SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

EXPLORACIÓN DE FUENTES DE TOLERANCIA AL ACHAPARRAMIENTO DEL MAÍZ (*Spiroplasma kunkelii*) Y CARACTERIZACIÓN FISIO-AGRONÓMICA DE MAÍCES CRIOLLOS

TESIS

Que presenta:

Julio Isaias Monforte Cime

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

Dr. Luis Latournerie Moreno

Conkal, Yucatán, México

Enero, 2019

TecNM

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Conkal

Conkal, Yucatán, México, 10 de Enero de 2019

El comité de tesis del candidato a grado: Julio Isaias Monforte Cime, constituido por los CC., Dr. Luis Latournerie Moreno, Dr. Rene Garruña Hernández y Dr. Esaú Ruíz Sánchez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **Exploración de fuentes de tolerancia al achaparramiento del maíz (*Spiroplasma kunkelii*) y caracterización fisio-agronómica de maíces criollos**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias, 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. Luis Latournerie Moreno
Director de Tesis

Dr. René Garruña Hernández
Asesor de Tesis

Dr. Esaú Ruíz Sánchez
Asesor de Tesis

Conkal, Yucatán a 10 de Enero de 2019

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.

Julio Isaias Monforte Cime

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Conkal, por haberme otorgado la oportunidad de realizar mis estudios de Posgrado.

Al CONACYT, por la beca otorgada.

A toda la comunidad del Ejido de Sacpukenha, Tekax, Yucatán, por haberme brindado todas las facilidades y ayuda para realizar mi investigación en sus áreas productivas,

Al Dr. Luis Latournerie Moreno, por la dirección y seguimiento en este trabajo de investigación por su enseñanza, consejos, tiempo y su confianza brindada.

Al Dr. Esaú Ruíz Sánchez, por su asesoramiento y aporte de sus conocimientos en el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Rene Garruña Hernández, por su aportación, consejos y conocimientos que siempre me proporciono en este trabajo.

A la Dra. Alejandra del Socorro González Moreno, que, como coordinadora de la maestría, siempre estuvo al pendiente del progreso y avance de nuestra instigación, gracias por su apoyo brindado, sus consejos y enseñanzas.

Al comisario ejidal Placido Tuz, por su apoyo y facilidades brindadas, en el trabajo de campo en el Ejido de Sacpukenha.

A los comuneros del ejido, Daniel, Diego, Filomeno Monforte, que ayudaron en el establecimiento y seguimiento del cultivo, con gran responsabilidad.

A mis amigos y compañeros de Maestría, Emilia, Omar, Jazz, Marco, Lucero, Erika, Wendy, Sandy, Jesús y Ori, por todo lo aprendido, compartido y disfrutado en estos dos años.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la salud necesaria, por protegerme, cuidarme en todo mi camino y por darme la fuerza necesaria para seguir adelante y superar los momentos difíciles, enseñándome cada día a confiar y ser una mejor persona.

Con amor y admiración a mis padres, Filomeno Monforte y María Concepción Cime, por su lucha inagotable, por sus consejos, sabias palabras, principios y valores que me enseñaron.

A mis hermanos Héctor Monforte, Diego Monforte, y Leydi Monforte, por su apoyo, su comprensión y por haberme fomentado en mí el deseo de superación para seguir adelante.

A mis sobrinos Keyla, Anahí, Cristian, Idyel, Andy y Angi, por ternura e inocencia brindada hacia mí, y que en ustedes encuentro la esperanza del futuro, siendo orgullo de nuestra familia.

A la familia Blanco Monforte, por su gran apoyo incondicional, por sus consejos, por las comodidades brindadas y por su amor y cariño, el cual me impulsa cada día y me hace más fuerte, para la obtención de cada una de mis metas.

A todos: Muchas Gracias

ÍNDICE DE CONTENIDO

paginas

ÍNDICE DE CONTENIDO vi
ÍNDICE DE CUADROS vii
RESUMEN viii
ABSTRACT ix
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL 1
1.1. INTRODUCCIÓN 1
1.2. ANTECEDENTES 4
1.3. HIPÓTESIS 8
1.4. OBJETIVOS 8
Objetivo general 8
Objetivo específicos 8
1.5. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL 9
1.6. LITERATURA CITADA 10
CAPÍTULO 2. BUSQUEDA DE POBLACIONES DE MAICES CRIOLLOS AL *Spiroplasma kunkelii* CON BASE A SU CARACTERIZACIÓN FISIOMORFOLÓGICAS 19
2.1 RESUMEN 19
2.2 INTRODUCCIÓN 20
2.2 MATERIALES Y METODOS 22
Recolecta de semillas 22
Ubicación del área de estudio 23
Acondicionamiento del terreno siembra y manejo del cultivo. 23
Variables a evaluar 24
Análisis de datos 25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 26
Variables de incidencia y severidad 29
Variables agronomicas 29
Variables fisiológicas 32
2.5. CONCLUCIÓN 38
2.6. LITERATURA CITADA 39

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

paginas

Cuadro 2.1. Descripción de los materiales colectados en la región sur del estado de Yucatán.. 22

Figura 2.1. Plantas de maíz de poblaciones criollas e híbridos comerciales con síntomas de la enfermedad *Spiroplasma kunkelii*, a los 30, 60 y 75 días después de la siembra. 27

Figura 2.2. índice de severidad de la enfermedad *Spiroplasma kunkelii* en maíces híbridos y criollos, a los 75 días, estudiados en el ejido de Sacpukenha, Tekax, Yucatán..... 28

Figura 2.3. Altura de la planta y diámetro del tallo, en plantas de maíz de poblaciones criollas e híbridos comerciales con síntomas de la enfermedad *Spiroplasma kunkelii* en el Sur de Yucatán.. 29

Figura 2.4. Diámetro y longitud de la mazorca, en plantas de maíz de poblaciones criollas e híbridos comerciales tolerantes a la enfermedad Spiroplasma kunkelii en el Sur de Yucatán. 31

Figura 2.5. Rendimiento de la mazorca, en plantas de maíz de poblaciones criollas e híbridos comerciales tolerantes a la enfermedad *Spiroplasma kunkelii* en el Sur de Yucatán. 32

Figura 2.6. Efecto de la enfermedad Spiroplasma kunkelii, sobre tasa fotosintética (µmol m^{-2} s^{-1}) en 19 materiales criollos estudiados en el Sur de Yucatán. 33

Figura 2.7. Efecto de la enfermedad Spiroplasma kunkelii, sobre la conductancia estomática (µmol m^{-2} s^{-1}) en 19 materiales criollos estudiados en el Sur de Yucatán. 34

Figura 2.8. Efecto de la enfermedad Spiroplasma kunkelii, sobre el Carbono intracelular (µmol m^{-2} s^{-1}), en 19 materiales criollos estudiados en el Sur de Yucatán. 35

Figura 2.9. Efecto de la enfermedad Spiroplasma kunkelii, sobre la Transpiración (mmol m^{-2} s^{-1}), en 19 materiales criollos estudiados en el Sur de Yucatán. 35

Figura 2.10. Efecto de la enfermedad Spiroplasma kunkelii, sobre el Uso eficiente del agua, (µmol CO_2 s^{-1} mmol $^{-1}$ H_2O)19 materiales criollos estudiados en el Sur de Yucatán..... 36

Figura 2.11. Efecto de la enfermedad Spiroplasma kunkelii, sobre la Eficiencia fotoquímica máxima (fv/fm), en 19 materiales criollos estudiados en el Sur de Yucatán..... 37

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue explorar posibles fuentes de tolerancia al achaparramiento del maíz (*Spiroplasma kunkelii*) y conocer la respuesta fisio-agronómica en materiales criollos de maíz. En la región sur de Yucatán se recolectaron muestras de 17 variedades criollas, clasificada en tres grupos principales: Los Tardíos (X-nuuk Nal), Intermedios (Ts'iit Bakal, X-nuuk Nal) y Precoces (X-mejen Nal y Nal tel). Este germoplasma se evaluó junto con dos híbridos comerciales como testigos. El experimento se estableció durante el ciclo primavera-verano del 2017 en el ejido de Sacpukenha, municipio de Tekax, Yucatán, en un diseño experimental bloques complemente al azar con tres repeticiones, 2 surcos por repetición, la parécela útil consistió en 150 plantas por tratamiento, distribuidos a una distancia entre planta de 0.8 m (tres plantas por mata) y entre surco de 1.0 m, longitud de surco de 20 m. Se evaluaron variables morfológicas, fisiológicas y de severidad de la enfermedad. Se encontró que la variedad San pauleño (T8) y Santa rosa (T9) perteneciente a la raza X-nuk nal, presentaron menor porcentaje de incidencia al complejo del *Spiroplasma kunkelii* con 39% y 33% respectivamente, con una escala de severidad tipo 1 (baja), por lo que presentan tolerancia a la enfermedad, estas poblaciones son deseables para iniciar un programa de mejoramiento genético participativo con los productores de esa región. La presencia de la enfermedad en las variedades reduce drásticamente el tamaño de la mazorca y el comportamiento fisiológico que varió de acuerdo a las poblaciones dentro de una misma raza o entre razas.

Palabras claves: Achaparramiento del maíz, *Spiroplasma kunkelii*, variación genética

ABSTRACT

The objective of the present study was to explore possible sources of tolerance to maize stunting (Spiroplasma kunkelii) and to know the physio-agronomic response in maize native materials. In the southern region of Yucatan samples of 17 landraces were collected, classified into three main groups: The Late (X-nuuk Nal), Intermediate (Ts'iit Bakal, X-nuuk Nal) and Precocious (X-mejen Nal and Nal tel). This germplasm was evaluated together with two commercial hybrids as controls. The experiment was established during the spring-summer cycle of 2017 in the ejido of Sacpukenha, municipality of Tekax, Yucatán, in an experimental design blocks complemente at random with three repetitions, 2 rows per repetition, the useful plot consisted of 150 plants per treatment , distributed at a distance between plant of 0.8 m (three plants per bush) and between rows of 1.0 m, furrow length of 20 m. Morphological, physiological and disease severity variables were evaluated. It was found that the variety San pauleño (T8) and Santa rosa (T9) belonging to the race X-nuk nal, presented lower percentage of incidence to the complex of Spiroplasma kunkelii with 39% and 33% respectively, with a scale of severity type 1 (low), so they have tolerance to the disease, these populations are desirable to start a program of participatory genetic improvement with producers in that region. The presence of the disease in the varieties drastically reduces the size of the ear and the physiological behavior that varied according to the populations within the same breed or between breeds.

Keywords: Maize stunt, Spiroplasma kunkelii, genetic variation

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo agrícola más importante de México desde el punto de vista alimentario, industrial, político, económico y social. El maíz juega un papel importante en la agricultura de todas las culturas indígenas de México, debido a su amplia adaptación a distintos ambientes, a su soporte a cambios climáticos y edáficas; a su tolerancia y resistencia a plagas y enfermedades, sobre todo a sus múltiples usos y gran variedad de productos que se obtienen de este cultivo (Bellon *et al.*, 2009).

En Yucatán el maíz es el cultivo agrícola principal desde el punto de vista alimentario y social, con una superficie sembrada de 112,754 ha en el año 2016; de estas, 104,280 ha se cultivaron en condiciones de temporal principalmente usando variedades criollas con un rendimiento medio de 0.66 t/ha-^{1}, mientras que solamente 8,474 ha, se cultivaron en condiciones de riego (principalmente con semillas mejoradas) con rendimiento promedio de grano de 3.9 t/ha-^{1}. Rendimientos que están muy por debajo de los rendimientos promedios reportados a nivel nacional, que es de 6.0 t.ha^{-1} (SIAP, 2017).

El maíz en Yucatán principalmente se cultiva bajo el sistema conocido como la milpa, que es una fuente de alimentación para la familia, por medio de la práctica de la agricultura de roza, tumba y quema; la disponibilidad de alimentos producidos en la milpa asegura la sobrevivencia de la familia. Los productos de la milpa, principalmente son maíz, frijoles y calabazas. La falta de producción de la milpa obliga a las familias a emigrar a las ciudades (Cuanalo, 2005). En la milpa se encuentra la mayor parte de la diversidad del maíz, al ser una producción campesina, es un sistema agrícola más importante que comprende una conexión entre biodiversidad y cultura (Burgos, 2004).

La diversidad de maíces sembradas entre los milperos yucatecos puede ser clasificada en tres grupos principales: Los Tardíos (X-nuuk nal), Intermedios (Dzit -bacal, X-nuk nal) y Precoces (X-mejen nal y Nal-tel). Dentro de la diversidad de los tres grupos

principales se pueden reconocer categorías de clasificación, correspondiendo a la raza Tuxpeño (Xnuk nal), la raza Nal-tel, la raza Dzit-bacal y a la cruza entre Tuxpeño x Nal-tel (X-mejen Nal) (Arias *et al*., 2007). Esta diversidad ha sido producto de la selección a través del tiempo al sembrarse por generaciones en las condiciones ambientales, edáficas y bióticas de la región por los campesinos mayas.

Sin embargo, el incrementó reciente de materiales mejorados, ha provocado la disminución creciente de materiales nativos, especialmente la raza Nal-tel. Exploraciones realizadas en la región, dictaminan que esta raza se encuentra seriamente amenazada y en riesgo de desaparecer, ya que en las comunidades maiceras del estado de Yucatán se ha observado una baja frecuencia de siembra de materiales acriollados (Arias, 2004). Además, la conservación y aprovechamiento de estos materiales nativos se ha visto afecta por plagas y enfermedades, entre otros, por lo que se ha optado en sembrar semillas mejoradas, sin embargo, el maíz criollo no debe ser sustituido, las semillas mejoradas, presentan susceptibilidad y escasa resistencia al almacenamiento tradicional, lo cual no satisface las necesidades de los productores. Por ello, muchos campesinos conservan sus maíces que por años han venido trabajando, pero la introducción de los maíces mejorados ha provocado la extinción de algunas variedades criollas (Benz, 2001).

Entre las enfermedades más importantes presentes en la región sur de Yucatán, se encuentra el achaparramiento del maíz, provocada por *Spiroplasma kunkelii*, que se presenta en forma endémica, llegando a alcanzar en los casos más severos daños del 70 al 100 % en las siembras afectadas, provocando las perdidas más grandes en áreas donde se retrasan las siembras por inicio irregular de las lluvias (Ramirez *et al*., 2005).

El achaparramiento del maíz es una de las enfermedades más representativas en los materiales criollos, causando numerosas alteraciones en la planta, tanto en su nivel morfológico y fisiológico, generando síntomas muy específicos, como el acortamiento de nudos, clorosis, teñido purpura en las hojas y frutos no fecundados, provocando de esta manera pérdidas significativas en la producción de este cultivo (Reyes, 2004).

En particular, el ejido de Sacpukenha, se encuentra en la región sur del estado de Yucatán, es una comunidad maya, que ha perdido su diversidad de materiales nativos (maíz, frijol y calabaza), debido principalmente a que ya no se siembra la milpa tradicional, esta región cuenta con suelos Yaax-hom y Yaax-ix (Gleysol- Rendzina), ricos en materia orgánica, aptos para la agricultura, lo cual se ha dejado de practicar por diversas adversidades; una problemática que se presenta en la actualidad es la perdida de los cultivos de maíz criollo por plagas y enfermedades, en especial por el *Spiroplasma kunkelii*, provocando de esta manera la amenaza de extinción en dichos materiales, tal es el caso de la variedad *Nal-Tel*, también conocida como El Gallito. Por lo que se tiene el propósito de impulsar la conservación de la biodiversidad genética del maíz nativo en esta comunidad, que por iniciativa propia solicitan se les apoye con la intensión de volver a contar con variedades criollas de maíz en la región; por lo que se plantea la presente investigación que busca identificar variedades locales que sean tolerantes a la enfermedad y tengan una buena adaptación para esta región, mostrando así la importancia que tiene la producción del maíz criollos en la región, contribuyendo de igual manera al mejoramiento y conservación estos materiales (Sánchez, 2008).

1.2. ANTECEDENTES

El cultivo del maíz (*Zea mays L.*) es un cereal que tiene importancia especial, constituye la base de alimentación de los latinoamericanos (Bergvinson, 2007). Es uno de los componentes más importantes de la dieta alimenticia de los mexicanos y su variabilidad está asociada con una gama de ambientes y grupos socioculturales, que en conjunto contribuyen al proceso evolutivo de la especie y a la integración de razas o poblaciones con características específicas de adaptación agroecológica, usos y composición de grano (López *et al*., 2005). Las poblaciones nativas de maíz, al ser conservadas y seleccionadas continuamente por los agricultores, generan ventajas adaptativas a micronichos ecológicos particulares, formas de cultivo y consumo (Di marco *et al*., 2003). Este cultivo se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas y edáficas, razón por la que se le cultiva en casi todo el mundo (Wellhausen, 2001). Rincon (2004), reportó que la semilla de maíz criollo, es mucho mejor y soporta más las inclemencias de la naturaleza, presenta mayor adaptabilidad en diferentes condiciones climáticos, reduciendo de esta manera daños y pérdidas causado por diferentes tipos de enfermedades.

Gostincar (1998) menciona que miles de agricultores siembran maíz principalmente para autoconsumo usando semillas criollas, bajo sistemas agroecológicos tradicionales. El maíz criollo ha sido un cultivo refugio para los agricultores, por eso es de gran importancia la conservación de las semillas criollas, así como su estudio agronómico para lograr una producción sustentable.

La diversidad de razas y poblaciones nativas de maíz (*Zea mays L.*) tiene gran importancia para las comunidades rurales de México, y debe ser estudiada con fines de documentación, conservación y aprovechamiento. No obstante, la variabilidad y distribución de las poblaciones nativas de maíz en México, incluidas las de la Península de Yucatán, la mayoría de los estudios se han enfocado en las razas del centro-norte del país (Márquez *et al*., 2003).

Cordova *et al.* (2005) mencionan que, el manejo de germoplasma a lo largo de tantos años ha generado una gran diversidad de variedades, algunas con características poco deseables, pero muchas otras con caracteres agronómicos sobresalientes, producto de la selección a través del tiempo que se realiza como parte de la experiencia y herencia del conocimiento; estas variedades adicionalmente han adquirido una adaptación ecogeográfica que les confiere características con mucho potencial en usos futuros.

Mijangos (2007) y Arias *et al*. (2005) mencionan que la riqueza peninsular de variedades locales es notable; por ejemplo, en la comunidad de Yaxcabá, Yucatán, se han registrado por lo menos 15 variantes de maíz que pertenecen a las razas Mesoamericanas Nal-tel, Tuxpeño y Dzit-bacal y que representan la variación en la Península de Yucatán. Arias (2004) reportó la clasificación de la diversidad de maíces locales en tres grupos principales: Tardíos (X-nuk nal), Intermedios (Dzit-bacal, X-nuk nal) y Precoces (X-mejen nal y Nal-tel); en donde dentro de la diversidad de los tres grupos principales se pueden reconocer 15 categorías correspondiendo siete a la raza Tuxpeño (Xnuk nal), dos a la raza Nal-tel, dos a la raza Dzit-bacal y a la cruza interracial Tuxpeño x Nal-tel (X-mejen Nal).

Arias *et al*. (2007) mencionan que en la última mitad del siglo pasado se estima que se mantuvo la diversidad de los maíces locales de ciclo largo, no así los de ciclo más corto; los maíces locales de ciclo largo X-nuk nal (Raza Tuxpeño, variantes amarillos y blancos) han sido sembrados mayoritaria y preferentemente, seguido por los materiales locales intermedios Dzit-bacal y la combinación racial de Tuxpeño con Nal-tel, llamado X-mejen nal. Sin embargo, en este sentido, Burgos (2004) detectó, la disminución creciente de materiales precoces especialmente la raza Nal-tel, el cual se encuentra en amenaza de extinción, debido al incremento y reciente entrada de materiales mejorados, los cuales por su corto período de crecimiento han desplazado el lugar de los precoces.

Arias *et al*. (2007) encontraron una preferencia creciente por la siembra de maíces locales de ciclo largo (Tuxpeño). En contraste, se encontró una tendencia decreciente para el cultivo de variedades precoces, en especial Nal-tel, incluyendo también al grupo X-mejen nal. En la última década, la entrada de maíces mejorados parece estar ocasionando un decremento en la siembra de maíces precoces criollos (Nal-tel), los cuales acusan

signos de erosión genética y reducción en su conservación in situ para la zona maicera de Yucatán.

Otro estudio desarrollado en Oaxaca por Bellon (2001) reporta que en los valles centrales de Oaxaca los agricultores conservan materiales criollos adaptados a las condiciones agroecológicas de la región. Dada la importancia de los criollos de maíz y el rol que juega en la agricultura en México, la conservación de estos es de importancia nacional. En este sentido Robles (2003) complementa que un objetivo de un programa de conservación es brindar rentabilidad y sustentabilidad al sistema agroecológico-social de los maíces nativos, con lo cual se arraigue a la población joven y se conserve, caracterice, enriquezca y utilice la diversidad de los maíces nativos y sus parientes silvestres.

Rincón (2004) reportó que la semilla de maíz criollo, es mucho mejor y soporta más las inclemencias de la naturaleza, presenta mayor adaptabilidad en diferentes condiciones climáticos, reduciendo de esta manera daños y pérdidas causado por diferentes tipos de enfermedades.

Entre las enfermedades más importantes que afectan al cultivo de maíz, se encuentra el achaparramiento, causado por *Spiroplasma kunkelii*, trasmitido por el Cicadélido *Dalbulus maidis*. Este, reduce la producción de grano a nivel mundial en un 9.4 %. El achaparramiento del maíz se presenta en forma endémica, llegando a alcanzar en los casos más severos daños del 70 al 100 % en las siembras afectadas, provocando las perdidas más grandes en áreas donde se retrasan las siembras por inicio irregular de las lluvias (Moya *et al*., 2004).

D. maidis es monófago y solo se alimenta de variantes del género *Zea* (maíz y teosintes) (Castañón, 2004). En el Sudoeste de México, considerado el centro de origen de los *Dalbulus*, el maíz, es el hábitat natural del vector, desaparece al final de la estación lluviosa y reaparece recién con el comienzo de la misma, cuando se siembra el cultivo (Virla, 2005). Lozada *et al*. (2002) mencionan que esta especie pasa la estación seca únicamente como adulto activo, que puede subsistir en ausencia de la planta hospedera con tan solo agua hasta el comienzo de la estación lluviosa; además señala que esta especie solo realiza migraciones locales.

Torres (2015) indica, la incapacidad de *D. maidis* para sobrevivir a temperaturas bajo cero, tan solo si se les expone a 2 °C, los adultos mueren en los primeros 3 días, y a 39 °C la longevidad es de 6 a 7 días. *Dalbulus maidis* es una especie que causa pérdidas en la producción de maíz, por transmitir de forma propagativa persistente a las plantas, enfermedades asociadas al achaparramiento del maíz como el virus del rayado fino del maíz (Virla, 2003).

El germoplasma de maíz criollo es potencial para enfrentar el achaparramiento del maíz mediante el mejoramiento genético. Al respecto Rincón (2004) señala que los avances en el mejoramiento de poblaciones criollas enfocado en buscar fuentes de tolerancia a las diversas enfermedades, para un sistema de producción sustentable se pueden incrementar si se unen los esfuerzos de agricultores, fitomejoradores y de instituciones involucradas. Por su parte Sánchez (2008) menciona que, para la conservación, es importante sembrar simultáneamente diversos tipos de variedades para que se crucen y se genere nueva variación para aplicar selección, eliminado a las indeseables con el propósito de mejorarlas, de esta forma es como los maíces criollos han ido evolucionando gracias a la intervención del ser humano, creando de esta forma variedades con tolerancia a diversas enfermedades.

Una problemática en los maíces criollos existente en la región sur del estado de Yucatán, es que, se ha perdido la diversidad genética de estos materiales nativos, debido a que ya no se practica la milpa, provocando de esta manera la amenaza de extinción en dichos materiales, tal es el caso de la variedad *Nal-tel*, también conocida como El Gallito. Una de las causas principales de perdida de los materiales en esta región es causada por plagas y enfermedades, en especial por el *Spiroplasma kunkelii*, por lo que se tiene el propósito de impulsar la conservación de la biodiversidad genética del maíz nativo en estas comunidades, introduciendo materiales que sean tolerantes a la enfermedad y tengan una buena adaptación para esta región, mostrando así la importancia que tiene la producción del maíz criollos en la región, contribuyendo de igual manera al mejoramiento y conservación estos materiales (Sánchez, 2008).

1.3. HIPÓTESIS

Con base a la diversidad genética existente en los materiales criollos de maíz recolectadas en Yucatán se espera que al menos un genotipo sea tolerante a los síntomas de *Spiroplasma kunkelli* reflejado en el comportamiento fisiológico y agronómico.

1.4. OBJETIVOS

Objetivo general

Explorar la respuesta en variedades criollos de maíz al complejo *Spiroplasma kunkelli* en el sur del estado de Yucatán.

Objetivo específicos

Evaluar el comportamiento agronómico y fisiológico en variedades de maíz criollo en presencia del complejo *Spiroplasma kunkelli.*

Elaborar una escala de severidad de la enfermedad del achaparramiento del maíz en variedades criollas.

Seleccionar plantas tolerantes de las variedades que presentan tolerancia al achaparramiento del maíz.

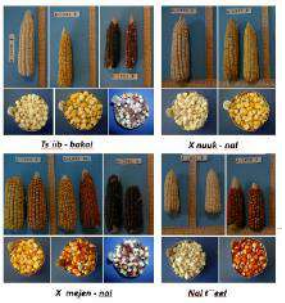
.

1.5. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL

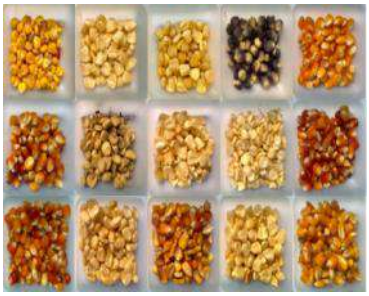
Ubicación

Etapas I

Colecta de materiales



Manejo poscosecha de la semilla recolectada.



Medición de las variables

1. Agronómicas
2. Severidad
3. Fisiológicas

Etapa II

Acondicionamiento del terreno

Siembra del cultivo

Control de maleza y fertilización

Toma de datos

Cosecha

1.6. LITERATURA CITADA

Arias, L., y Latournerie, L., y Montiel, S., y Sauri, E. (2007). Cambios recientes en la diversidad de maíces criollos de Yucatán, México. Universidad y Ciencia, 23 (1), 69-73.

Arias R., L. M., L. Latournerie M., F. Márquez S., y L. A. Dzib A. 2005. Conservación in situ y mejoramiento de maíces criollos yucatecos. In: Memoria de la 1ª Reunión de mejoradores de variedades criollas de maíz en México. Oaxaca, Oax. pp: 113-124

Arias-Reyes, L. M. 2004. Diversidad genética y conservación in situ de los maíces locales de Yucatán, México. Tesis de doctorado. Instituto Tecnológico de Mérida. Mérida, Yucatán México. 113 p.

Bellon, M. R. 2002. Métodos de investigación participativa para evaluar tecnologías: manual para científicos que trabajan con agricultores. CIMMYT (Pub). México. 96 p.130

Bellon, M.R. 2009. Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas en México, Vol II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México. pp. 355-359.

Benz, B. F. 2001. Evidencia arqueológica de la domesticación de teosinte de guilá naquitz. Pnas 98 (4): 2104-2106 Benz, B. F. 2006. Maíz en las Americas. Staller J.E., R.H. Tykot & B.F. Benz (ed.) Historias de maíz. Elsevier-Academic Press. EUA. Páginas. 9-20.

Bergvinson, J. D., A. Ramírez., D. Flores V. Y S. García-Lara. 2007. Mejoramiento de maíces criollos por integración de alelos. México, D.F. CIMMYT. 1 p.

Burgos M., L. A., J. L. Chávez S. y J. Ortíz C. 2004. Variabilidad morfológica de maíces criollos de la península de Yucatán, México. En: J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill y

D.I. Jarvis (eds.). Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales. IPGRI. Cali, Colombia. pp. 58-66.

Camacho-Villa, T. C. y J. L. Chávez-Servia. 2004. Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México. En: J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill y D.I. Jarvis (eds.). Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales. IPGRI. Cali, Colombia. pp. 47-57.

Castañón Nájera, Guillermo, Hidalgo Cano, Héctor, & Jeffers, Dan. (2003). Heterosis en siete líneas de maíz para tolerancia al achaparramiento y rendimiento de grano. Bioagro, 15(1), 65-73.

Córdova, H. 2005. Progreso en el mejoramiento y evaluación de germoplasma de maíz de alta calidad proteinica y perspectivas hacia el 2010. In Primer Seminario Taller Red de Mejoradores de maíz QPM de Latinoamérica. CIMMYT El Batán, Texcoco. México.

Cuanalo, Heriberto E.; Uicab-Covoh, Rafael A. Investigación participativa en la milpa sin quema. Terra Latinoamericana, vol. 23, núm. 4, octubre-diciembre, 2005, pp. 587-597 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.

CIMMYT. 2004. Curso Producción de Semillas de Alta Calidad y Post-Cosecha (2006, Catacamas, Olancho, Honduras). Manejo de la producción de semilla de maíces híbridos. Texcoco, México. 60p.

Cleveland DA, D Soleri, F. Aragon, J Crossa, P Gepts (2005) Detección del flujo de genes (trans) a variedades locales en centros de origen de cultivos: lecciones del caso del maíz en México. Reinar. Biosaf. Res. 4: 197-208.

Di Marco, O. N. Y M. S. Aello. 2003. Calidad nutritiva de la planta de maíz para silage. Unidad Integral Balcarse. (Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP)-INTA EEA Balcarse). Verificado en marzo del 2006.

Gostincar, J. 1998. Técnicas Agrícolas En Cultivos Extensivos. Biblioteca de la agricultura, segunda edición, editorial idea books s.a. españa pág. 383-394.

Gustavo Moya-Raygoza, Nubia M. Chacón-Torres, Verónica Palomera-Avalos, Iskra M. Becerra-Chiron, and Julio S. Bernal. 2008. Efectos del espiroplasma en la supervivencia de Dalbulus maidis (Hemiptera: Cicadellidae) Parasitizados o consumidos por Gonatopus bartletti (Hymenoptera: Dryinidae) o Infectados por Metarhizium anisopliae. Annals of the Entomological Society of America. 101 (1), 113-118

Ibarra Aparicio, G., & Moya Raygoza, G., & Berlanga Padilla, A. (2005). Efecto de Beauveria bassiana y Metarhizium anisoplia sobre chicharrita del maíz (Dalbulus maidis) (Delong y Wolcott, 1923) (Hemiptera: Cicadellidae). Folia Entomológica Mexicana, 44 (1), 1-6.

Latournerie, L., Arias, L. M., Barrios, O., Pinedo, R., Fernández, L., Y Tun, J. M. (2009). Diversidad en los cultivos tradicionales conservados por los agricultores. En Hermann M, Amaya K, Latournerie L. (compiladores). Experiencias de un proyecto de investigación en sistemas informales de semillas de chile, frijoles y maíz.Bioversity International, Roma, Italia. 186 p.

Lopez C, J.M. 2005. Estudio de caracteres químicos del grano de las razas mexicanas de maíz y clasificación racial. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo Estado de México. 79 p.

Lozada Robles, Pedro W., & Arellano Cruz, Germán A. (2008). Lista preliminar comentada de las "cigarritas" (Insecta: Hemiptera: Cicadellidae) de Chanchamayo y Satipo, Perú. *Ecología Aplicada*, *7*(1-2), 117-122.

Márquez S., F. 2002. Mejoramiento de tres razas de maíz para la península de Yucatán bajo retrocruza limitada. In: Simposium IPGRI: Manejo de la diversidad cultivada en los agroecosistemas tradicionales. 13 al 16 de febrero del 2002. Mérida, Yuc. México. 47 p.

Mijangos, C. S. (2007). Estudio de la diversidad genética y relaciones filogenéticas en poblaciones de maíz de la Sierra Tarasca de Michoacán. Tesis Doctoral en Ciencias. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 223 p.

Moya-Raygoza, G. 2002. Distribución y hábitats de *Dalbulus* spp. (Homoptera: Cicadellidae) durante la estación seca en México. *Acta Zool. Mex. (n. s.)* 85: 119–128.

Moya-Raygoza, G., y I. M. Becerra-Chiron. 2014. Biología de hibernación de parasitoides de huevo de Dalbulus maidis (Hemiptera: Cicadellidae) en gramíneas perennes, maíz voluntario, rastrojo y maíz de riego por goteo. Ana. Entomol. Soc. A.m. 107: 926–932.

Moya-Raygoza, G., V. Palomera-Avalos, y C. Galaviz-Mejia. 2007. Biología de la hibernación en el campo de Spiroplasma kunkelii (Mycoplasmatales: Spiroplasmataceae) y su vector Dalbulus maidis (Hemiptera: Cicadellidae). Ana. Apl. Biol. 151: 373–379.

Ramírez, C. J. L., G. C. de León, M. C. García & R. G. Granados. 2005. Dalbulus guevarai (De L.) nuevo vector del achaparramiento del maíz en México: Incidencia de la enfermedad y su relación con el vector Dalbulus maidis (DeL. and W.) en Muna, Yucatan. Agrociencia 22: 39-49.

Reyes, G. G. (2005). Comercialización del maíz criollo en Puebla, Tlaxcala e Hidalgo. Universidad Iberoamericana, Lupus inquisitur. (1ra edición), Puebla, México. 238 p.

Rincón S., F. Y N. A. Ruiz T. 2004. Comparación de estrategias de selección y manejo aplicadas a una población criolla de maíz. Rev. Fitotec. Mex.. Vol. 27(1): 33-37.

Rios Reyes, A., & Moya Raygoza, G. (2004). Ciclo bilógico, parasitismo y depredación de Gonatopus bartletti Olmi, 1984 (Hymenoptera: Dryinidae), un enemigo natural de la chicharrita Dalbulus maidis (Delong y Wolcott, 1923). Folia Entomológica Mexicana, 43 (3), 249-255.

Sánchez, M. F. (2008). De las Variedades Criollas de Maíz a los Híbridos Transgénicos. 1: Recolección de Germoplasma y Variedades Mejoradas. Universidad Autónoma Chapingo. Guadalajara. Agricultura, Sociedad y Desarrollo Vol. 5. Núm. 2. 151-166

SIAP, 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Inicio/producción anual/resumen nacional por cultivo. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=346.

Torres-Moreno, R., Moya-Raygoza, G., y Pérez-López, E. (2015). Ausencia de esperma del truco de maíz y fitoplasma arbustivo espeso del maíz en los saltamontes (Hemiptera: Cicadellidae) que habitan en los pastizales del borde durante el invierno en Jalisco, México.

Virla EG, Casuso M y Frias EA 2010. Un estudio preliminar sobre los efectos de un evento de maíz transgénico en la plaga no objetivo *Dalbulus Maiid* (Hemitera: Cicadeliidae). *Crop Prot.* 29 635–638

Virla e., s. Paradell, p. Diez, 2003. Estudios bioecológicos sobre la chicharrita del maíz Dalbulus maidis (Insecta, Cicadellidae) en Tucumán (Argentina). Boletín Sanidad Vegetal. Plagas 29: 17-25.

Virla e., c. Díaz, p. Carpane, i. Laguna, j. Ramallo, l. Gómez, m. Gimenez pecci, 2004. Evaluación preliminar de la disminución en la producción de maíz causada por el "Corn Stunt Spiroplasma" (CSS) en Tucumán, Argentina. Boletín Sanidad Vegetal. Plagas 30: 403-413.

Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., Hernandez, X. E., y Mangelsdorf, P. C. (2001). Razas de maíz en México; en Hernández, X. E. Revista Geografía Agrícola. México. Chapingo.799 P.

CAPÍTULO 2. EXPLORACIÓN DE FUENTES DE TOLERANCIA AL ACHAPARRAMIENTO DEL MAIZ (*Spiroplasma kunkelii*) Y COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO EN POBLACIONES CRIOLLAS DE MAÍZ

2.1. RESUMEN

El objetivo de este estudio fue conocer las respuestas fisio-agronómicas de maíces criollos y explorar posibles fuentes de tolerancia al complejo *Spiroplasma kunkelii* (achaparramiento del maíz). Se evaluaron 17 variedades criollas y dos híbridos comerciales (testigos). El experimento se estableció durante el ciclo primavera-verano del 2017 en el ejido de Sacpukenha, municipio de Tekax, Yucatán, en un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones y dos surcos por repetición, la parcela útil fue de 150 plantas por tratamiento, a una distancia entre planta de 0.8 m (tres plantas por mata) y entre surco de 1.0 m, con una longitud de surco de 20 m. Se evaluaron variables morfológicas, fisiológicas y de severidad con base a la presencia de la enfermedad. Se encontró que la población San pauleño (T8) y Santa rosa (T9) que son variantes del tipo criollo X-nuk nal, presentaron características de buen soporte y estructura morfológica, con menor porcentaje de incidencia de la enfermedad con 39% y 33% respectivamente, con una escala de severidad tipo 1 (baja), por lo que presentan tolerancia a la enfermedad, presentando de igual manera, buena estructura morfológica y una buena tasa fotosintética, para el peso de 1000 semillas el T8 que obtuvo un peso promedio de 310 g, obteniendo un rendimiento estadísticamente igual a los dos testigos comerciales.

Palabras claves: *Dabullus maidis*, maíz criollo, tasa fotosintética

2.2. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo agrícola de gran importancia en México, desde el punto de vista alimentario, industrial, político, económico y social (Bellon *et al*., 2009). El maíz juega un papel importante en la agricultura de todas las culturas indígenas de México, debido a su amplia adaptación a distintos ambientes; a su tolerancia y resistencia a enfermedades, plagas y cambios en las condiciones climáticas y edáficas; a sus múltiples usos y gran variedad de productos que se obtienen de esta especie (Camacho, 2004).

En Yucatán el maíz es el cultivo agrícola principal desde el punto de vista alimentario y social, con una superficie sembrada de 112,754 ha en el año 2016; de estas, 104,280.0 ha se cultivaron en condiciones de temporal principalmente usando semillas criollas y con un rendimiento medio de 0.66 t/ha-^{1}, mientras que solamente 8,474 ha, se cultivaron en condiciones de riego (principalmente con semillas mejoradas) con rendimiento de grano promedio de 3.9 t. ha^{-1} (SIAP, 2017). La mayor superficie sembrada de maíz en Yucatán se establece en el sistema milpa por los campesinos yucatecos. Burgos (2004) define a la milpa como un agroecosistema donde se encuentra la mayor parte de la diversidad del maíz al ser una producción campesina, es un sistema agrícola más importante que comprende una conexión entre biodiversidad y cultura.

La diversidad de maíces sembradas entre los milperos yucatecos puede ser clasificada en tres grupos principales: Los tardíos (X-nuk nal), intermedios (Dzit-bacal, X-nuk nal) y precoces (X-mejen nal y Nal-tel). Dentro de la diversidad de los tres grupos principales se pueden reconocer categorías de clasificación en sus variedades locales, correspondiendo a la raza Tuxpeño (Xnuk nal), la raza Nal-tel, la raza Dzit-bacal y a la cruza entre Tuxpeño x Nal-tel (X-mejen nal) (Arias *et al*., 2007). Esta diversidad ha sido producto de la selección a través del tiempo al sembrarse por generaciones en las condiciones ambientales, edáficas y bióticas de la región por los campesinos mayas.

Los materiales criollos de maíz han sido desplazados por su bajo rendimiento de producción, por motivos de plagas y enfermedades, unas de las enfermedades representativas en estos materiales criollos es el *Spiroplasma kunkelli* causado por el

vector *Dabullus maidis*, provocando numerosas alteraciones en la planta, tanto en su nivel morfológico y fisiológico, generando síntomas muy específicos como es el acortamiento de entre nudos de la planta, clorosis en los márgenes foliares, donde las láminas viejas se tornan rojo-violáceas, posteriormente se producen muchos macollos desde la base del tallo y desde las axilas foliares, haciendo que la planta envejezca prematuramente (Ibarra, 2005). Para enfrentar esta problemática los productores han optado por sembrar semillas mejoradas, sin embargo, en el sistema tradicional los materiales mejorados no satisfacen del todo las necesidades de los productores, ya que presentan escasa resistencia al almacenamiento y poca adaptabilidad (Benz, 2001).

En particular, el ejido de Sacpukenha, se encuentra en la región sur del estado de Yucatán, es una comunidad maya, que ha perdido la diversidad de materiales nativos, tanto de maíz como de frijol y calabaza, debido a que ya no se practica la milpa. Esta región cuenta con suelos Yaax-hom y Yaax-ix (Gleysol- Rendzina), ricos en materia orgánica, aptos para la agricultura, lo cual se ha dejado de practicar por diversas adversidades. Una problemática que se presenta en la actualidad es que no se puede sembrar variedades de maíz criollo, porque se pierde toda la producción, debido al problema con el achaparramiento del maíz (*Spiroplasma kunkelii*), provocando de esta manera la amenaza de extinción en dichos materiales, tal es el caso de la variedad *Nal-tel*, también conocida como El Gallito. En este ejido los productores por iniciativa propias solicitan que se les apoye porque desean sembrar materiales criollos de maíz. Con base en esto, el presente estudio se planteó como objetivo evaluar fuentes de tolerancia y características fisio-agronómica en maíz como respuesta al complejo *Spiroplasma kunkelii*, a partir de germoplasma de la región. A fin de contribuir en la conservación de la diversidad genética del maíz criollo en esta región del sur del estado de Yucatán (Sánchez, 2008).

2.3. MATERIALES Y METODOS

El estudio comprendió dos etapas: 1) recolecta de semilla criolla de la región y 2) evaluación agronómica y fisiológica.

Recolecta de semillas

Cuadro 2.1. Descripción de los materiales colectados en la región sur del estado de Yucatán.

Código	Nombre común	Origen	Ciclo del cultivo (meses)
JM 1	Chak – chob	X-box, Yucatán	2.5
JM 2	Sak - xmejen naal	X-box, Yucatán	2.5
JM 3	Pix cristo	Dzutoh	2.5
JM 4	Kan - xmejen naal	X-box, Yucatán	2.5
JM 5	Maiz pinto	X-box, Yucatán	3
JM 6	Ehuú	X-box, Yucatán	3
JM 7	Clavo chiapaneco	X-box, Yucatán	2.5
JM 8	San pableño	Timul, Yucatán	3
JM 9	Santa rosa	X-box, Yucatán	2.5
JM 10	Cubano blanco	Peto, Yucatán	2.5
JM 11	Crupi	X-box, Yucatán	2.5
JM 12	X nuk - naal blanco	Tixmehuac, Yucatán	3.5
JM 13	Naal - tel blanco	Peto, Yucatán	2
JM 14	Naal - tel amarrillo	Timul, Yucatán	2
JM 15	Naal - tel rojo	X-box, Yucatán	2
JM 16	Naal - xoy amarrillo	xoy, peto Yucatán	2.5
JM 17	Dzib - bakal blanco	X-box, Yucatán	3.5
JM 18	Hibrido 593	Peto, Yucatán	2.5
JM 19	Hibrido 395	Sacpukenha, Yucatán	2.5

Las muestras recolectadas del germoplasma clasificada en tres grupos principales: Los tardíos (X-nuk nal), intermedios (Dzit-bacal, X-nuk nal) y precoces (X-mejen nal y Nal-tel), fueron proporcionados por agricultores de diversas comunidades de regiones del estado de Yucatán, como es Xoy, Peto, Timul, X-box, Tekax, entre otros: de igual manera se colectaron materiales en ferias de semillas, en total se recolectaron 17 materiales criollos, 8 de X-nuk nal, 1 de Dzit-bacalTs'iit Bakal, 4 de X-mejen nal y 3 de Nal-tel , además de 2 híbridos (DK -395, y 593), los cuales son de gran potencial productivo en esta región (Cuadro 2.1).

La evaluación agronómica de las 17 variedades criollas y los 2 híbridos se realizó en condiciones de temporal, como a continuación se describe.

Ubicación del área de estudio

El presente estudio se estableció el ejido de Sacpukenha, municipio de Tekax, en el sur del estado de Yucatán, latitud 19°52′27″ N y longitud 89°13′01″ O, y altitud de 150 msnm, Temperatura promedio de 25.8° C, con un clima: cálido subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2010). Cuenta con suelos Yaax-hom y Yaax-ix (Gleysol-Rendzina), ricos en materia orgánica, cafés rojizos y grisáceos, con subsuelo amarillo, aptos para la agricultura.

Acondicionamiento del terreno, siembra y manejo del cultivo.

La preparación del terreno se realizó el 17 de mayo de 2017, primero se eliminaron manualmente los residuos de maleza del cultivo anterior, por medio de la quema, seguidamente se realizó un barbecho a una profundidad de 20 a 30 cm, para romper y aflojar la capa arable, antes de la siembra se realizó un rastreo para proporcionar a las semillas una buena cama de siembra y finalmente se surcó.

La siembra se realizó manualmente el 20 de junio del 2017, en un diseño bloques al azar con tres repeticiones, la parécela útil consistió con 50 plantas por tratamiento con 2 surcos por repetición, longitud de surco de 20 m, distribuidos a una distancia entre planta de 0.8 m (tres plantas por mata) y entre surco de 1.0 m. La fertilización en realizó con base en lo recomendado por el CIMMYT (2010), con la fórmula 156-46-00, fertilizantes comerciales, urea (46-00-00) y fosfato diamónico (DAP 18-46-00), aplicándolo a los 30 días después de la siembra. El control de maleza se efectuó mediante la aplicación de los herbicidas comerciales, glifosato a una dosis de 2.0 L ha^{-1} y nicosulfuron 4.17 % en dosis de 1.0 L ha^{-1}.

Variables a evaluar

Las variables evaluadas fueron de carácter agronómcio, fisiológico y de severidad con base al complejo del *Spiroplasma kunkelli*. Las variables agronómicas estudiadas fueron: días a floración, altura de planta, diámetro de la planta, altura de la inserción de la mazorca, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca, rendimiento de grano de la mazorca, Se tomaron 10 plantas aleatorias en la parcela útil. Las variables fisiológicas se midieron tanto en plantas sanas y plantas enfermas, las cuales fueron: la tasa fotosintética, la conductancia estomática, carbono intercelular, transpiración y el uso eficiente del agua, con la ayuda del IRGA LI-6400XT. En cuanto a las variables de incidencia y escala de severidad se midieron visualmente en todo el área experimental, en tres tiempos, 30, 60 y 75 días, con base en la metodología de Virla *et al.* (2003), donde la incidencia es la cantidad o número de individuos enfermos en una población expresada en porcentaje, determinando cuantos individuos de cada 100 están enfermos, en otros términos, es la frecuencia con la que aparecen casos nuevos de una enfermedad en una población durante un periodo determinado. En cuanto la severidad está determinada por la porción de tejido enfermo y/o los grados de daño que causa el patógeno en la planta, este puede ser medido en por ciento del total (%) o como una escala. Esta es una medida visual y subjetiva, que puede estar sujeta a variaciones y errores de agudeza visual del evaluador. Se encuentran diversos métodos para medir la severidad de una

enfermedad en las plantas, se usó el método propuesto por el CIMMYT (1991), el cual utiliza una escala para poder determinar la severidad de una enfermedad en campo la cual va de 1 a 3, donde los valores equivalen a la siguiente escala: de 1= baja, 2 = media, 3 = alta.

Análisis de datos

A los datos obtenidos para las diferentes variables agronómicas se les realizó un análisis de varianza (ANOVA), y cuando se encontró diferencias significativas se realizó una comparación de media con Tukey ($P \leq 0.05$). Para el caso de las variables fisiológicas la comparación de medias se usó la prueba Scott-Knott al $P \leq 0.05$, los datos fueron analizados con el paquete estadístico Infostat versión 2017.

2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de incidencia y severidad

En los resultados de índice de incidencia de la enfermedad (figura 2.1), se pudo observar a los 30 días después de la siembra que las poblaciones que pertenecen a X nuk-nal, no presentaron incidencia, con excepción de la población Clavo chiapaneco (T7) que presentó síntomas de alrededor del 20%. Mientras que los otros tipos fue variable su comportamiento ante la enfermedad. Los híbridos son resistentes y por consiguiente no presentaron problemas.

De acuerdo a la segunda medición (60 días), donde la planta se encontró en su desarrollo vegetativo, se observó que todas las poblaciones presentaron diferentes grados de incidencia de la enfermedad, sobresaliendo las poblaciones San Pableño (T8) y Santa Rosa (T9) con tasas de incidencias inferiores al 10%, teniendo un resultado similar a los testigos comerciales los híbridos 593 y 395 que no presentaron ninguna incidencia. Se comprueba que, en el desarrollo vegetativo, es la etapa donde mayor incidencia presenta la enfermedad del achaparramiento del maíz, debido al aumento de fluctuación poblacional del vector (Ramírez *et al.*, 2005).

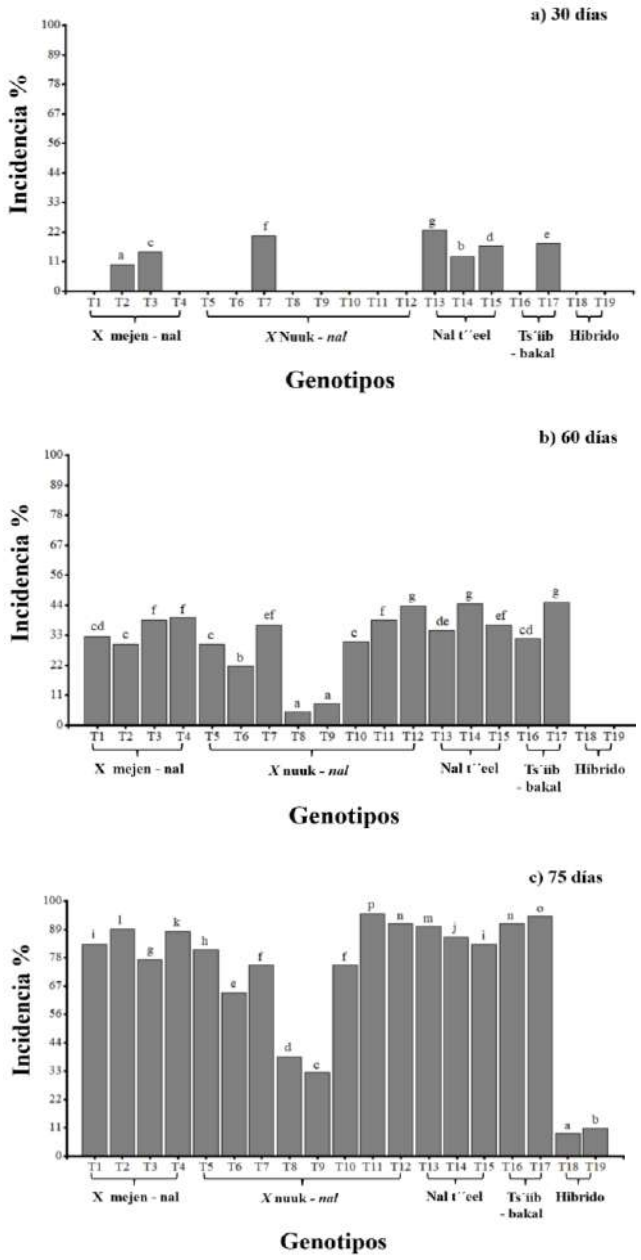


Figura 2.1. Plantas de maíz de poblaciones criollas e híbridos comerciales con síntomas de la enfermedad *Spiroplasma kunkelii*, a los 30, 60 y 75 días después de la siembra.

A los 75 días después de la siembra (dds), todas las poblaciones criollas presentaban una incidencia de la enfermedad arriba del 63 %, excepto los materiales T8 y T9, que presentaban 39% y 33%, respectivamente. Esto indica que estos dos tratamientos son tolerantes al achaparramiento del maíz. En este sentido, Virla *et al.* (2010) y Moya *et al.* (2014) señalan que para determinar que un material es tolerante al complejo *Spiroplama kunkelii* la incidencia de la enfermedad debe ser menor al 40%. En la Figura 2.2 se observa que en los tratamientos tolerantes (T8, T9) se presentó menor índice de severidad (en promedio de 1.3), estadísticamente diferente a la severidad en el resto de las poblaciones estudiadas, que varían el comportamiento entre la escala 2 y 3.

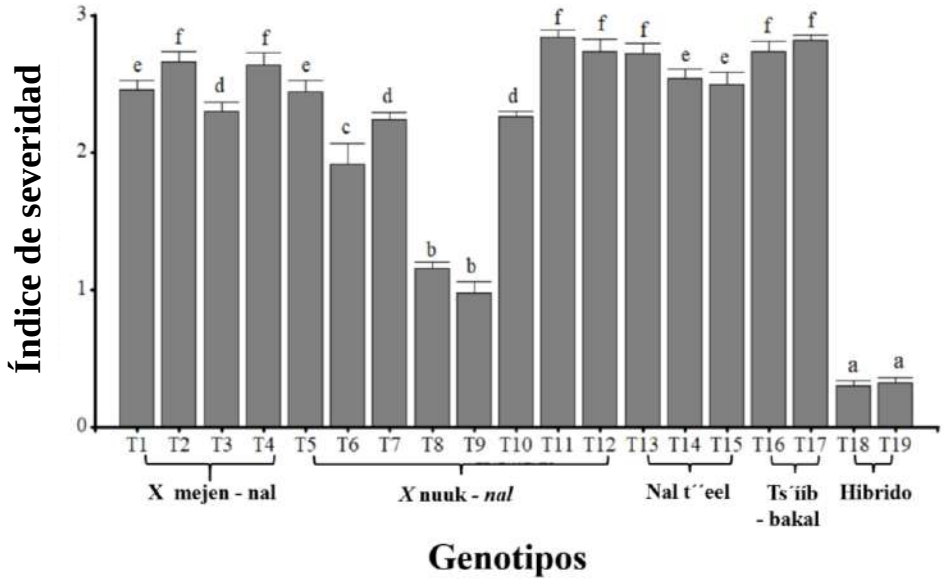


Figura 2.2. Índice de severidad de la enfermedad *Spiroplasma kunkelii* en maíces híbridos y criollos, a los 75 días, estudiados en el ejido de Sacpukenha, Tekax, Yucatán.

Variables agronómicas

En la altura de la planta (figura 2.3) se observó que existen diferencias significativas entre los tratamientos, esto es probable que sea debido a la diversidad genética que se presenta entre estas poblaciones (Giménez *et al.*, 2005).

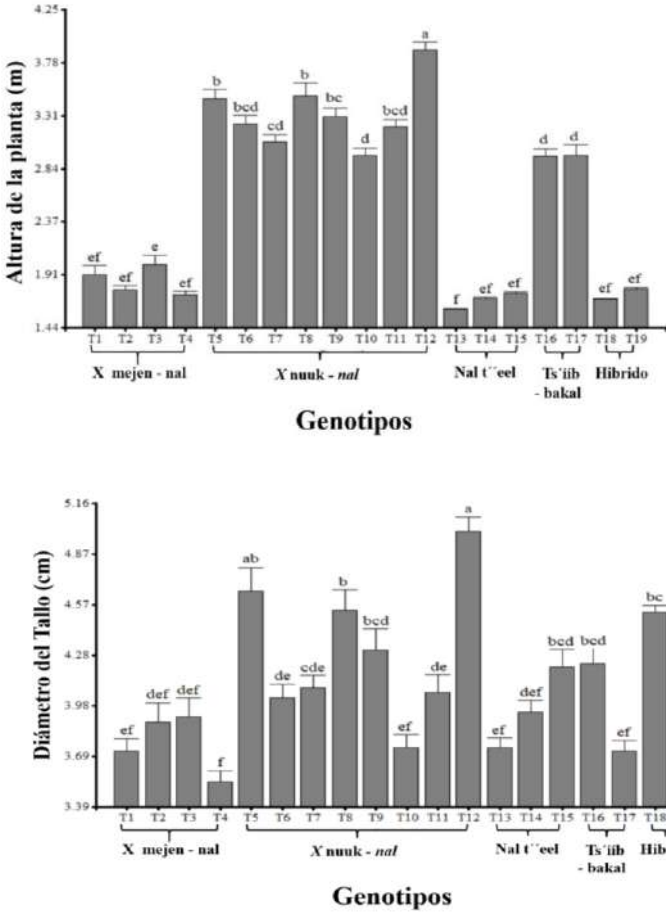


Figura 2.3. Altura de la planta y diámetro del tallo, en plantas de maíz de poblaciones criollas e híbridos comerciales con síntomas de la enfermedad *Spiroplasma kunkelii* en el Sur de Yucatán.

La enfermedad causó mayor efecto en la altura de las plantas de las poblaciones del grupo X-Mejen nal, con un promedio de 1.90 m, no así en las poblaciones de X-Nuuk nal, que en promedio alcanzaron 4.0 m, que se puede considerar como una altura adecuada, de acurdo a lo reportado por Arias (2005), en donde en promedio X-nuuk Nal, Dzit-bacal, X-mejen Nal y Nal tel tiene 4.3, 3.0, 2.2 y 1.70 m de altura respectivamente. Adicionalmente se observa que el diámetro del tallo no es afectado por la presencia de la enfermedad. Cabe resaltar que San pableño (T8) y Santa rosa (T9), que fueron tolerantes a la enfermedad, tuvieron un comportamiento positivo, de acuerdo a los promedios de plantas sanas de estas poblaciones, debido a que el *Dabullus maidis* (vector trasmisor de la enfermedad) ataca con menor incidencia a los materiales de la población X-nuuk nal, al ser tolerantes, esto de acuerdo a lo señalado por Di Marco *et al.* (2003).

Debido a la enfermedad los parámetros de rendimiento y las características de mazorca sólo se pudieron evaluar en los criollos tolerantes (T8 y T9) y en los híbridos (T18 y T19). En la longitud de la mazorca sobresalieron las poblaciones T8 y T9, tanto en plantas sanas como en plantas enfermas, a diferencia de los híbridos, donde se obtuvieron mazorcas pequeñas y redondas. En este sentido Camacho *et al*. (2004), mencionan que en los materiales de X-nuk nal, las mazorcas presentan mayor magnitud que en los materiales comerciales, pero con una producción no homogénea, lo que reduce el rendimiento. En la Figura 2.4 se observa que el efecto de la enfermedad en las características de la mazorca es drástico, reduciendo significativamente el diámetro y la longitud de la mazorca. Por ejemplo, en T8 el diámetro de las mazorcas sanas fue en promedio mayor a 5.0 cm y en las plantas enfermas menor de 3.5 cm. Esta respuesta es diferencial y depende del material y de la variable, ya que el mayor efecto de la enfermedad se observa en T8 para el diámetro de la mazorca, pero para la longitud de la mazorca fue mayor en T19 (híbrido). Es importante señalar que en los materiales criollos de las poblaciones X-Nuuk nal.

Burgos *et al*. (2004) y Camacho *et al*. (2004) mencionan que presentan mazorcas largas con menor diámetro y con problemas de fecundación (menor cantidad de granos fecundados).

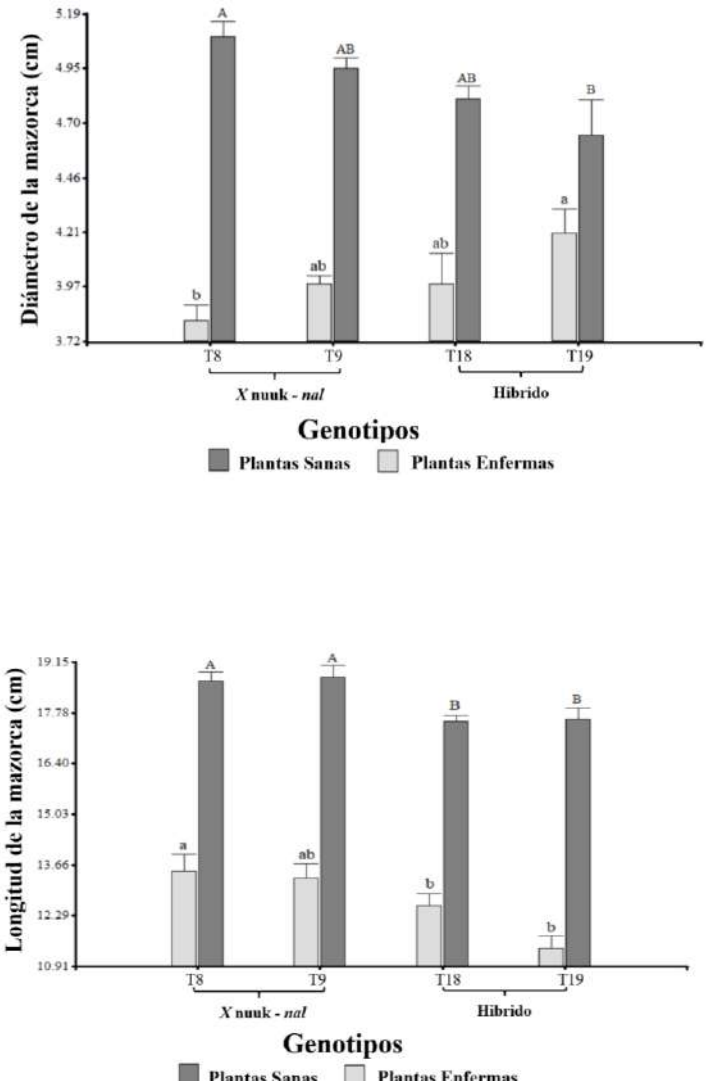


Figura 2.4. Diámetro y longitud de la mazorca, en plantas de maíz de poblaciones criollas e híbridos comerciales tolerantes a la enfermedad Spiroplasma kunkelii en el Sur de Yucatán.

En cuanto a la producción de grano, de acuerdo a Giménez *et al*. (2005) la presencia de la enfermedad *Spiroplasma kunkelii* en el cultivo de maíz, puede causar bajos rendimientos en poblaciones criollos hasta de un 90%, e incluso en altos porcentajes de severidad, puede ocasionar la pérdida total.

En el presente trabajo 15 variedades no llegaron a producir, a diferencia de los materiales tolerantes T8 y T9, los cuales, para el peso de 1000 semillas en plantas sanas, T8 obtuvo un peso promedio de 310 g y fue igual estadísticamente a los dos híbridos (T18 y T19), con rendimientos promedio de 320 g. Para las plantas enfermas el peso fue de 210 g, en T8 y T9 y en los híbridos en promedio 240 g. siendo diferentes estadísticamente. Es decir, la enfermedad redujo el rendimiento de grano (peso de 1000 semillas) en alrededor del 30% en las poblaciones tolerantes.

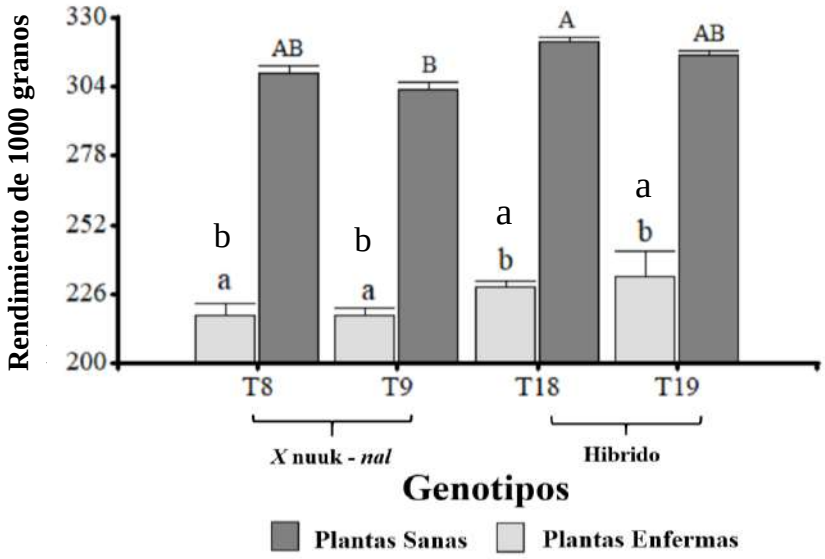


Figura 2.5. Rendimiento de la mazorca, en plantas de maíz de poblaciones criollas e híbridos comerciales tolerantes a la enfermedad *Spiroplasma kunkelii* en el Sur de Yucatán.

Variables fisiológicas

De acuerdo a la figura 2.1, las plantas fueron evaluadas a los 100 días y se puede observar más del 50 % de incidencia y severidad en todos los tratamientos, en estas variables se evaluaron plantas sanas y plantas enfermas.

La tasa fotosintética se atribuye a diversos factores, en particular a la cantidad lumínica proveniente del sol (Pérez *et al*., 2008). En cada hoja existe diferente actividad fotosintética, ya sea por su edad, tiempo de exposición a la radiación, posición, entre otros factores (Hernández *et al*., 2012). En la Figura 2.6, se observa claramente que la fotosíntesis de las hojas de maíz, fue significativamente diferente en todos los tratamientos. En general se observó una reducción drástica en la tasa fotosintética ante la presencia de la enfermedad, siendo de mayor magnitud en T8, T9, T10, T13 y T15 que, aunque son estadísticamente iguales a otras 8 variedades, numéricamente presentaron los valores más bajos. Las poblaciones T7 y T19 presentaron la mayor tasa fotosintética y son estadísticamente iguales y diferentes al resto de las variedades.

En la Figura 2.7, se observa la diferencia que existe en los resultados de conductancia, que es una variable importante en el intercambio gaseoso entre la planta y la atmósfera ya que representa el flujo del agua y de CO_2 a través de las estomas (Hernández *et al*., 2008; Martínez *et al* 2004). El CO2 es el sustrato inorgánico más importante de la fotosíntesis, ya que es la fuente de carbono para la síntesis de moléculas orgánicas (Samaniego *et al* 2016).

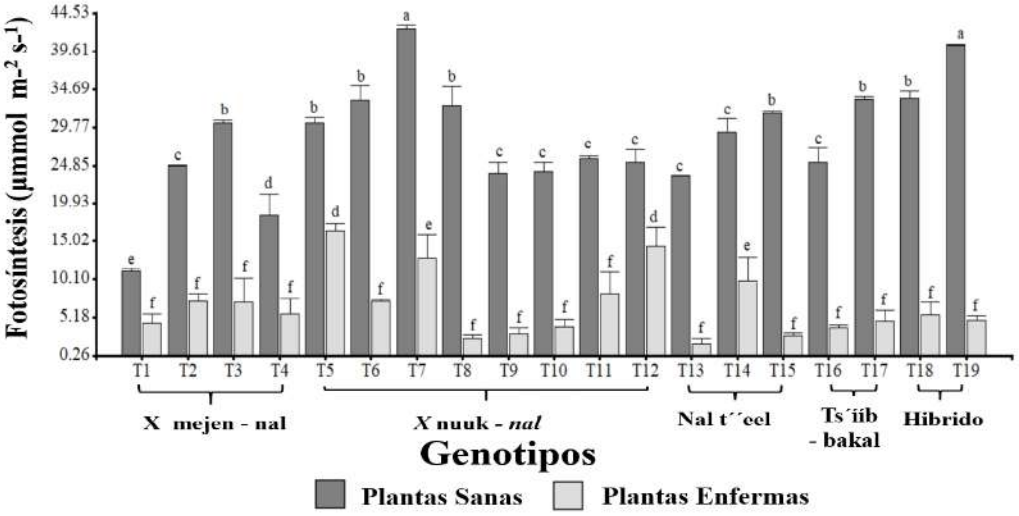


Figura 2.6. Efecto de la enfermedad *Spiroplasma kunkelii*, sobre tasa fotosintética (µmol m-2 s-1) en 19 materiales criollos estudiados en el Sur de Yucatán.

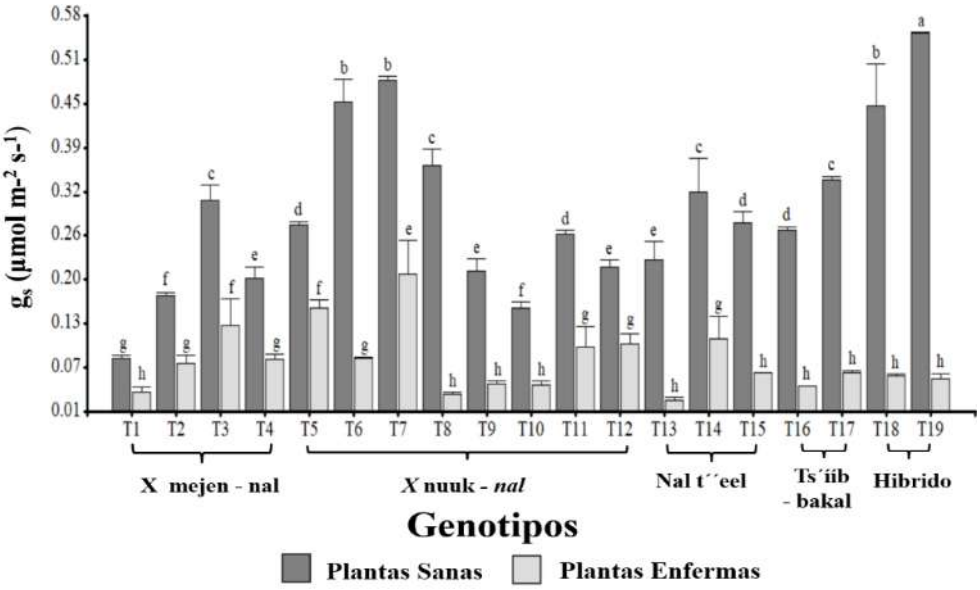


Figura 2.7. Efecto de la enfermedad *Spiroplasma kunkelii*, sobre la conductancia estomática (µmol m-^{2} s-^{1}) en 19 materiales criollos estudiados en el Sur de Yucatán.

Como es de esperarse existe una relación directa entre la conductancia y la tasa fotosintética y es notorio que la conductancia fue significativamente más alta en el testigo T19, seguidos por T6, T7 y T18 que son estadísticamente iguales pero diferentes que los anteriores descritos. En general el efecto de la enfermedad en la conductancia estomática presentó un efecto muy similar al de la fotosíntesis. Donde se reduce notablemente en las plantas enfermas.

Las plantas tienen la capacidad natural de capturar CO^{2}, éste es necesario para cumplir sus ciclos fisiológicos. Se observó que la presencia de la enfermedad afecto a este proceso fisiológico, donde en plantas enfermas se concentró mayor cantidad de carbono intercelular.

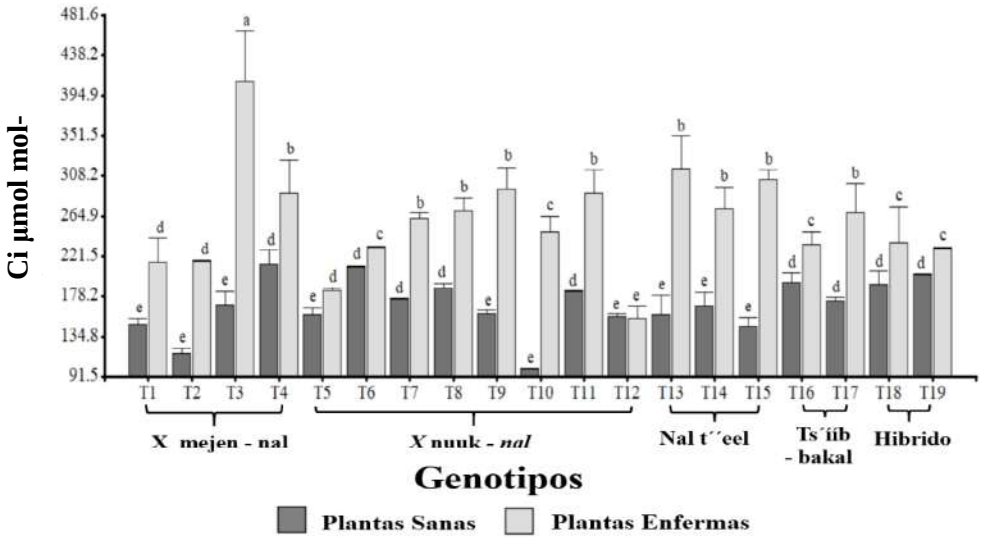


Figura 2.8. Efecto de la enfermedad *Spiroplasma kunkelii*, sobre el carbono intercelular (µmol mol-^{1}), en 19 materiales criollos estudiados en el Sur de Yucatán.

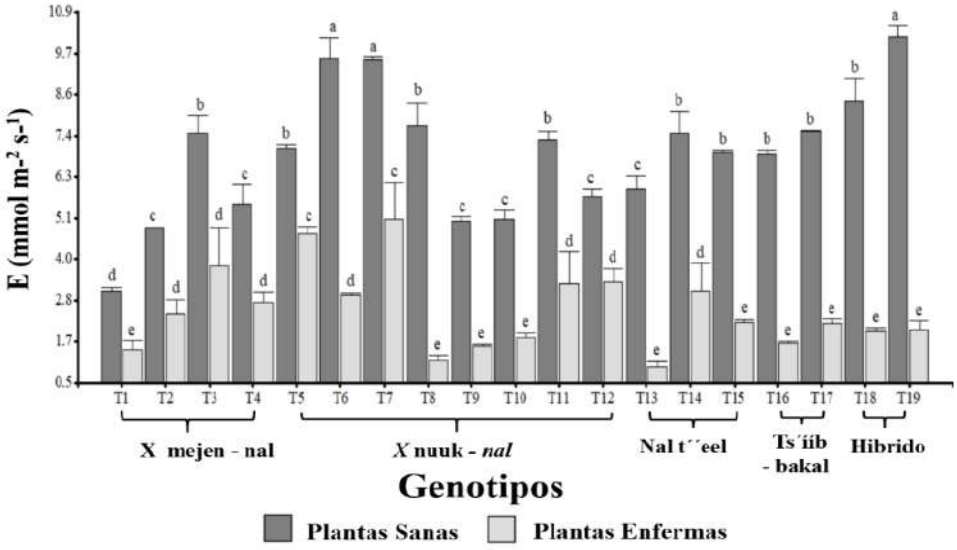


Figura 2.9. Efecto de la enfermedad *Spiroplasma kunkelii*, sobre la Transpiración (mmol m-^{2} s-^{1}), en 19 materiales criollos estudiados en el Sur de Yucatán.

La transpiración tuvo una relación directa con la fotosíntesis, encontrando al material T8 el cual no presento diferencia significativa con el T18 (hibrido 593) en plantas sanas, pero son diferentes estadísticamente a T19, T6 y T7 que son iguales y presentaron la transpiración más alta. Indicando que tienen buena transpiración de acuerdo a la alta tasa actividad fotosintética que presentaba las plantas (San clemente *et al.,* 2005). Un comportamiento contrario se observó en las plantas enfermas, que, al estar con presencia de la enfermedad, realizan menor transpiración debido a la actividad estomática que es afectada por la enfermedad (Pérez *et al.,* 2008).

Por otro lado, la eficiencia en el uso del agua (EUA) no fue afectado tan marcadamente como las otros variables fisiológicas anteriormente descritas, con excepción de T3, donde se presentó un efecto drástico. El eficiente uso del agua, permite obtener un mayor crecimiento y desarrollo aun en condiciones desfavorables (Quintal *et al*., 2016).

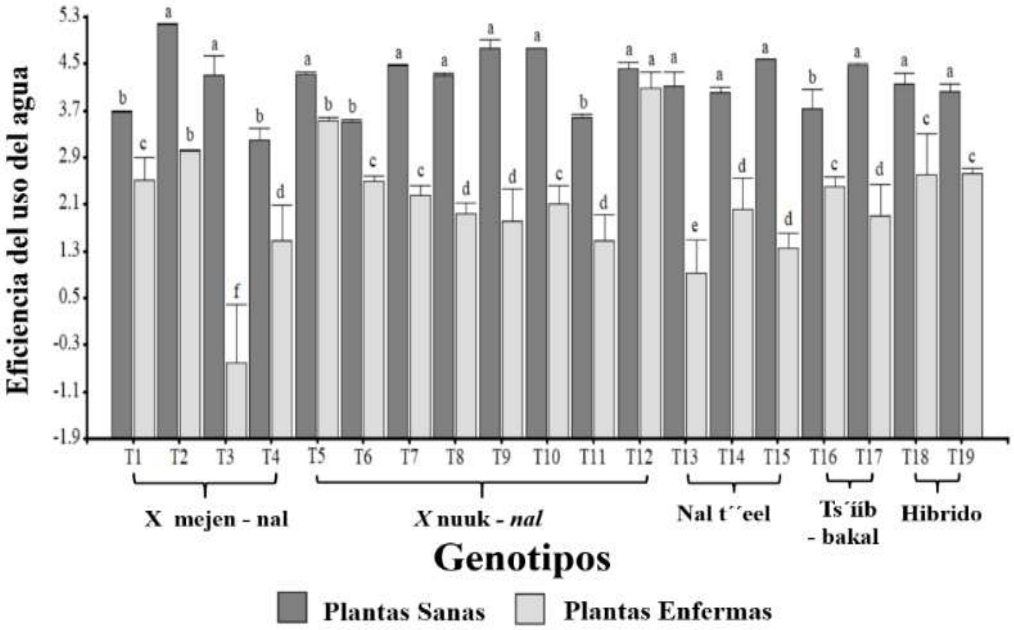


Figura 2.10. Efecto de la enfermedad *Spiroplasma kunkelii*, sobre el Uso eficiente del agua, (µmol CO_2/mmol H_2O) 19 materiales criollos estudiados en el Sur de Yucatán.

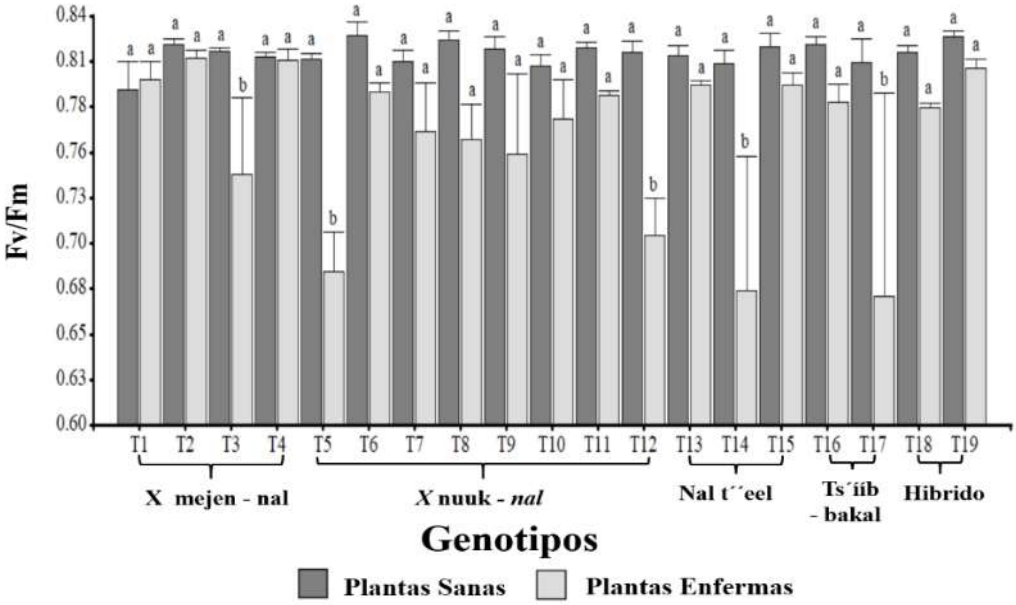


Figura 11. Efecto de la enfermedad *Spiroplasma kunkelii*, sobre la Eficiencia fotoquímica máxima (Fv/Fm), en 19 materiales criollos estudiados en el Sur de Yucatán.

En cuanto la eficiencia fotoquímica máxima comúnmente, las plantas de maíz saludables presentan valores de eficiencia quántica aproximados a 0.80 y 0.83, este parámetro se usa como un indicador sensitivo de la eficiencia quántica real y potencial del PSII. Cuando los valores de Fv/Fm son menores de 0.80 significa que puede haber un daño en el aparato fotosintético por todos los factores que causan inhibición de los centros de reacción del PSII e incremento en la disipación calorífica (Barker *et al*., 2009; Maxwell, 2000). Los resultados mostraron que en general las variedades presentaron valores inferiores a 0.8 de Fv/Fm en presencia de la enfermedad, siendo más marcados en T3, T5, T12, T14 y T17 que son estadísticamente iguales y diferentes al resto, indicando el efecto directamente en la eficiencia quántica de la planta. Se pudo observar que la relación de la enfermedad y la planta, reducen la tasa máxima de fotosíntesis neta, debido a la falta de clorofila del área foliar, causando deficiencias fisiológicas (Hernández, 2012; Martínez *et al*., 2004).

2.5. CONCLUSIÓN

Las variedades criollas San pableño (T8) y Santa rosa (T9) presentaron incidencia de la enfermedad inferiores al 40%, por lo que es probable que estas poblaciones posean genes que le confieren tolerancia al achaparramiento del maíz (*Spiroplasma kunkelii*).

La presencia de la enfermedad en las plantas redujo significativamente el comportamiento fisiológico da las plantas, en donde se observó respuesta diferencial entre poblaciones de maíz, de igual forma se observó una respuesta diferencial en las características de la mazorca.

2.6. LITERATURA CITADA

Arias, L., y Latournerie, L., y Montiel, S., y Sauri, E. (2007). Cambios recientes en la diversidad de maíces criollos de Yucatán, México. Universidad y Ciencia, 23 (1), 69-73.

Arias R., L. M., L. Latournerie M., F. Márquez S., y L. A. Dzib A. 2005. Conservación in situ y mejoramiento de maíces criollos yucatecos. In: Memoria de la 1ª Reunión de mejoradores de variedades criollas de maíz en México. Oaxaca, Oax. pp: 113-124

Arias-Reyes, L. M. 2004. Diversidad genética y conservación in situ de los maíces locales de Yucatán, México. Tesis de doctorado. Instituto Tecnológico de Mérida. Mérida, Yucatán México. 113 p.

Baker, N.R. 2008. La fluorescencia de la clorofila: una sonda de fotosíntesis in vivo. Revisión anual de biología vegetal 59: 89-113.

Bellon, M.R. 2009. Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas en México, Vol II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México. pp. 355-359.

Benz, B. F. 2001. Evidencia arqueológica de la domesticación de teosinte de guilá naquitz. Pnas 98 (4): 2104-2106 Benz, B. F. 2006. Maíz en las Americas. Staller J.E., R.H. Tykot & B.F. Benz (ed.) Historias de maíz. Elsevier-Academic Press. EUA. Páginas. 9-20.

Burgos M., L. A., J. L. Chávez S. y J. Ortíz C. 2004. Variabilidad morfológica de maíces criollos de la península de Yucatán, México. En: J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill y D.I. Jarvis (eds.). Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales. IPGRI. Cali, Colombia. pp. 58-66.

Camacho-Villa, T. C. y J. L. Chávez-Servia. 2004. Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México. En: J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill y D.I. Jarvis (eds.). Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales. IPGRI. Cali, Colombia. pp. 47-57.

CIMMYT. 2004. Curso Producción de Semillas de Alta Calidad y Post-Cosecha (2006, Catacamas, Olancho, Honduras). Manejo de la producción de semilla de maíces híbridos. Texcoco, México. 60p.

Di Marco, O. N. Y M. S. Aello. 2003. Calidad nutritiva de la planta de maíz para silage. Unidad Integral Balcarse. (Facultad de Ciencias Agrarias (UNMdP)-INTA EEA Balcarse). Verificado en marzo del 2006.

Garruña-Hernández R., A. Canto, J. O. Mijangos-Cortés, I. Islas, L. Pinzón y R. Orellana (2012) Cambios en la floración y fructificación del habanero. Pimienta en respuesta a mayor temperatura y CO2. Diario de Alimentación, Agricultura y Medio Ambiente 10: 802-808.

Ibarra Aparicio, G., & Moya Raygoza, G., & Berlanga Padilla, A. (2005). Efecto de Beauveria bassiana y Metarhizium anisoplia sobre chicharrita del maíz (Dalbulus maidis) (Delong y Wolcott, 1923) (Hemiptera: Cicadellidae). Folia Entomológica Mexicana, 44 (1), 1-6.

Martinez r. Perez p. Morcuende r. 2004. Efectos interactivos de la elevada temperatura del CO2 y el nitrógeno en la fotosíntesis del trigo cultivado en túneles de gradiente de temperatura. Environ Exp Bot; 54: 49-59.

Maxwell, K. y G.N. Johnson 2000. Fluorofila clorofila: una guía práctica. Diario de botánica experimental 51: 659-668.

Moya-Raygoza, G., y I. M. Becerra-Chiron. 2014. Biología de hibernación de parasitoides de huevo de Dalbulus maidis (Hemiptera: Cicadellidae) en gramíneas perennes, maíz voluntario, rastrojo y maíz de riego por goteo. Ana. Entomol. Soc. A.m. 107: 926–932.

Moya-Raygoza, G., V. Palomera-Avalos, y C. Galaviz-Mejia. 2007. Biología de la hibernación en el campo de Spiroplasma kunkelii (Mycoplasmatales: Spiroplasmataceae) y su vector Dalbulus maidis (Hemiptera: Cicadellidae). Ana. Apl. Biol. 151: 373–379.

Pérez-Gutiérrez, A., Pineda-Doporto, A., Latournerie-Moreno, L., Pam-Pech, W., Godoy-Ávila, C. (2008). Niveles de evapotranspiración potencial en la producción de chile habanero. Terra Latinoamericana. 26(1), 53-59.

Quintal Ortiz, W. C., Pérez-Gutiérrez, A., Latournerie Moreno, L., May-Lara, C., Ruiz Sánchez, E., Martínez Chacón, A. J. (2012). Uso del agua, potencial hídrico y rendimiento del habanero. Pimienta (Capsicum chinense Jacq.). Revista Fitotecnia Mexicana. 35 (2), 155-160.

Ramírez, C. J. L., G. C. de León, M. C. García & R. G. Granados. 2005. Dalbulus guevarai (De L.) nuevo vector del achaparramiento del maíz en México: Incidencia de la enfermedad y su relación con el vector Dalbulus maidis (DeL. and W.) en Muna, Yucatan. Agrociencia 22: 39-49.

Samaniego-Gámez, Blancka Yesenia, Garruña, René, Tun-Suárez, José M, Kantun-Can, Jorge, Reyes-Ramírez, Arturo, y Cervantes-Díaz, Lourdes. (2016). Bacillus spp. la inoculación mejora la eficiencia del fotosistema II y mejora la fotosíntesis en plantas de pimiento. Revista chilena de investigación agrícola, 76 (4), 409-416.

Sánchez, M. F. (2008). De las Variedades Criollas de Maíz a los Híbridos Transgénicos. 1: Recolección de Germoplasma y Variedades Mejoradas. Universidad Autónoma Chapingo. Guadalajara. Agricultura, Sociedad y Desarrollo Vol. 5. Núm. 2. 151-166

Sanclemente ma. 2005. Evaluación del crecimiento y la eficiencia fotosintética de la macrófita emergente Ludwigia decurrens bajo diferentes condiciones de nitrógeno a nivel de laboratorio [trabajo de grado]. Cali-Colombia: Departamento de Biología, Facultad de ciencias, Universidad del Valle.

SIAP, 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Inicio/producción anual/resumen nacional por cultivo. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=346.

Virla EG, Casuso M y Frias EA 2010. Un estudio preliminar sobre los efectos de un evento de maíz transgénico en la plaga no objetivo *Dalbulus Maiid* (Hemitera: Cicadeliidae). *Crop Prot.* 29 635–638

Virla e., s. Paradell, p. Diez, 2003. Estudios bioecológicos sobre la chicharrita del maíz Dalbulus maidis (Insecta, Cicadellidae) en Tucumán (Argentina). Boletín Sanidad Vegetal. Plagas 29: 17-25.

Virla e., c. Díaz, p. Carpane, i. Laguna, j. Ramallo, l. Gómez, m. Gimenez pecci, 2004. Evaluación preliminar de la disminución en la producción de maíz causada por el "Corn Stunt Spiroplasma" (CSS) en Tucumán, Argentina. Boletín Sanidad Vegetal. Plagas 30: 403-413.