



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

***Steneotarsonemus spinki*: DINÁMICA DE POBLACIONES Y HONGOS ASOCIADOS EN EL CULTIVO DE ARROZ EN TABASCO, MÉXICO**

MARCO ANTONIO SALAZAR SANTIAGO

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017

La presente tesis titulada: "*Steneotarsonemus spinki*: DINÁMICA DE POBLACIONES Y HONGOS ASOCIADOS EN EL CULTIVO DE ARROZ EN TABASCO, MÉXICO", realizada por el alumno: Marco Antonio Salazar Santiago bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

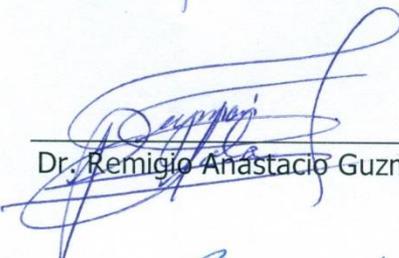
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Gabriel Otero Colina

ASESOR



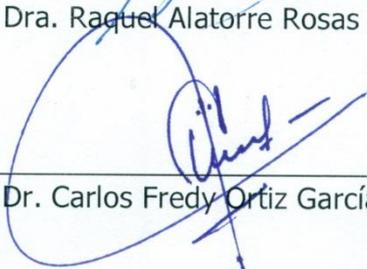
Dr. Remigio Anastacio Guzmán Plazola

ASESOR



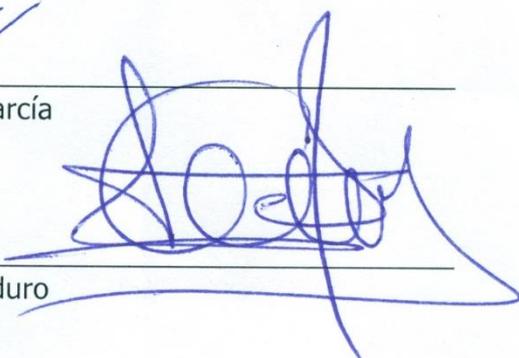
Dra. Raquel Alatorre Rosas

ASESOR



Dr. Carlos Fredy Ortiz García

ASESOR



Dr. Alejandro Pérez Panduro

Montecillo, Texcoco, Estado de México, mayo de 2017

***Steneotarsonemus spinki*: DINÁMICA DE POBLACIONES Y HONGOS
ASOCIADOS EN EL CULTIVO DE ARROZ EN TABASCO, MÉXICO**

**Marco Antonio Salazar Santiago
Fitosanidad- Entomología y Acarología
Colegio de Postgraduados, 2017**

RESUMEN

El ácaro *Steneotarsonemus spinki* es plaga de importancia para las zonas productoras de arroz en México, en especial en los estados de Campeche, Tabasco y Veracruz, donde ocasiona el vaneado del grano, el cual provoca una fuerte disminución del rendimiento del cultivo de arroz. Sin embargo, no se tienen cuantificados los efectos que este ácaro causa en dicho cultivo, por lo que se requieren elementos para caracterizar su asociación con su planta hospedante para desarrollar protocolos de muestreos y control. En este estudio se analizó la asociación de la fenología con la infestación de *S. spinki* y se identificaron los hongos asociados con este ácaro y el vaneado, para determinar los factores que afectan a las poblaciones de *S. spinki*. Se realizaron muestreos de 2014 a 2015 en tres parcelas sembradas con arroz en el estado de Tabasco (Cárdenas, Huimanguillo y Comalcalco), y éstos se complementaron con recorridos a las zonas arroceras de los estados de Campeche y Veracruz. En muestreos quincenales durante las fases vegetativa y reproductiva se extrajeron 50 plantas de cada parcela experimental, mientras que en la fase de maduración los muestreos fueron mensuales para estimar las poblaciones de *S. spinki* y la composición de sus estadios de desarrollo, así como para identificar los hongos asociados. Se colocaron cinco trampas pegajosas en cada sitio (Cárdenas, Huimanguillo y Comalcalco) de muestreo para conocer el mecanismo de dispersión de este ácaro, y se colectaron plantas hospedantes del mismo dentro y fuera de las parcelas muestreadas. Todas las plantas extraídas en los muestreos se fraccionaron para realizar conteos de los ejemplares presentes de *S. spinki* en cada planta, los que se identificaron por su sexo y etapa de desarrollo, con el objetivo de conocer la composición de las poblaciones y sus cambios a lo largo del ciclo de las plantas. Se tomaron datos de temperatura y precipitación de registros regulares de estaciones climáticas provenientes de CONAGUA; estos datos se correlacionaron con las fluctuaciones de población de *S. spinki*.

Como resultado de los muestreos, se observó que durante la etapa vegetativa (germinación, plántula y macollamiento) en el municipio de Cárdenas no hubo infestación de ácaros; la población máxima coincidió con la fase final de la floración, la cual fue mayor en las plantaciones germinadas entre los meses de julio y agosto, en las etapas de plena floración, llenado de granos y maduración. En el caso de Huimanguillo las primeras poblaciones se presentaron a inicio de la floración, mientras que las poblaciones más altas se presentaron durante el llenado de granos. En Comalcalco no se presentó el ácaro *S. spinki* en ninguno de los muestreos. Se identificaron malezas asociadas al cultivo como *Leptochloa scabra* Nees, *Echinochloa colona* (L.) Link, *Panicum maximum* Jacq. y *Cyperus hermaphroditus* (Jacq.) Standl como hospedantes de *S. spinki*, las cuales presentaron todos los estadios del ácaro, lo que indica que éste puede sobrevivir y reproducirse en dichas malezas. Mediante trampeos, se determinó que el viento es un medio de dispersión y no se observó transporte forético sobre insectos. Los hongos acaropatógenos asociados a *S. spinki* fueron *Hirsutella kirchneri*, *Hirsutella thompsonii*, *Hirsutella thompsonii* var. *synnematos*a, *Hirsutella thompsonii* var. *thompsonii* e *Hirsutella nodulosa*. No se detectó la presencia del hongo fitopatógeno *Sarocladium oryzae*, lo que sugiere que los daños observados en la producción de arroz en la zona de estudio son causados directamente por *S. spinki* y no por la asociación con dicho hongo.

Palabras claves: fenología, infestación, composición, acaro del vaneo, *Oryza sativa*.

***Steneotarsonemus spinki*: POPULATION DYNAMICS AND ASSOCIATED FUNGI
IN TABASCO, MEXICO**

Marco Antonio Salazar Santiago
Fitosanidad- Entomología y Acarología
Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

The *Steneotarsonemus spinki* mite is a pest of importance for rice producing areas in Mexico, especially in the states of Campeche, Tabasco and Veracruz, where it is associated to the problem known as vain grain, which results in a strong decrease of crop yield of rice. However, we do not have data that quantify the effects that this mite causes in this crop, so there is a need of elements necessary to characterize the association with its host plant to offer a protocol of sampling and control. In this study the association of rice phenology with *S. spinki* infestation was analyzed and the fungi associated with this mite and vain grain were identified to determine the factors that affect *S. spinki* populations. From 2014 to 2015, samples were taken from three plots planted with rice in the state of Tabasco (Cárdenas, Huimanguillo and Comalcalco), and complemented with field trips through the states of Campeche and Veracruz. In the sampling during the vegetative and reproductive phases, 50 plants were extracted from each experimental plot, whereas in the maturation phase the samples were extracted monthly to estimate the populations of *S. spinki*, the composition of its developmental stages and to identify the associated fungi. Five sticky traps were placed in each sampling site (Cárdenas, Huimanguillo and Comalcalco) to know the dispersion mechanism of the mite, and host plants were collected from inside and outside of sampled plots. All plants extracted in the samples were sectioned for counting the specimens of *S. spinki* present per plant, which were identified by their gender and stage of development, in order to know the composition of the populations and their changes along the plant cycle. Temperature and precipitation data were taken from regular records of climatic stations from CONAGUA; these data were correlated with the population fluctuations of *S. spinki*. As a

result of the sampling, it was observed that during the vegetative stage (germination, seedling and tillering), in Cárdenas there was no infestation of mites; the maximum population coincided with the final phase of flowering, which was greater in the germinated plantations between July and August, during the stages of full bloom, grain filling and ripening. In the case of Huimanguillo the first populations were present at the beginning of the flowering, while the highest populations were present during the filling of grains. In Comalcalco *S. spinki* was not present in any of the samples. Weeds associated with the crop were identified as *Leptochloa scabra* Nees, *Echinochloa colona* (L.) Link, *Panicum maximum* Jacq. and *Cyperus hermaphroditus* (Jacq.) Standl as hosts of *S. spinki*, which carried all stages of the mite, indicating that it can survive and reproduce in these weeds. By means of traps, it was determined that the wind was a means of dispersal; by contrast, foretic transport on insects was not observed. The acaropathogenic fungi associated with *S. spinki* were *Hirsutella kirchneri*, *Hirsutella thompsonii*, *Hirsutella thompsonii* var. *synnematos*, *Hirsutella thompsonii* var. *thompsonii* and *Hirsutella nodulosa*. The presence of the fungus *Sarocladium oryzae* was not detected, suggesting that the damages observed in rice production in the study area are caused directly by *S. spinki* and not by its association with that fungus.

Key words: phenology, infestation, composition, vain mite, *Oryza sativa*.

DEDICATORIA

A Dios por la darnos la gracia de la sabiduría
A mis padres por darme siempre fortaleza y confianza
A mis hermanos por estar siempre apoyándome
A mi consejero por su gran amistad
confianza, sabiduría y consejos
que me ha brindado.

AGRADECIMIENTOS

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios doctorales.

Al Colegio de Postgraduados por darme las facilidades para la realizar mis estudios de postgrado y realización de esta investigación.

Al Dr. Gabriel Otero Colina por apoyarme en mi estancia de estudios doctorales y su valiosa dirección en mi investigación, confianza y enseñanza.

Al Dr. Remigio Anastacio Guzmán Plazola, por su apoyo, confianza, conocimientos transmitidos y por su gran amistad que me brindó.

A la Dra. Raquel Alatorre Rosas, por sus aportaciones, sugerencias, confianza, amistad y por su asesoramiento en mi formación doctoral.

Al Dr. Carlos Fredy Ortiz García, por ser una gran persona que siempre estuvo al pendiente de esta investigación, así como por sus sugerencias, transmitirme sus conocimientos y su gran amistad que me brindó.

Al Dr. Alejandro Pérez Panduro por sus consejos, sugerencias y por la confianza de apoyarme durante mi estancia doctoral.

A la Dra. Hilda Araceli Zavaleta Mancera por las facilidades que se brindaron para el procesamiento y uso de la Unidad de Microscopía Electronica del Colegio de Postgraduados.

A mis amigos y compañeros que estuvieron apoyándome en todo momento, no sólo en lo institucional, sino en lo personal. Agradezco infinitamente a todos los que de cualquier otra manera me extendieron la mano para apoyarme y darme sus valiosos consejos.

CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	ii
GENERAL ABSTRACT	iv
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1.- Introducción	1
1.2.- REVISIÓN DE LITERATURA	2
1.2.1.- Cultivo de arroz	2
1.2.2.- <i>Steneotarsonemus spinki</i>	4
1.2.3.- Daños causados por <i>S. spinki</i> y en su asociación con el hongo <i>Sarocladium oryzae</i>	6
1.2.4.- Importancia de resistencia varietal del arroz contra <i>Steneotarsonemus spinki</i>	8
1.3.- LITERATURA CITADA	10
CAPÍTULO II. DINÁMICA TEMPORAL Y PATRONES DE AGREGACIÓN DE <i>Steneotarsonemus spinki</i> EN EL CULTIVO DE ARROZ	15
2.1.- INTRODUCCIÓN	17
2.2.- MATERIALES Y MÉTODOS	18
2.3.- RESULTADOS	21
2.3.1.- Identificación morfológica y molecular	21
2.3.2.- Dinámica temporal	22
2.3.3.- Patrones de agregación	27
2.3.4.- Plantas hospederas	31
2.3.5.- Captura en trampas pegajosas	31
2.4.- DISCUSIÓN	31
2.5.- LITERATURA CITADA	35
CAPÍTULO III. HONGOS ACAROPATÓGENOS ASOCIADOS A <i>Steneotarsonemus spinki</i> Smiley (ACARI: TARSONEMIDAE) EN EL CULTIVO DE ARROZ	40
3.1.- INTRODUCCIÓN	42
3.2.- MATERIALES Y MÉTODOS	43
3.2.1.- Obtención de hongos acaropatógenos	43
3.2.2.- Preparación de cultivos monospóricos	44
3.2.3.- Microscopía electrónica del barrido (MEB)	46
3.3.- RESULTADOS	46
3.3.1.- Identificación morfológica	46
3.3.2.- Descripción de acaropatógenos asociados a <i>S. spinki</i>	49

3.3.3.- Identificación molecular	53
3.4.- DISCUSIÓN	56
3.5.- LITERATURA CITADA	58
CAPÍTULO IV. HONGOS FITOPATÓGENOS ASOCIADOS A	62
<i>Stenotartarsonemus spinki</i> EN EL CULTIVO DE ARROZ	
4.1.- INTRODUCCIÓN	64
4.2.- MATERIALES Y MÉTODO	65
4.2.1.- Obtención de hongos fitopatógenos	65
4.2.2.- Preparación de cultivos monospóricos e identificación	66
4.2.3.- Estimación de poblaciones de <i>S. spinki</i>	67
4.3.- RESULTADOS	67
4.4.- DISCUSIONES	73
4.6.- LITERATURA CITADA	75
VI.- CONCLUSIONES	79

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1. Ciclo de vida de *Steneotarsonemus spinki*. A) Huevo, B) larva, C) estado inactivo o ninfocrisálida, D) macho, E) hembra. 5
- Figura 2. A) Daños en arroz aparentemente causados por *S. spinki*, B) necrosis en tallo, C) necrosis en semillas y D) poblaciones de *S. spinki*. En vaina foliar de arroz. 8

CAPÍTULO 2

- Figura 1. Árbol filogenético de la región COI1 de *Steneotarsonemus spinki*, generado mediante máxima verosimilitud con 1,000 repeticiones bootstrap. Las secuencias SPM1MOD, SPM2MOD, SPM3MOD y SPM4MOD fueron determinadas en el presente estudio. 21
- Figura 2. Número de huevos (A), larvas (B), ninfocrisálidas (C), machos (D), hembras (E) y adultos totales (F) por planta de *Steneotarsonemus spinki* en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arroz variedad Milagro Filipino, y precipitación acumulada mensual, en el municipio de Cárdenas Tabasco, México. Las etapas fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos). 23
- Figura 3. Número de huevos (A), larvas (B), ninfocrisálidas (C), machos (D), hembras (E) y adultos totales (F) por planta de *Steneotarsonemus spinki* en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arroz variedad Milagro Filipino, y precipitación acumulada mensual en el municipio de Huimanguillo Tabasco, México. Las etapas fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos). 26
- Figura 4. Temperaturas mínimas y máximas promedio en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, México. Las etapas fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos). 27
- Figura 5. Relación varianza/media del número de huevos, larvas, ninfocrisálidas, machos, hembras y adultos totales por planta de *Steneotarsonemus spinki* en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arroz variedad Milagro Filipino, y precipitación acumulada mensual en el municipio de Cárdenas Tabasco, México. Las etapas 28

fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebotes).

- Figura 6. Valor del parámetro k de la distribución binomial negativa estimado a partir del número de huevos, larvas, ninfocrisálidas, machos, hembras y adultos totales por planta de *Steneotarsonemus spinki* en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arroz variedad Milagro Filipino, y precipitación acumulada mensual en el municipio de Cárdenas, Tabasco, México. Las etapas fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebotes). 29
- Figura 7. Relación varianza/media del número de huevos, larvas, ninfocrisálidas, machos, hembras y adultos totales por planta de *Steneotarsonemus spinki* en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arroz variedad Milagro Filipino, y precipitación acumulada mensual en el municipio de Huimanguillo Tabasco, México. Las etapas fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebotes). 30
- Figura 8. Valor del parámetro k de la distribución binomial negativa estimado a partir del número de huevos, larvas, ninfocrisálidas, machos, hembras y adultos totales por planta de *Steneotarsonemus spinki* en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arroz variedad Milagro Filipino, y precipitación acumulada mensual en el municipio de Huimanguillo Tabasco, México. Las etapas fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebotes). 30

CAPÍTULO 3

- Figura 1. Laminillas de A) *Steneotarsonemus spinki* micosados por *Hirsutella* sp. vistos bajo el microscopio estereoscópico, B) conjunto de fiálides aparentemente de *Hirsutella thompsonii*, vistos en un microscopio electrónico de barrido, C y D) laminilla en lactofenol mostrando el crecimiento de *Hirsutella* sp. en el cuerpo de una hembra de *S. spinki*. 47
- Figura 2. A) Formación de sinemas de *Hirsutella kirchneri* en medio H, B) fialides con proliferaciones y conidio tomada en microscopia óptica, C y D) micelio, fiálides con conidio vista bajo microscopio 48

electrónico de barrido, material colectado en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, sobre *S. spinki*, en arroz var. Milagro Filipino.

- Figura 3. A) Desarrollo de la colonia de *Hirsutella thompsonii* en medio H, B) fiálide y conidio tomados en microscopia óptica, C) fiálide en forma de botella soportando la célula conidiógena y espora vista bajo microscopio electrónico de barrido, D) micelio septado. Aislamiento colectado en el municipio de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco, sobre *S. spinki*, en arroz en Milagro Filipino. 49
- Figura 4. A) Fotografías de luz y electrónicas de aislamiento M2 de Huimanguillo, Tabasco sobre *S. spinki*. A) crecimiento de *Hirsutella thompsonii* var. *synnematos* en medio H, B) fialides producidas en hifas aéreas C y D) fiálides trifurcadas, micelio y espora redonda verrugosa. 50
- Figura 5. A) Colonia de *Hirsutella thompsonii* var. *thompsonii* en medio H, B) fiálides ampuliforme producida en hifas aéreas. C) fiálides después de la segregación de espore con cuello delgado, D) micelio liso y conidios verrugosas, colectado en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, sobre *S. spinki*, en arroz en Milagro Filipino. 51
- Figura 6. A) Colonia del aislamiento de *Hirsutella nodulosa* (M6) en medio H, B) preparación en microscopia de luz mostrando fiálides largos y cuello elongado con terminación en zig zag, C y D) microfotografía de fiálides con cuello largo y conidio ovoide de paraed lisa, colectado en el municipio de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco, sobre *S. spinki* en arroz en Milagro Filipino. 52
- Figura 7. Árbol filogenético de los aislamientos M1, M3, M5 Y M6 de hongos acaropatógenos obtenidos de *Steneotarsonemus spinki*, utilizando el método de máxima verosimilitud con 1,000 repeticiones de bootstrap. 54

CAPÍTULO 4

- Figura 1. Superficie sembrada con arroz en los estados de prevalencia del ácaro *Steneotarsonemus spinki* en México, 2004-2016. 63
- Figura 2. Incidencia de *Steneotarsonemus spinki* y hongos fitopatógenos en plantas de arroz variedad Milagro Filipino, a lo largo del desarrollo en Cárdenas Tabasco, México. Las flechas indican el inicio de cada etapa fenológica del cultivo (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos). 65
- Figura 3. Incidencia de *Steneotarsonemus spinki* y hongos fitopatógenos en plantas de arroz variedad Milagro Filipino, a lo largo del desarrollo 66

en Huimanguillo Tabasco, México. Las flechas indican el inicio de cada etapa fenológica del cultivo (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos).

- Figura 4. Incidencia de *Steneotarsonemus spinki* y hongos fitopatógenos en plantas de arroz variedad Milagro Filipino, a lo largo del desarrollo en Comalcalco Tabasco, México. Las flechas indican el inicio de cada etapa fenológica del cultivo (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos). 66
- Figura 5. Plantas de arroz, en fases de llenado de granos con manchas necróticas de color café-oscuro en sitios infestados por *S. spinki*. 68
- Figura 6. Manchas necróticas observadas bajo microscopio estereoscópico por la alimentación de *S. spinki* durante la fase de maduración (llenado de grano). 68
- Figura 7. Daños en panículas en la fase de maduración A) panículas vanas, erectas y en algunos caso granos secos, B) inicio de manchado de los granos, C) panícula con un 50 % de granos manchados por la altas infestaciones de *Steneotarsonemus spinki*. 69
- Figura 8. Daños en panículas por infestaciones de *Steneotarsonemus spinki* en hoja bandera y panículas, durante la fase de maduración en variedad Milagro Filipino. 70

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1. Hongos asociados a *Steneotarsonemus spinki* en el cultivo de arroz Milagro Filipino. 47

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1.- Introducción

El arroz es una gramínea del género *Oryza*, que se cultiva principalmente para la obtención de sus granos. Después del trigo, es el cereal que más se utiliza en la alimentación humana a nivel mundial. La especie más conocida de este cultivo es *Oryza sativa* (Degiovanni *et al.*, 2010; Degiovanni *et al.*, 2004; Martínez, 2001). Este cultivo es atacado por numerosas enfermedades y plagas cuyo daño limita su productividad, entre ellas encontramos al ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley que es conocido comúnmente como el ácaro blanco; este ácaro es importante en México ya que puede provocar daños severos al cultivo de arroz (Jaime-Ruiz, *et al.*, 2015).

Steneotarsonemus spinki (Trombidiformes, Tarsonemidae) causa pérdidas considerables en el rendimiento del arroz (Almaguel y Botta, 2005; Instituto Colombiano Agropecuario, 2005; Castro y Ochoa, 2006). Es ácaro extremadamente pequeño; las hembras adultas miden aproximadamente 272 x 109 µm, mientras que los machos adultos miden aproximadamente 217 x 120 µm, por lo que es difícil su detección (Ramos y Rodríguez 2001). Se alimenta perforando las células epidérmicas de la planta huésped, utiliza los estiletes para succionar sus contenidos celulares, lo que da como resultado la formación de manchas de color marrón con regiones necróticas en la superficie de las vainas foliares, así como granos vanos o vacíos. Causa daño mecánico a la planta en la superficie adaxial de las vainas de las hojas, afecta directamente el raquis de las panículas e influye en los mecanismos de circulación de los nutrimentos (Ramos y Rodríguez 2001; Santos *et al.*, 2004). Por otra parte, este ácaro transporta las esporas del hongo *Sarocladium oryzae*; como resultado de la infestación de *S. spinki*, de la infección de *S. oryzae* o del ataque combinado de ambas especies, las panículas presentan granos malformados, manchados y con un porcentaje importante de granos vanos (Santos *et al.*, 2004). La población de *S. spinki* se incrementa a partir de la fase de inicio del primordio floral hasta la apertura de la panícula (Almaguel y Botta, 2005; Chow *et al.*, 1980; Ramos y Rodríguez 2001; Myoung-Rae *et al.*, 1999).

En el año 2006 se observó la presencia de *S. spinki* en Palizada Campeche, México (Trujillo, 2007) y de ahí este ácaro se ha diseminado a los estados de Veracruz y Tabasco. La falta de un manejo adecuado podría generar que dicho ácaro se disperse rápidamente a los estados de Chiapas, Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit y Tamaulipas lo cuales representan una importancia agrícola dentro del país. Ante la llegada de esta plaga, en el año 2005 la superficie sembrada era de 40, 755 ha y la producción 133, 471 ton. Para 2015 la superficie sembrada bajó a 15 985 ha y la producción a 66 857 ton, lo que significó una reducción hasta de un 45 % en superficie y producción en los estados de Campeche, Veracruz y Tabasco donde se ha establecido la plaga (SIAP, 2017). El presente trabajo tuvo como objetivos conocer la asociación que existe entre la fenología de la planta y *S. spinki*, identificar sus plantas hospederas, reconocer sus mecanismos, determinar si existe asociación con temperatura y precipitación pluvial e identificar a sus enemigos naturales y hongos fitopatógenos asociados.

1.2.- REVISIÓN DE LITERATURA

1.2.1.- Cultivo de arroz

El arroz es una planta gramínea anual que pertenece al género *Oryza*. Este género incluye 23 especies, de cuales 21 especies son silvestres y dos son cultivadas, incluyendo a *Oryza sativa*. Es una planta de suelos húmedos e inundados que presenta un sistema radicular principalmente adventicio. Es cultivado anualmente a partir de semilla, su ciclo inicia con la germinación y termina con el llenado del grano. Después de germinación, el ciclo puede durar entre tres y seis meses dependiendo de la variedad y el ambiente en el que se cultive. Puede cultivarse con riego o de temporal.

Los tallos son erectos y cilíndricos y presentan de cuatro a seis entrenudos alargados, especialmente al momento de la cosecha. Las hojas están compuestas por dos partes: una lámina y una vaina hendida longitudinalmente que rodea una parte del tallo. Las flores son de color verde, dispuestas en espiguillas cuyo conjunto constituye una panícula. Las inflorescencias o panículas se presentan a partir del último nudo del tallo, generalmente permanecen erectas durante la fase de floración, pero cuando los granos se van llenando se doblan debido al peso que van adquiriendo. La altura de las plantas puede variar en función

del número y de la longitud de los entrenudos o por efecto del ambiente. Estas plantas después de la cosecha producen rebrotes que a su vez dan origen a una segunda cosecha, la cual se le conoce como cosecha de retoño. Todas estas fases fueron observadas durante el estudio coincidiendo lo mencionado con Moquete (2010) y Degiovanni *et al.* (2010). Por tal motivo se describe la morfología de las plantas ya que fueron las partes importantes que evaluaron durante el estudio. Las plantas están constituidas de la siguiente manera:

Las raíces pueden ser de dos tipos: las seminales o temporales y las adventicias, también conocidas como primarias y secundarias, respectivamente. Las seminales son de poca ramificación, su tiempo de duración es muy corto, ya que posteriormente son remplazadas por las raíces adventicias. Las raíces adventicias brotan de los entrenudos subterráneos generalmente de los tallos más jóvenes. Cuando están en sus primeras fases son de color blanco y poco ramificadas, ya maduras son fibrosas y emiten raíces secundarias. El tallo presenta nudos y entrenudos, en cada nudo se forma una hoja y una yema, la cual da origen a un hijo o macolla. El número de hijos o macollas depende de la variedad que se siembra, para el caso de la variedad Milagro filipino puede presentar de 8 a 10 hijos, que por lo general son erectos. El tallo principal desarrolla más hojas que los hijos primarios. Las hojas primarias aparecen en un nudo basal del tallo principal, el cual no tiene lámina. Los bordes se adhieren al dorso de los hijos o macolla, en cada nudo se desarrolla una hoja. La última hoja se presenta debajo de la panícula y es conocida como hoja bandera. Es importante mencionar que en la hoja completa se distinguen tres partes: la vaina, el cuello y la lámina. La vaina o base de la hoja envuelve el entrenudo. El cuello es la unión de la vaina, donde se encuentran la lígula y aurículas. La lámina de la hoja bandera es más corta en comparación con las otras y más ancha que las hojas anteriores, que las distingue de las demás hojas. Las plantas conforman una inflorescencia compuesta que se conoce comúnmente como panícula. Está compuesta por el raquis o eje principal, las ramificaciones primarias y secundarias, las espiguillas, las flores y las semillas (Degiovanni *et al.*, 2010).

El desarrollo de las plantas arroz puede presentar variaciones fisiológicas y/o morfológicas en función del ambiente donde se encuentre. Este cultivo presenta tres fases de crecimiento y dentro de ellas 10 etapas de desarrollo. La fase vegetativa presenta cuatro etapas importantes: (1) emergencia, (2) desarrollo de las plántulas, (3) macollamiento y (4)

elongación del tallo. La fase reproductiva da comienzo con la formación de la panícula y termina en la floración. En el caso de esta fase las etapas son: (5) inicio de la panícula o primordio, (6) desarrollo de la panícula (7) y floración. En esta etapa se determina el número de espiguillas o panículas y la duración puede ser de 35 días. Y por último está la fase de maduración, la cual inicia después de la etapa de floración y termina con la madurez fisiológica del cultivo. Comprende las etapas de: (8) grano lechoso, (9) llenado de grano (10) y maduración del grano. Desde la formación hasta el llenado de grano, la duración es de 30 días (Dunand y Saichuk, 2005; Degiovanni *et al.*, 2010; Degiovanni *et al.* 2004; Moquete, 2010).

Generalmente las plantas pueden llegar a medir 1 m; tal es el caso de la variedad Milagro Filipino. Algunas variedades enanas miden 0.4 m mientras que las variedades altas o flotantes llegan a medir hasta 7 m (Degiovanni *et al.*, 2010).

1.2.2.- *Steneotarsonemus spinki*

Steneotarsonemus spinki se ubica en la familia Tarsonemidae, de amplia distribución. Los nombres vulgares más comunes de este ácaro son: ácaro del arroz, ácaro del vaneo del arroz y ácaro de la panícula del arroz (Santos *et al.*, 2004, Almaguel y Botta, 2005). Las hembras adultas miden aproximadamente 272 μm de largo por 109 μm de ancho, mientras que los machos miden 217 μm de largo por 120 μm de ancho (Ramos y Rodríguez, 2001; Hummel *et al.*, 2009). Los adultos son de cuerpo alargado, los palpos son cortos, convergentes, apretados contra el gnatosoma; tienen la seta subunguinal del tarso I en forma de espina y las setas unguinales del tarso II y III no curvadas. La hembra presenta el apodema II inclinado oblicuamente, no bifurcado anterolateralmente. Macho con la seta escapular generalmente mucho más corta que la de la hembra (Lindquist, 1986).

Steneotarsonemus spinki vive y se desarrolla en la cara interna de la vaina de las hojas. Los huevos son blancos translúcidos, ovoides y alargados y eclosionan en uno a cuatro días a 25°C; las larvas son blancas translúcidas, presentan tres pares de patas y su desarrollo dura 0.7 días; Los estados inactivos o ninfocrisálidas conservan la misma apariencia que una larva activa y su duración es de 0.6 días; las hembras y los machos son blancos cristalinos la hembra es más grande y larga que el macho (figura 1). El periodo de oviposición de las hembras dura

ocho días y su fecundidad es de 43 a 50 huevos. Este ácaro puede completar su ciclo de vida de cuatro a once días con temperaturas que varían entre 20 a 34 °C, y puede generar de seis a ocho generaciones al mes o de 48 a 55 generaciones por año (Almaguel *et al.*, 2000; Almaguel *et al.*, 2004; Almaguel y Botta, 2005; Hummel *et al.*, 2009; Myoung-Rae *et al.*, 1999; Ramos y Rodríguez, 1998; Toro y Mesa, 2015).

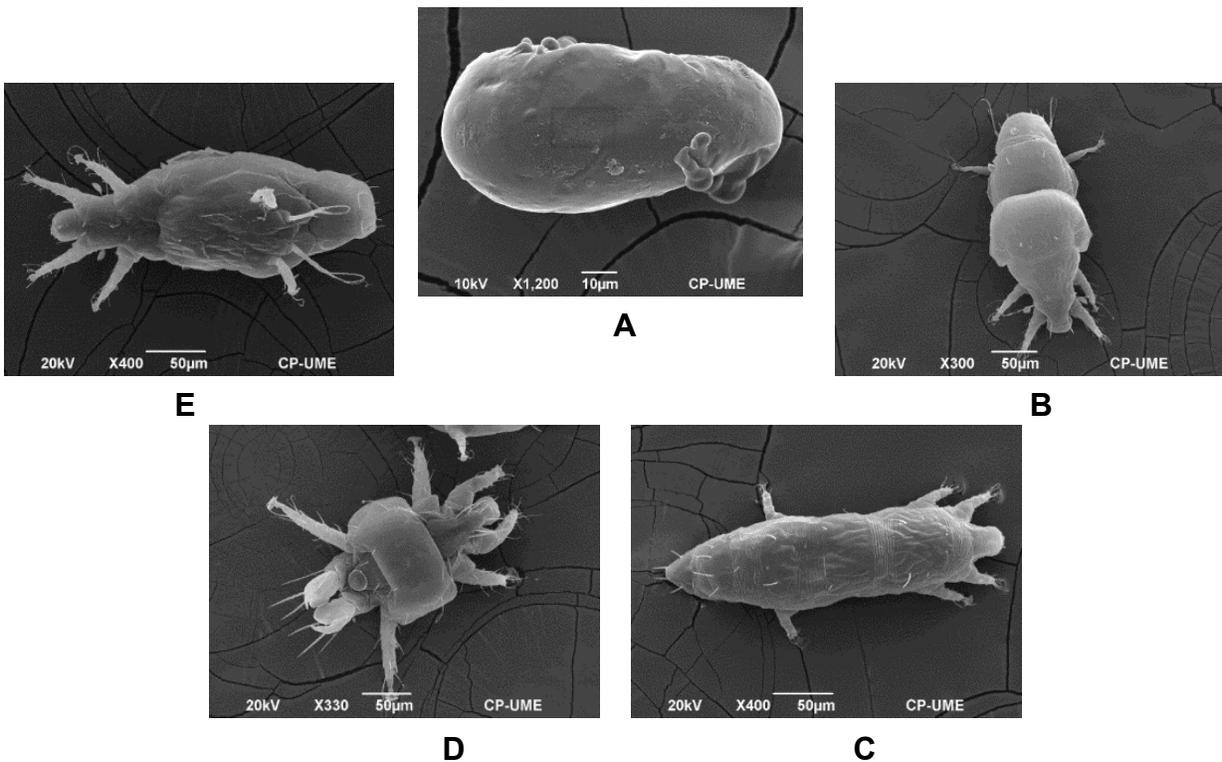


Figura 1. Ciclo de vida de *Steneotarsonemus pinki*. A) Huevo, B) larva, C) estado inactivo o ninfocrisálida, D) macho, E) hembra.

El comportamiento de *S. pinki* está estrechamente relacionado con la fenología del cultivo de arroz, principalmente durante las etapas de emergencia de panículas y llenado de granos, las cuales comprenden las fases vegetativas y de maduración. Las poblaciones están vinculadas con las siembras en verano e inicio de otoño, ya que las poblaciones más altas se presentan en los meses de agosto a octubre. Las poblaciones pueden descender después de la cosecha, esto debido a la escasez de alimento que lleva a estos ácaros a buscar plantas hospedantes alternativas. Se han registrado 70 especies de plantas hospederas, y recientemente 475 malezas pertenecientes a las gramíneas y 200 especies pertenecientes a las ciperáceas (Almaguel *et al.*, 2003; Chandrasena *et al.*, 2016; Sandoval *et al.*, 2009; Toro y Mesa, 2014).

Rao y Prakash (2003) indicaron que probablemente la primera mención de *S. spinki* hizo referencia a un pequeño artrópodo que atacaba plantas de arroz causando la esterilidad del cultivo. Pero *S. spinki* fue descrito por Robert L. Smiley en 1967, con ejemplares colectados sobre *Sogata orizicola* (*Tagasodes orizicolus*) Muir, en Baton Rouge Louisiana, Estados Unidos (Hummel *et al.*, 2009; Smiley, 1967). Se dice que la primera publicación de *S. spinki* como plaga fue en el sur de China en 1968 en cultivo de arroz (Ou *et al.*, 1977). Se registró en la India en 1975, así como en Taiwán, Kenia y Filipinas en 1977 (Lo y Ho, 1977; Sogawa, 1977; Smiley *et al.*, 1993). En Japón en el año de 1984 se presentó una infestación en plántulas de arroz (Shikata *et al.*, 1984).

En el año de 1997 se informó de la presencia de *S. spinki* en Cuba, como el primer hallazgo de este ácaro como plaga del arroz de América (Almaguel *et al.*, 2000; Ramos y Rodríguez, 1998). En 1999, *S. spinki* se encontró en Corea, Tailandia y Sr. Lanka (Cheng y Chiu, 1999; Hummel *et al.*, 2009). En 1999 se reportó su presencia en República Dominicana y Panamá, la cual fue verificada en el 2004 en ambos países (Almaguel y Botta, 2005; Ramos y Rodríguez, 2001). En Haití y Costa Rica se observó por primera vez en el 2004 (Aguilar y Murillo, 2008; Herrera, 2005). En el 2005, *S. spinki* se reportó en Colombia, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Venezuela (Aguilar y Murillo, 2008; Castro y Ochoa, 2006; Instituto Colombiano Agropecuario, 2005). En 2006 se reportó a *S. spinki* en Palizada Campeche, México (Trujillo, 2007). En otros países la presencia y daños causados por *S. spinki* contribuyen un tema de gran importancia; sin embargo, en México se le consideró como una plaga de menor importancia. Esto ha generado que la dispersión de esta plaga con el tiempo; la diseminación en una parcela puede ser facilitada porque hay altas densidades de plantas, lo que propicia el contagio de planta a planta, así como por agua, viento u otros insectos (Almaguel *et al.*, 2003; Hummel *et al.*, 2009; Navia *et al.*, 2010).

1.2.3.- Daños causados por *S. spinki* y en asociación con el hongo *Sarocladium oryzae*

Steneotarsonemus spinki se puede encontrar sobre el pedúnculo de la inflorescencia y en el interior de los granos en formación, generalmente cuando el grano está en la etapa de grano lechoso (Ramos y Rodríguez, 2000; Ramos y Rodríguez, 2001; Almaguel *et al.*, 2003). Se alimenta perforando las células epidérmicas de la planta huésped, para lo cual utiliza sus estiletes. Esta alimentación da como resultado daños en tallos, hojas, flores y panículas con

machas necróticas de color café aisladas que pueden medir de 3 a 4 cm sobre la vaina foliar muy marcadas, marchitez y deformación de raquis de la panícula, lesiones directas sobre el órgano floral, deformación del grano, atrofia y bloqueo del crecimiento de las plantas, deformación de la panícula, panículas erectas y se reduce la calidad de grano, y asimismo provoca la esterilidad de arroz. A consecuencia de altos niveles de poblaciones se forman bandas oscuras y necróticas, las cuales se pueden notar a lo largo de las vainas de las hojas por la parte superior, así como en los tallos en la parte media de las plantas (Figura 2) (Almaguel *et al.*, 2003; Chow *et al.*, 1980; Chein, 1980; Sandoval *et al.*, 2009; Ramos y Rodríguez, 2000; Reissig *et al.*, 1986; Rao *et al.*, 1993; Rao y Prakash, 2003; Rao y Prakash, 2002).

Por otra parte, los daños producidos por *S. spinki* pueden ser directos, resultado de su alimentación de las vainas foliares e inyección de saliva tóxica, e indirectos por la diseminación de organismos fitopatógenos, especialmente hongos. Los daños se hacen más notorios cuando los niveles poblacionales del ácaro se incrementan (Hummel *et al.*, 2009; Navia *et al.*, 2010). Este ácaro transporta las esporas del hongo *Sarocladium oryzae* (Sawada) (Santos *et al.*, 2004). Chow *et al.* (1980) demostraron la presencia de conidios de *S. oryzae* en la cutícula *S. spinki*, lo que indica que el ácaro no se alimenta del hongo, por lo cual podemos decir que no es un vector sino un transportador. Es por esto que el ácaro y el hongo ocasionan una sintomatología compleja en arroz. La aparición de *S. spinki* en Asia y el Caribe ha facilitado el incremento de dicho hongo en los cultivares de arroz por ser el principal transportador (Chow *et al.*, (1980; Hummel *et al.*, 2009; Navia *et al.*, 2010).

Se considera que la vía de transmisión de *S. oryzae* es a través de semilla. Ou (1978) reportó que en Taiwán y China este hongo está asociado con el ácaro *S. spinki*, además atribuye el problema de la esterilidad a *S. oryzae* en asociación con *S. spinki*. *Sarocladium oryzae* es responsable de la pudrición de la vaina y *S. spinki* de la esterilidad de la panícula (Ramos y Rodríguez, 2001; Santos *et al.*, 2004).

Sarocladium oryzae causa la la pudrición de la vaina del arroz y puede ocasionar síntomas a los siete días de su establecimiento en la planta, los que se caracterizan por la formación de manchas amarillentas a marrón rojizas en las que posteriormente se desarrollan márgenes oscuros de color marrón y en el centro se vuelve grisáceo. Al emerger las panículas, las

espiguillas inmediatamente se infectan lo que ocasiona manchado del grano. Las hoja bandera presenta manchas negras en la lígula y manchas decoloradas a lo largo de la vaina, lo que causa marillamiento en la lámina foliar y secamiento. Los conidios de este hongo tienen capacidad para diseminarse a través del viento a largas distancias. El problema se puede presentar cuando la infestación ocurre durante la fase de emergencia de la espigilla, y puede provocar pérdidas de hasta 85% en rendimiento (Cardona, 2013; Camargo *et al.*, 2009).

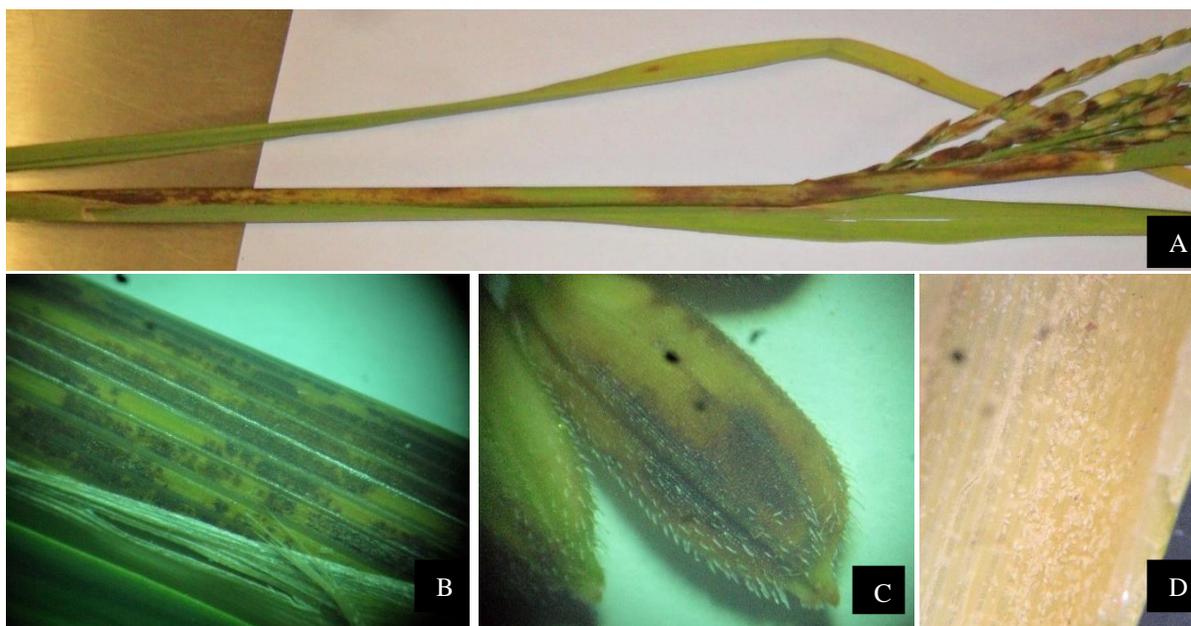


Figura 2. A) Daños en arroz aparentemente causados por *S. spinki*, B) necrosis en tallo, C) necrosis en semillas y D) poblaciones de *S. spinki*. En vaina foliar de arroz.

1.2.4.- Importancia de resistencia varietal del arroz contra *Stenotarsonemus spinki*

El arroz presenta diversidad genética, la que se expresa porque presenta una gran cantidad de diferentes variedades (Moquete, 2010). Las afectaciones provocadas por *S. spinki* en arroz han despertado interés para el estudio de este cultivo, en especial con las diferentes variedades que han sido estudiadas para determinar su susceptibilidad o resistencia a este organismo. Se han reportado mecanismos bioquímicos de defensa en variedades de arroz infestadas por *S. spinki*. Algunas variedades resistentes pueden presentar actividades enzimáticas específicas en plantas sanas, en comparación con las sanas de las variedades

susceptibles, donde se ha demostrado que las funciones de estas enzimas pueden ayudar a la defensa ante el ataque de esta plaga (Fernández *et al.*, 2006). Botta *et al.* (2005) mencionan que el comportamiento de las poblaciones de *S. spinki* en nueve variedades de arroz (Perla, J-104, IACuba-25, IACuba-27, IACuba-28, IACuba-29, IACuba-30, Vietnamita y Reforma) puede presentar diferencias significativas y que las variedades más productivas de Cuba (Perla de Cuba y J-104) son susceptibles al ataque de *S. spinki*. Así mismo, se ha determinado que la incidencia de las poblaciones de *S. spinki* en la cruce de dos cultivares, resistente (LC8866) y susceptible (Perla de Cuba), logra reducir la incidencia del ácaro, y las plantas provenientes de cruzamiento entre variedades resistente y susceptible a *S. spinki* tuvieron infestaciones debajo de un umbral económico. Lo anterior nos indica que el cruzamiento de variedades puede favorecer la disminución de este ácaro (Miranda *et al.*, 2005).

González y Cárdenas (2003) reportan el comportamiento de 53 variedades seleccionadas de diferentes orígenes ante el vaneo del grano, donde se encontró que existen altas correlaciones entre la severidad de la pudrición de la vaina (*S. oryzae*) y el vaneo del grano (*S. spinki*). Estos autores indicaron que existe una alta correlación positiva entre el vaneo y la pudrición de la vaina. Los genotipos Vietnamita, Ceysvoni, Naylan, 3940, IAC- 30, Seleccionado del Caribe, Negro, M-55, Dee-geo-gen, INCA LP-1, LP-7, LP-8, LP-9, LP-10, LP-11 y Reforma manifestaron valores aceptables para constituir materiales promisorios como progenitores en futuros programas de cruzamientos, por presentar baja incidencia de ácaros y bajo porcentaje de vaneo. La variedad A-92 se ha mencionado que es moderadamente tolerante al ataque de *S. spinki* (Jaimez-Ruiz *et al.*, 2015). En contraste, se ha reportado que las variedades IET-4786, IR-36 Y IET-4094 son susceptibles al ataque de *S. spinki* arroz y éste les puede provocar pérdidas en rendimiento (Karmakar y Debnath, 2016).

1.3.- LITERATURA CITADA

Aguilar H. y Murillo P. 2008. Nuevos hospederos y registros de ácaros fitófagos para Costa Rica: Periodo 2002–2008. *Agronomía Costarricense*. 32: 7–28.

Almaguel L. y Botta E. 2005. Manejo integrado de *Steneotarsonemus spinki*, Smiley. Resultados de Cuba y transferencia para la región de Latinoamérica y el Caribe. Curso de Postgrado de Acarología, Introducción a la Acarología Agrícola. La Habana, Cuba. Pp. 44.

Almaguel L., Hernandez J., de la Torre P.E., Santos A., Cabrera R.I., García, A., Rivero L.E., Báez L., Cáceres I. y Ginarte A. 2000. Evaluación del comportamiento del ácaro *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) en los estudios de regionalización desarrollados en Cuba. *Fitosanidad*. 4: 15-19.

Almaguel L., Santos A., Torre P., Botta E., Hernandez J., Cáceres I. y Ginarte A. 2003. Dinámica de población e indicadores ecológicos del ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley 1968 (Acari: Tarsonemidae) en arroz de riego en Cuba. *Fitosanidad*. 7: 23–30.

Botta E., Almaguel L., González T., Arteaga I. y Hernández J. 2003. Evaluación del comportamiento de *Steneotarsonemus spinki* en diferentes variedades de arroz durante los años 2000 a 2001. *Fitosanidad*. 7: 25-29.

Camargo, B. I., González O. F., Quirós E., Zachrisson B. y Von Chong K. 2009. Manejo integrado del complejo ácaro (*Steneotarsonemus spinki* Smiley)-hongo (*Sarocladium oryzae* Sawada/Gams y Hawks)-bacteria (*Burkholderia glumae*). En el cultivo de arroz. Guía Técnica. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Pp. 1-20.

Castro B. A. y Ochoa R. C. 2006. The threat of the panicle rice mite, *Steneotarsonemus spinki* Smiley, to rice production in the United States. In: Proceedings of the thirty first rice technical working group. The Woodlands, Texas. Pp. 97–98.

Chein C.C. 1980. Studies on the sheath-rot disease and its relation to the sterility of the rice plants. *Plant Protection Bulletin*. 22: 31–39.

Chow Y.S., Tzean, S.S., Chang C.S. y Wang C.H. 1980. A morphological approach of the tarsonemid mite *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Tarsonemidae) as a rice plant pest. Acta Arachnol. 29: 25–41.

Degiovanni V. M., Gómez J. A. y Sierra J. M. 2004. Análisis de crecimiento y etapas de desarrollo de variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en Montería, Córdoba. Temas Agrarios. 9: 21-29.

Degiovanni V. M., Martínez R. C. P. y Motta O. F. 2010. Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Publicación CIAT no. 370. Tomo I. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. Pp. 35-117

Dunand R. y Saichuk J. 2015. Rice growth and development. Louisiana Rice Production Handbook. Chapter 4. Pp. 34-45.

Fernández A., Solórzano E. y Miranda I. 2006. Mecanismos bioquímicos de defensa en variedades de arroz infestados con *Steneotarsonemus spinki*. Revista Protección Vegetal. 2: 43-50.

González M. y Cárdenas R. M. 2003. Influencia de factores bióticos en el comportamiento del vaneado de los granos en variedades y líneas de arroz (*Oryza sativa* L.). Cultivos Tropicales. 24: 47-44.

Herrera L. A. R. 2005. Ácaro del vaneamiento del arroz *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Prostigmata: Tarsonemidae). Ciencia y Tecnología.

Hummel A., Castro A. B., McDonald M. E., Pellerana A. M., y Ochoa R. 2009. The panicle rice mite *Steneotarsonemus spinki*, a re-discovered pest of rice in the United States. Crop Protección. 28: 547-560.

Instituto Colombiano Agropecuario 2005. Resolución No. 001195 de 2005. Diario Oficial, edición 45.892. Miércoles 27 abril de 2005. Bogotá Colombia.

Jaimez-Ruiz I. A., Otero-Colina G., Valdovinos-Ponce G., Villanueva-Jiménez J. A. y Vera-Graziano J. 2015. Population growth and characterization of plant injuries of

Steneotarsonemus spinki Smiley (Acari: Tarsonemidae) on rice. Neotropical Entomology. 44: 294–300.

Karmakar K. y Pranab D. 2016. Impact of organic-inorganic nutrients combination in rice on the occurrence of *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) in West Bengal. India Persian Journal of Acarology. 1: 71–80.

Lindquist E. E. 1986. The world genera of Tarsonemidae (Acarina: Heterostigmata): a morphological, phylogenetic and systematic revision with a reclassification of family-group taxa in the Heterostigmata. Memoirs of the Entomological Society Canada. 136: 1-517.

Lo K. C. y Hor C. C. 1977. Preliminary studies on rice tarsonemid mite *Steneotarsonemus spinki* (Acarina: Tarsonemidae). Natural Sciences Council. 5: 274-284.

Martínez G. J. 2001. Instructivo técnico del arroz (segunda edición). Instituto de Investigaciones del arroz.

Miranda C. I., Fernández A., Solórzano E. y Hernández J. 2005. Caracteres agronómicos afectados por la aparición de *Steneotarsonemus spinki* en arroz en Cuba. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. 74: 48-51

Moquete C. 2010. Guía técnica el cultivo de arroz. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal. Santo Domingo, República Dominicana.

Myoung-Rae C., Deog-Su K., Dae-Joon I., Seung-Yong N. y Myoung-Soon Y. 1999. A new record of tarsonemid mite, *Steneotarsonemus spinki* (Acari, Tarsonemidae) and its damage on rice in Korea. Korean Journal Applied Entomology. 38: 157-164.

Ou Y. T. y Fang H. C., 1978. Studies on the rice tarsonemid mite *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acarina: Tarsonemidae) and its mode of transmission in rice plant. Ke Xue Fa Zhan (en chino con resumen en inglés). 6: 773–779.

Ramos M. y Rodríguez H. 1998. *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae): Nuevo informe para Cuba. Protección Vegetal. 13: 25–28.

- Ramos M. y Rodríguez H. 2000. Ciclo de desarrollo de *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) en laboratorio. *Protección Vegetal*. 15: 751–752.
- Ramos M. y Rodríguez H. 2001. Aspectos biológicos y ecológicos de *Steneotarsonemus spinki* en arroz, en Cuba. *Manejo Integrado de plagas (Costa Rica)*. 61: 48–52.
- Rao J. y Prakash A. 2002. Paddy field weed, *Schoenoplectus articulatus* (Linn.) Palla (Cyperaceae): a new host of tarsonemid mite, *Steneotarsonemus spinki* Smiley and panicle thrips, *Haplothrips ganglbaureri* Schmutz. *Journal of Applied Zoology*. 13: 174-175.
- Rao J. y Prakash A. 2003. Panicle mites causing sterility in farmers' paddy fields in India. *Journal of Applied Zoology*. 14: 212–217.
- Rao J., Prakash A., Dhanasekharan S. y Ghosh S. K. 1993. Observations on rice tarsonemid mite *Steneotarsonemus spinki*, white-tip nematode and sheath-rot fungus interactions deteriorating grain quality in paddy fields. *Journal Applied Zoological Research*. 4: 89-90.
- Reissig W. H., Heinrichs E. A., Litsinger J. A., Moody K., Fiedler L., Mew, T. W. y Barrion A. T. 1986. Illustrated guide to integrated pest management in rice in Tropical Asia Manila (Philippines). International Rice Research Institute. Pp. 228–232.
- Santos M. R., Navia D. N. y Cabrera R.I. 2004. *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Prostigmata: Tarsonemidae) – uma ameaça para a cultura do arroz no Brasil. *Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologi*. Pp. 3-42.
- Shikata E., Kawano S., Senboku T., Tiogoo E.R. y Miyajima K. 1984. Small viruslike particles isolated from the leaf sheath tissues of rice plants and from the rice tarsonemid mites *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acarina: Tarsonemidae). *Annals of the Phytopathological Society of Japan* 50: 368-374.
- Smiley R.L. 1967. Further studies on the Tarsonemidae (Acarina). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*. 69: 127-146.

Smiley R.L., Flechtmann C.H.W. y Ochoa R. 1993. A new species of *Steneotarsonemus* (Acari: Tarsonemidae) and an illustrated key to grass-infesting species in the western hemisphere. *International Journal of Acarology*. 19: 87-93.

Sogawa K. 1977. Occurrence of the rice tarsonemid mite at IRRI. *International Rice Research Notes*. 2: 5.

Trujillo A. J. 2007. <http://www.pestalert.org/oprDetail>. Fecha de consulta: 30 de junio 2016.

CAPÍTULO II

DINÁMICA TEMPORAL Y PATRONES DE AGREGACIÓN DE *Steneotarsonemus spinki* EN CULTIVOS DE ARROZ

RESUMEN

Steneotarsonemus spinki es una de las plagas más importantes del cultivo de arroz. En este trabajo se estudió la dinámica poblacional y el patrón de agregación de esta plaga en las sucesivas etapas fenológicas del cultivo y su relación con la lluvia y la temperatura estacional. Se establecieron plantaciones de arroz de la variedad Milagro Filipino en el estado de Tabasco, México, en siembras de temporal, de julio de 2014 a julio de 2015. Se realizaron muestreos quincenales para estimar la densidad poblacional de cada estado de desarrollo de *S. spinki*. En los municipios de Cárdenas y Huimanguillo la plaga no fue detectada durante las etapas de germinación, plántula y macollamiento, pero se observó por primera vez al inicio de la floración (97 días después de la siembra). Las poblaciones del ácaro alcanzaron valores máximos de 4,319 huevos, 1,174 larvas, 1,998 ninfocrisálidas, 886 machos y 1,737 hembras por planta en Cárdenas, y de 2,478, 794, 1,768, 333 y 557 en Huimanguillo. *Steneotarsonemus spinki* mostró patrones de agregación cíclicos asociados con la dinámica de precipitación pluvial y las etapas fenológicas. El viento fue un medio de dispersión del ácaro. No se observó transporte forético sobre insectos. Se detectó la ocurrencia de diferentes estados de desarrollo de esta plaga en plantas de *Echinochloa colona*, *Leptochloa scabra*, *Panicum maximum* y *Cyperus hermaphroditus* dentro y en las inmediaciones de los campos de cultivo de arroz.

Palabras claves: ácaro del vaneo, dinámica poblacional, *Oryza sativa*, patrones de agregación, parámetro k.

Steneotarsonemus spinki SMILEY TEMPORAL DYNAMICS AND AGGREGATION
PATTERNS IN RICE CROPS

ABSTRACT

Steneotarsonemus spinki is one of the most important pests attacking rice crops. This study investigated the population dynamics and the aggregation patterns of this pest at different plant phenological stages, as well as the association of these variables with precipitation and temperature. Milagro Filipino rice crops were established in the state of Tabasco, Mexico, and studied from July 2014 to July 2015. The pest was not detected at the Cárdenas and Huimanguillo municipalities during germination, leaf development, and tillering stages but it was detected for the first time at the beginning of flowering (97 days after planting). Panicle rice mite populations reached maximum values of 4,319 eggs, 1,174 larvae, 1,998 inactive larvae, 886 adult males, and 1,737 adult females per plant in Cárdenas, and 2,478 eggs, 794 larvae, 1,768, inactive larvae, 333 adult males, and 557 adult females in Huimanguillo. *Steneotarsonemus spinki* displayed cyclical aggregation patterns associated to precipitation dynamics and phenological stages. Wind was identified as a means of dispersal for the mite. Phoretic transportation on insects was not observed. This pest was detected at different developmental stages in *Echinochloa colona*, *Leptochloa scabra*, *Panicum maximum*, and *Cyperus hermaphroditus*, both within and outside the studied fields.

Keywords: panicle rice mite, population dynamics, *Oryza sativa*, aggregation patterns, k parameter.

2.1- INTRODUCCIÓN

Steneotarsonemus spinki Smiley (Acari: Tarsonemidae), el ácaro de la panícula del arroz o también el tarsonémido del arroz (*Oryza sativa* L.), es una plaga muy importante en este cultivo (Lin y Zhang, 2010). En la década de los 1970 este ácaro causó pérdidas de rendimiento de 30 a 90% en China, mientras que en Taiwán causó pérdidas de 20 a 60% (Chen *et al.*, 1980; Lo y Ho, 1977; Zhang *et al.*, 1995). Este ácaro ha sido reportado también en plantaciones de arroz en Cuba (Ramos y Cabrera, 2001; Almaguel *et al.*, 2003) de donde se diseminó rápidamente a varios países de América (Castro y Ochoa, 2006; Miranda *et al.*, 2003, 2005; Sandoval *et al.*, 2009).

La detección y el control del ácaro son difíciles debido a su tamaño pequeño y a que vive oculto bajo las vainas foliares del arroz (Toro y Mesa, 2015), refugio que lo protege de la acción de agentes de control químico y biológico (Almaguel *et al.*, 1998). Adicionalmente, su alto potencial reproductivo le confiere rápida capacidad de colonización de las plantas y de recuperación de sus niveles poblacionales tras las acciones de control (Almaguel *et al.*, 1998).

Steneotarsonemus spinki puede completar su ciclo biológico en el cultivo de arroz. Las larvas y adultos tienen estiletes; al alimentarse causan lesiones en la superficie de las hojas, vainas y grano. El daño mecánico causado en el interior de las vainas de las hojas y el raquis de las panículas influye en los mecanismos de circulación de nutrientes (Hummel *et al.*, 2009). Las plantas atacadas presentan problemas de deformación de panículas e inflorescencias, así como tejidos necrosados con puntos café-negros sobre la pared de los tallos infestados. También provoca esterilidad de las panículas y reducción en la cantidad y calidad de grano (Cho *et al.*, 1999; Chow *et al.*, 1980).

Existen más de 70 especies de plantas hospedantes de *S. spinki*, entre las cuales se incluyen arvenses que crecen en interacción con el cultivo de arroz, tales como arroz silvestre, *Oryza latifolia* Desv. y pasto Argentina, *Cynodon dactylon* (L.) Pers (Poaceae), así como coquito *Cyperus iria* L., palla *Oxycaryum* sp. y junco *Cyperus articulatus* (L.) (Cyperaceae), entre otras (Rao y Prakash, 1996, 2002; Almaguel *et al.*, 2003; Sanabria y Aguilar, 2005).

Chandrasena *et al.* (2016) reportaron que el número de especies de plantas hospedantes de este ácaro puede ser mayor que 800.

En el año 2006 se detectó por primera vez a *S. spinki* en México en el municipio de Palizada (Campeche) por Trujillo (2007); hasta la fecha no se han reportado otros hallazgos en México, pero observaciones propias e información testimonial de los productores indican que está presente en los estados de Tabasco, Veracruz y Campeche, donde ocasiona pérdidas de rendimiento que van del 30 al 90%.

No existen reportes sobre la dinámica espacio-temporal de *S. spinki*. Con excepción del trabajo sobre caracterización de daños realizado por Jaimez-Ruiz *et al.* (2015) en condiciones de laboratorio, no se han publicado resultados de investigaciones realizadas en México sobre este ácaro. En el presente trabajo se estudió la dinámica temporal y los patrones de agregación de los diferentes estados de desarrollo de *S. spinki* en plantaciones de tres municipios del estado de Tabasco y se analizó su relación con la fenología del cultivo de arroz, así como con los patrones de temperatura y precipitación pluvial. Se reporta además su ocurrencia en diferentes especies de arvenses asociadas al cultivo.

2.2.- MATERIALES Y MÉTODOS

Para la identificación taxonómica se colectaron en campo hembras y machos adultos de ácaros tentativamente determinados como *S. spinki* de vainas foliares de arroz. Estos ejemplares fueron preservados en tubos de Eppendorf con alcohol a 70%, y posteriormente fueron montados en cubreobjetos con líquido de Hoyer (Walter & Krantz, 2009) para su observación al microscopio de contraste de fases. La identidad del ácaro fue determinada mediante el uso de claves taxonómicas para géneros y subgéneros de Tarsonemidae (Lindquist, 1986) y claves para hembras y machos de *Steneotarsonemus* (Smiley *et al.*, 1993).

Para la identificación molecular se seleccionaron cuatro grupos de cinco hembras cada uno y se colocaron en tubos Eppendorf de 1.5 mL para la extracción de ADN mediante el protocolo de extracción HotSHOT DNA, modificado para artrópodos pequeños (Truett *et al.*, 2000; Castalanelli *et al.*, 2010; Lagisz *et al.*, 2010). Se amplificó un fragmento de la región COI usando los primers LCO1490 (5'-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3') y

HCO2198 (5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3'), desarrollados por Hebert *et al.* (2003). Las amplificaciones de PCR fueron realizadas con un termociclador MyCycler™ (BIORAD Laboratories Inc., Hercules, CA, USA) con las siguientes condiciones: Un ciclo de 60 s a 94°C; cinco ciclos de 60 s a 94 °C, 90 s a 45°C y 90 s a 72 °C, seguidos por 35 ciclos de 60 s a 94 °C, 90 s a 60 °C y 60 s a 72 °C, con una extensión final de 60 s a 72 °C (Hebert *et al.*, 2003; Guzmán-valencia *et al.*, 2014). Los productos generados fueron visualizados en un gel de agarosa (IBI Scientific) al 1% en buffer TAE 1X, teñido con bromuro de etidio (10 mg/μl).

El producto de PCR fue enviado para su secuenciación a Macrogen Seúl, Corea del Sur (secuenciación Sanger). Las secuencias fueron editadas y ensambladas mediante el programa BioEdit V. 7.2.5 y FinchTV. V. 1.4.0. Las secuencias obtenidas se compararon en el GenBank del NCBI (Nacional Center for Biotechnology Information) con el programa Protein BLAST. Los alineamientos múltiples se realizaron con el programa Muscle. La reconstrucción filogenética se realizó con el programa MEGA Versión 6.06, por el método de Máxima Verosimilitud (ML), basado en la matriz del modelo JTT (Jones-Taylor-Thornton) (Jones *et al.*, 1992). El árbol inicial se obtuvo por el método de Neighbor-Joining. Se utilizó la Distribución Gamma para el modelo de tasas de diferencias entre sitios (cinco categorías). Se utilizó la prueba de Bootstrap con 1000 réplicas. El análisis involucró 20 secuencias de aminoácidos, con un total de 189 posiciones. Para el análisis filogenético se incluyó una secuencia de la especie *Amblyseius largoensis* (número de acceso GU814633.1) en el GenBank, la cual sirvió de referencia de grupo fuera. Las secuencias resultantes este estudio están referenciadas en el GenBank con los códigos de acceso KY022757, KY022758, KY022759 y KY022760.

Entre julio de 2014 y 2015 se evaluaron plantaciones comerciales de arroz cv. Milagro Filipino de temporal en las zonas productoras del estado de Tabasco, México, en los municipios de Cárdenas (N 18.04655 W 093.57298), Huimanguillo (N 17.99238 W 093.74571) y Comalcalco (N 18.23665 W 093.25345). Se realizaron muestreos sistemáticos quincenales desde la siembra hasta la floración y mensuales desde la etapa de maduración del grano hasta el inicio del nuevo ciclo de cultivo. Las unidades de muestreo fueron plantas individuales. El tamaño de la muestra fue de 50 plantas por parcela, las cuales se seccionaron

para facilitar la cuantificación de individuos de *S. spinki* en los estados de huevo, larva, ninfocrisálida, hembra y macho por separado, por planta. Para asociar los niveles poblacionales de *S. spinki* con la fenología del cultivo de arroz se registraron las etapas de germinación, plántula, macollamiento, floración, llenado de grano y maduración de la planta de acuerdo a la descripción de Olmos (2007), Degiovanni *et al.*, (2010) y Moquete (2010). Los conteos de los ácaros fueron realizados con la ayuda de un microscopio estereoscópico.

Se analizaron registros de temperatura y precipitación de estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua (México), ubicadas aproximadamente a 1 km de las parcelas de evaluación, correspondientes al periodo en que se hicieron los conteos de ácaros. A partir de datos diarios se calculó la temperatura media y la precipitación acumulada mensual durante todo el período de evaluación.

Cada quince días, desde el inicio de los muestreos, se colocaron cinco trampas pegajosas en cada parcela, ubicando dos en cada extremo y una al centro de ésta, con el fin de determinar si *S. spinki* es transportado por el viento o por insectos. Cada trampa fue colocada a una altura de 1.2 m y constó de cuatro hojas amarillas de 22 x 28.5 cm, formando un cubo, donde cada cara vertical estuvo orientada hacia un punto cardinal. Cada hoja amarilla fue cubierta con una bolsa de plástico transparente revestida con pegamento Stick-Bug50 (AlternaAgro, México). Las láminas pegajosas de las trampas se revisaron cuidadosamente bajo un microscopio estereoscópico para localizar ejemplares de *S. spinki*. Cuando se encontraron insectos adheridos, se les despegó utilizando xilol y se les examinó cuidadosamente, separando patas y alas (incluyendo élitros), para buscar posibles ejemplares de *S. spinki* foréticos.

A partir del número total de huevos, larvas, ninfocrisálidas, hembras y machos de *S. spinki* por planta, se estimó la relación varianza-media y el parámetro k de la distribución binomial negativa como indicadores del grado de agregación (Nachman, 1984; Zalom, 1985; Ludwig & Reynolds, 1988; Roda *et al.*, 2012). Debido a la ausencia de normalidad en las distribuciones de frecuencias de las diferentes poblaciones, además del promedio se calculó la mediana y los valores mínimos y máximos por planta en cada muestreo, en lugar de la desviación estándar. Los cálculos fueron realizados mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System, v. 9.4, Cary, North Carolina, U.S.A.).

2.3.- RESULTADOS

2.3.1.- Identificación morfológica y molecular

Mediante las claves taxonómicas se confirmó a *S. spinki* como la especie de ácaro presente en los sitios de estudio. Se amplificaron cuatro muestras de ADN de *S. spinki*, las longitudes de las secuencias resultantes tuvieron una amplificación entre 227 pb. La verosimilitud fue de (-2617.1741), con un soporte de rama >50; la tasa de diferencia evolutiva fue de cinco categorías, +G, parámetro= 1.7773. La escala del árbol mide el número de sustituciones por sitio. En el análisis filogenético se ubicaron dos grupos principales; el primero quedó formado por *A. largoensis*, el segundo se dividió en dos subgrupos. En uno de los subgrupos se agruparon las cuatro muestras SPM1MOD, SPM2MOD, SPM3MOD y SPM4MOD junto con la secuencia de *S. spinki* JX289537.1 (Fig. 1) del GenBank, con un soporte de rama de 90 %, distanciando de Tarsonemidae con un soporte de 65 %.

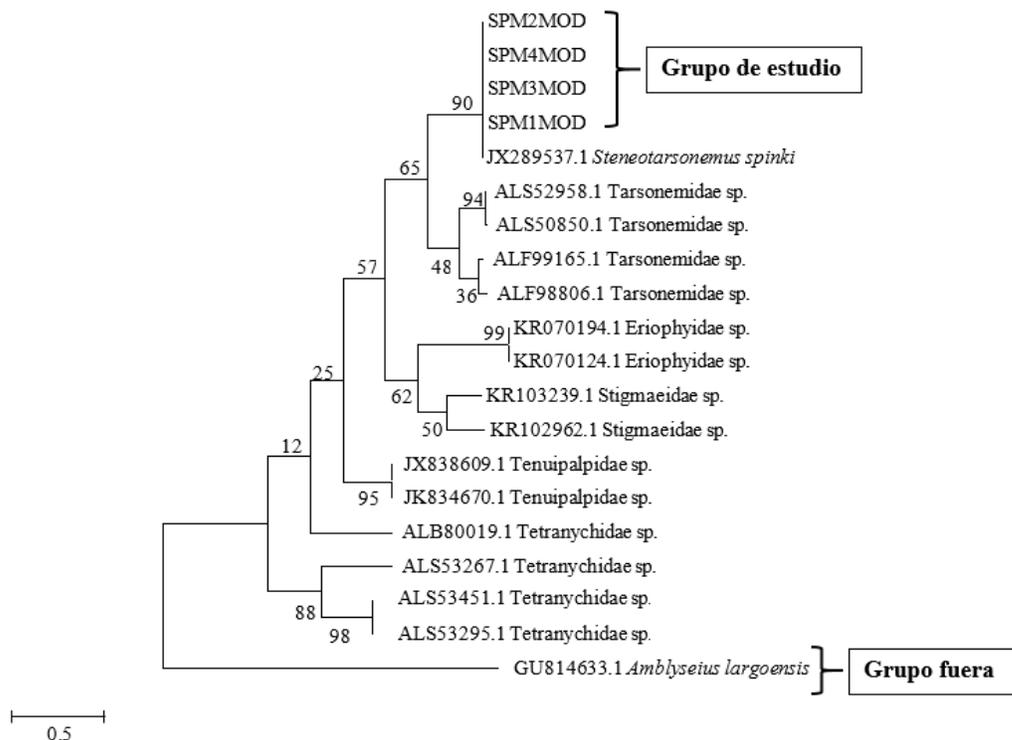


Figura 1. Árbol filogenético de la región COI1 de *Steneotarsonemus spinki*, generado mediante máxima verosimilitud con 1,000 repeticiones bootstrap. Las secuencias SPM1MOD, SPM2MOD, SPM3MOD y SPM4MOD fueron determinadas en el presente estudio.

2.3.2.- Dinámica temporal

En ningún sitio de evaluación se detectó a *S. spinki* durante las etapas vegetativas del cultivo (germinación, plántula y macollamiento). En la parcela ubicada en el municipio de Comalcalco no se detectó a este ácaro en ningún muestreo. En los municipios de Cárdenas y Huimanguillo las primeras poblaciones se detectaron al inicio de la floración (97 días después de la siembra, dds). En esta fecha se estimó en Cárdenas un promedio de 93.0 huevos, 11.1 larvas, 17.2 ninfocrisálidas, 4.0 machos, 6.1 hembras y 10.1 adultos totales/planta (mediana 23.0, 3.5, 2.5, 2.0 4.5 y 7.0, respectivamente), mientras que en Huimanguillo las poblaciones promedio iniciales fueron de 11.3, 1.4, 2.3, 0.7, 0.8 y 1.6 (mediana de 0.5 para huevos y cero para los demás estados fenológicos, respectivamente).

A partir de este muestreo, en la plantación del municipio de Cárdenas las poblaciones se incrementaron gradualmente hasta alcanzar un promedio de 2739 huevos, 714 larvas, 1415 ninfocrisálidas, 560 machos, 909 hembras y 1468 adultos por planta (medianas 2 764, 746.5, 1578.5, 577, 950.5 y 1505.5, respectivamente) en el muestreo realizado a 158 dds, que coincidió con la etapa de llenado de grano (Fig. 2). A partir de la cosecha las poblaciones declinaron hasta valores similares a los observados al inicio de la floración, pero aún se detectaron nuevos picos de crecimiento debido al desarrollo de tejidos nuevos a causa del rebrote de plantas y en plantas de arroz ubicadas en los alrededores de los campos de cultivo, que no fueron cosechadas.

En el caso de las poblaciones mínimas y máximas en cada muestro, la dinámica tuvo el mismo patrón que los valores medios, pero en las máximas se hizo más evidente este comportamiento aparentemente cíclico con picos poblacionales cada vez menores. En el pico detectado en la etapa de llenado de grano (158 dds), los valores máximos fueron de 4319 huevos, 1174 larvas, 1998 ninfocrisálidas, 886 machos, 1737 hembras y 2617 adultos. Subsecuentemente, ocurrieron picos de menor intensidad a los 220 y 310 dds, que correspondieron a rebrotes de plantas previamente cosechadas, lo cual representó nuevo tejido disponible para la alimentación del ácaro, así como plantas no cosechadas ubicadas en los bordes de cada parcela.

La dinámica poblacional antes descrita tuvo una relación inversa con la ocurrencia de lluvia; es decir, los picos poblacionales promedio y máximos, en todos los estados de desarrollo del ácaro en el municipio de Cárdenas, en general coincidieron con un descenso en los niveles de precipitación acumulada mensual (Fig. 2 a-f). La ocurrencia de los picos se dio en general con una demora aproximada de cinco días con respecto a la precipitación observada. Adicionalmente, mientras el terreno estuvo inundado (desde la floración hasta la cosecha), los ácaros se ubicaron en las partes de las plantas no cubiertas por agua.

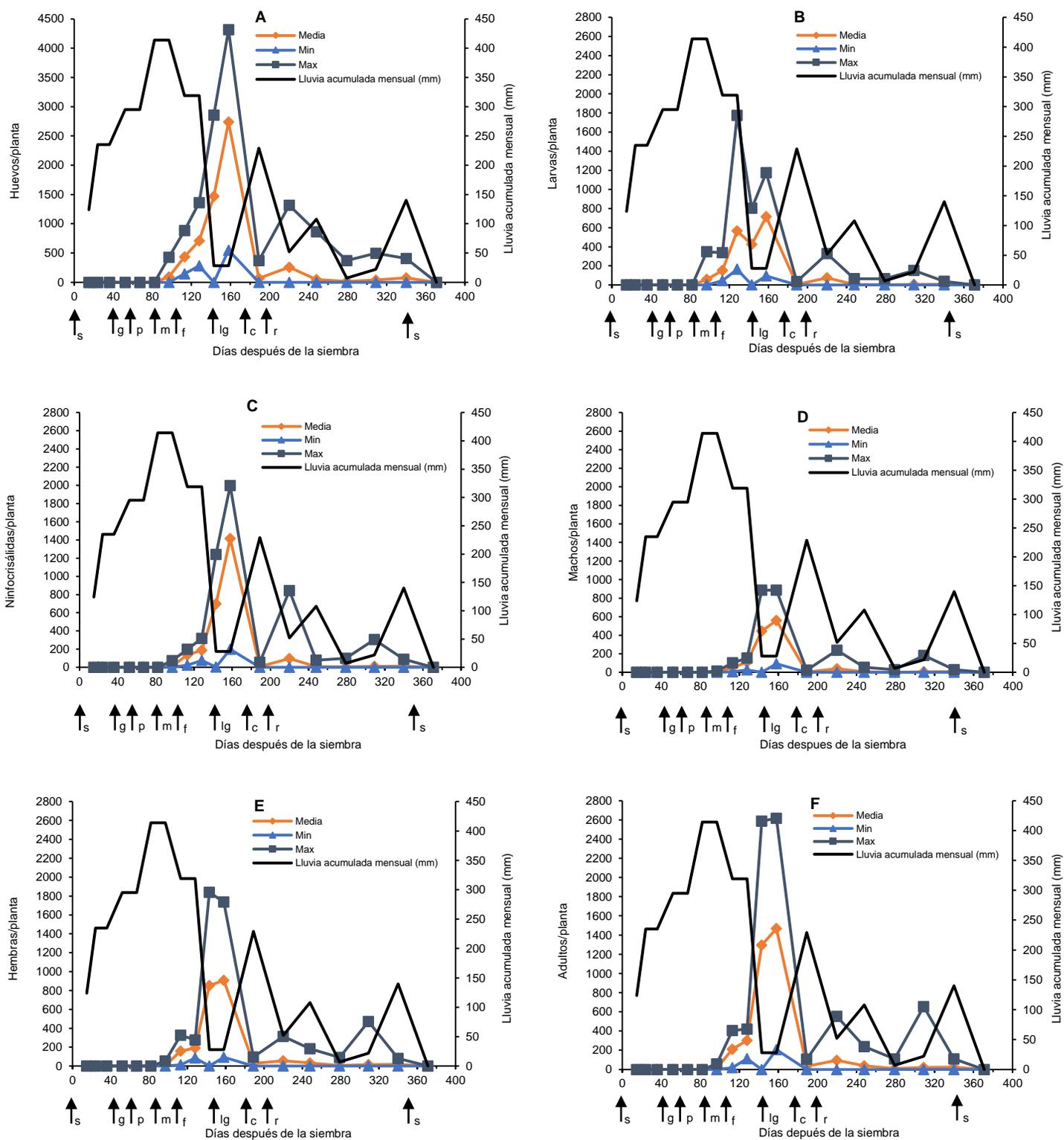


Figura 2. Número de huevos (A), larvas (B), ninfocrisálidas (C), machos (D), hembras (E) y adultos totales (F) por planta de *Stenotarsonemus spinki* en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arroz variedad Milagro Filipino, y precipitación acumulada mensual, en el municipio de Cárdenas Tabasco, México. Las etapas fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg=llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos).

En el municipio de Huimanguillo se observó un primer pico poblacional hacia el fin de la floración e inicio del llenado de grano (130 dds), con una ligera caída a los 140 dds (Fig. 3). A continuación de esta caída se presentó el máximo pico poblacional en todos los estados de desarrollo del ácaro, que coincidió con una disminución drástica en la precipitación pluvial y las etapas de llenado de grano y cosecha. En este pico las poblaciones promedio fueron de 1439.1 huevos, 458.6 larvas, 1402.7 ninfocrisálidas, 249.3 machos, 249.6 hembras y 498.8 adultos por planta (Fig. 3) (mediana 1568, 510.5, 1131, 257, 255.5 y 526, respectivamente).

Posteriormente, los valores declinaron hasta hacerse similares a los observados al inicio de la floración, con aumentos cíclicos subsecuentes durante las fases de rebrote posteriores a la cosecha. Este comportamiento fue más evidente en el caso de los máximos poblacionales. En el pico detectado en la etapa de llenado de grano (158 dds), los valores máximos fueron de 2478 huevos, 794 larvas, 1768 ninfocrisálidas, 333 machos, 557 hembras y 890 adultos.

De manera similar a lo observado en Cárdenas, en el municipio de Huimanguillo la ocurrencia de picos poblacionales coincidió con descensos en la precipitación pluvial (Fig. 3 a-f), pero no se detectó un efecto de demora.

Las temperaturas medias, mínimas y máximas promedio mensual en Cárdenas y Huimanguillo durante el período de evaluación variaron entre 17.0 y 24.1 °C. Las temperaturas máximas variaron entre 25.9 y 35.7 °C (Fig. 4). No se detectó ningún tipo de relación entre la dinámica poblacional y estas variables climáticas.

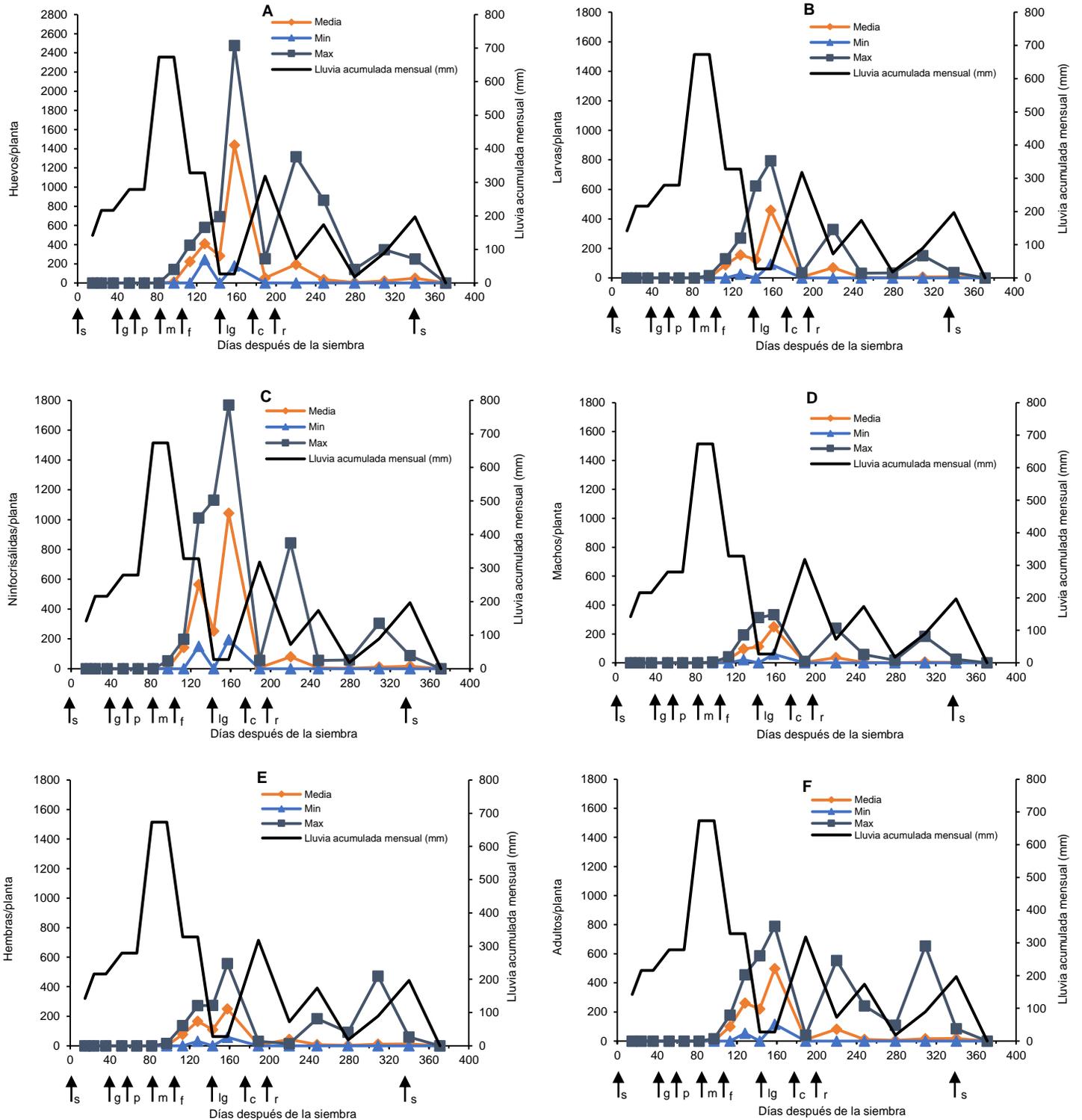


Figura 3. Número de huevos (A), larvas (B), ninfocrisálidas (C), machos (D), hembras (E) y adultos totales (F) por planta de *Steenotarsonevus spinki* en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arroz variedad Milagro Filipino, y precipitación acumulada mensual en el municipio de Huimanguillo Tabasco, México. Las etapas fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos).

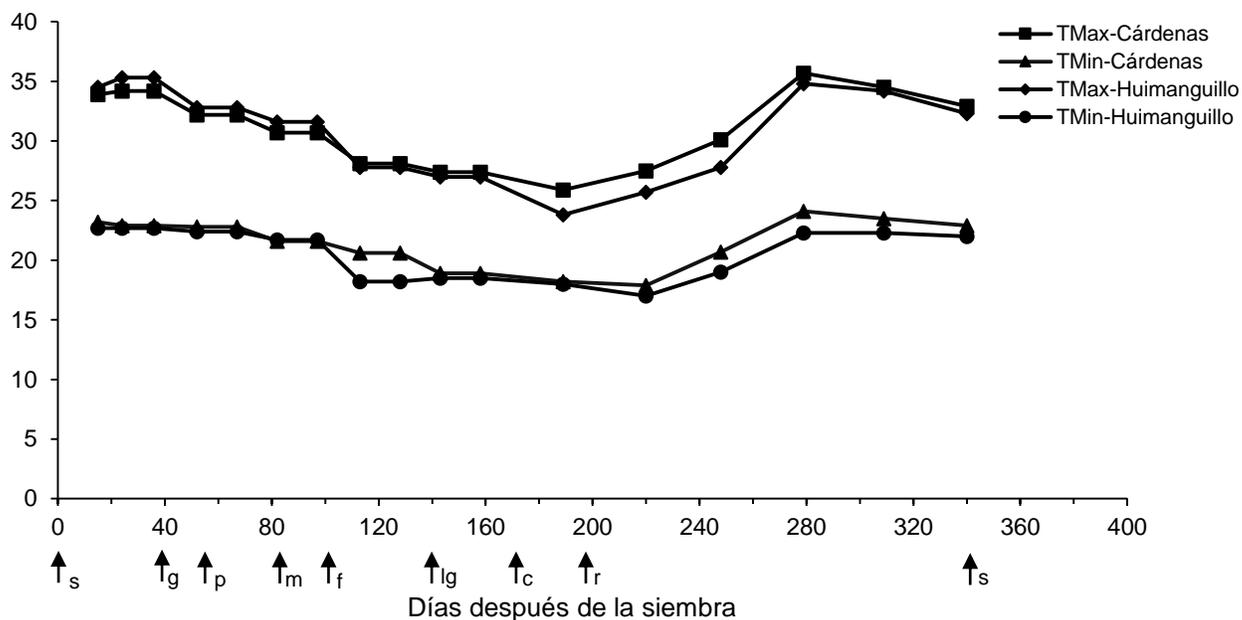


Figura 4. Temperaturas mínimas y máximas promedio en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, México. Las etapas fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebotes).

2.3.3.- Patrones de agregación

En todas las evaluaciones realizadas en Cárdenas y Huimanguillo, las poblaciones de huevos, larvas, ninfocrisálidas, hembras, machos y adultos totales tuvieron una relación varianza/media considerablemente mayor que uno, lo cual es indicativo de un patrón espacial agregado (Ludwig y Reynolds 1988).

La relación varianza/media en las diferentes etapas fenológicas de *S. spinki* en el municipio de Cárdenas tuvo un comportamiento cíclico durante todo el período de evaluación (Fig. 5). Son notorios cuatro picos en este indicador; el primero de ellos coincidió con las etapas de macollamiento e inicio de la floración; el segundo coincidió con la etapa de llenado de grano; los dos últimos ocurrieron después de la cosecha, en las fases de rebrote de arroz cosechados. Con excepción del primero, los picos estuvieron asociados con un descenso en

la cantidad de lluvia mensual. La magnitud de los picos varió con el tipo de estado de desarrollo del ácaro y fue más pronunciada en la fase de huevo.

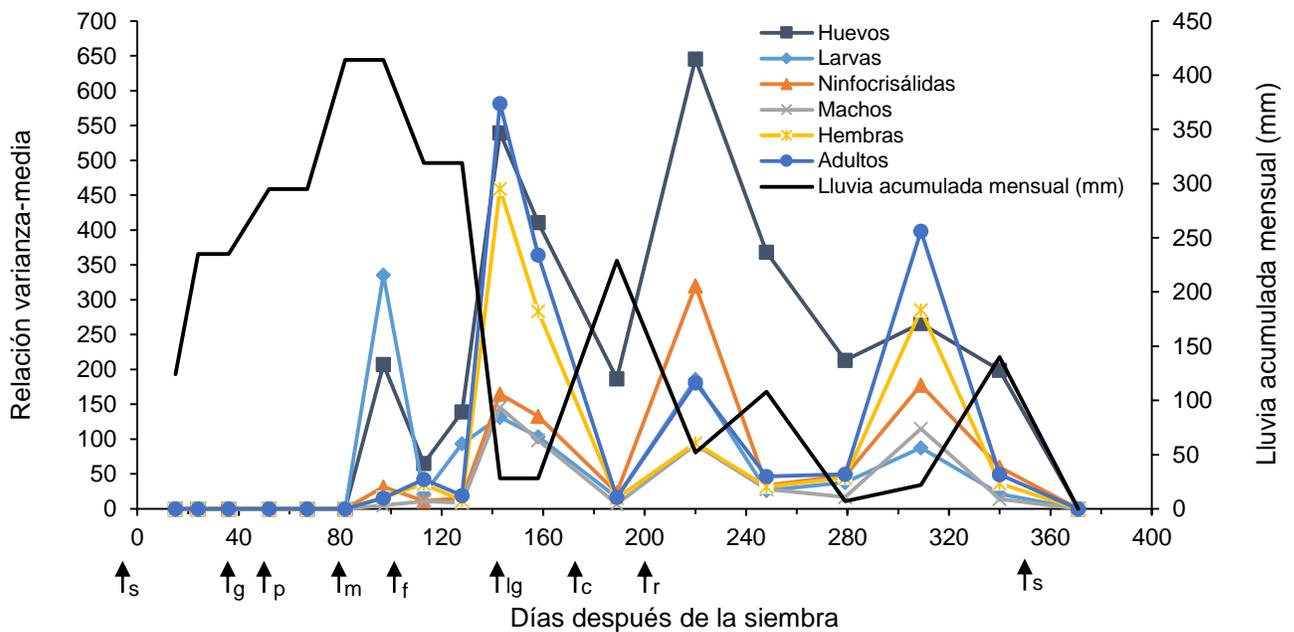


Figura 5. Relación varianza/media del número de huevos, larvas, ninfocrisálidas, machos, hembras y adultos totales por planta de *Steneotarsonemus spinki* en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arroz variedad Milagro Filipino, y precipitación acumulada mensual en el municipio de Cárdenas Tabasco, México. Las etapas fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebotes).

El valor del parámetro k de la distribución binomial negativa también tuvo un comportamiento cíclico, con fases de mayor agregación (valores bajos de k) en los inicios de la floración y llenado de grano, y de menor agregación (valores más altos de k) al término de estas etapas (Fig. 6). Subsecuentemente la agregación se mantuvo alta, con un pequeño pico de dispersión entre las fases de rebrote de plantas espontáneas y el nuevo período de siembra (279 dds).

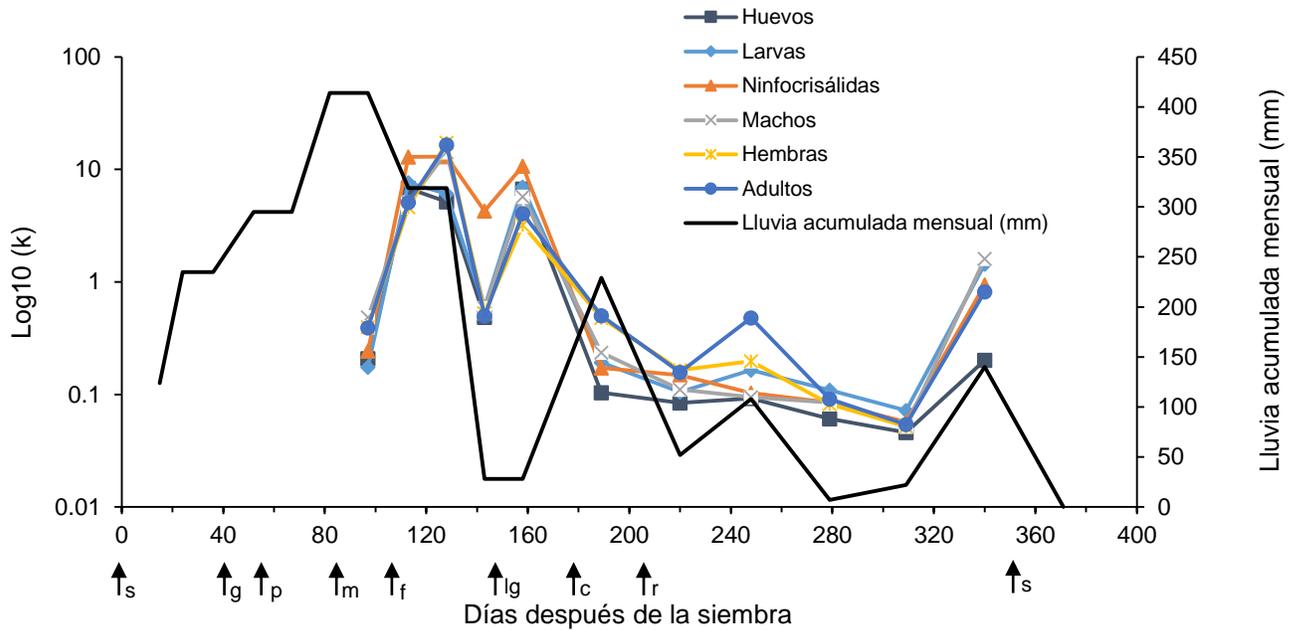


Figura 6. Valor del parámetro k de la distribución binomial negativa estimado a partir del número de huevos, larvas, ninfocrisálidas, machos, hembras y adultos totales por planta de *Stegotarsonemus spinki* en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arroz variedad Milagro Filipino, y precipitación acumulada mensual en el municipio de Cárdenas Tabasco México. Las etapas fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos).

En el municipio de Huimanguillo, los patrones de agregación/dispersión fueron muy similares a los observados en el municipio de Cárdenas (Fig. 7), pero en este caso el valor de la relación varianza/media del número de huevos por planta a los 240 dds fue extremadamente alto (4814) con respecto a los valores calculados para los otros estados de desarrollo del ácaro. Sin embargo, este pico no se detectó al analizar la dinámica de variación del parámetro k de la distribución binomial negativa, el cual mantuvo un patrón temporal muy similar al observado en Cárdenas (Fig. 8).

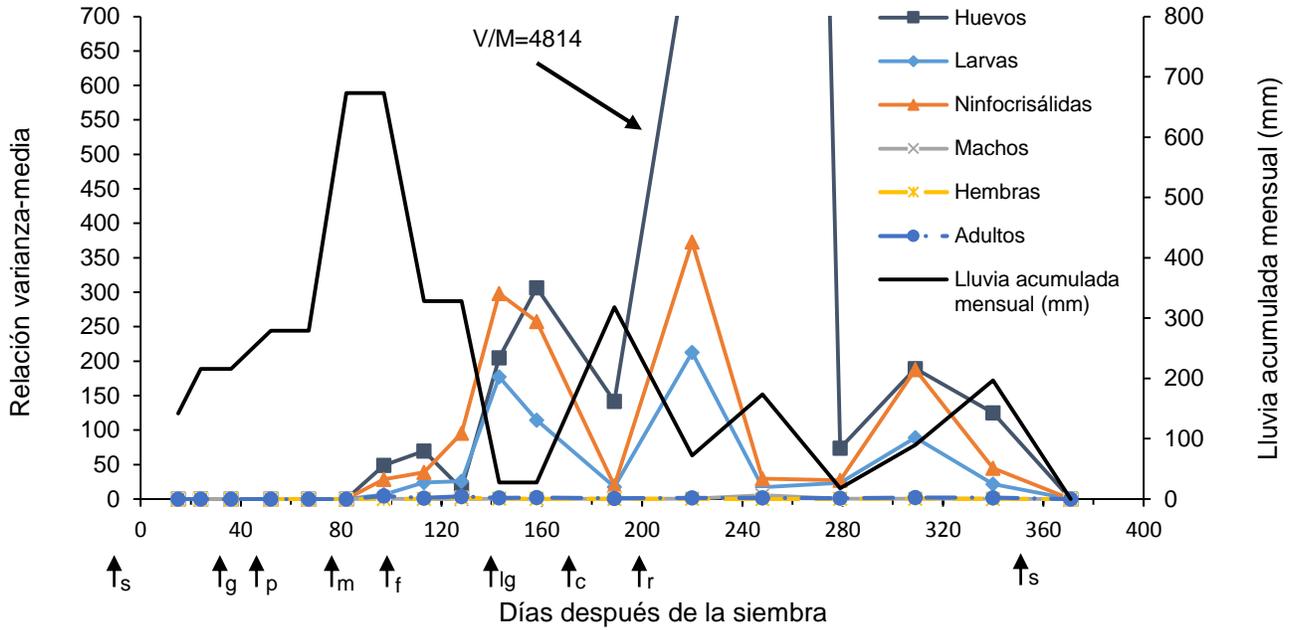


Figura 7. Relación varianza/media del número de huevos, larvas, ninfocrisálidas, machos, hembras y adultos totales por planta de *Steneotarsonemus spinki* en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arroz variedad Milagro Filipino, y precipitación acumulada mensual en el municipio de Huimanguillo Tabasco, México. Las etapas fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos).

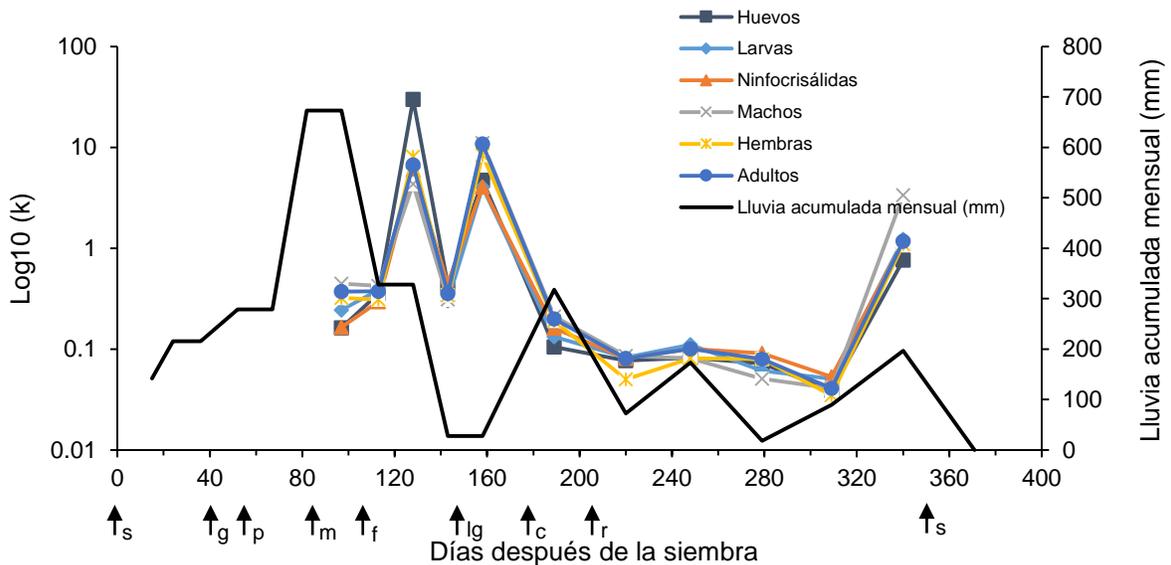


Figura 8. Valor del parámetro k de la distribución binomial negativa estimado a partir del número de huevos, larvas, ninfocrisálidas, machos, hembras y adultos totales por planta de *Steneotarsonemus spinki* en diferentes etapas fenológicas del cultivo de arroz variedad Milagro Filipino, y precipitación acumulada mensual en el municipio de Huimanguillo Tabasco, México. Las etapas fenológicas del cultivo están indicadas con flechas en la parte inferior de cada gráfica (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos).

2.3.4.- Plantas hospederas

Durante la inspección de plantas arvenses se detectaron individuos de *S. spinki*, en diferentes etapas de desarrollo, en tres especies de Poaceae (*Echinochloa colona* [L.] Link, *Leptochloa scabra* Nees y *Panicum maximum* Jacq.) y una de Cyperaceae (*Cyperus hermaphroditus* [Jacq. Standl]), tanto dentro de las parcelas como en las inmediaciones de éstas, en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo. Estas plantas estuvieron presentes durante todas las etapas fenológicas del arroz. Después de la cosecha también estuvieron presentes las mismas especies de plantas y en todas ellas se detectó la presencia del ácaro.

2.3.5.- Captura en trampas pegajosas

Solamente en las trampas pegajosas ubicadas en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo se detectó a *S. spinki*. El ácaro fue detectado en el 80 % de estas trampas. En todos los casos se detectaron adultos, donde la proporción de hembras fue considerablemente más alta en todas las muestras. Los números de hembras capturadas por trampa variaron de 18 a 22, mientras que los de machos variaron entre 3 y 5 individuos/trampa. No se detectó transporte de *S. spinki* por insectos.

2.4.- DISCUSIÓN

Mediante las identificaciones morfológica y molecular se confirmó la presencia de *S. spinki* como el ácaro presente en los sitios de muestreo, ya que las características observadas coincidieron con lo reportado por Lindquist (1986), Smiley y Emmanouel (1980) y Smiley *et al.* (1993). En la reconstrucción filogenética, los individuos se agruparon con *S. spinki*.

La ocurrencia y los niveles poblacionales de *S. spinki* en dos de los tres municipios estuvieron asociados con los hospedantes alternos presentes dentro o fuera de la plantación durante el estudio, y con el historial de cultivos previos de arroz. En Comalcalco, donde se sembró arroz por primera vez y se mantuvo un control casi total de malezas, no se detectó la plaga. Posiblemente la ausencia del ácaro se debió a que aún no se ha establecido en esta zona de cultivo. En Huimanguillo, donde sólo se observaron hospedantes alternos en los alrededores de la plantación, se detectó la plaga pero no a niveles tan altos como en el municipio de

Cárdenas, donde se observaron hospedantes alternos dentro y fuera de la plantación. Es posible que en estos sitios la plaga esté presente desde su invasión a México y que variaciones en su manejo hayan determinado los contrastes poblacionales observados.

Se ha reportado que *S. spinki* inicia su infestación en plantas de arroz durante la fase de macollamiento (Ramos y Rodríguez, 2001; Almaguel *et al.*, 2003). Infestaciones artificiales en etapas iniciales de desarrollo del cultivo no han tenido éxito, mientras que infestaciones en la fase de macollamiento sí resultaron exitosas (Jaimez-Ruiz *et al.*, 2015). Karmakar (2016) reportó también que *S. spinki* se presenta durante las fases de macollamiento o de emergencia de la panoja, con una población máxima durante la etapa de maduración del grano. En nuestro estudio se observó por primera vez a *S. spinki* al inicio de la floración en los dos municipios donde estuvo presente la plaga y fue en la etapa de llenado de grano cuando ocurrieron los niveles poblacionales más altos del ácaro, lo cual estuvo claramente asociado con una fuerte reducción en la precipitación pluvial. Los niveles poblacionales iniciales observados en nuestro trabajo son indicativos de que las primeras infestaciones ocurrieron hacia finales de la etapa de macollamiento. Es posible que las condiciones fisiológicas de los tejidos muy jóvenes en etapas fenológicas más tempranas no hayan sido favorables para el establecimiento y desarrollo del ácaro (Jaimez-Ruiz *et al.*, 2015) o que la lluvia haya tenido un efecto negativo en su establecimiento. Períodos de baja precipitación pluvial permitieron un mayor desarrollo del ácaro y la construcción de agregados, los cuales tendieron a reducirse y dispersarse con el aumento de la lluvia.

Adicionalmente, la cosecha mecánica del grano y períodos de baja disponibilidad de tejidos verdes a causa del corte de las plantas ocasionaron una caída en las poblaciones. La dinámica observada tiene implicaciones prácticas importantes, ya que las medidas de control se podrían realizar a partir del inicio de la floración y enfocarse principalmente a los períodos de poca lluvia. La eliminación de hospedantes alternos dentro y fuera de los cultivos contribuiría considerablemente a mantener poblaciones tolerables de la plaga. El laboreo del suelo inmediatamente después de la cosecha puede también contribuir a eliminar plantas capaces de facilitar la supervivencia del ácaro y reducir la posibilidad de formación de rebrotes, evitando así picos poblacionales como los observados en este trabajo en etapas posteriores a la cosecha. Por otra parte, la ocurrencia de *S. spinki* en plantaciones cercanas debe ser un

factor de alerta, ya que, como se muestra en el presente trabajo, el viento es un factor importante en la dispersión del ácaro.

Aparentemente, la dinámica de las temperaturas no representó una limitante para el desarrollo del ácaro. En pruebas de laboratorio se ha demostrado que *S. spinki* requiere temperaturas de 25 a 30 °C para completar su ciclo de vida (Chen *et al.*, 1979). Tales condiciones prevalecieron durante todo el ciclo del cultivo en el estado de Tabasco.

Aunque las condiciones fisiológicas de los tejidos del hospedante en etapas previas a la floración y la alta precipitación pluvial estuvieron asociadas con la ausencia del ácaro, no se descartan posibles efectos varietales; por ejemplo, la variedad Morelos A-92 es medianamente tolerante a la infestación de este ácaro (Jaimez-Ruiz *et al.*, 2015), las variedades Perla, J-104, IACuba-25, IACuba-27, IACuba-28, IACuba-29, IACuba-30, Vietnamita y Reforma Cuba son moderadamente susceptibles al ataque de las poblaciones de *S. spinki*, mientras Perla de Cuba y J -104 son altamente susceptibles al ataque de este ácaro (Botta *et al.*, 2005). El cruzamiento de cultivares resistentes (LC8866) y susceptibles (Perla de Cuba) reduce la incidencia de ácaros; plantas de cruces entre cepas resistentes y susceptibles de *S. spinki* pueden tener incidencias por debajo del umbral económico (Miranda *et al.*, 2005).

En este trabajo solamente se detectó la plaga en cuatro hospedantes alternos al arroz. Éste es el primer reporte de la ocurrencia de *S. spinki* en *Cyperus hermaphroditus*, *Echinochloa colona*, *Leptochloa scabra* y *Panicum maximum*, que fueron las únicas especies de plantas presentes en el área de estudio. Sin embargo, en la India, *Cyperus rotundus* (L.), *C. kyllingia* Endl., *C. iria* (L.), *Leptochloa chinensis* y *Sacciolepis interrupta* son hospedantes del ácaro (Chandrasena *et al.*, 2016), lo cual es indicativo de que el número de hospedantes alternos en las áreas arroceras de México podría ser más alto.

Aparentemente no existen reportes previos sobre el comportamiento espacio-temporal de *S. spinki*. En este trabajo se determinó que las poblaciones de todos los estados fenológicos del ácaro siguen un patrón espacial agregado. Éste es el primer trabajo donde se muestra que el ácaro presenta ciclos de agregación variables asociados con la dinámica de la precipitación pluvial y con etapas fenológicas específicas del cultivo, como fue el inicio de floración y el

llenado de grano. La ocurrencia de agregación tiene implicaciones prácticas ya que bajo este patrón espacial las estimaciones poblacionales deben hacerse mediante muestreos sistemáticos (Ludwig y Reynolds, 1988; Southwood y Henderson, 2000). La ocurrencia de patrones variables de agregación (relación varianza-media y parámetro k variables) indica que se deben ajustar los tamaños de muestra (Campbell y Madden, 1990) conforme varían la fenología del cultivo y los patrones de lluvia. Muestreos preliminares para estimar la varianza y media poblacionales serían de mucha utilidad para ajustar los tamaños de muestra en cada etapa.

2.5.- LITERATURA CITADA

Almaguel L., Rivero L. E., Ramos M. I., Cabrera R., González N., Alemán L., Avilez R., Torre P., Santos A., Martínez H., Hernández J., Ginarte A. y Rodríguez J. 1998. Comportamiento y pruebas preliminares de control del ácaro del vaneado del arroz *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae). Temas de Ciencia y Tecnología. 13: 55-66.

Almaguel L., Santos A., de la Torre P., Hernández J., Cáceres I. y Ginarte A. 2003. Dinámica de población e indicadores ecológicos del ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley 1968 (Acari: Tarsonemidae) en arroz de riego en Cuba. Fitosanidad. 7: 23-30.

Botta E., Almaguel L., González T., Arteaga I. y Hernández J. 2003. Evaluación del comportamiento de *Steneotarsonemus spinki* en diferentes variedades de arroz durante los años 2000 a 2001. Fitosanidad. 7: 25-29

Campbell C. L. y Madden L. V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley & Son. Nueva York.

Castalanelli M. A., Svertson D. L., Brumley C. J., Footitt R. G., Grimm M., Munyard K. y Groth D.M. 2010. A rapid non-destructive DNA extraction method for insect and other arthropods. Journal of Asia-Pacific Entomology. 13: 243-248.

Castro B.A. y Ochoa R.C. 2006. The threat of the panicle rice mite, *Steneotarsonemus spinki* Smiley, to rice production in the United States. Proceedings of the Thirty First Rice Technical Working Group. The Woodlands, Texas.

Chandrasena G. D. S. N., Jayawardane J. D. K. M. and Umange1 A. D. B. U., Gunawardana. 2016. Host range of panicle rice mite *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) in Sri Lanka. Universal Journal of Agricultural Research. 4: 21-24.

Chen C. N., Cheng C. C. y Hsiao K.C.1979. Bionomics of *Steneotarsonemus spinki* attacking rice plants in Taiwan in J.G. Rodríguez (ed.), Recent Advances in Acarology. 111–117. Academic Press, New York.

Chen Q. N., Chen J. Z., Shu W. Y. y He S.Y. 1980 Bionomics of the rice tarsonemid mite (*Steneotarsonemus spinki* Smiley) and its relation to rice sterile-grain syndrome. Plant Protection Bulletin. 22: 63-82.

Cho M. R., Kim D. S. e Im D. S. 1999. A new record of tarsonemid mite *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) and its damage on rice in Korea. Korean Journal of Applied Entomology. 3: 157–164.

Chow Y. S., Tzean S. S., Chang C. S. y Wang C. H. 1980. A morphological study of the tarsonemid mite *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Tarsonemidae). Plant Protection Bulletin. 22: 17-21.

Degiovanni V. M., Martínez R. C. P. y Motta O. F. 2010. Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Publicación CIAT no. 370. Tomo I. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. Pp. 35-117

Guzmán-Valencia S., Santillán-Galicia M. T., Guzmán-Franco A. W., González-Hernández H., Carrillo-Benítez M. G. y Suárez-Espinoza J. 2014. Contrasting effects of geographical separation on the genetic population structure of sympatric species of mites in avocado orchards. Bulletin of Entomological Research. 104: 610-621.

Hebert D. N., Cywinska A., Ball .SL. y De Waard R. 2003. Biological identification through DNA barcodes. Proceedings of the Royal Society of London. 270: 313-321.

Hummel N. A., Castro B. A., McDonald E.M., Pellerano M. A. y Ochoa R. 2009. The panicle rice mite, *Steneotarsonemus spinki* Smiley, a re-discovered pest of rice in the United States. Crop Protection. 28: 547-560.

Jaimez-Ruiz I. A, Otero-Colina G., Valdovinos-Ponce G., Villanueva-Jiménez J. A. y Vera-Graziano J. 2015. Population growth and characterization of plant injuries of *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) on rice. Neotropical Entomology. 44: 294–300.

Jones D. T., Taylor W. R. y Thornton J. M. 1992. The rapid generation of mutation data matrices from protein sequences. Computer Applications in the Biosciences. 8: 275-282.

- Karmakar K. y Pranab D. 2016. Impact of organic-inorganic nutrients combination in rice on the occurrence of *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) in West Bengal, India. *Persian Journal of Acarology*. 1: 71–80.
- Lagisz M., Port G. y Wolff K. 2010. A cost effective, simple and high-throughput method for DNA extractions from insect. *Insect sciences*. 1-6.
- Lin J. Z. y Zhang Z.Q. 2010. Tarsonemidae of China: a review of progress on the systematics and biology, with an updated checklist of species. *Zoosymposia*. 4: 175-185.
- Lindquist E. E. 1986. The world genera of Tarsonemidae (Acarina: Heterostigmata): a morphological, phylogenetic and systematic revision with a reclassification of family-group taxa in the Heterostigmata. *Memoirs of the Entomological Society Canada*. 136: 1-517.
- Lo K. C. y Ho C. C. 1977. Preliminary studies on rice tarsonemid mite *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae). *Natural Science Council Monthly*. 5: 274-284.
- Ludwig J. A. y Reynolds J.F. 1988. *Statistical Ecology*. John Wiley & Sons. New York.
- Mirada C. I., Fernandez A., Solórzano E. y Hernández L. J. 2005. Caracteres agronómicos afectados por la aparición de *Steneotarsonemus spinki* en arroz en cuba. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. 74: 48-51.
- Miranda C. I., Ramos L. M. y Fernandez B. M. 2003. Factores que influyen en la abundancia de *Steneotarsonemus spinki* en arroz en Cuba. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. 69: 34-37.
- Moquete C. 2010. *Guía técnica el cultivo de arroz*. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal. Santo Domingo, República Dominicana.
- Nachman G. 1984. Estimates of mean population density and spatial distribution of *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae) based upon the proportion of empty sampling units. *Journal of Applied Ecology*. 21: 903–913.

Nei M. y Kumar S. 2000. Molecular evolution y phylogenetics. Oxford University Press, New York.

Olmos S. 2007. Apuntes de morfología, fenología, ecofisiología y mejoramiento genético del arroz. Cátedra de Cultivos II. Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE. Corrientes 2006, Argentina.

Ramos M. y Rodríguez H. 2001. Aspectos biológicos y ecológicos de *Steneotarsonemus spinki* en arroz, en Cuba. Manejo Integrado de Plagas. 61: 48-52.

Ramos M. y Cabrera R. I. 2001. Presencia de *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) en cuatro variedades de arroz en la República Dominicana. Revista Protección Vegetal. 16: 6-9.

Rao J. y Prakash. 1996. *Cynodon dactylon* (Linn.) Pers. (Graminae): an alternate host of rice tarsonemid mite, *Steneotarsonemus spinki* Smiley. Journal of Applied Zoological. 7: 50-51.

Rao J. y Prakash A. 2002. Paddy field weed, *Schoenoplectus articulatus* (Linn.) palla (Cyperaceae): a new host of tarsonemid mite, *Steneotarsonemus spinki* Smiley and panicle thrips, *Haplothrips ganglbaureri* Schmutz. Journal Applied Zoological. 13: 174–175.

Roda A., Nachman G., Hosein F., Rodrigues J. C. V. y Peña J. E. 2012. Spatial distributions of the red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) on coconut and their implications for development of efficient sampling plans. Experimental and Applied Acarology. 57. 291–308.

Sanabria C. y Aguilar H. 2005. El ácaro del vaneo del arroz (*Steneotarsonemus spinki* L: Tarsonemidae). Boletín Fitosanitario, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica.

Sandoval M. F., Almaguel L., Fréitez F. y Vázquez C. 2009. Situación actual del ácaro del arroz, *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) en Venezuela. Entomotropical. 3: 135-139

Smiley R. L. y Emmanouel N. 1980. A new species of *Steneotarsonemus* from Gramineae (Acari: Tarsonemidae). *International Journal Acarology*. 6: 275-282.

Smiley R. L., Flechtmann C. H. W. y Ochoa R. 1993. A new species of *Steneotarsonemus* (Acari: Tarsonemidae) and an illustrated key to grass-infesting species in the western hemisphere. *International Journal Acarology*. 119: 87-93.

Southwood T. R. E. y Henderson P. A. 2000. *Ecological methods*. Third edition. Blackwell Science. Oxford, U.K. 575.

Toro S. S. y Mesa C. N. C. 2015. Parámetros poblacionales y comportamiento de *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) en el cultivo de arroz. *Acta Agronómica*. 64: 186-193.

Truett G. E., Heeger P., Mynnat R. L., Truett A. A., Walker J.A. y Warman M.L. 2000. Preparation of PCR quality mouse DNA genomic with hot sodium hydroxide and Tris (HotSHOT). *Biotechniques*. 29: 52-54.

Trujillo A.J. 2007. <http://www.pestalert.org/oprDetail>. Retrieval date: June 30th, 2016.

Walter D. E. y Krantz G. W. 2009. Collecting, rearing and preparing specimens. In: Krantz, G.W. & Walter, D.E. (Eds.). *A manual of acarology*, Third Edition. Texas Tech University Press.

Zalom F., Kennett C., O'Connell N., Flaherty D., Morse J. y Wilson L. 1985. Distribution of *Panonychus citri* and *Euseius tularensis* on central California USA orange trees with implications for binomial sampling. *Agriculture Ecosystems Environment*. 14: 119–130.

Zhang W. X., Jiang P. Z., Xie X. J., Chen W. X. y Chao S. Y. 1995. Investigation on resistance of rice varieties to *Steneotarsonemus spinki*. *Guangdong Agricultural Science*. 6: 38-39.

CAPÍTULO III

HONGOS ACAROPATÓGENOS ASOCIADOS A *Steneotarsonemus spinki* Smiley (ACARI: TARSONEMIDAE) EN EL CULTIVO DE ARROZ

RESUMEN

El ácaro del vaneo del arroz *Steneotarsonemus spinki* es considerado una de las plagas de mayor importancia en las zonas arroceras a nivel mundial, debido a su alto potencial reproductivo y daños que causa cuando se alimenta, así como al hecho de que se asocia con hongos fitopatógenos que junto con dicho ácaro causan un problema al arroz conocido como vaneo y manchado de grano. Su control químico es difícil debido a que habita en sitios protegidos por las vainas foliares, donde no es alcanzado por los plaguicidas. En el presente trabajo se buscó conocer a los hongos acaropatógenos asociados a dicho ácaro en las zonas arroceras de Tabasco, México. *Steneotarsonemus spinki* estuvo presente en plantas de arroz durante los muestreos realizados en el periodo de julio 2014 a julio 2015. La utilización de los primers ITS1 e ITS2 dio como resultado que los aislamientos se agruparon con el género *Hirsutella*. Se presentan como nuevos registros de hongos acaropatógenos asociados a *S. spinki* a *Hirsutella kirchneri*, *Hirsutella thompsonii*, *Hirsutella thompsonii* var. *synnematososa*, *Hirsutella thompsonii* var. *thompsonii* e *Hirsutella nodulosa*.

Palabras claves: acaropatógenos, *Hirsutella*, *Oryza sativa*, control biológico.

**ACAROPATHOGENIC FUNGI ASSOCIATED TO *Steneotarsonemus spinki* Smiley
(ACARI: TARSONEMIDAE) IN RICE CROP**

ABSTRACT

The rice vain grain mite, *Steneotarsonemus spinki*, is considered one of the most important pests in rice areas worldwide, due to its high reproductive potential and damages caused when feeding, as well as to the fact that it is associated with phytopathogenic fungi that together may cause a problem to the rice known like vain and stained of grain. Its chemical control is difficult because it inhabits sites protected by leaf sheaths, where it is not reached by pesticides. The objective of the present study was to know the acaropathogenic fungi associated with this mite in rice areas of Tabasco, Mexico. *Steneotarsonemus spinki* was present in rice plants during the sampling period from July 2014 to July 2015. The use of the ITS1 and ITS2 primers resulted in the isolates being grouped with the genus *Hirsutella*. The species presented as new records of acaropathogenic fungi associated to *S. spinki* are *Hirsutella kirchneri*, *Hirsutella thompsonii*, *Hirsutella thompsonii* var. *synnematososa*, *Hirsutella thompsonii* var. *thompsonii* and *Hirsutella nodulosa*.

Keywords: acaropathogens, *Hirsutella*, *Oryza sativa*, biological control.

3.1.- INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es cultivado en diversos tipos de suelos y climas, especialmente en condiciones de alta humedad relativa y alta temperatura (De Datta, 1981). Sin embargo, estos ambientes son favorables para el desarrollo de un gran número de insectos, ácaros y diversos patógenos (De Datta, 1981). El ácaro de la panícula del arroz, *Steneotarsonemus spinki*, es una plaga de importancia cuarentenaria en amplias zonas arroceras del mundo. La aparición de *S. spinki* en los cultivares arroceros se ha considerado un tema de gran importancia económica (Tseng, 1984). Almaguel *et al.* (2003) señalan que *S. spinki* es el causante de altos niveles de vaneos de grano y disminución del rendimiento de varias zonas arroceras, así como dispersor de patógenos, como es el caso del hongo *Sarocladium oryzae*, causante del manchado de grano. Debido a esto es necesario implementar estrategias para el manejo de este ácaro (Chandler *et al.*, 2000).

Cheng y Chiu (1999), Jiang *et al.* (1994) y Ou *et al.* (1977) mencionan que este ácaro ha causado pérdidas económicas en los principales países productores de arroz, como Taiwán, China e India. En Cuba este ácaro en los años 1997-1998 causó pérdidas hasta de 70% (Ramos y Rodríguez 2001; Ramos y Cabrera 2001). Posteriormente, en Costa Rica, República Dominicana, Haití y Panamá causó pérdidas de 45%, 40%, 60% y de 40 a 60%, respectivamente (Almaguel *et al.*, 2003, 2005; Díaz *et al.* 1999; García, 2005; Navia *et al.*, 2010; Ramos *et al.*, 2001).

El control de este ácaro es difícil porque vive protegido por las vainas foliares. Por ello, es necesario implementar formas de control como son los hongos entomopatógenos o acaropatógenos que pueden ser utilizados para su control sin alterar el equilibrio ecológico (López y Scorsetti, 2007). Se han realizado numerosos trabajos sobre patógenos de insectos, pero para el caso de patógenos de los ácaros los estudios son muy escasos (Van Der Geest, 2010). Chandler *et al.* (2000) y Hoy (2011) reportan a los hongos de los géneros *Hirsutella* y *Neozygites* como los principales agentes de control biológico de ácaros de las familias de Tarsonemidae, Tenuipalpidae, Tetranychidae y Eriophyidae.

Los patógenos de ácaros desempeñan a menudo un papel importante en la regulación del tamaño y densidad de las poblaciones en su hábitat (Van Der Geest, 2010). El término entomopatógenos se usa ampliamente para referirse a los macroorganismos parásitos de insectos (bacterias, virus, nematodos y hongos); en este trabajo usaremos el término acaropatógenos para referirnos a los hongos que infectan a ácaros y que pueden ser agentes de control biológico.

La información sobre los enemigos naturales de *S. spiniki* es escasa, solamente se cita el trabajo de Cabrera *et al.* (2005), quienes registraron la presencia de *Hirsutella nodulosa* como acaropatógeno de *S. spiniki* en Cuba sobre cultivos de arroz. En el presente trabajo se estudió la asociación que existe entre los hongos acaropatógenos y *S. spiniki* en plantaciones de arroz de Tabasco, México.

3.2.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1.- Obtención de hongos acaropatógenos

Se visitaron tres parcelas en tres municipios de Tabasco: Cárdenas, Huimanguillo y Comalcalco (una en cada municipio), sembradas con arroz de la variedad Milagro Filipino. Se hicieron muestreos mensuales durante todo el ciclo fenológico (siembra, germinación, amacollamiento, floración y maduración); en cada fecha de muestreo se seleccionaron al azar 50 plantas en cada uno de los tres de los municipios. Las plantas fueron seccionadas en pequeñas porciones y se revisaron con la finalidad de encontrar ácaros infectados por hongos acaropatógenos, o micosados; esto es, con micelio, esporas saliendo de su cuerpo y/o con aspecto momificado. Los ácaros se transfirieron junto con un fragmento del sustrato en el que estaba posados y se colocaron en cajas Petri en las que se había colocado un círculo de papel filtro humedecido con agua destilada estéril, con la finalidad de proporcionarles un ambiente húmedo que favoreciera el crecimiento de los hongos. En cajas Petri con medio H (compuesto por sacarosa, peptona de soya, extracto de levadura al 3% y agar) (Cabrera *et al.*, 2005; McCoy *et al.*, 1971; McCoy *et al.*, 1984) se marcaron de cuatro a seis puntos y en cada uno se colocó un ácaro micosado. Cuando se observó el crecimiento del hongo, se transfirió una porción a otra caja Petri con medio H para formar una colonia nueva.

Todos los aislamientos sembrados se incubaron a 26-27°C y se realizaron observaciones diarias para ver su crecimiento. Se eliminaron las cajas Petri donde los aislamientos estaban contaminados por otros organismos, los que se reconocieron por observación de frotis al microscopio bacteriológico; de los cultivos “limpios” se hicieron aislamientos monospóricos y se analizaron macro y microscópicamente para reconocer grupos morfológicamente idénticos.

3.2.2.- Preparación de cultivos monospóricos

En un tubo Eppendorf con 1 ml de solución Tween al 0.1 % se colocó una pequeña porción del hongo y se agitó en un vortex por 15 segundos para la separación de los conidios. De esta suspensión de conidios y micelio se realizaron diluciones seriadas; para ello, a 100 µl de la suspensión se le agregaron 900 µl de agua destilada estéril y se agitaron en un vortex; este paso se repitió en varias ocasiones con la finalidad de tener una concentración de 50 a 100 esporas por mililitro (los conteos se realizaron en una cámara de Neubauer). El siguiente paso fue sembrar 100 µl de la suspensión de conidios en una caja Petri con medio H, distribuyéndolos con una espátula de Drigalsky triángulo y se incubaron a 26°C por espacio de una semana; se realizaron observaciones diarias bajo un microscopio compuesto para ver el crecimiento de las colonias. Los conidios germinados se aislaron de forma individual en cajas Petri con medio H para obtener cultivos provenientes de un solo conidio (Cañedo y Ames, 2004; Lacey y Brooks, 1997).

La identificación morfológica se llevó a cabo de acuerdo a Boucias Drion *et al.* (2007), Minter y Brady, (1980) y Samson *et al.* (1980). Los aislamientos obtenidos fueron conservados en glicerina al 15% a – 80°C, y en agua destilada a 5°C.

Para la identificación molecular de los hongos ácaropatógenos se les extrajo ADN total. Para ello, de cada aislamiento se tomaron de 100 a 200 mg de micelio; éste se maceró en un mortero con nitrógeno líquido, el producto obtenido fue depositado en un tubo Eppendorf estéril de 2 ml y se le agregaron 100 µl de buffer de extracción (Tris 0.1 M, EDTA 0.01 m, NaCl 0.7 m, BME 1% Y ctab 1%), se incubó a 60°C por una hora, agitando cada 15 minutos en un vortex, se le adicionaron 200 µl de acetato de sodio (3M) y se incubó a -20°C durante 15 minutos, se centrifugó por 10 minutos a 10 000 rpm y se tomaron 750 µl de sobrenadante

para pasarlo a un nuevo tubo. Se precipitó el sobrenadante con 750 µl de isopropanol y se incubó a -20°C por 15 minutos, se centrifugó nuevamente por 10 minutos a 17 000 rpm, se descartó todo el líquido y se lavó la pastilla con etanol al 70% dos veces. Para finalizar, el ADN se dejó secar a temperatura ambiente de dos a tres horas y una vez seco se resuspendió con 50 µl de buffer TE 1X (FAQ ID -416). La concentración del ADN se midió por espectrofotometría (NanoDrop (Thermo Fisher Scientific, Inc. Waltham, MA, USA) y se guardó a -20°C.

Para la amplificación del ADN se utilizaron los primers ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') e ITS2 (5'-GCTGCGTTCTTCATCGATGC-3'). La mezcla de reacción de PCR fue de un volumen final de 25 µl, usando dyNAzyme™ II Master mix 2X y agua grado biología molecular (7.5 µl). La PCR se realizó en un termociclador MyCycler™ (BIORAD Laboratories Inc., Hercules, CA, USA) con las siguientes condiciones: desnaturalización inicial a 94°C por 5 min seguida de 30 ciclos de 94°C por 30 s, 56°C por 30 s y 72°C por 1 min; se culminó con una etapa de elongación final de 72°C por 10 min y se terminó con 4° C.

Los productos generados fueron visualizados en un gel de agarosa (IBI Scientific) al 1.5% en buffer TAE 1X al que se le habían adicionado dos gotas de bromuro de etidio (10ml, 0.625 mg/ml), el cual fue sometido a electroforesis con un voltaje de 96 por 40 min. El producto de PCR fue enviado para su secuenciación a Macrogen Seúl, Corea del Sur (secuenciación Sanger).

Las secuencias fueron editadas y ensambladas en el programa BioEdit V. 7.2.5 (Patterson *et al.*, 2006) y FinchTV. V. 1.4.0 (Hall, 1999) y se compararon con secuencias depositadas en el GenBank del programa nucleótido BLAST. El alineamiento múltiple se realizó con el programa ClustalW. La reconstrucción filogenética se realizó con el programa MEGA Versión 6.06, por el método de máxima verosimilitud (ML, por sus siglas en inglés), basado en la matriz del modelo Kimura 2- parámetros (Kimura, 1980).

El árbol inicial se obtuvo por el método de Neighbor-Joining, con una distribución gamma para el modelo de tasas de diferencias entre sitios (cinco categorías). Se utilizó la prueba de bootstrap con 1000 réplicas. El análisis involucró 35 secuencias de nucleótidos, con un total

de 703 posiciones. Para el análisis filogenético se incluyó una secuencia de la especie *Pandora neoaphidis* como grupo fuera con el número de acceso EU267193.1 en el GenBank.

3.2.3.- Microscopía electrónica del barrido (MEB)

De todos los aislamientos se seleccionaron los representativos determinados morfológicamente como del mismo tipo y se procesaron de acuerdo al protocolo de Bozzola y Ruseell (1991). El primer paso consistió en tomar un fragmento de 5 mm² del hongo aislado en medio H, preferentemente del borde de la colonia. Posteriormente el corte se colocó en un tubo Eppendorf con glutaraldehído (GA) al 2%, tratando de cubrir completamente la muestra y se dejó por un lapso de 24 horas. Todas las muestras se lavaron dos veces con buffer de fosfato Sorensen's al 0.1 M durante 20 minutos. Después se deshidrataron en una serie de concentraciones de alcohol del 30 al 100% durante 40 minutos cada una (en el alcohol al 100% se puede dejar por más tiempo para tener mejor deshidratación de hongo). Las muestras fueron secadas a punto crítico con CO₂ usando un secador Sandri-780A®, EE.UU.; en seguida de este procedimiento las muestras se montaron en portaobjetos metálicos con adhesivo de carbón y se cubrieron con oro en una ionizadora (Ion Sputter JFC-1100, JEOL®, Japón), luego se observaron en un microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM-6390®, Japón).

3.3.- RESULTADOS

3.3.1.- Identificación morfológica

Durante los muestreos desde el inicio de la siembra hasta la cosecha (dds), solo se logró obtener ácaros micosados después de la cosecha. En la parcela de Cárdenas se presentó un máximo de 21 ácaros micosados por planta contra un promedio de 1737 ácaros vivos, mientras que en la parcela de Huimanguillo se observaron hasta 46 ácaros micosados por planta contra un promedio de 557 ácaros vivos.

De los ácaros micosados colectados en campo se confirmó que los hongos que crecían radialmente a partir de su cuerpo verdaderamente eran acaropatógenos porque invadían su cuerpo. Esto se realizó por observaciones a los microscopios óptico y electrónico de barrido

(Figura 1). De los aislamientos obtenidos se reconocieron seis grupos por observación macroscópica de la forma de las colonias y su régimen de crecimiento, así como por observación al microscopio del micelio y las estructuras reproductoras. Estos seis grupos se designaron como M1 a M6. Mediante las claves taxonómicas (Boucias Drion *et al.*, 2007; Minter y Brady, 1980, y Samson *et al.*, 1980), se confirmó a *Hirsutella kirchneri* (M1), *Hirsutella thompsonii* (M3 y M4), *Hirsutella thompsonii* var. *synnematos*a (M2), *Hirsutella thompsonii* var. *thompsonii* (M5) e *Hirsutella nodulosa* (M6) como las especies de acaropatógenos presentes en los sitios de estudio. El Cuadro 1 presenta el lugar donde colectaron los aislamientos de hongos asociados.

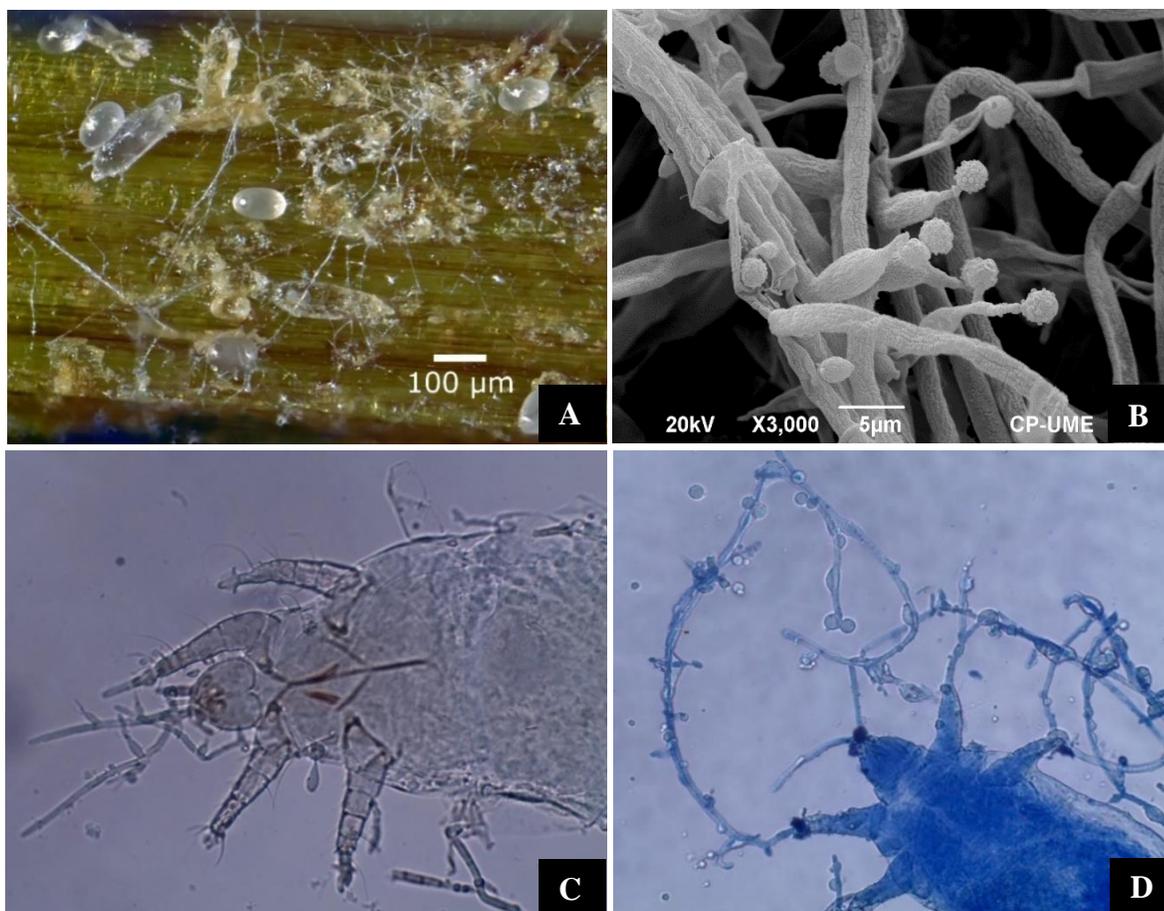


Figura 1. Laminillas de A) *Steneotarsonemus spinki* micosados por *Hirsutella* sp. vistos bajo el microscopio estereoscópico, B) conjunto de fiálides aparentemente de *Hirsutella thompsonii*, vistos en un microscopio electrónico de barrido, C y D) laminilla en lactofenol mostrando el crecimiento de *Hirsutella* sp. en el cuerpo de una hembra de *S. spinki*.

Cuadro 1. Hongos asociados a *Steneotarsonemus spinki* en el cultivo de arroz Milagro Filipino.

Municipio	<i>Hirsutella kirchneri</i>	<i>Hirsutella thompsonii</i>	<i>Hirsutella thompsonii</i> var. <i>thompsonii</i>	<i>Hirsutella thompsonii</i> var. <i>synnematososa</i>	<i>Hirsutella nodulosa</i>
Cárdenas		x	x		x
Huimanguillo	x	x	x	x	x

3.3.2.- Descripción de acaropatógenos asociados a *S. spinki*

Hirsutella kirchneri (O.Rostr.) Minter, Brady y Hall

Se encontró en el municipio de Huimanguillo (Figura 4) infestando la mayor parte del cuerpo de *S. spinki*, en especial las patas y gnatosoma, lugar por el cual el hongo salía al exterior para su crecimiento. Las colonias son de lento crecimiento, entre 1 a 2 mm/día, inicialmente de color gris claro, al ir creciendo se tornan a blanco cremoso. El micelio es abundante y su desarrollo se logró en medio H, a 27 °C. Las fiálides son hialinas, pueden medir 2.0 a 2.5 o 2.9 μm de ancho y 6.5 a 7.5 μm de largo, con hifas septadas hialinas y en algunas ocasiones ramificadas.

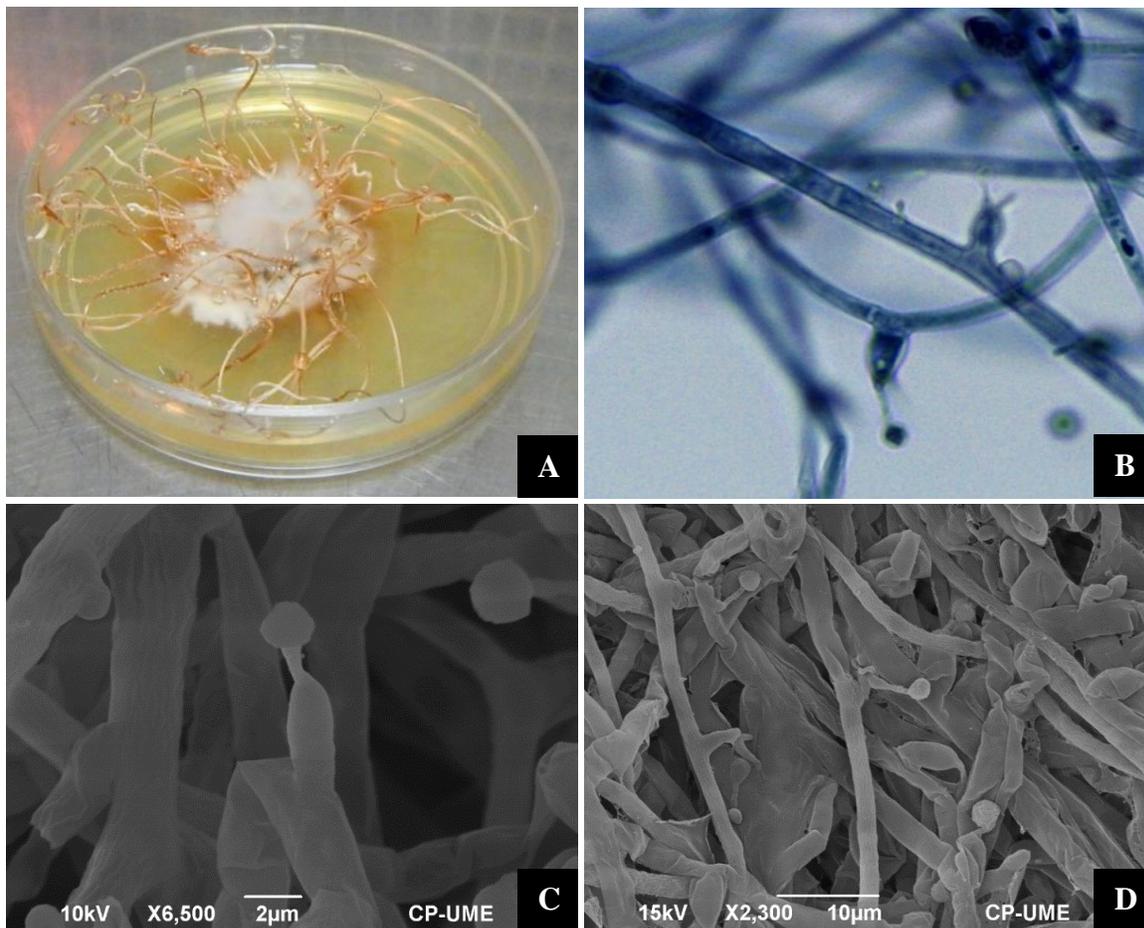


Figura 2. A) Formación de sinemas de *Hirsutella kirchneri* en medio H, B) fiálides con proliferaciones y conidio tomada en microscopia óptica, C y D) micelio, fiálides con conidio vista bajo microscopio electrónico de barrido, material colectado en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, sobre *S. spinki*, en arroz var. Milagro Filipino.

Hirsutella thompsonii Fisher

Este hongo se encontró en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo (Figura 5) infectando *S. spinki*. La invasión y desarrollo eran evidente y salía por las patas y gnatosoma. Las colonias son de lento crecimiento, entre 2 a 2.5 mm/día, inicialmente de color gris claro y en algunos casos gris oscuro; durante el crecimiento el color se torna a blanco cremoso. El micelio es abundante y su desarrollo se logró en medio H a temperatura de 27 °C. Las hifas son hialinas, las fiálides en algunas ocasiones se presentaron en forma conoidal y pueden medir de 3.5 a 4.2 µm de anchura por 5.0 a 8.9 µm de longitud.

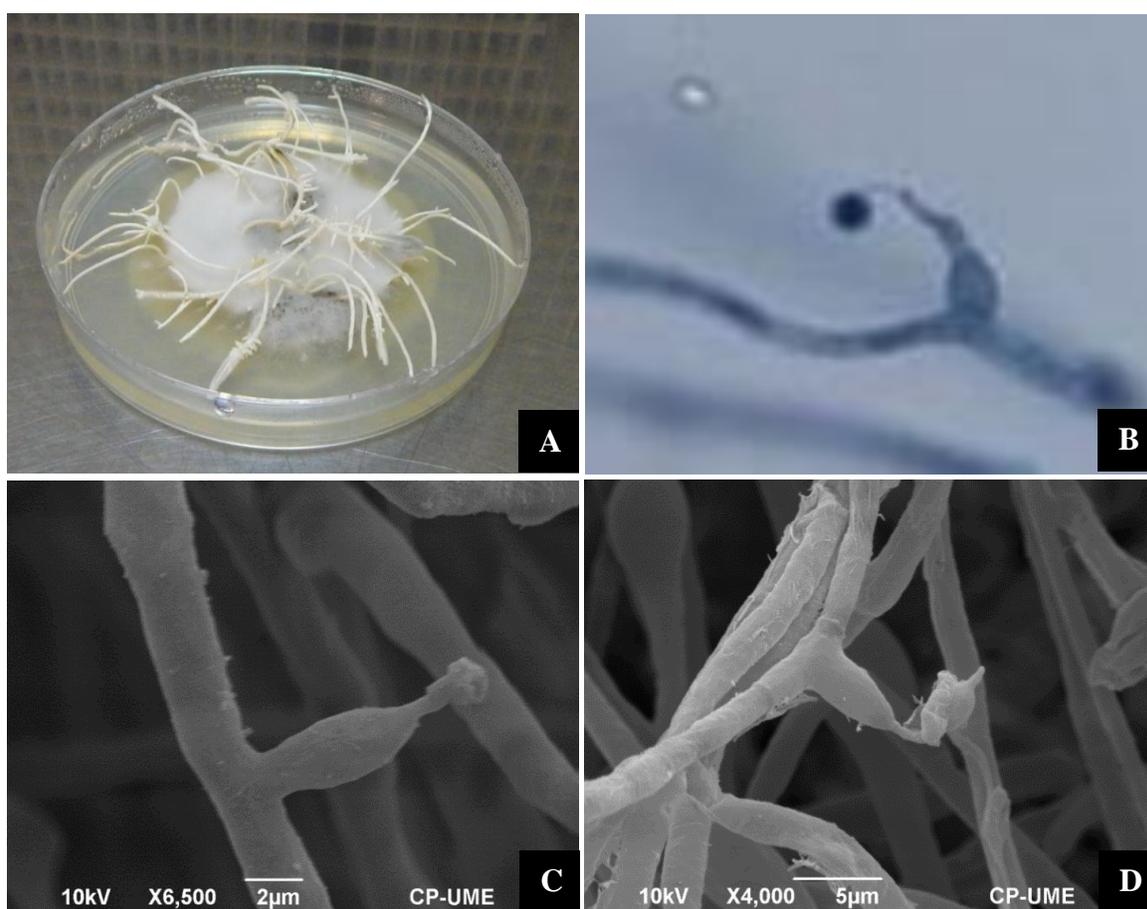


Figura 3. A) Desarrollo de la colonia de *Hirsutella thompsonii* en medio H, B) fiálide y conidio tomada en microscopia óptica, C) fiálide en forma de botella soportando la célula conidiogena y espóra vista bajo microscopio electrónico de barrido, D) micelio septado. Aislamiento colectado en el municipio de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco, sobre *S. spinki*, en arroz en Milagro Filipino.

Hirsutella thompsonii* var. *synnematos

Se le encontró infestando la mayor parte del cuerpo del *S. spinki* saliendo por las patas. Las colonias son de lento crecimiento, entre 2 a 3 mm/día, inicialmente de color gris claro en el centro y se torna a blanco cremoso en la periferia del aislamiento. El micelio es abundante y su desarrollo se logró en medio H a temperatura de 26 °C. Las hifas son hialinas, conidios solitarios y con sinemas cilíndricos de color blanco amarillento. Este aislamiento sólo se obtuvo en el municipio de Huimanguillo (Figura 4).

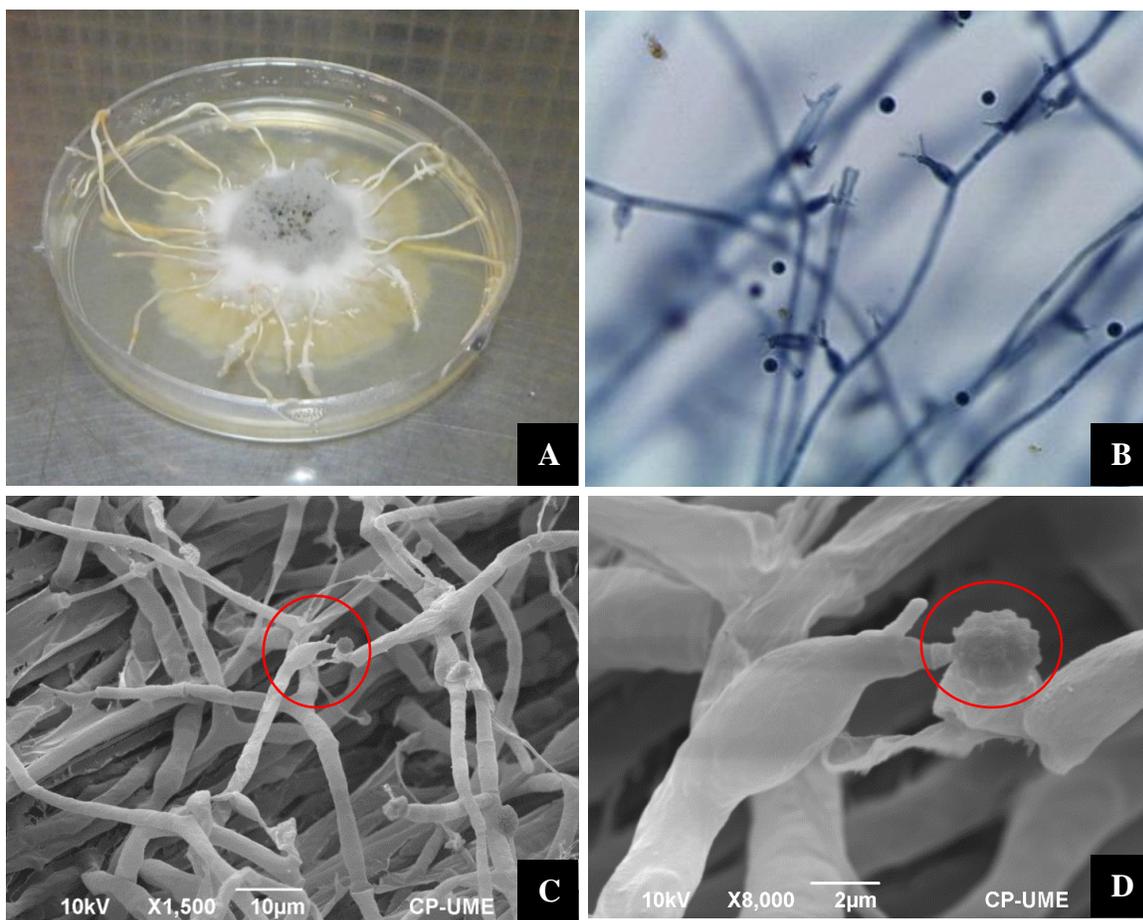


Figura 4. A) Fotografías de luz y electrónicas de aislamiento M2 de Huimanguillo, Tabasco sobre *S. spinki*. A) crecimiento de *Hirsutella thompsonii* var. *synnematos* en medio H, B) fiálides producidas en hifas aéreas C y D) fiálides trifurcadas, micelio y espora redonda verrugosa.

Hirsutella thompsonii var. *thompsonii*

Se encontró infestando la mayor parte del cuerpo del *S. spinki*. Las colonias son de lento crecimiento, entre 2 a 3 mm/día, inicialmente de color blanco cremoso en todo el perímetro del aislamiento, hasta tomar una coloración final gris-blanquecino. El micelio es abundante y su desarrollo se logró en medio H a temperatura de 27 °C. Las hifas son hialinas con conidios solitarios. Una característica de este hongo es que no presentó sinemas durante su crecimiento. Este aislamiento se obtuvo del municipio Huimanguillo (Figura 5).

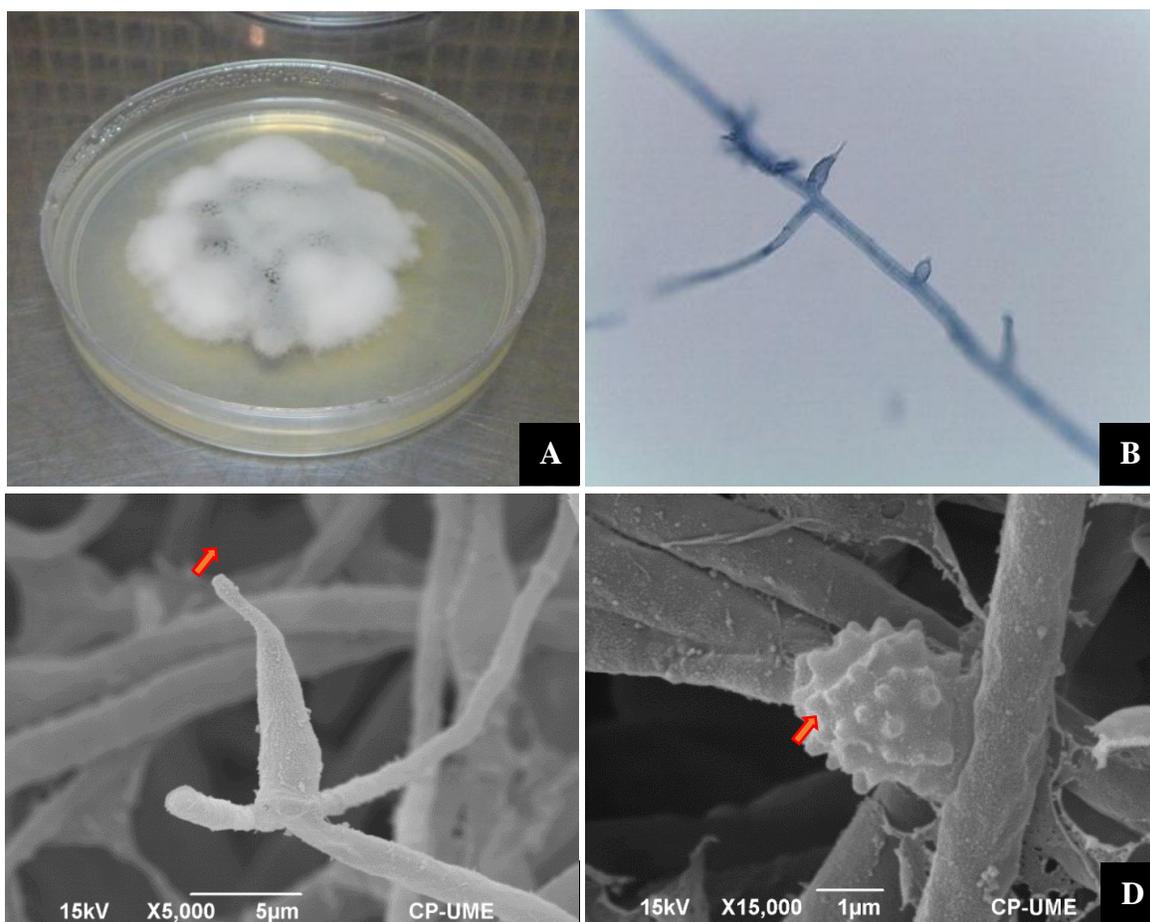


Figura 5. A) Colonia de *Hirsutella thompsonii* var. *thompsonii* en medio H, B) fiálides ampuliformes producidas en hifas aéreas, C) fiálides después de la segregación de espóra con cuello delgado, D) micelio liso y conidios verrugosas, colectado en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, sobre *S. spinki*, en arroz en Milagro Filipino.

Hirsutella nodulosa

Se encontró en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo (Figura 8) infestando a *S. spinki*, exteriormente se observó en el gnatosoma y patas, al grado de romper la cutícula del ácaro. Las colonias fueron más lentas en su crecimiento en comparación de las otras especies encontradas, de 1 a 2 mm/día. Colonias inicialmente de color blanco cremoso en el centro y con dos capas en la periferia, una de color gris y la otra blanco cremosa. Produce poco micelio, generalmente verrugoso, raramente liso y septado. Conidios lisos, hialinos y con terminación en forma ovoide. El cuello de la fiálide presenta terminación en forma de zig zag. Se desarrolló en medio H a temperatura de 27 °C.

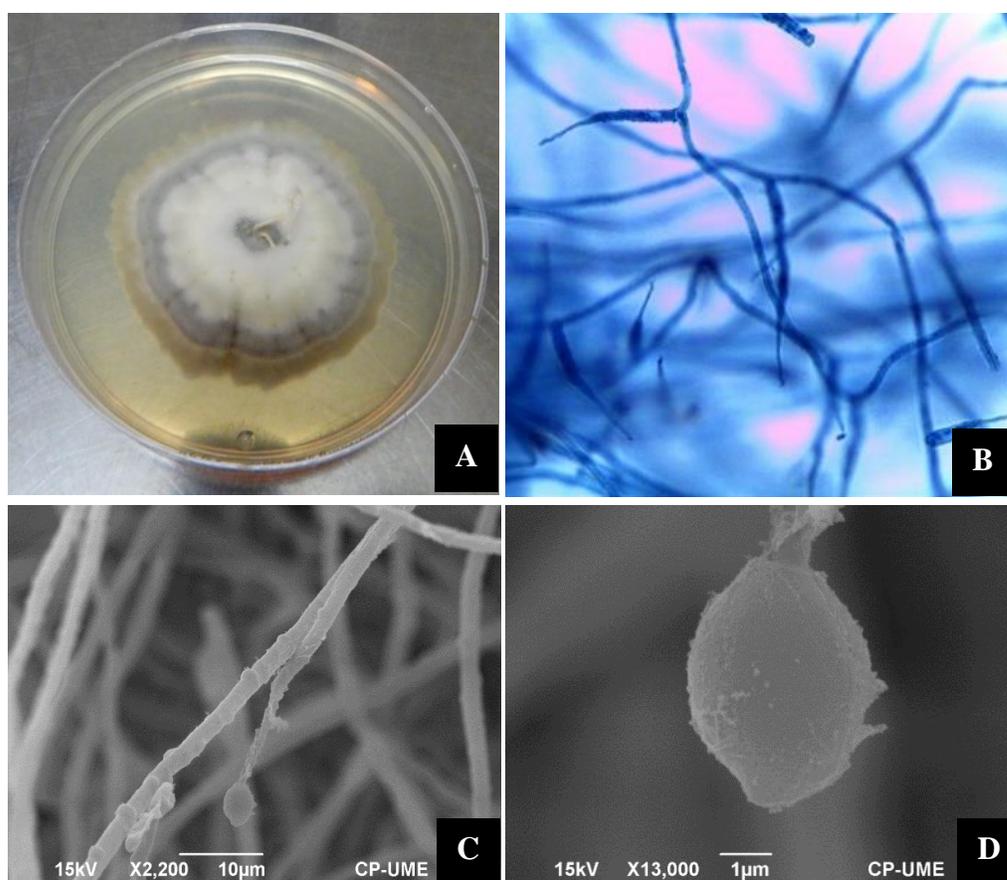


Figura 6. A) Colonia del aislamiento de *Hirsutella nodulosa* (M6) en medio H, B) preparación en microscopía de luz mostrando fiálides largas y cuello enlongados con terminación en zig zag, C y D) microfotografía de filides con cuello largos y conidio ovoide de paraed lisa, colectado en el municipio de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco, sobre *S. spinki* en arroz en Milagro Filipino.

3.3.3.- Identificación molecular

Para la identificación molecular todos los aislamientos se agruparon en *H. thompsonii*. No se tuvo éxito en la amplificación de DNA de los aislamientos M2 y M4. Se amplificaron segmentos de 703 pares de bases. La verosimilitud fue de (-5210,0425), la tasa de diferencia evolutiva fue de cinco categorías, +G, parámetro= 4.0779. La escala del árbol mide el número de sustituciones por sitio.

En el análisis filogenético se ubicaron dos grupos principales; el primero se formó por *Pandora neoaphidis*, el segundo se dividió en seis subgrupos, de los cuales los ejemplares en estudio se agruparon junto con *H. thompsonii* (Fig. 7), con un soporte de rama de 99 %.

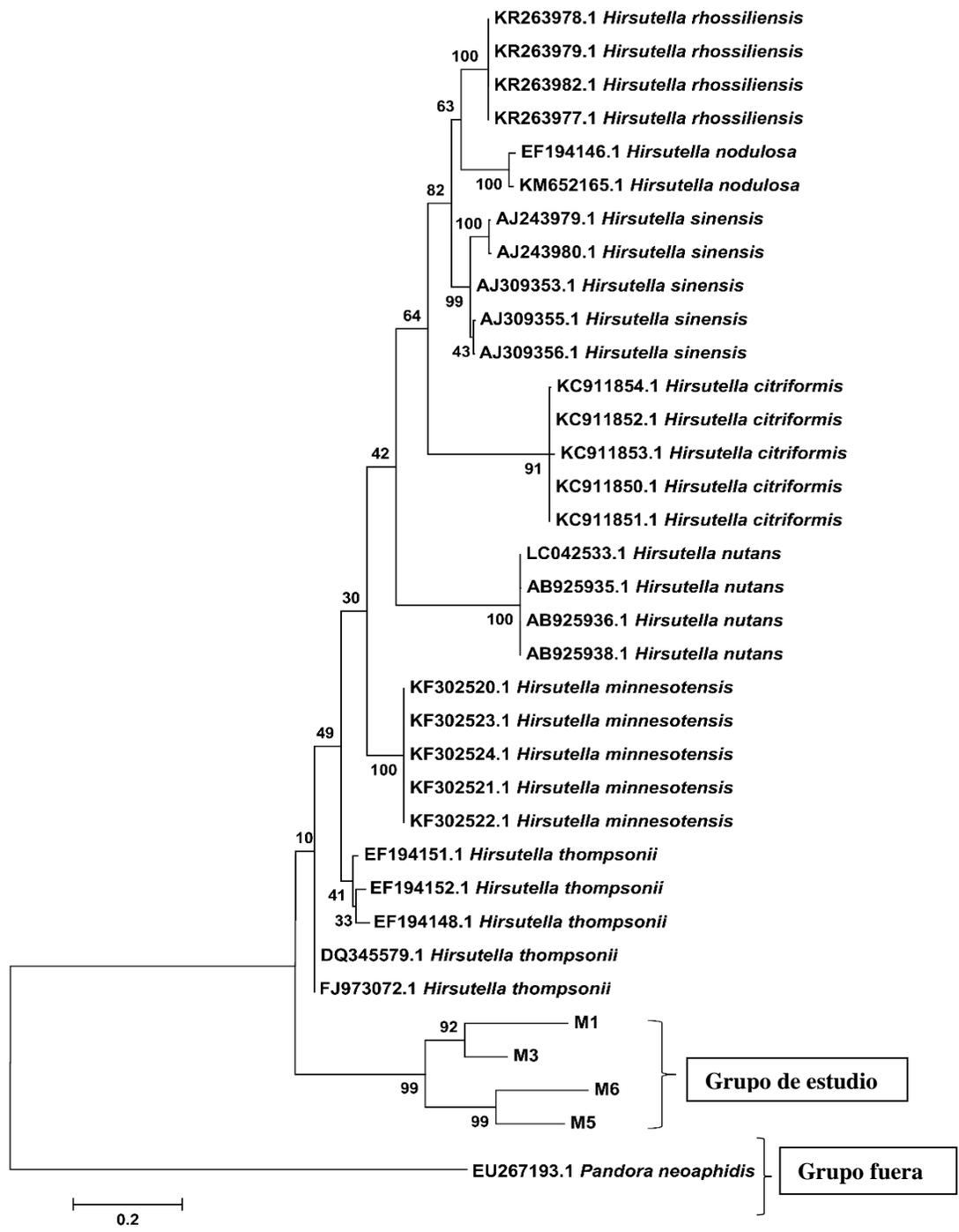


Figura 7. Árbol filogenético de los aislamientos M1, M3, M5 y M6 de hongos acaropatógenos obtenidos de *Steneotarsonemus spinki*, utilizando el método de máxima verosimilitud con 1,000 repeticiones de bootstrap.

3.4.- DISCUSIÓN

Las características morfológicas de *H. thompsonii*, *H. thompsonii* var. *synnematososa*, *H. thompsonii* var. *thompsonii*, *H. kirchneri* y *H. nodulosa* coincidieron con las descritas por Minter y Brady (1980), Van Winkelhoff y McCoy (1984) y Chandler (2000). No se observó una total concordancia entre la identificación morfológica y la molecular, ya que todos los aislamientos se agruparon dentro de *H. thompsonii* (Cuadro1). Esto se atribuye a que se amplificó un segmento del gen ITS, el cual no tiene suficiente resolución para separar las especies (Simmons *et al.*, 2015). Sin embargo, se confirmó la identificación de los aislamientos como del género *Hirsutella*, lo que muestra que se trata de especies acaropatógenas; por su parte, la identificación morfológica muestra que existe una gran variedad de hongos patógenos con potencial para el control biológico de *S. spinki*.

En la mayoría de los trabajos sólo se reportan las infecciones de hongos acaropatógenos en ácaros de las familias Tetranychidae y Eriophyidae (Van der Geest, 2010). Por su parte, Chandler *et al.* (2000) mencionan que se pueden encontrar los géneros *Hirsutella* y *Neozygites* como los hongos patógenos de ácaros de la familia Tarsonemidae. El hallazgo de varias especies de *Hirsutella*, así como de las variedades *thompsonii* y *synnematososa* como patógenas de *S. spinki* es una aportación original del presente trabajo.

Balazy *et al.* (2008) reportaron que el género *Hirsutella* es el principal hongo acaropatógeno asociado con ácaros fitófagos, saprófagos y depredadores en Polonia y otros países de Europa, principalmente en cultivos y plantas silvestres.

Para el caso de *Hirsutella thompsonii* y sus variedades, las características morfológicas que se tomaron para llegar a estas especies fueron corroboradas con las descripciones de Minter y Brady (1980), quienes lo describen con micelio abundante, septado, hialino con células monofialídicas o polifialídicas; estas características también se presentaron en los aislamientos de *Hirsutella thompsonii*, *Hirsutella thompsonii* var. *synnematososa*, *Hirsutella thompsonii* var. *thompsonii* encontrados sobre *S. spinki*. Además, Minter y Brady (1980) y Cabrera *et al.* (2005) reportan que *Hirsutella nodulosa* es una de las especies que presenta en la parte final de la fialide cuellos retorcidos o en forma de zigzag y posee células

conidiógenas; estas características se presentaron en los aislamientos de *Hirsutella nodulosa* encontrados en el presente estudio. Cabrera *et al.* (2005) reportaron que *Hirsutella nodulosa* ocasiona una mortalidad de 71% de *S. spinki*.

Es importante mencionar que *H. thompsonii*, junto con sus variedades *H. thompsonii* var. *synnematososa* y *H. thompsonii* var. *thompsonii*, fueron de fácil crecimiento en comparación con *H. kirchneri* y *H. nodulosa* y aparte de lo anterior se encontraban ampliamente establecidas en los sitios de muestreo, por lo que se postula que pueden ser apropiadas para su uso en el control biológico de este ácaro. Sin embargo, en el presente trabajo los hongos acaropatógenos se encontraron sólo al final del ciclo de producción del arroz, cuando ya *S. spinki* pudo haber causado daños a este cultivo. Por lo tanto, el uso de estos patógenos debe acompañarse de producción masiva y su aplicación al inicio del periodo de prevalencia de este ácaro; esto es, al inicio del periodo de espigamiento.

Se recomienda profundizar un estudio de la descripción de las especies de los hongos acaropatógenos presentes en las zonas arroceras de México, así como la realización de pruebas moleculares con primers adicionales, para tener una mejor idea de la variedad de hongos de los que se pueda disponer para llevar a cabo el control biológico de la plaga de interés.

3.5.- LITERATURA CITADA

- Almaguel L., Santos A., de la Torre P., Hernández J., Cáceres I. y Ginarte A. 2003. Dinámica de población e indicadores ecológicos del ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley 1968 (Acari: Tarsonemidae) en arroz de riego en Cuba. *Fitosanidad*. 7: 23-30.
- Almaguel L. y Botta E. 2005. Manejo integrado de *Steneotarsonemus spinki*, Smiley. Resultados de Cuba y transferencia para la región de Latinoamérica y el Caribe. Curso de Posgrado de Acarología, Introducción a la Acarología Agrícola. La Habana, Cuba. 44.
- Balazy S., Mietkiewski R., Tkaczuk C., Wegensteiner R. y Wrzosek M. 2008. Diversity of acarophagous fungi in Poland and other European Countries. *Experimental and Applied Acarology*, 46. 53-70.
- Boucia G. D., Meyer M. J., Popoonsak S. y Breaux E. S. 2007. The genus *Hirsutella*: A polyphyletic group of fungal pathogens infecting mites. *Entomopathogenic Fungi in Biological Pest Management*. 2-34.
- Cabrera I. R., García A., Otero-Colina G., Almaguel L. y Ginarte A. 2005 *Hirsutella nodulosa* y otros hongos asociados al ácaro tarsonémido del arroz *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) en Cuba. *Folia Entomológica Mexicana*. 44: 115-121.
- Cañedo y Ames. 2004. Manual de laboratorio para el manejo de hongos entomopatógenos. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 1-59.
- Chandler D., Davidson G., Pell J. K., Ball B. V., Shaw K. y Sunderland K. D. 2000. Fungal biocontrol of Acari. *Biocontrol Science and Technology*. 10: 357-384.
- Cheng C. H. y Chui Y. I. 1999. Review of changes involving rice pests and their control measures in Taiwan since 1945. Taipei. *Plant Protection Bulletin* 41: 9-34
- De Datta S. K. 1981. Principles and practices of rice production. The International Rice Research Institute. John Wiley & Sons, Inc. Los Baños, Philippines. Singapore. 618.

Díaz F., Abud A. y González M. 1999. El ácaro de la panícula del arroz. Fersan Informa, 24: 11-12.

García M.P. 2005. Vaneamiento y manchado de grano en cultivos de arroz en Panamá. Revista Arroz. 53: 455.

Hall T. A. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. Nucleic Acids. Symp. Ser. 95-98.

Hoy M.A. 2011. Pathogens and Symbionts of Mites and Ticks. Agricultural acarology, Introduction to integrated mite management. CRC Press. 211-219.

Jiang P. Z., Xie X. J., Chen W. X., Cao S. Y. y Liang Z.H. 1994. Regularity of incidence of *Steneotarsonemus spinki*. Guandong. Agric Science. 5: 37-40.

Kimura M. 1980. A simple method for estimating evolutionary rate of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. Journal of Molecular Evolution. 16: 111-120.

Lacey, L. y W.M.Brooks. 1997. Initial handling and diagnosis of diseased insects. En Manual of techniques in insect pathology. Biological techniques series. Lacey, L (ed.) California (USA). Academic Press. Pp. 1-12.

López y Scorsetti. 2007. Revisión de los hongos Entomophthorales (Zygomycota: Zygomycetes) patógenos de insectos de la República Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. 24: 198-193.

McCoy W.C., Selhime G.A., Kanavel F.R and Hill J.A. 1971. Suppression of citrus rust mite populations with application of fragmented mycelia of *Hirsutella thompsonii*. Journal of Invertebrate Pathology. 17: 270-276.

McCoy W. C., Stamper H. D. y Tuverson W. R. 1984. Conidiogenous cell differences among mutant and wild-type pathotypes of *Hirsutella thompsonii* var *thompsonii*. Journal of Invertebrate Pathology. 43: 414-421.

Minter D. W. y Brady B.L. 1980. Mononematous species of *Hirsutella*. The British Mycological Society. 271-282.

Navia D., Mendonca, R.S. y Ochoa R. 2010. The rice mite *Steneotarsonemus spinki*, an invasive species in the Americas. Springer Science Business Media B. V.

Ou Y. T., Fang H. C. y Tseng Y. H. 1977. Studies on *Steneotarsonemus madecassus* Gutierrez of rice. Plant Protection Bulletin. 19: 21-29.

Petch B. A. 1926. Entomogenous fungi. Transactions British Mycological Society. Pp. 258-266.

Petterson J., Chanberlain B. J. y Thayer D. 2006. Fich tv versión 1.4.0. Developed by the Geospiza Reserch Team.

Ramos M. y Cabrera R.I. 2001. Presencia de *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) en cuatro variedades de arroz en la República Dominicana. Revista Protección Vegetal. 16. 6-9.

Ramos M. y Rodríguez H. 2001. Aspectos biológicos y ecológicos de *Steneotarsonemus spinki* en arroz, en Cuba. Manejo Integrado de Plagas. 61: 48-52.

Simmons R. D., Kepler M. R., Rehner S. A. y Groden E. 2005. Phylogeny of *Hirsutella* species (Ophiocordicipitaceae) from the USA: remedying the paucity of *Hirsutella* sequence data. IMA FUNGUS. 6: 345-356.

Samson A. R., McCoy W.C. y O'Donnell L. K. 1980. Taxonomy of the acarine parasite *Hirsutella thompsonii*. Reprinted from Mycologia. 72: 359-377.

Tseng Y. H. 1984. Mites associated with weeds, paddy rice, and upland rice fields in Taiwan. Griffiths, Bowman (eds.). Ácarology VI, vol. 2. Ellis Horwood, Chichester, Reino Unido. 770-780.

Van Winkelhoff A. J. y McCoy C. W. 1984. Conidiation of *Hirsutella thompsonii* var. *synnematososa* in submerged culture. Journal of Invertebrate Pahology. 43: 59-68.

Van Der Geest L. P. S. 2010. Ipm Potentials of microbial pathogens and diseases of mites.
Integrated Management of Arthropod Pests and Insect Diseases. 5: 249-309.

CAPÍTULO IV. HONGOS FITOPATÓGENOS ASOCIADOS A *Steneotarsonemus spinki* EN EL CULTIVO DE ARROZ

RESUMEN

Una de las principales limitantes de la productividad del arroz son las enfermedades causadas por hongos, las cuales pueden causar pérdidas económicas en la mayor parte de las áreas arroceras del mundo. En estudios llevados a cabo en América tropical se han descrito daños en arroz consistentes en manchado de vainas y grano, así como vaneo de grano, los cuales se atribuyen al ataque combinado del hongo *Sarocladium oryzae* y del ácaro *Steneotarsonemus spinki*. Esto ha motivado el interés por conocer el comportamiento y el grado de infestación que provoca este ácaro en las plantas de arroz en las diferentes etapas fenológicas de este cultivo. Las principales zonas arroceras del sureste de México, ubicadas en Campeche, Tabasco y Veracruz, han sido afectadas por la llegada de este ácaro, pero no se ha confirmado la presencia de *S. oryzae* ni que esté asociado con el ácaro *S. spinki* o con insectos que podrían ayudar a diseminar a este hongo. En el presente trabajo se realizaron muestreos de julio de 2014 a julio de 2015 en los municipios de Cárdenas, Huimanguillo y Comalcalco, Tabasco, México, en arrozales de la variedad Milagro Filipino, con la finalidad de identificar a los hongos fitopatógenos asociados al cultivo y *S. spinki* y de determinar si existe asociación de ellos con el ácaro *S. spinki* que pudieran causar el vaneo del arroz. Se determinó la presencia de *Pyricularia oryzae*, *Helminthosporium oryzae*, *Verticillium sp.* y *Fusarium sp.* No se detectó la presencia de *Sarocladium oryzae*. El ácaro *S. spinki* tuvo una incidencia máxima de 90 % en las plantas en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo. En Comalcalco no se encontró a *S. spinki*, pero sí la presencia de hongos fitopatógenos. Por su parte, los hongos fitopatógenos tuvieron una incidencia menor a 1% en los tres municipios. Aunque se observó vaneo de grano y manchas en vainas foliares y espigas, la baja incidencia de hongos fitopatógenos sugiere que no hubo una clara asociación de éstos con *S. spinki*, por lo que se postula que el vaneo observado es causado por el ácaro mencionado y no por su infestación combinada con el hongo.

Palabras clave: daños, fenología, hongos fitopatógenos.

ABSTRACT

Among the main limiting factors for rice production, diseases caused by phytopathogenic fungi appear as the cause of great losses in most rice producing areas around the world. In studies carried out in tropical America, injuries in rice consisting as spotted and vain grain have been described; they are attributed to the combined attack of the fungus *Sarocladium oryzae* and the mite ácaro *Steneotarsonemus spinki*. This has triggered interest to study the behavior and infestation level of this mite along the successive phenological stages of rice. The main rice producing areas of Mexico, placed in Campeche, Tabasco and Veracruz states, have been affected by the settlement of *S. spinki*, but the presence of *S. oryzae*, as well as the association of these fungus and mite species have not been confirmed. In this study, samplings were carried out from July 2014 to 2015 at the municipalities of Cárdenas, Huimanguillo and Comalcalco, Tabasco, Mexico, in rice of the variety Milagro Filipino, aimed at identifying phytopathogenic fungi associated with that crop and with *S. spinki*, in order to determine whether such association could result in vain grain. The presence of *Pyricularia oryzae*, *Helminthosporium oryzae*, *Verticillium sp.* and *Fusarium sp.* was demonstrated. *Sarocladium oryzae* was not detected. The mite *S. spinki* was observed with a maximal incidence of 90 % in plants at the municipalities of Cárdenas and Huimanguillo. In the municipality of Comalcalco *S. spinki* was not detected, whereas phytopathogenic fungi had an incidence lower than 1%. Vain grain and spotted leaf sheaths and panicles were observed; due to the low incidence of phytopathogenic fungi and the absence of a clear association of them with *S. spinki*, it is postulated that vain grain is caused by the mite in the study area, and not by the combined attack of this mite with a fungus.

Palabras clave: damage, phenology, phytopathogenic fungi.

4.1.- INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es la segunda planta más cultivada y consumida en el mundo después del trigo (Degiovanni *et al.*, 2010; Moquete, 2010). Es afectado por numerosas plagas y patógenos, principalmente por bacterias, hongos, espiroplasmas y virus, que le causan pérdidas en rendimiento (Almaguel *et al.*, 2003; Chow *et al.*, 1980; Gad *et al.*, 2015; Rao y Prakash, 2003; Shikata *et al.*, 1984). Entre las plagas del arroz destaca el ácaro *Steneotarsonemus spinki*, el cual se ha manifestado como una importante plaga invasiva que se ha diseminado en las últimas décadas en varios países de las Antillas y América continental (Hummel *et al.*, 2019; Navia *et al.*, 2010). Por su parte, entre los principales hongos fitopatógenos del arroz están *Pyricularia oryzae*, *Helminthosporium oryzae*, *Rhynchosporium oryzae*, *Rhizoctonia solani*, *Sarocladium oryzae*, *Fusarium verticillioides*, *Fusarium arthrosporioides* y *Fusarium proliferatum* (Gad *et al.*, 2015; Barrios y Pérez, 2005; Bigirimana *et al.*, 2015).

Se ha observado una asociación de *S. oryzae* con el ácaro *S. spinki*, así como con algunos insectos (Hummel *et al.*, 2009), a través de la cual se intensifican los daños al arroz, en una posible interacción sinérgica entre ambos organismos (Almaguel *et al.*, 2003; Ramos y Rodríguez, 1998; Leyva *et al.*, 2003). En Cuba se postuló que el ácaro y el hongo mencionados en ataque conjunto al arroz ocasionan un grave problema a este cultivo, el cual se caracteriza por la presencia de panículas vanas, erectas, manchadas y pudrición visible (Ramos y Rodríguez, 1998; Leyva *et al.*, 2003). La reciente dispersión de dicho ácaro en el Continente Americano ha contribuido a la rápida dispersión de *Sarocladium oryzae* y otros patógenos (Navia *et al.*, 2010).

En México *S. spinki* fue detectado por primera vez en 2006; desde entonces, la superficie cultivada con arroz ha descendido gradualmente en los estados de Campeche, Tabasco y Veracruz, México, donde dicho ácaro está presente, hasta reducirse más de 50% (SIAP, 2017; Figura 1). No se han evaluado los daños que este ácaro ocasiona al arroz en México ni se ha determinado si el mismo se asocia con el hongo *S. oryzae*; sin embargo, información testimonial de productores de arroz en los estados mencionados muestra que la presencia de

S. spinki ha reducido el rendimiento de arroz y ha obligado a muchos agricultores a remplazar el arroz por otros cultivos. El objetivo del presente trabajo fue identificar a los hongos fitopatógenos presentes en el cultivo de arroz en parcelas arroceras de Tabasco, México, y determinar si existe una asociación entre dichos hongos y el ácaro *S. spinki*.

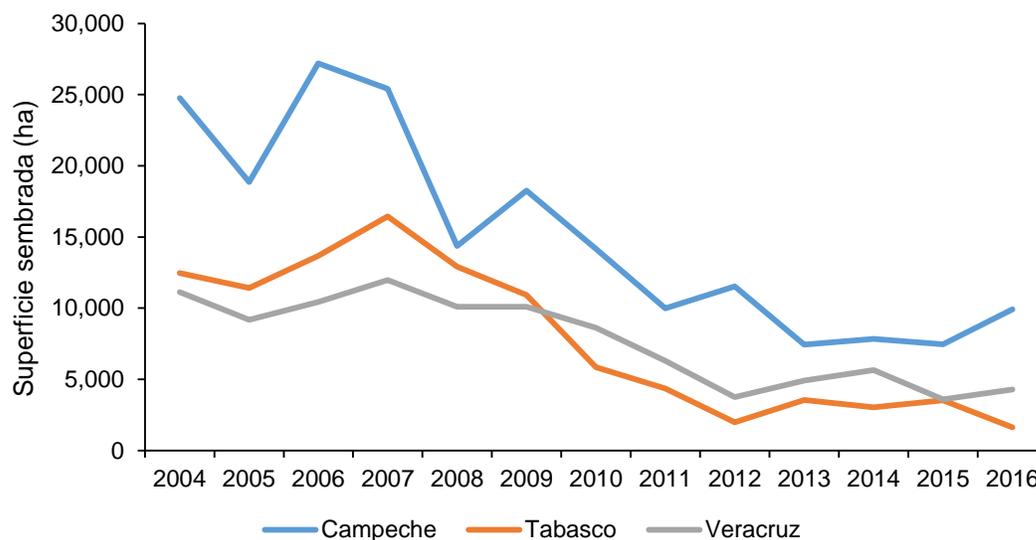


Figura 1. Superficie sembrada con arroz en los estados de prevalencia del ácaro *Steneotarsonemus spinki* en México, 2004-2016.

4.2.- MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1.- Obtención de hongos fitopatógenos

Entre julio 2014 y julio 2016, mensualmente se hicieron muestreos en parcelas de arroz de la variedad Milagro Filipino ubicadas en Cárdenas, Huimanguillo y Comalcalco, Tabasco (una en cada municipio), cubriendo todo el ciclo fenológico (siembra, germinación, amacollamiento, floración y maduración). En cada fecha de muestreo se seleccionaron al azar 50 plantas en cada uno de los de los municipios, en las cuales se buscaron los hongos asociados, los que se reconocieron por la presencia de lesiones en hojas, tallos y semillas, las cuales fueron recortadas (cortes de aproximadamente 1 cm), desinfectadas por dos a tres minutos en hipoclorito de sodio al 1% y se les lavó dos veces con agua destilada estéril (ISTA, 1976; Barrios y Pérez, 2005).

Adicionalmente, se sembraron ácaros para conocer si portaban hongos fitopatógenos sobre o dentro de su cuerpo. Para esto se elaboraron cámaras húmedas que consistían en cajas Petri en las que se colocaba un círculo de papel filtro esteril humedecido con agua destilada estéril, con la finalidad proporcionarles un ambiente húmedo que favoreciera el crecimiento de los hongos asociados, probablemente fitopatógenos. Posteriormente los hongos crecidos en las camas húmedas fueron transferidos a cajas Petri con medio PDA (Cabrera *et al.*, 2005; Cruz *et al.*, 2009; Bonilla *et al.*, 2002). En otras cajas Petri se marcaron de cuatro a seis puntos y en cada punto se colocó un ácaro. Donde se observó el crecimiento de un hongo se transfirió una porción de micelio a otra caja Petri con medio PDA para formar una colonia nueva. Todas las muestras fueron incubadas a 25 a 26 °C y se realizaron observaciones diarias para registrar su crecimiento.

4.2.2.- Preparación de cultivos monospóricos e identificación

En tubos Eppendorf con 1 ml de solución Tween al 0.1 % se colocó una porción del hongo y se agitó en un vortex por 15 segundos para la separación de los conidios. Enseguida se realizaron suspensiones de conidios en diluciones seriadas 1:10; hasta obtener una concentración de 50 a 100 esporas por mililitro (los conteos se realizaron en una cámara de Neubauer). El siguiente paso fue sembrar 100 µl de la suspensión de conidios en una caja Petri con medio PDA, distribuyéndolos con una espátula de Drigalsky y se incubaron a 26°C con duración máxima de una semana; se realizaron observaciones diarias bajo un microscopio compuesto para evaluar el crecimiento de las colonias. Los conidios germinados se transfirieron individualmente a nuevas cajas Petri con medio PDA para obtener cultivos monospóricos (Cañedo y Ames, 2004; Lacey y Brooks, 1997).

Para la identificación se tomó una porción de cada hongo proveniente de una caja monospóricas y se colocó en un portaobjetos con lactofenol. Las observaciones se realizaron bajo un microscopio compuesto y se identificaron de acuerdo a Bigirimana *et al.* (2015), Crous y Groenewald (2014) y Barnett y Hunter (1972). Los aislamientos obtenidos fueron conservados en glicerina al 15% a – 80°C, y en agua destilada a 5°C.

4.2.3.- Estimación de poblaciones de *S. spinki*

Durante los muestreos mensuales y usando el mismo material tomado para la extracción de hongos fitopatógenos, se contaron los ejemplares totales de *S. spinki* para trazar sus variaciones en infestación.

4.3.- RESULTADOS

De la siembra de ácaros, semillas, y cortes de hojas y tallos se aislaron los hongos *Pyricularia oryzae*, *Helminthosporium oryzae*, *Verticillium sp.* y *Fusarium sp.* El máximo porcentaje de muestras con cada especie de hongo, así como el mayor número de ejemplares totales de *S. spinki* a lo largo de las etapas fenológicas del arroz, ocurrieron en la etapa de llenado de grano aunque se observaron picos menores, tanto en Cárdenas como en Huimanguillo. En Comalcalco no se detectó a este ácaro en ninguno de los muestreos (Figuras 2, 3 y 4). En semillas sembradas en medio PDA a temperatura de 25 a 26 °C antes y después de la siembra en los municipios de Cárdenas, Huimanguillo y Comalcalco, Tabasco, no se encontraron indicios de que estuvieran infestadas por *S. oryzae* u otros hongos fitopatógenos, por lo que se descarta la semilla como portador de hongos fitopatógenos en los sitios de muestreo. De igual manera, en ninguno de los ácaros sembrados en medio PDA se recuperaron hongos fitopatógenos.

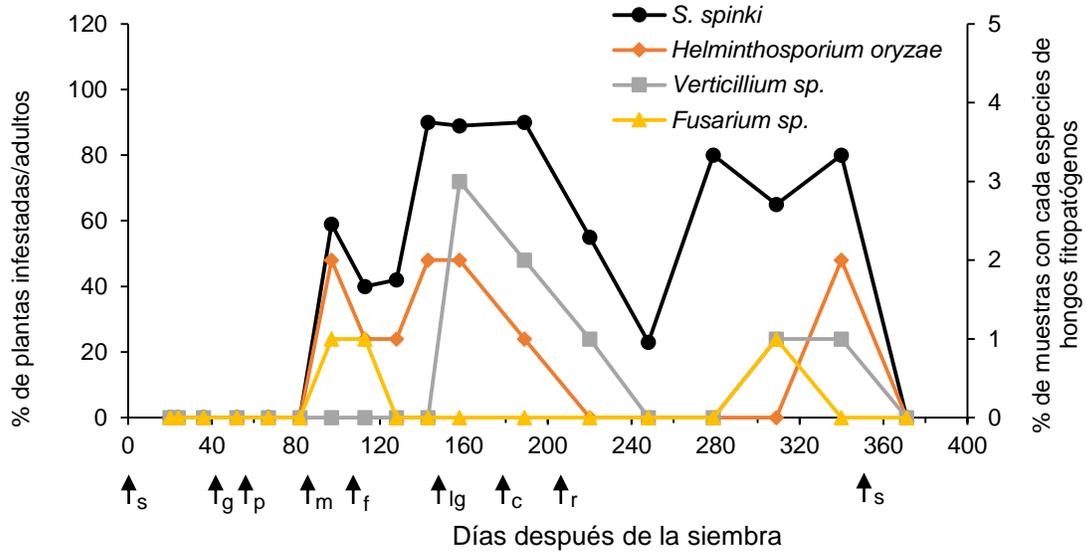


Figura 3. Incidencia de *Steneotarsonemus spinki* y hongos fitopatógenos en plantas de arroz variedad Milagro Filipino, a lo largo del desarrollo en Cárdenas Tabasco, México. Las flechas indican el inicio de cada etapa fenológica del cultivo (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos).

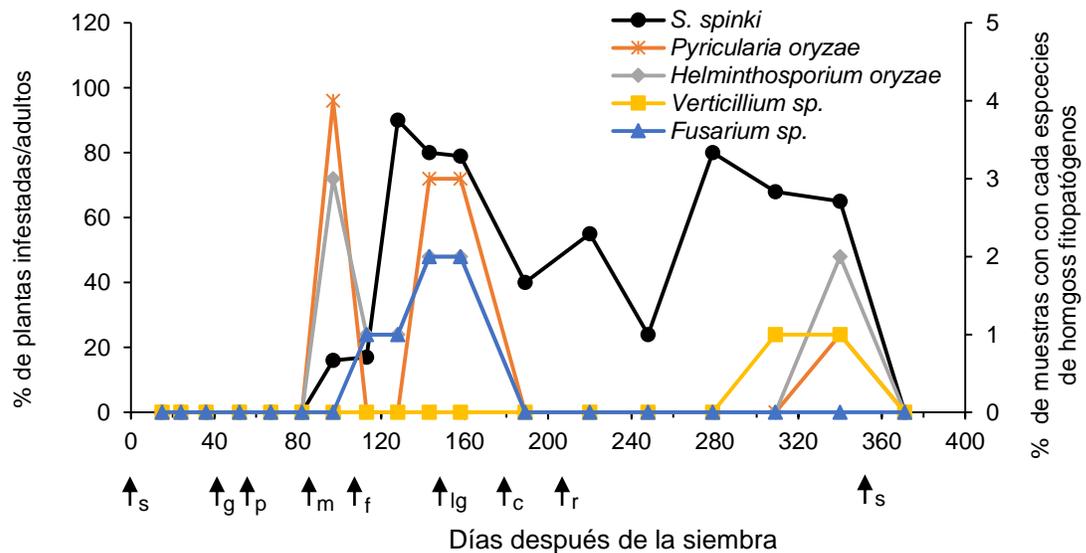


Figura 3. Incidencia de *Steneotarsonemus spinki* y hongos fitopatógenos en plantas de arroz variedad Milagro Filipino, a lo largo del desarrollo en Huimanguillo Tabasco, México. Las flechas indican el inicio de cada etapa fenológica del cultivo (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos).

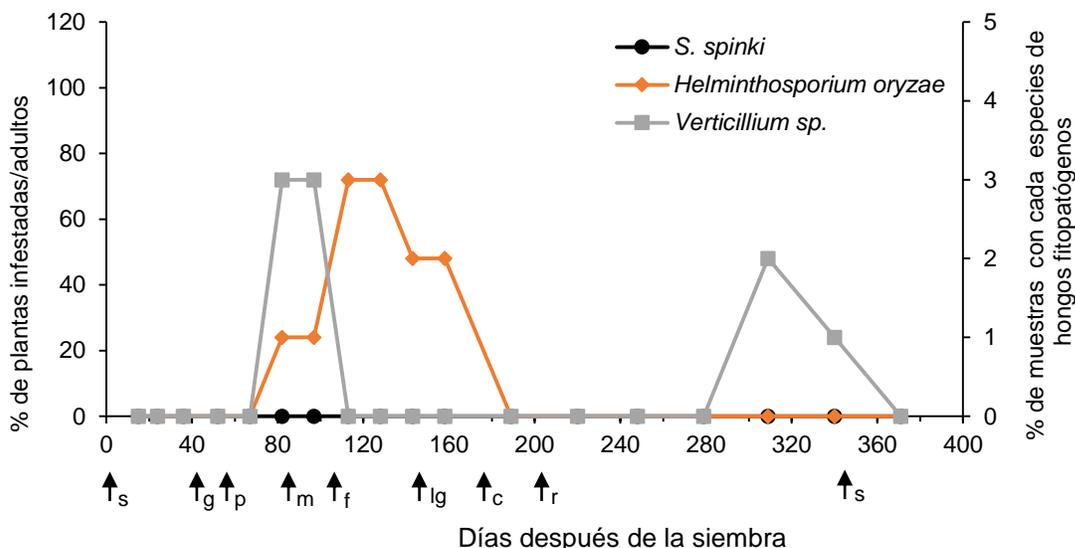


Figura 4. Incidencia de *Steneotarsonemus spinki* y hongos fitopatógenos en plantas de arroz variedad Milagro Filipino, a lo largo del desarrollo en Comalcalco Tabasco, México. Las flechas indican el inicio de cada etapa fenológica del cultivo (s=siembra, g=germinación, p=plántula, m=macollamiento, f=floración, lg= llenado de grano c=cosecha y r=rebrotos).

Durante las observaciones propias entre el 2014 y 2015 en las zonas productoras de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco, no se presentó *S. oryzae* pero sí el ácaro *S. spinki*, el cual infestó al 90 % de las plantas. En cambio en Comalcalco no se encontró a *S. spinki* mientras que los hongos fitopatógenos tuvieron una incidencia máxima de 3%; en este municipio no se observó vaneo de grano y sólo daños mínimos causados por hongos, en comparación con los municipio donde se encontró al ácaro. En Cárdenas y Huimanguillo, con alta incidencia de *S. spinki*, se observaron daños visibles; las plantas presentaban espigas erectas con síntomas característicos de vaneo, como los descritos por Cordero *et al.* (2001) y Sandoval *et al.* (1999 y 2001), quienes los atribuyen a la asociación de *S. spinki* con hongos fitopatógenos.

Durante las fases de germinación, macollamiento e inicio de la floración no se presentaron daños del ácaro o del hongo, pero sí al inicio del llenado de grano, donde los tallos presentaron manchones necrosados desde la base de la raíz hasta el inicio de las panículas, daños que se considera que son provocados por el ácaro (Figura 5). En estas etapas se encontró a *P. oryzae* y *H. oryzae* con incidencia por debajo de 1% de los tallos. En contraste, las poblaciones de *S. spinki* oscilaban entre 1400 a 2700 individuos (machos y hembras) y

los sitios poblados por este ácaro presentaban manchas necróticas de coloración café-oscuro, granos vacíos y deformaciones así como panículas vanas (Figura 6).



Figura 5. Plantas de arroz, en fases de llenado de granos con manchas necróticas de color café-oscuro en sitios infestados por *S. spinki*.

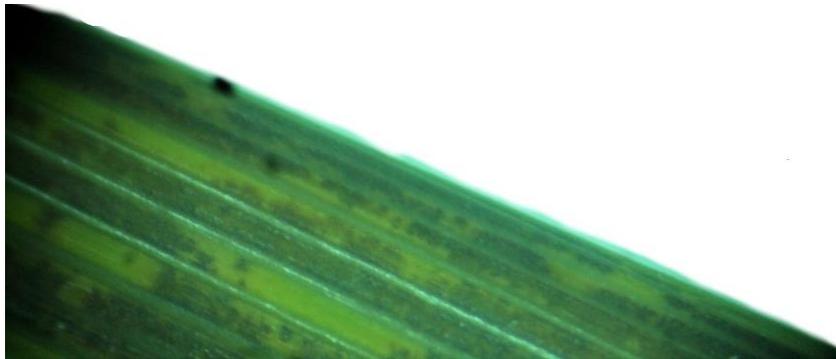


Figura 6. Manchas necróticas observadas en granos de arroz en la fase de maduración (llenado de grano), infestados por *S. spinki*. Observados bajo microscopio estereoscópico.

En Cárdenas y Huimanguillo se observaron panículas vanas, reconocidas por su posición erecta (Figura 7a), con manchas necrosadas de color café. Aunque algunas de estas panículas tenían la curvatura normal o caída atribuible al peso de los granos, presentaban algunas semillas manchadas (Figura 7b y c) y pobladas por altas densidades de *S. spinki* y no se recuperaron hongos fitopatógenos, salvo en un reducido número de casos. Estos daños no se observaron en el municipio de Comalcalco, donde *S. spinki* no fue detectado.

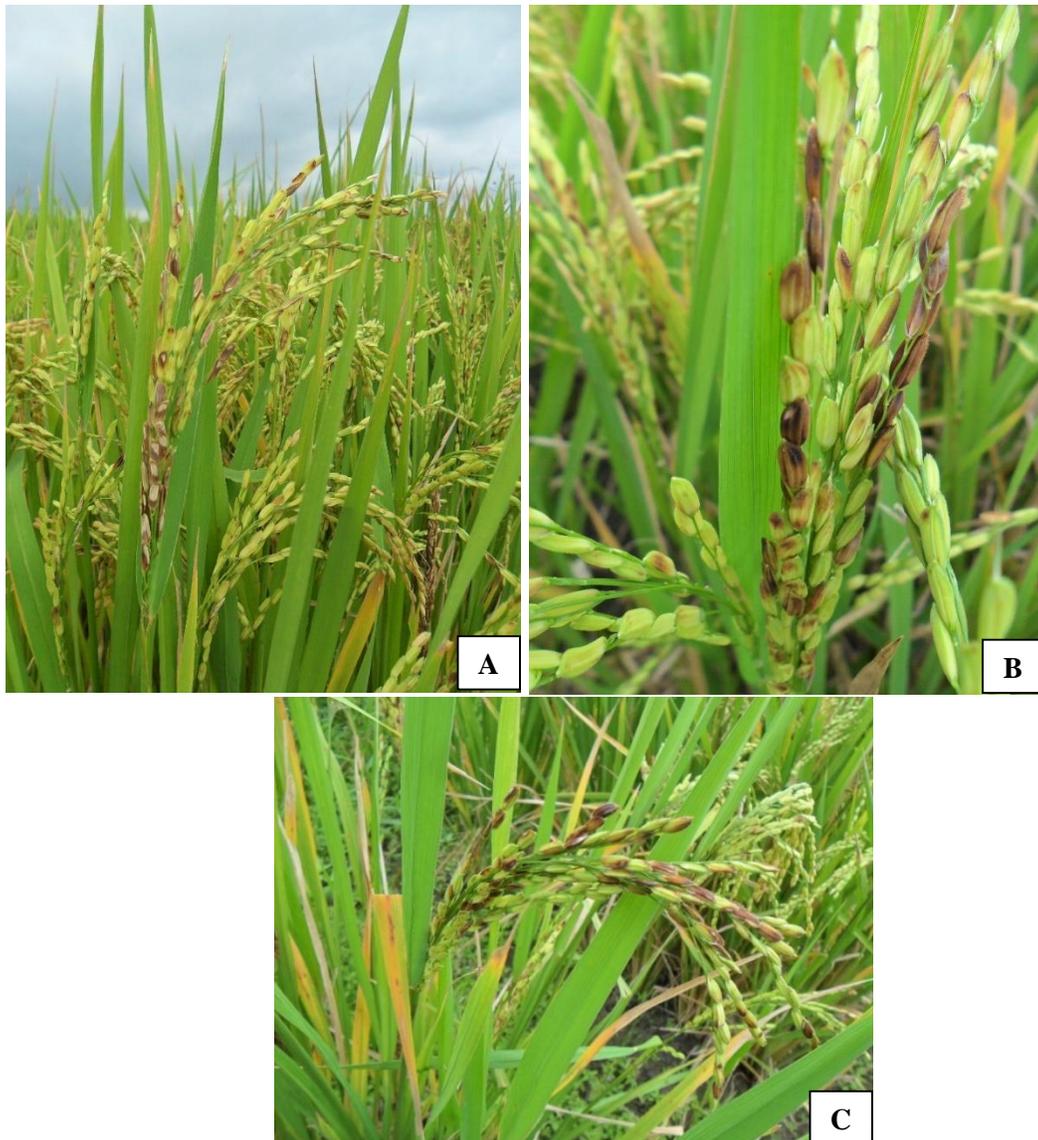


Figura 7. Daños en panículas en la fase de maduración A) panículas vanas, erectas y en algunos caso granos secos, B) inicio de manchado de los granos, C) panícula con un 50 % de granos manchados por la altas infestaciones de *Steneotarsonemus spinki*.

Después del llenado de grano se observó infestación de *S. spinki* en un 70 a 80 % de plantas infestadas por *S. spinki*, la característica principal para reconocer a golpe de vista a las plantas infestadas fue cuando el conjunto de hijos (macollos) presentaban manchones necrosados de color café oscuro a negro desde la base de la panta hasta el inicio de la hoja bandera. La hoja bandera también presentó infestaciones de ácaros y bajo ella los ácaros tendían a alimentarse en los granos más tiernos (Figura 8).



Figura 8. Daños panículas por infestaciones de *Steneotarsonemus spinki* en hoja bandera y panículas, durante la fase de maduración en variedad Milagro Filipino.

4.4.- DISCUSIÓN

Los daños observados durante el estudio, como son manchas necróticas y panículas vanas, concuerdan con los descritos por Ramos y Rodríguez (2001), Santos *et al.* (2004) y Chow *et al.* (1980). En Cuba se postuló que *S. oryzae* causa un alto grado de vaneo, disminución y tamaño de las plantas (Cordero *et al.*, 2001; Sandoval *et al.*, 2001; Sandoval *et al.*, 1999). En dicho país, *S. spinki* y *S. oryzae* fueron detectados con poca diferencia de tiempo, por lo que se desconocen casos de ataque individual por parte del ácaro o el hongo. Por consiguiente, Sandoval *et al.* (2001) y Sandoval *et al.* (1999) propusieron que el vaneo del arroz es causado por el efecto combinado de ambos organismos. Sin embargo, el daño atribuido a *S. oryzae* en los países donde está presente es un manchado de las vainas foliares, no vaneo de grano (Bigirimana *et al.*, 2015; Rivero *et al.*, 2012). En el presente trabajo el vaneo sólo se observó en plantas infestadas por *S. spinki* y no hongos. La evidencia de campo de este estudio permite descartar a *S. oryzae* como causante del vaneo de la espiga en la zona de estudio por que no se le detectó.

Cuando se sembraron ejemplares de *S. spinki* en medio PDA no se observó crecimiento de *S. oryzae* sobre el ácaro mencionado, por lo que se deduce que dicho hongo no está presente ni dentro o sobre el cuerpo del ácaro. Chen *et al.* (1979) reportaron que *S. spinki* llevaba esporas de *Acrocylindrium oryzae* Sawada (sinónimo de *S. oryzae*) sobre su cuerpo y postularon que sus síntomas estaban combinados con daños causados por *S. spinki*, por lo cual hasta la fecha se había considerado a este ácaro como el principal transportador de esporas de dicho hongo. En ninguno de los muestreos (18) se encontró a *S. oryzae*, pero sí se observó un alto grado de vaneo, claro que el daño al arroz en la zona de estudio no resulta de *S. oryzae* transportado por el ácaro *S. spinki*; por ello, el presente trabajo no sostiene el postulado de Chen *et al.* (*op. cit.*) sobre el papel de *S. spinki* como transportador de esporas, aunque en sitios de prevalencia de los mencionados ácaro y hongo este transporte y el daño combinado pueden llevarse a cabo.

Por otra parte, se ha mencionado que la vía de transmisión de *S. oryzae* es través de la semilla. Sin embargo, a través de varios aislamientos que se llevó a cabo en este trabajo la semilla no presentó indicios de estar infestada por el hongo. Ou (1977) hace referencia que en Taiwán

y China esta enfermedad (vaneo) está asociada con el ácaro *S. spinki*, además se ha atribuido el problema de la esterilidad a *S. oryzae* en asociación con *S. spinki* en Taiwán. El presente trabajo concuerda parcialmente con el citado.

Durante los muestresos efectuados no se detectó la presencia *S. oryzae*, pero no se descarta posibilidad de que este hongo esté presente en México. De hecho, CABI (2017) y Bigirimana *et al.* (2015) citan la presencia de este hongo en México pero no dan datos de su ubicación ni de la metodología para detectarlo, por lo cual los datos de su existencia en este país deben revisarse y corroborarse.

LITERATURA CITADA

- Almaguel L., Santos A., de la Torre P., Hernández J., Cáceres I. y Ginarte A. 2003. Dinámica de población e indicadores ecológicos del ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley 1968 (Acari: Tarsonemidae) en arroz de riego en Cuba. *Fitosanidad*. 7:23-30
- Barnett H. L. y Hunter B. 1972. *Illustrated general of imperfect fungi*. 4 ed. New York: Mc Millan Publishing Company. Pp. 241.
- Barrios L. M y Pérez I. O. 2005. Nuevos registros de hongos en semillas de *Oryzae sativa* en Cuba. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. 73: 64-67.
- Bigirimana V., Hua G. K. H., Nyamangyoku O. I. y Hofte M. 2015. Rice sheath rot: an emerging ubiquitous destructive disease complex. *Frontiers in Plant Science*. 6: 1-16.
- Bonilla B. T., Sandoval R. I., López M. O. y Porras A. 2002. Determinación del medio de cultivo para el crecimiento y esporulación de *Sarocladium oryzae* (Sawada) Gams & Hawks. *Fitosanidas*. 6: 15-18.
- CABI. 2017. *Crop Protection Compendium*. Wallingford: CABInternational.
- Cabrera I.R., García A., Otero-Colina G., Almaguel L. y Ginarte A. 2005. *Hirsutella nodulosa* y otros hongos asociados al ácaro tarsonémido del arroz *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) en Cuba. *Folia Entomológica Mexicana*. 44: 115-121.
- Cañedo y Ames. 2004. *Manual de laboratorio para el manejo de hongos entomopatógenos*. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 1-59.
- Cordero, V; Fabre, L; Correa, F; Rivero, L. 2002. Manejo integrado de *Pyricularia grisea* en el cultivo del arroz en Cuba. *In Encuentro Internacional de Arroz*. La Habana, Instituto de Investigaciones del arroz. Pp. 345.
- Cruz T. A., Martínez C. B. y Rivero G. D. 2009. Efecto de metabolitos y esporas del hongo *Sarocladium oryzae* Sawada sobre algunas Poáceas. *Fitosanidad*. 13: 151-153.

Chen C.N., Cheng C.C. and Hsiao K.C.1979. Bionomics of *Steneotarsonemus spinki* attacking rice plants in Taiwan in J.G. Rodríguez (ed), Recent Advances in Acarology. 111–117. Academic Press, New York.

Chow Y.S., Tzean S.S., Chang C.S. y Wang C.H. 1980. A morphological study of the tarsonemid mite *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Tarsonemidae). Plant Protection Bulletin. 22:17-21.

Chowdhury M. T. I., Salim Mian M., Taher Mia M. A., Rafii M. Y y Latif M. A. 2015. Agroecological variations of sheath rot disease of rice caused by *Sarocladium oryzae* and DNA fingerprinting of the pathogen's population structure. Genetics and Molecular Research. 14: 18140-18152.

Degiovanni V. M., Martínez R. C. P. y Motta O. F. 2010. Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. Publicación CIAT no. 370. Tomo I. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. Pp. 35-117

Gad M. A., Deka M., Ibrahim N, A., Mohmoud S. S., Kharwar R. N. y Bora T. C. 2014. Biocontrol of phytopathogenic fungi of rice crop using plant growth-promotin Rhizobacteria. In: R. N. Kharwar (Eds.). Microbial diversity and biotechnology in food security. Springer India.

Hummel N. A., Castro B. A., McDonald E. M., Pellerano M. A. y Ochoa R. 2009. The panicle rice mite, *Steneotarsonemus spinki* Smiley, a re-discovered pest of rice in the United States. Crop Protection. 28: 547-560.

International Seed Testing Association. 1976. International rules for seed testing. Seed Science & Technology. 4: 3-177.

Lacey, L. y W.M.Brooks. 1997. Initial handling and diagnosis of diseased insects. En Manual of techniques in insect pathology. Biological techniques series. Lacey, L (ed.) California (USA). Academic Press. Pp. 1 - 12

- Leyva F. Y., Zamora Z. N., Alvarez A. E y Jiménez M. 2003. Resultados preliminares de la dinámica poblacional del ácaro *Steneotarsonemus spinki*. Revista Electrónica Granma Ciencia. 7:(1).
- Moquete C. 2010. Guía técnica el cultivo de arroz. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal. Santo Domingo, República Dominicana.
- Navia D., Mendonca, R.S. y Ochoa R. 2010. The rice mite *Steneotarsonemus spinki*, an invasive species in the Americas. Springer Science Business Media B. V. 2010
- Ou Y. T., Fang H. C. y Tseng Y. H. 1977. Studies on *Steneotarsonemus madecassus* Gutierrez of rice. Plant Protection Bulletin. 19: 21-29.
- Ramos M. y Cabrera R. I. 2001. Presencia de *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) en cuatro variedades de arroz en la Republica Dominicana. Revista Protección Vegetal. 16: 6-9.
- Ramos M. y Rodríguez H. 1998. *Steneotarsonemus spinki* smiley (Acari: Tarsonemidae): Nuevo informe para Cuba. Rev. Protección Vegetal 13: 25-28.
- Rao, J., Prakash, A. 2003. Panicle mites causing sterility in farmers' paddy fields in India. Journal of Applied Zoology. 14: 212–217.
- Sandoval I., López M. O., Bonilla T. y Wong W. 1999. El manchado del grano por *Sarocladium oryzae* y otras especies fúngicas. Método de diagnóstico. Forum de Ciencia y Técnica. La Habana, INISAV. Pp. 2-7.
- Sandoval I., López M. O., Estrada G., Bonilla T. y Wong W. 2001. Hongos asociados al manchado del grano del arroz en variedades afectadas por la enfermedad de la pudrición de la Vaina. IV Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal. Cuba. Pp. 299-300.
- Santos, M. R., Navia D. N. y Cabrera R. I. 2004 *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Prostigmata: Tarsonemidae) – uma ameaça para a cultura do arroz no Brasil. EMBRAPA Documentos 117: 48 pp.

Shikata E., Kawano S., Senboku T., Tiogoo E. R. y Miyajima K. 1984. Small viruslike particles isolated from the leaf sheath tissues of rice plants and from the rice tarsonemid mites *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acarina: Tarsonemidae). *Annals of the Phytopathological Society of Japan*. 50: 368–374.

SIAP 2017. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp. Fecha de visita: 22 de abril de 2017.

VI.- CONCLUSIONES GENERALES

En este estudio se le observó por primera vez a *Steneotarsonemus spinki* a inicio de la floración en parcelas arroceras de dos municipios donde estuvo presente la plaga. En ningún sitio de evaluación se detectaron ácaros durante las etapas vegetativas del cultivo (germinación, plántula y macollamiento).

La lluvia y la baja disponibilidad de tejidos jóvenes tuvieron un claro efecto sobre las poblaciones de *S. spinki*.

La población de *S. spinki* se asocia más fuertemente con la fenología de las plantas que con algún factor climático en particular.

La variedad Milagro Filipino es altamente susceptible al ataque de *S. spinki*. Se recomienda realizar otros estudios para ver qué variedades son menos susceptibles al ataque de este ácaro.

Las medidas de control deben realizarse a partir del inicio de la floración y enfocarse principalmente a los períodos de sequía.

El viento es un medio importante para la dispersión de *S. spinki*. Las hembras adultas son la principal forma migratoria.

No se detectó foresia sobre insectos como una forma de diseminación de *S. spinki*.

El hongo *Sarocladium oryzae* no se detectó en los sitios de estudio durante los muestreos.

Los daños observados en las plantas deben atribuirse a la acción directa de *S. spinki* y no por el hongo *S. oryzae*, aunque no puede descartarse que en los sitios de estudio otra especie de hongo, entre los fitopatógenos detectados, pueda estar asociado con el ácaro y ejercer algún impacto magnificado por esta asociación.

Se recomienda realizar un estudio de daños tanto de *S. spinki* y *S. oryzae*, para una mejor identificación y descripción de daños.

Se detectaron individuos de *S. spinki*, en diferentes etapas de desarrollo, en tres especies de Poaceae (*Echinochloa colona* (L.) Link, *Leptochloa scabra* Nees y *Panicum maximum* Jacq.) y una de Cyperaceae (*Cyperus hermaphroditus* (Jacq. Standl), en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo.

Se confirmó a *Hirsutella kirchneri*, *Hirsutella thompsonii*, *Hirsutella thompsonii* var. *synnematoso*, *Hirsutella thompsonii* var. *thompsonii*, así como a *Hirsutella nodulosa* como las especies de acaropatógenos presente en los sitios de estudio.

Se confirma la presencia de *Pyricularia oryzae*, *Helminthosporium oryzae*, *Verticillium* sp. y *Fusarium* sp. como los hongos fitopatógenos de las zonas arroceras de Tabasco.

No se detectó a *Sarocladium oryzae* a lo largo de los muestreos, en ninguna localidad de estudio. Sin embargo, se observó vaneo y manchado de grano en plantas altamente infestadas por *S. spinki*. Por ello, se postula que el vaneo del grano es causado por el ácaro mencionado.