna unguiculata</i> L.).....	25
3.1 Abstract.....	25
3.2 Introducción.....	26
3.3 Materiales y métodos.....	28
3.4 Resultados.....	30
3.5 Discusión.....	34
3.6 Conclusión.....	36
3.7 Literatura citada.....	37
IV. CONCLUSIONES GENERALES.....	42

VI. INDICE DE CUADROS Y/O FIGURAS

I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
Figura 1. Esquema general de los apartados primarios de la tesis y subdivisión de los puntos abordados en cada capítulo realizado	6
II. CAPÍTULO 2. EFECTO DEL CULTIVO INTERCALADO MAÍZ-LEGUMINOSA EN EL CRECIMIENTO Y DAÑOS POR PLAGAS EN MAÍZ CRIOLLO EN YUCATÁN.....	11
Figura 1. Esquema del arreglo de siembra maíz-frijol caupí y monocultivo de maíz. a) Maíz + frijol caupí en siembra simultánea (Arreglo MF0), b) Maíz + frijol caupí sembrado 20 días después del maíz (Arreglo MF20), y c) Monocultivo maíz (Arreglo MM).....	14
Figura 2. Efecto de tres arreglos de siembra en las variables, altura de planta (a), diámetro del tallo (b), número de hojas (c) peso seco de tallo (d) y peso seco de hojas (e) de plantas de maíz a los 40 días después de emergencia. Arreglo MF20 (Maíz + frijol caupí sembrado 20 días después), MF0 (Maíz + frijol caupí en simultáneo) y MM (monocultivo maíz).....	16
Figura 3. Porcentaje de plantas dañadas y grado de daño ocasionado por gusano cogollero en plantas de maíz a los 20 días después de la emergencia (a y c) y 40 días después de la emergencia (b y d). Arreglo MF20 (Maíz + frijol caupí sembrado 20 días después del maíz), MF0 (Maíz + frijol caupí en simultáneo) y MM (monocultivo maíz).....	17
Figura 4. Porcentaje de daño (a) y severidad de daños (b) ocasionado por achaparramiento en las plantas de maíz. Arreglo MF20 (Maíz + frijol caupí sembrado 20 días después del maíz), MF0 (Maíz + frijol caupí en simultáneo) y MM (monocultivo maíz).....	18
III. CAPÍTULO 3. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y FISIOLÓGICO DE TRES CULTIVARES DE MAÍZ CRIOLLO EN MONOCULTIVO Y ASOCIADO CON FRIJOL CAUPÍ (<i>Vigna unguiculata</i> L.).....	25
Figura 1. Efecto del sistema de producción (monocultivo y asociado) en la altura de planta (a), diámetro del tallo (b), número de hojas (c), área foliar (d), peso seco de hojas (e) y área foliar específica (f) de tres cultivares de maíz criollo.....	31
Figura 2. Efecto del sistema de producción (monocultivo y asociado) en la incidencia (a) y grado de daño (b) ocasionado por gusano cogollero (<i>S. frugiperda</i>) a los 60 días después de la emergencia en tres cultivares de maíz criollo.....	32

Figura 3. Efecto del sistema de producción (monocultivo y asociado) en la fotosíntesis (a), transpiración (b) y uso eficiente del agua (c) de tres cultivares de maíz criollo en etapa de floración.....	33
Figura 4. Efecto del sistema de producción (monocultivo y asociado) en el número total de mazorcas llenas (a) y el rendimiento de grano (b) en tres cultivares de maíz criollo.....	34
ANEXO 1. LEGUMINOSAS: PROVEEDORES DE SERVICIOS AGROECOLÓGICOS PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE MAÍZ.....	43
Figura 1. Vías de transferencia de nitrógeno y fósforo en el cultivo de maíz asociado con leguminosas. A. Transferencia de amonio a través del contacto radicular, B. mediante el micelio de las micorrizas, C. en la descomposición de materia vegetal en raíces, nódulos y hojas, D. liberación de ácidos orgánicos y enzimas fosfatasas para la recuperación y uso eficiente de fósforo.....	45
Figura 2. Efecto pull (atracción) de la asociación maíz-leguminosa. Atracción de enemigos naturales (parasitoides y depredadores) y supresión poblacional de insectos plaga (las flechas verdes indican interacción benéfica y las flechas rojas interacción perjudicial).....	46
Figura 3. Sistemas de producción agrícola en crecimiento avanzado: A. monocultivo maíz, B. monocultivo leguminosa, C. asociado maíz-leguminosa.....	47
ANEXO 2. COMPORTAMIENTO AGROFISIOLÓGICO DE FRIJOL CAUPÍ (<i>Vigna unguiculata</i> [L.] WALP.) EN RESPUESTA A LA ASOCIACIÓN CON MAÍCES NATIVOS COMUNES DE LA MILPA MAYA DE YUCATÁN.....	51
Figura 1. Crecimiento de frijol caupí (<i>V. unguiculata</i> L.) en diferentes sistemas de cultivo. a) altura de planta; b) longitud de la ramificación central; c) diámetro del tallo; d) número de ramificaciones; e) número de hojas; f) área foliar en frijol caupí.....	54
Figura 2. Parámetros fisiológicos y rendimiento de grano de frijol caupí (<i>V. unguiculata</i> L.) en diferentes sistemas de cultivo. a) fotosíntesis; b) transpiración; c) uso eficiente del agua; d) rendimiento de grano.....	55

VII. INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. LEGUMINOSAS: PROVEEDORES DE SERVICIOS AGROECOLÓGICOS PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE MAÍZ.....	43
1.1 Proveedores de servicios agroecológicos.....	43
1.2 ¿Cómo benefician las leguminosas al maíz?.....	44
1.3 La mejora en el suministro de nutrientes aumenta el crecimiento y rendimiento de maíz.....	46
1.4 La atracción de enemigos naturales al sistema disminuye la presencia de plagas.	47
1.5 Conclusiones y recomendaciones.....	47
1.6 Literatura citada.....	48
ANEXO 2. COMPORTAMIENTO AGROFISIOLÓGICO DE FRIJOL CAUPÍ (<i>Vigna unguiculata</i> [L.] WALP.) EN RESPUESTA A LA ASOCIACIÓN CON MAÍCES NATIVOS COMUNES DE LA MILPA MAYA DE YUCATÁN.....	51
2.1 Introducción.....	52
2.2 Materiales y métodos.....	52
2.3 Resultados.....	54
2.4 Discusión.....	55
2.5 Conclusión.....	56
2.6 Recomendación.....	56
2.7 Literatura citada.....	57

VIII. Resumen

El sistema de producción asociado maíz-leguminosa es un modelo de policultivo en el cual el maíz es el cultivo primario y la leguminosa, el cultivo secundario. En general, las leguminosas tienen la capacidad de ofrecer servicios agroecológicos que favorecen la conservación del suelo y del agroecosistema. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del sistema asociado maíz-leguminosa en el comportamiento agronómico y fisiológico del maíz nativo. El trabajo consistió en dos capítulos experimentales, donde se utilizó frijol caupí (*Vigna unguiculata*) como leguminosa y cultivares de maíz nativo de la región.

En el primer experimento, el factor de variación fueron tres arreglos de siembra, los cuales fueron: maíz + frijol caupí en siembra simultánea (MF0), maíz + frijol caupí sembrado 20 días después del maíz (MF20), y el monocultivo de maíz (MM). El establecimiento del frijol caupí 20 días después del maíz promovió el crecimiento de las plantas y aumentó el daño por gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en comparación con los arreglos restantes. Sin embargo, la siembra simultánea de maíz y frijol caupí (*V. unguiculata*) redujo el daño por gusano cogollero, aunque el frijol caupí (*V. unguiculata*) no redujo los síntomas de la enfermedad del achaparramiento en el maíz. Los beneficios de sembrar frijol caupí (*V. unguiculata*) dependerán del tiempo en que se establezca en asociación con el maíz.

En el segundo experimento, se establecieron tres cultivares de maíz nativo en sistema monocultivo y en asociación con frijol caupí (*V. unguiculata*). El maíz asociado con frijol caupí (*V. unguiculata*) presentó menor grado de daño por gusano cogollero y mejores parámetros fisiológicos (fotosíntesis, transpiración y uso eficiente del agua), así como un aumento en los componentes del rendimiento, principalmente en los cultivares más precoces de maíz (Naal tel y Nal Xoy). En conclusión, la leguminosa frijol caupí (*V. unguiculata*) tuvo efectos benéficos en las variables de crecimiento cuando se estableció días después del maíz; sin embargo, no tiene la capacidad de reducir el daño por gusano cogollero (*S. frugiperda*) como ocurre con la siembra simultánea en los cultivares de maíz nativo. Además, esta asociación simultánea aumenta los componentes del rendimiento en los cultivares de maíz de mayor precocidad.

IX. Abstract

The maize-legume intercropping system is a polyculture model in which maize serves as the primary crop and the legume as the secondary crop. In general, legumes have the capacity to provide agroecological services that enhance soil conservation and support the health of the agroecosystem. The objective of this study was to evaluate the effect of the maize-legume intercropping system on the agronomic and physiological performance of native maize. The study consisted of two experimental sections, where cowpea (*Vigna unguiculata*) was used as the legume, and native maize cultivars from the region were employed.

In the first experiment, the variable factor was three planting arrangements: maize + cowpea in simultaneous planting (MF0), maize + cowpea planted 20 days after maize (MF20), and maize monoculture (MM). Establishing cowpea 20 days after maize promoted plant growth and increased damage caused by the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) compared to the other planting arrangements. However, the simultaneous planting of maize and cowpea (*V. unguiculata*) reduced fall armyworm damage, although cowpea (*V. unguiculata*) did not mitigate the symptoms of maize stunting disease. The benefits of planting cowpea (*V. unguiculata*) depend on the timing of its establishment in association with maize.

In the second experiment, three native maize cultivars were planted in a monoculture system and in association with cowpea (*V. unguiculata*). Maize grown in association with cowpea (*V. unguiculata*) exhibited lower levels of fall armyworm damage and improved physiological parameters (photosynthesis, transpiration, and water-use efficiency), as well as an increase in yield components, particularly in the earlier maturing maize cultivars (Naal tel and Nal Xoy). In conclusion, the legume cowpea (*V. unguiculata*) had beneficial effects on growth variables when established several days after maize; however, it does not have the capacity to reduce fall armyworm (*S. frugiperda*) damage as effectively as simultaneous planting in native maize cultivars. Moreover, this simultaneous planting increases yield components in the earlier maturing maize cultivars.

I. CAPÍTULO 1.

1. 1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El sistema o cultivo asociado es un modelo de producción policultivo en el cual se integran dos o tres especies en una misma área de siembra (Sharma y Banik, 2014). En general, el más conocido en distintas partes del mundo, es la asociación maíz-leguminosa, donde el maíz cumple la función como cultivo de interés primario para el productor y la leguminosa como cultivo secundario (Fonteyne *et al.*, 2023; Salinas-Roco *et al.*, 2024). No obstante, las leguminosas cumplen funciones importantes más allá de la alimentación, entre los que destaca la sustentabilidad agrícola al influir en la conservación de recursos bióticos, mejorar la salud social y aumentar los ingresos económicos de los productores a través de las mejoras del rendimiento sobre el cultivo primario (Chan-Arjona *et al.*, 2024). Sin embargo, la implementación de este sistema se ha visto limitada por la implementación de sistemas convencionales usados a gran escala, tal como los monocultivos de ambas especies (Gebu, 2015). Esto, posiblemente se debe a la falta de conocimiento de los beneficios que se obtienen al implementar el sistema asociado; beneficios ambientales y económicos, siendo estos dos puntos importantes para generar seguridad alimentaria (Di Bene *et al.*, 2022).

La sustentabilidad agrícola es mediada por procesos biológicos y químicos por parte de las leguminosas, los cuales serán adquiridos por el cultivo primario. Entre los más comunes se encuentra el control de insectos plaga y la disposición de nutrientes esenciales para su óptimo desarrollo en campo (Kebede, 2021; Chan-Arjona *et al.*, 2024). El control de insectos plaga es mediada por el fenómeno conocido como push-pull, el cual consiste en reducir la población de insectos plaga, como el gusano cogollero, gusano elotero, gusano barrenador y la chicharrita del achaparramiento a través del aumento poblacional de enemigos naturales (parasitoides y depredadores), quienes cumplen su función biológica sobre cada insecto plaga en específico a través del parasitoidismo o depredación voraz (Pierre *et al.*, 2022; Mansaray *et al.*, 2022). Por otra parte, la disposición de macro (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (zinc, boro y manganeso) en el suelo es mediado por la fijación de biológica de nitrógeno atmosférico para la disponibilidad de nitrógeno en forma de amonio, la liberación de enzimas fosfatasas para el desprendimiento de fósforo de la materia orgánica y la liberación de ácidos orgánicos para la movilidad de micronutrientes inmóviles que requieren de características fisicoquímicas únicas (Louarn *et al.*, 2015; Islam y Adjesiwor, 2017; Kebede, 2021).

Los beneficios hacia el maíz se pueden ver reflejados en el vigor de las plantas, los cuales se determinan por la producción de biomasa y mejoras en su fisiología como efecto del control de insectos plaga y disponibilidad de nutrientes (Kebede, 2021), siendo estos aspectos principales para la obtención de aumentos sobre la producción de grano por superficie y por lo consiguiente aumentar el ingreso económico de los productores cuando el maíz es establecido con especies de leguminosa como el frijol caupí (*Vigna unguiculata*), frijol ib (*Phaseolus lunatus*), soya (*Glycine max*) y crotalaria (*Crotalaria incana*), así como un sin número de especies perteneciente a este grupo de plantas (Hailu *et al.*, 2018; Chan-Arjona *et al.*, 2024). Por todo lo anterior, el presente trabajo se planteó con el objetivo de determinar los efectos de la asociación maíz-leguminosa sobre el comportamiento agrofisiológico de maíces nativos.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Importancia del maíz y las leguminosas en México

La importancia de todos los componentes del sistema agroalimentario de México está constituida principalmente por especies vegetales como los cereales y legumbres. En este sentido, los cereales de mayor consumo a nivel nacional es el maíz, arroz y trigo, esto debido por su alto contenido en carbohidratos, y se consumen en platillos gastronómicos tradicionales o en otros subproductos comerciales de distintas marcas nacionales (Awika, 2011; Ardren, 2018). La producción nacional de maíz en México es de 29 millones de toneladas al año, en donde 60 % de la producción se siembra por productores de pequeña y mediana escala, mientras que los otros 40 % por productores de gran escala o (SIAP, 2020).

Por otro lado, las legumbres o también conocidos como leguminosas, es otro grupo de plantas de mayor consumo tanto en distintos platillos gastronómicos tradicionales y productos comerciales, así como el maíz. Pero, cabe destacar que el consumo principal de este grano es debido a su alto contenido proteico y mineral (Celmeli *et al.*, 2018; Klug *et al.*, 2020). Sin embargo, este grupo de plantas tiene una importancia adicional a la agricultura, su importancia biológica en los sistemas productivos. Al ser consideradas como pioneras o recuperadores de suelos a través de procesos biológicos capaces de realizar a través de las raíces, recuperan nutricionalmente suelos degradados y aumentan los rendimientos productivos de otros cultivos como el maíz mediante un manejo agronómico de bajos insumos, promoviendo la sostenibilidad agrícola de los productores (Kebede, 2021).

1.2.2 Sistema de producción asociado maíz-leguminosa

Los sistemas producción tradicionales de cultivos asociados en México son muy comunes en las comunidades indígenas, estos sistemas tienen la principal característica de ser diversificados, donde se establecen de dos a tres especies cultivables en una misma parcela, con el fin de aprovechar de manera eficiente el área (Lithourgidis *et al.*, 2011; Paudel, 2016). La milpa maya se caracteriza por el establecimiento de maíz, frijol y calabaza, en este sistema las especies tienen una sinergia para la producción, el maíz genera caña para el uso del frijol para su crecimiento al trepar en ello, mientras que el frijol aporta nitrógeno asimilable tanto para el maíz y así como para la calabaza a través de la fijación biológica del nitrógeno atmosférico (Fonteyne *et al.*, 2023). Por otro lado, la calabaza conserva la humedad del suelo mediante sus hojas grandes y anchas, las cuales evitan la entrada directa de la luz solar y así evitar la evaporación del agua disponible que será aprovechado por los otros cultivos, además de reducir la presencia de arvenses (Trujillo-Arriaga y Altieri, 1990; Pérez-Hernández *et al.*, 2020).

La selección de las leguminosas para asociación es muy diversificada y existe un amplio número de especies que pueden ser elegidas, entre las que destaca el frijol caupí (*Vigna unguiculata*), frijol lima (*Phaseolus lunatus*), soja (*Glycine max*), crotalaria (*Crotalaria incana*), chicharo (*Pisum sativum*), entre otras. El establecimiento de éstas en campo se puede llevar a cabo en distintos modelos de siembra, entre los que se encuentra: hileras alternas, rotación de cultivos y siembra asociada en la misma fila (Meirelles *et al.*, 2024). Independientemente de los modelos de siembra, el establecimiento de las leguminosas se da para diversificar la alimentación del núcleo familiar de los productores y para aumentar el rendimiento de grano del maíz a través los beneficios que las leguminosas son capaces de realizar (Kebede, 2021).

1.2.3 Beneficios de la asociación con leguminosas

Las leguminosas son conocidas por mejorar y sostener la producción agrícola a través de beneficios directos en los campos (Kebede, 2021). Entre los beneficios más destacados de este grupo de plantas, se encuentra el aporte de nitrógeno asimilable para otras plantas colindantes bajo un sistema asociado. Este proceso es llevado a cabo en nódulos presentes en las raíces, donde bacterias del género *rhizobium* en simbiosis con las leguminosas, fijan el nitrógeno atmosférico (N₂) a nitrógeno asimilable en forma de amonio (NH₄) (Schwember *et al.*, 2019; Anas *et al.*, 2020; Kirova y Kocheva 2021). El aporte de nitrógeno asimilable puede ser brindada a las plantas vecinas a través de distintas vías, tales como: contacto radicular, comunicación interespecífica subterránea

entre el maíz y la leguminosa, mediada por el micelio de los hongos micorrícicos y por último por el aprovechamiento tardío a través de rotación de cultivos (Shao *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020; Kebede 2021). Por otro lado, otro de los beneficios que son capaces de realizar, es la disposición y aporte de fósforo, zinc y magnesio a las plantas vecinas. La disposición del fósforo en el suelo es mediada por enzimas fosfatasas exudados a través de las raíces, estas enzimas se encargan de degradar de manera acelerada la materia orgánica y liberar específicamente el fósforo, mientras que la disposición y aporte de los otros nutrientes (zinc y magnesio) es mediana por ácidos orgánicos exudados de igual manera por las raíces de las leguminosas, causando así la acidificación del suelo y así eficientar la movilidad de los nutrientes a las raíces vecinas (Kebede, 2021).

Aparte de su aporte en la nutrición vegetal de las plantas vecinas, las leguminosas también tienen la capacidad de contribuir en el control poblacional de insectos plaga del cultivo vecino, como el maíz (Chidawanyika *et al.*, 2023). Actualmente, se ha considerado que la asociación maíz-leguminosa, es una estrategia para la producción sostenible del grano de maíz, al minimizar el uso excesivo de insecticidas tóxicos para los campos y productores. Esto debido, a que las leguminosas generan un efecto pull (atracción) del fenómeno biológico conocido como push-pull, el efecto pull que brinda las leguminosas, consiste en la atracción de enemigos naturales (parasitoides y depredadores) encargados de regular la población de insectos plaga de ambos cultivos del sistema asociado maíz-leguminosa (Kebede, 2021; Librán-Embíd *et al.*, 2023). Los enemigos naturales documentados hoy en día en el sistema asociado incluyen parasitoides de las familias Braconidae, Tachinidae, Pteromalidae, Platygasteridae, Figitidae y Trichogrammatidae, mientras que para depredadores de las familias Forficulidae, Coccinellidae y Reduviidae (Guera *et al.*, 2021, Araujo *et al.*, 2021, Pierre *et al.*, 2022).

1.3 Hipótesis

La asociación maíz-leguminosa mejora los parámetros agronómicos y fisiológicos del maíz, incluyendo el crecimiento vegetal, la fotosíntesis, la transpiración, aumenta los componentes del rendimiento y disminuye el daño por plagas.

1.4 Objetivos (general y específicos)

Objetivo General

Determinar el efecto del sistema asociado maíz-leguminosa en el comportamiento agronómico y fisiológico de maíz nativo.

Objetivos específicos

Evaluar el crecimiento vegetativo, daño por gusano cogollero y síntomas del achaparramiento de las plantas de maíz por efecto de la asociación con leguminosa.

Evaluar los parámetros fisiológicos en las plantas de maíz por efecto de la asociación con leguminosa.

Evaluar los componentes del rendimiento en las plantas de maíz como efecto de la asociación con leguminosa.

1.5 Procedimiento experimental

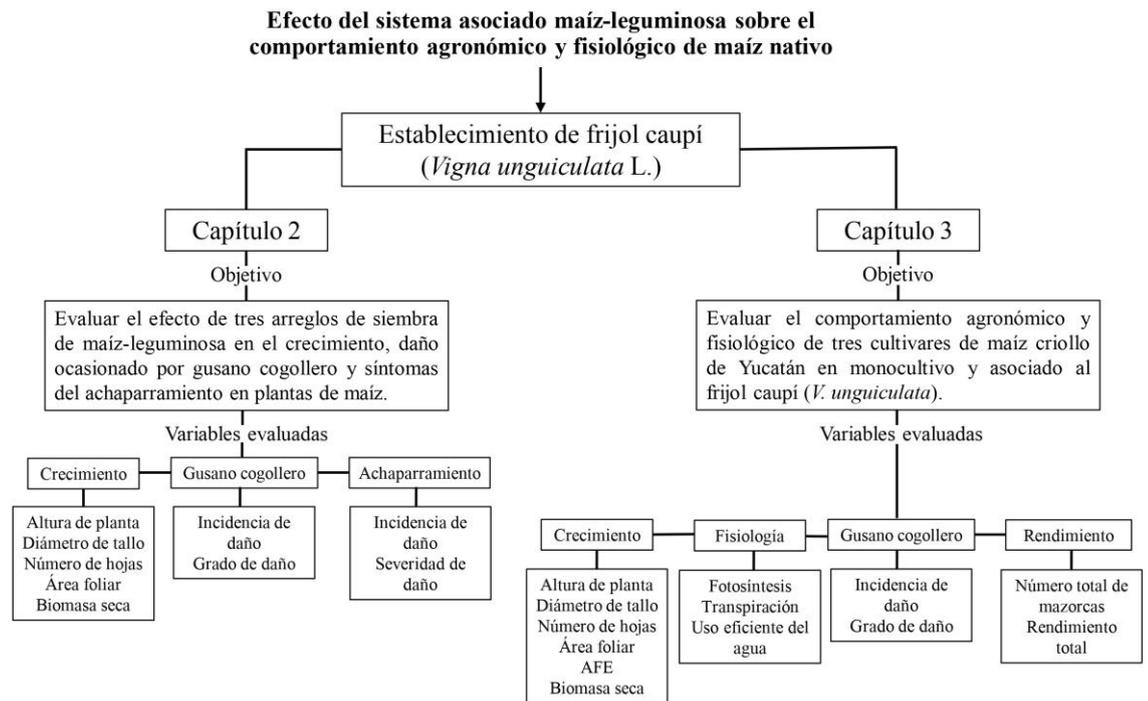


Figura 1. Esquema general de los apartados primarios de la tesis y subdivisión de los puntos abordados en cada capítulo realizado.

1.6 Literatura citada

- Anas M., Liao F., Verma K.K., Sarwar M.A., Mahmood A., Chen Z.L., Li Q., Zeng X.P., Liu Y., and Li Y.R. 2020. Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, ecolphysiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. *Biological Research*, 53(1): 2-13. <https://doi.org/10.1186/s40659-020-00312-4>
- Araujo I.T., Zacarin G.G., de Oliveira E.S., Bonfanti L., Guimaraes N.D.F., Gallo A.D.S., and Fontanetti, A. 2021. Maize-'*Crotalaria spectabilis*' intercropping in organic system and relations with the insect community. *Australian Journal of Crop Science*, 15(6): 940-947. <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.06.p3196>
- Awika, J. M. (2011). Major cereal grains production and use around the world. In *Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion*, 1-13.
- Celmeli, T., Sari, H., Canci, H., Sari, D., Adak, A., Eker, T., and Toker, C. (2018). The nutritional content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in comparison to modern varieties. *Agronomy*, 8(9), 1-7. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090166>
- Chan-Arjona, A. D., Ruiz-Santiago, R. R., Ahuatzin-Hernández, J. C., and Ruiz-Sánchez, E. (2024). Leguminosas: proveedores de servicios agroecológicos para la producción sostenible de maíz. *Desde el Herbario CICY*, 16, 116-121.
- Chidawanyika, F., Muriithi, B., Niassy, S., Ouya, F. O., Pittchar, J. O., Kassie, M., and Khan, Z. R. (2023). Sustainable intensification of vegetable production using the cereal 'push-pull technology': benefits and one health implications. *Environmental Sustainability*, 6(1), 25-34. <https://doi.org/10.1007/s42398-023-00260-1>
- Di Bene, C., Francaviglia, R., Farina, R., Álvaro-Fuentes, J., and Zornoza, R. (2022). Agricultural Diversification. *Agriculture*, 12(3), 369. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030369>
- Fonteyne, S., Castillo Caamal, J. B., Lopez-Ridaura, S., Van Loon, J., Espidio-Balbuena, J., Osorio-Alcalá, L., Martinez-Hernandez, F., Odjo, S., and Verhulst, N. (2023). Review of agronomic research on the milpa, the traditional polyculture system of Mesoamerica. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1115490. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1115490>
- Fonteyne, S., Castillo-Caamal, J. B., Lopez-Ridaura, S., Van-Loon, J., Espidio-

- Balbuena, J., Osorio-Alcalá, L., Martínez-Hernández, F., Odjo, S., and Verhulst, N. (2023). Review of agronomic research on the milpa, the traditional polyculture system of Mesoamerica. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1115490. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1115490>
- Gebru, H. (2015). Review on the comparative advantages of intercropping to monocropping system. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(9), 1-13.
- Guera O.G.M., Castrejón-Ayala F., Robledo N., Jiménez-Pérez A., Sánchez-Rivera G., Salazar Marcial L. and Flores-Moctezuma H.E. 2021. Effectiveness of Push–Pull Systems to Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) Management in Maize Crops in Morelos, Mexico. *Insects*, 12(4): 1-13. <https://doi.org/10.3390/insects12040298>
- Hailu, G., Niassy, S., Zeyaur, K. R., Ochatum, N., and Subramanian, S. (2018). Maize–legume intercropping and push–pull for management of fall armyworm, stemborers, and striga in Uganda. *Agronomy Journal*, 110(6), 2513-2522. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.02.0110>
- Ardren, T. (2018). Now Serving Maya Heritage: Culinary Tourism in Yaxunah, Yucatan, Mexico. *Food and Foodways*, 1–23. <https://doi.org/10.1080/07409710.2018.1531216>
- Islam, M. A., and Adjesiwor, A. T. (2018). Nitrogen fixation and transfer in agricultural production systems. *Nitrogen in Agriculture: Updates*, 95-104. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71766>
- Kebede E. 2021. Contribution, utilization, and improvement of legumes-driven biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5: 2-16. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.767998>
- Kirova E., and Kocheva K. 2021. Physiological effects of salinity on nitrogen fixation in legumes a review. *Journal of Plant Nutrition*, 44(17): 1–7. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1921204>
- Klug, V. T., Collado, E., Martínez-Sánchez, A., Gómez, P. A., Aguayo, E., Artes, F., and Artés-Hernández, F. (2020). Viability of sous vide, microwave and high pressure processing techniques on quality changes during shelf life of fresh cowpea puree. *Food Science and Technology International*, 26(8), 706-714. <https://doi.org/10.1177/1082013220921059>
- Librán-Embida, F., Olagoke, A., and Martin, E. A. (2023). Combining Milpa and Push–Pull Technology for sustainable food production in smallholder agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(4), 45. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00896-7>

- Lithourgidis, A. S., Dordas, C. A., Damalas, C. A., and Vlachostergios, D. O. (2011). Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian journal of crop science*, 5(4), 396-410.
- Louarn, G., Pereira-Lopès, E., Fustec, J., Mary, B., Voisin, A. S., de Faccio-Carvalho, P. C., and Gastal, F. (2015). The amounts and dynamics of nitrogen transfer to grasses differ in alfalfa and white clover-based grass-legume mixtures as a result of rooting strategies and rhizodeposit quality. *Plant Soil*, 389, 289–305. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2354-8>
- Mansaray, A., Karim, A. B., Yormah, T. B. R., and Conteh, A. R. (2022). Effect of Cassava-Legume Intercropping Systems on the Population Dynamics of Legumes Insect Pests in Three Major Agro-Climatic Zones of Sierra Leone. *International Research Journal of Insect Sciences*, 7(1), 20-33.
- Meirelles, F. C, Cavalcante, A. G, Gonzaga, A. R, Coelho, A. P, van der Werf, W., Bastiaans, L., Arf, O., and Lemos, LB (2024). Época relativa de siembra y disposición espacial en sistemas de cultivo intercalado de arroz de secano y leguminosas. *Revista Internacional de Producción Vegetal*, 18 (2), 161-174. <https://doi.org/10.1007/s42106-024-00294-3>
- Paudel, M. N. (2016). Multiple cropping for raising productivity and farm income of small farmers. *Journal of Nepal Agricultural Research Council*, 2, 37-45. <https://doi.org/10.3126/jnarc.v2i0.16120>
- Pérez-Hernández R. G., Cach-Pérez M. J., Aparacio-Fabre R., van der Wal H., and Rodríguez-Robles U. (2020). Physiological and microclimatic consequences of variation in agricultural management of maize. *Botanical Sciences*, 99, 132–148. <https://doi.org/10.17129/botsci.2640>
- Pierre J.F., Latournerie-Moreno L., Garruña R., Jacobsen K.L., Laboski C.A., Us-Santamaría R. and Ruiz-Sánchez E. 2022. Effect of maize–legume intercropping on maize physio-agronomic parameters and beneficial insect abundance. *Sustainability*, 14(19): 12385. <https://doi.org/10.3390/su141912385>
- Salinas-Roco, S., Morales-González, A., Espinoza, S., Pérez-Díaz, R., Carrasco, B., Del Pozo, A., and Cabeza, R. A. (2024). N₂ Fixation, N Transfer, and Land Equivalent Ratio (LER) in Grain Legume–Wheat Intercropping: Impact of N Supply and Plant Density. *Plants*, 13(7), 1-15. <https://doi.org/10.3390/plants13070991>
- Schwember A.R., Schulze J., Del Pozo A., and Cabeza R.A. 2019. Regulation of symbiotic nitrogen fixation in legume root nodules. *Plants*, 8(9): 1-10.

<https://doi.org/10.3390/plants8090333>

- Shao Z., Wang X., Gao Q., Zhang H., Yu H., Wang Y., Zhang J., Nasar J. and Gao Y. 2020. Root contact between maize and alfalfa facilitates nitrogen transfer and uptake using techniques of foliar ¹⁵N-labeling. *Agronomy*, 10(3): 1-16. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030360>
- Sharma, R. C., and Banik, P. (2014). Baby Corn-Legumes Intercropping Systems: I. Yields, Resource Utilization Efficiency, and Soil Health. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39(1), 41–61. <https://doi.org/10.1080/21683565.2014.942764>
- SIAP. (2020). Maíz el cultivo de México, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Recuperado el 04 de agosto 2024.
- Trujillo-Arriaga J., and Altieri M. A. (1990). A comparison of aphidophagous arthropods on maize polycultures and monocultures, in central Mexico. *Agriculture. Ecosystems & Environment*, 31, 337–349. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(90\)90232-3](https://doi.org/10.1016/0167-8809(90)90232-3)
- Wang N.Q., Kong C.H., Wang P. and Meiners S.J. 2020. Root exudate signals in plant–plant interactions. *Plant, Cell & Environment*, 44(4): 1044-1058. <https://doi.org/10.1111/pce.13892>
- Willey, R. (1979). Intercropping-its importance and research needs. 1. Competition and yield advantages, 32, 1-10.

II. CAPITULO 2. EFECTO DEL CULTIVO INTERCALADO MAÍZ- LEGUMINOSA EN EL CRECIMIENTO Y DAÑOS POR PLAGAS EN MAÍZ CRIOLLO EN YUCATÁN

Effect of intercropping maize-legume on the growth and pest damage in a maize
landrace in Yucatan

Capitulo enviado a la revista: Tropical and Subtropical Agroecosystems

Aldo Daniel Chan-Arjona¹, Esaú Ruíz-Sánchez^{1*}, Roberto Rafael Ruiz-Santiago¹, Rene Garruña-Hernández², Luis Latournerie-Moreno¹, Jaques Fils-Pierre¹, Luis Felipe C. dos-Santos³

¹División de estudios de posgrado e investigación, Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal, Avenida Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México. CP. 97345.

²CONACYT-Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México. CP. 97345

³Campo Experimental Mocochoá. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Mocochoá. km 25 antigua carretera Mérida-Motul. Yucatán, México. CP. 97454

*Autor para correspondencia: esau.ruiz@itconkal.edu.mx

2.1 Resumen

Los cultivos intercalados o también conocidos como asociados, son modelos de producción policultivo en la cual se integra maíz como cultivo primario y la leguminosa como secundario. Este ultimo, es importante en el sistema debido a los servicios agroecológicos que brinda al cultivo primario y al suelo, tales como el aporte de nutrientes y control de insectos plaga. Aunado a esto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del cultivo intercalado maíz-leguminosa en el crecimiento del maíz y daño por insectos plaga (gusano cogollero y complejo achaparramiento del maíz). El experimento se estableció en campo bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde el factor de variación fueron tres arreglos de siembra; maíz-frijol caupí en siembra simultánea (MF0), maíz-frijol caupí con desfase de 20 días de siembra de la leguminosa (MF20) y monocultivo de maíz (MM). Una vez obtenido las variables, se procedio con un análisis de varianza con comparación de medias Duncan al 95 % en el paquete estadístico Infostat 2020 para Windows.

Palabras clave: Policultivo; servicios agroecológicos; insectos plaga

III. CAPITULO 3. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y FISIOLÓGICO DE TRES CULTIVARES DE MAÍZ CRIOLLO EN MONOCULTIVO Y ASOCIADO CON FRIJOL CAUPÍ (*VIGNA UNGUICULATA* L.)

Agronomic and physiological behavior of three cultivars of creole maize in monoculture
and associated with cowpea (*Vigna unguiculata* L.)

Capítulo enviado a la revista: Biotecnia

Aldo Daniel Chan-Arjona¹, Esaú Ruiz-Sánchez^{1*}, Roberto Rafael Ruiz-Santiago¹, Rene
Garruña-Hernández^{1,2} and Luis Latournerie-Moreno¹

¹División de estudios de posgrado e investigación, Tecnológico Nacional de
México/Campus Conkal, Avenida Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México. CP.
97345.

²CONAHCYT—Instituto Tecnológico de Conkal, Av. Tecnológico s/n, Conkal 97345,
Yucatán, México.

*Correspondence: Esaú Ruiz-Sánchez, esau_ruiz@hotmail.com

3.1 Resumen

El maíz es el grano de mayor consumo a nivel mundial, debido al alto contenido de carbohidratos que contiene, razón por la cual es considerada como la base de la alimentación en México. En dicho país, se ha documentado 59 cultivares de maíz criollo o también conocidos como nativos, los cuales tienen características únicas unas con otras, que van desde el porte de la planta, ciclo de producción, tamaño de mazorca y la coloración del grano. Ante esto, la importancia de conocer el comportamiento de los cultivares en sistemas diversificados tradicionales como el sistema asociado maíz-leguminosa, es importante para eficientar la producción exitosa y sostenible del campo agrícola mexicano. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento agronómico y fisiológico de maíces criollos de Yucatán por efecto de la asociación con frijol caupí (*Vigna unguiculata*). El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se utilizó tres cultivares de maíz criollo conocidos en la región como Naal teel de ciclo corto (65 días a floración), Nal xoy de ciclo intermedio (75 días a floración) y Dzit bacal de ciclo tardío (95 días a floración), mismos que se establecieron en monocultivo y asociado con *V. unguiculata*. Se evaluó el comportamiento agronómico midiendo variables de crecimiento, componentes de rendimiento y daño por gusano cogollero (*S. frugiperda*), así como variables fisiológicas de intercambio de gases. Los datos obtenidos se analizaron a través del análisis estadístico T-student.

Palabras clave: Enemigos naturales; insectos plaga; cultivo asociado

IV. CONCLUSIONES GENERALES

La producción de maíz en Yucatán bajo un sistema asociado con leguminosa es una práctica tradicional llevada a cabo por pequeños productores en comunidades rurales. Dicho sistema se caracteriza por la integración de dos especies vegetales de importancia alimenticia, siendo el maíz y el frijol. El maíz destaca su importancia en la dieta, debido al alto contenido de carbohidratos que aporta en el grano y el frijol complementa la dieta a través del aporte de minerales como el hierro en el grano, además tiene la capacidad de brindar múltiples beneficios al sistema. En este sentido, las leguminosas como el frijol caupí (*V. unguiculata*) establecido en asociación con cultivares de maíz nativo, tiene la capacidad de brindar múltiples beneficios al cultivo primario, el maíz. Entre los beneficios, se encuentra el aumento del vigor de las plantas de maíz, mejorando las características de crecimiento como la altura, el diámetro de tallo, el tamaño de las hojas y producción de biomasa como efecto del aporte de nitrógeno por parte del frijol caupí (*V. unguiculata*) a través de la fijación biológica del nitrógeno atmosférico. Aunado a esto, el nitrógeno aportado tiene un papel crucial en términos fisiológicos de las plantas de maíz, debido al aumento de la tasa de intercambio de gases en las hojas para aumentar los niveles de fotosíntesis y transpiración a través de la apertura y cierre de estomas.

Por otro lado, el daño por insectos plaga como el gusano cogollero (*S. frugiperda*) es un problema en la producción del maíz, pero el establecimiento de leguminosas en el mismo sistema, los daños pueden reducir. Esto debido al papel de las leguminosas en la atracción de enemigos naturales (paraditoides y depredadores) capaces de regular la densidad poblacional de la plaga, este efecto es mediado por la liberación de compuestos orgánicos volátiles como los terpenos. A través de los efectos benéficos de las leguminosas en el vigor y fisiología de las plantas de maíz, los rendimientos se ven comprometidos en una relación positiva, esto debido a que en un cultivo el control de insectos plaga y una buena nutrición conlleva a buenos rendimientos de grano por superficie. Por último, en el presente estudio el sistema asociado no redujo el daño por la enfermedad del achaparramiento, esto posiblemente este relacionado al alto potencial de virulencia del patógeno en los sistemas, por otro lado, cabe recalcar que los efectos positivos también dependerán de una serie de factores como: el cultivar de maíz, el tiempo de establecimiento de la leguminosa, la especie de leguminosa utilizado y a los factores abióticos (agua, luz y nutrientes).