



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

ESTIMACIÓN POBLACIONAL Y LESIONES MORFO- HISTOLÓGICAS DE *Steneotarsonemus spinki* (ACARI: TARSONEMIDAE) EN ARROZ VAR. MORELOS A-92

ISIS ANMERANY JAIMEZ RUIZ

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

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

FEBRERO DE 2014

La presente tesis titulada: **ESTIMACIÓN POBLACIONAL Y LESIONES MORFOHISTOLÓGICAS DE *Steneotarsonemus spinki* (ACARI: TARSONEMIDAE) EN ARROZ VAR. MORELOS A-92**, realizada por la alumna: **ISIS ANMERANY JAIMEZ RUIZ** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. GABRIEL OTERO COLINA

ASESOR



DR. JUAN ANTONIO VILLANUEVA JIMÉNEZ

ASESOR



DR. JORGE VERA GRAZIANO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2014

**ESTIMACIÓN POBLACIONAL Y LESIONES MORFO-HISTOLÓGICAS DE
Steneotarsonemus spinki (ACARI: TARSONEMIDAE) EN ARROZ
VAR. MORELOS A-92**

**Isis Anmerany Jaimez-Ruiz, M.C.
Colegio de Postgraduados. 2014.**

RESUMEN

El ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley es una plaga del arroz, cultivo alimenticio de relevancia mundial. Se ha diseminado en diversas partes del mundo causando daños importantes. Se inocularon plantas de arroz var. Morelos A-92 con este ácaro con la finalidad de comprender mejor las lesiones que ocasiona para lo cual se evaluaron sus tasas poblacionales a lo largo del tiempo en diferentes fases del cultivo y se determinó el nivel de lesión morfológica e histológica causada por el ácaro. Se observó un máximo de población 13 semanas después de ser inoculadas las plantas, con 58.5 individuos/planta promedio, y mayor cantidad de hembras adultas a lo largo del ensayo. La lesión morfológica observada en las plantas de arroz se categorizó mediante una escala de 0 (plantas no infestadas, sin lesión) a 3 (mayor lesión debido a manchas en la epidermis adaxial de la vaina foliar). Las plantas en los niveles de lesión morfológica 0, 1 y 2 no presentaron alteraciones histológicas evidentes, mientras que con lesión morfológica 3 también hubo una clara lesión histológica debido a la destrucción de las células de la epidermis adaxial, con desarreglo, cambio de color e hipertrofia en las células del mesófilo, así como cambio de color en la epidermis abaxial. Se observó una correlación significativa ($r = 0.96$) entre la lesión morfológica y las poblaciones de ácaros.

Palabras claves: *Oryza sativa*, ácaro del vaneo, poblaciones, lesiones morfológicas, lesiones histológicas.

**POPULATION APPRAISAL AND MORPHO-HISTOLOGICAL INJURIES OF
Steneotarsonemus spinki (ACARI: TARSONEMIDAE) ON RICE
VAR. MORELOS A-92**

**Isis Anmerany Jaimez-Ruiz, M.C.
Colegio de Postgraduados. 2014.**

ABSTRACT

The mite *Steneotarsonemus spinki* Smiley is a rice pest, a food crop of primary world class. This mite has dispersed throughout many countries causing important injuries. To understand better the injuries caused, rice plants var. Morelos A-92 were inoculated with this pest; mite population rates were estimated along all crop stages, and morphological and histological injuries caused by this mite were determined. A population peak was observed 13 weeks after the plants were inoculated, with an average of 58.5 individuals/plant, being adult females the most abundant individuals. Morphological injuries observed on rice plants were categorized from level 0 (uninfested plants, no injuries) to 3 (highest injuries due to spots on the adaxial epidermis of the leaf sheath). Plants with morphological injury levels 0, 1 and 2 did not present clear histological injuries, while in those at level 3 histological injury was represented by destruction of cells of the adaxial epidermis, disorder, color change and hypertrophy in the mesophyll cells, as well as color change in the abaxial epidermis. A significant correlation ($r = 0.96$) was observed between morphological injury and mite populations.

Key words: *Oryza sativa*, rice mite, populations, histological injuries, morphological injures.

DEDICATORIA

A TATA ANA,
ese ser de luz que me inspiró y enseñó a ser
una mujer luchadora y trabajadora, en busca siempre de lo mejor

A mis padres, **RAMÓN y SUSANA,**
por ser los ángeles guardines de mis sueños terrenales

AGRADECIMIENTOS

Mi formación académica en la maestría de Entomología y Acarología, así como la elaboración de esta tesis fue posible a la colaboración de varias personas e instituciones por lo que quiero agradecer:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por financiamiento durante mi maestría en el Colegio de Postgraduados.

Al Dr. Gabriel Otero por sus enseñanzas durante estos años de estudio en la maestría y lograr encender en mí la chispa en el apasionante mundo de los ácaros.

Al comité evaluador de la tesis, el Dr. Juan Villanueva y el Dr. Jorge Vera por sus consejos durante la realización de la tesis, así como de las correcciones realizadas para mejorar el trabajo escrito.

A la Dra. Lupita Valdovinos por su apoyo en la ejecución y evaluación a nivel histológico de las lesiones, por sus correcciones para mejorar el artículo de este proyecto y por su participación como sinodal en esta tesis.

Al Dr. Alejandro Pérez Panduro por su colaboración en ceder espacio dentro de su invernadero para el crecimiento de plantas de arroz.

Al Dr. Humberto Vaquera por el asesoramiento en el análisis estadístico de los datos obtenidos durante la investigación.

Al Laboratorio de Microscopia Electrónica del Colegio de Postgraduados, en especial a la Lic. Greta Rosas, así como al M.C. Jorge Valdez por la colaboración en la preparación y fotografiado de muestras para el proceso de microscopía electrónica de barrido.

A los productores Sr. Victorino en Veracruz y el Sr. Víctor Gaona en Morelos por ser colaboradores en la toma de muestras de arroz en sus fincas y así apoyar la investigación.

A Nacho por su incondicional ayuda en el laboratorio y en las salidas de campo. Y al M.C. Marco Salazar por su apoyo en algunas salidas de campo para coleccionar arroz.

A un nivel personal debo agradecer:

A mi papito Ramoncito por ser el sabio consejero en mi vida personal y profesional.

A mi madre Susana por su espíritu mágico, sus palabras de aliento y su ternura.

A mi hermano Mikha, por tener siempre esas palabritas apropiadas y guiar mi camino hacia la perfección.

A mi familia que desde la distancia siempre me apoyan, en especial a Mamameche por su amor y sus oraciones, a mis tíos por su incondicional cariño, a mis primos por su ternura, travesuras y lindas sonrisas. A mi cuñada por ser mi compinche y tener una vibra impulsadora a conseguir lo que se quiere; a mis sobrinos, la mejor de las bendiciones e inocencias que me regaló la vida... Desde lejos un TE QUIERO y un TU PUEDES me dio ánimo a seguir.

A mis panitas venezolanos por estar pendientes de mí y desearme siempre lo mejor... me han demostrado que no importan las distancias porque el cariño y los recuerdos vencen las barreras.

A mi banda mexicana (Adri, Emma, Ale, Gabo, Fany, Balta, Mario, Pato, Eber, Augusto y Nay) por ser esa familia en esta tierra del mariachi, el tequila y el picante. Por los excelentes momentos vividos.... Toda locura y el placer de estar feliz con ustedes hacen más fácil el trabajo y el vivir al máximo en México.

A Adriana por ser una cómplice, una hermana y la planeadora de muchas sonrisas.

A Emma mi querida rommie por sus consejos, alegrías y ser ese equilibrio en mi vida.

A Ale por su apoyo tanto en las salidas de campo realizadas en la tesis, como por ser mi fiel compañero de aventuras e iluminar mis días de felicidad.

A Gabo por ser esa estrellita brillante que hace que mis días estallen con la mejor energía.

A todos aquellos que de una u otra manera se cruzaron en mi vida desde que llegué a México he hicieron de esta tesis y de esta maestría una mejor experiencia.

Isis

CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE CUADROS.....	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. Objetivos generales.....	4
3.2. Objetivos específicos.....	4
4. HIPÓTESIS.....	5
5. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
5.1. Arroz.....	6
5.1.1. Descripción.....	6
5.1.2. Importancia a nivel mundial y nacional.....	9
5.1.3. Variedades.....	12
5.1.4. Plagas.....	12

5.2. <i>Steneotarsonemus spinki</i>	13
5.2.1. Taxonomía.....	13
5.2.2. Ciclo de vida de <i>Steneotarsonemus spinki</i> y condiciones ambientales de crecimiento.....	14
5.2.3. Historia.....	15
5.2.4. Distribución.....	16
5.2.5. Ubicación del ácaro en el arroz.....	17
5.2.6. Asociación con microorganismos	18
5.2.7. Comportamiento.....	18
5.2.8. Lesiones.....	19
5.2.9. Propuestas de control.....	20
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
6.1. Formación de colonia una colonia de <i>Steneotarsonemus spinki</i> ...	22
6.2. Identificación de <i>Steneotarsonemus spinki</i>	24
6.3. Evaluación de lesiones.....	24
6.3.1. Selección del material a estudiar.....	24
6.3.2. Inoculación con <i>Steneotarsonemus spinki</i> y lesiones en arroz...	26
6.3.3. Efectos de la infestación de <i>Steneotarsonemus spinki</i> en el crecimiento de las plantas.....	28
7. RESULTADOS.....	30
7.1. Fluctuación de poblaciones de ácaros.....	30
7.2. Lesiones morfológicas.....	32
7.3. Lesiones histológicas.....	36
7.4. Efecto de las poblaciones de ácaros y las lesiones observadas en el crecimiento de las plantas.....	38
8. DISCUSIÓN.....	40
8.1. Fluctuación de poblaciones de ácaros.....	40
8.2. Lesiones morfológicas.....	42

8.3. Lesiones histológicas.....	43
8.4. Efecto de las poblaciones de ácaros y las lesiones observadas en el crecimiento de las plantas.....	44
9. CONCLUSIONES.....	46
10. LITERATURA CITADA.....	47

LISTA DE FIGURAS

		Paginas
Figura 1	Superficie sembrada (ha) y producción (t) de arroz en México en los años posteriores a la presencia de <i>Steneotarsonemus spinki</i> en el país (SIAP, 2013b).....	2
Figura 2	Fases de crecimiento del arroz (redibujado de Cultivo de arroz, 2013; González y Zamorano, 2009).	7
Figura 3	Corte transversal de una vaina foliar. A. Cortes histológicos (fotos originales). B. Corte visto en un microscopio electrónico de barrido (foto original, tomada en la Unidad de Microscopía Electrónica del Colegio de Postgraduados).....	8
Figura 4	Producción de arroz a nivel mundial (FAO, 2013).....	10
Figura 5	Estados productores de arroz en México.....	11
Figura 6	Ciclo de vida de <i>Steneotarsonemus spinki</i> (fotos originales, tomadas en la Unidad de Microscopía Electrónica del Colegio de Postgraduados).....	14
Figura 7	Distribución de <i>Steneotarsonemus spinki</i> en el mundo.....	17
Figura 8	Macho cargando en su dorso a una ninfocrisálida hembra con sus patas posteriores (patas III y IV) (foto original).....	19
Figura 9	Cultivo de arroz con <i>Steneotarsonemus spinki</i> en Piedras Negras, Veracruz, México.....	22
Figura 10	Lesiones en el cultivo de arroz por <i>Steneotarsonemus spinki</i> en Piedras Negras, Veracruz, México.....	23
Figura 11	Observación de las vainas foliares del arroz bajo un estereoscopio. Se observan diferentes individuos de varios estados de desarrollo de <i>Steneotarsonemus spinki</i>	23
Figura 12	Plántulas de arroz sin <i>Steneotarsonemus spinki</i> Campos de Mazatepec, Morelos, México.....	25
Figura 13	Siembra de plántula de arroz de la variedad A-92 en	

	charolas con suelo estéril. A. Extracción de plántulas de arroz y suelo en Campus de Mazatepec, Morelos. B. Plántulas de arroz y suelo en bolsas para trasladar al laboratorio. C. Suelo previo a esterilización. D. Plántulas sin presencia de ácaros. E. Esterilización de suelo proveniente de campo. F. Plántulas de arroz (provenientes de campo) sembradas en suelo estéril.....	26
Figura 14	A. Plantas de arroz dentro del laboratorio en condiciones ambientales controladas, en un diseño experimental completamente al azar. B. Tratamiento sin inoculación de ácaros correspondiente al testigo. C. Tratamiento con inoculación de ácaros. D. Forma de inoculación con ejemplares de diferentes estados de desarrollo dentro de un trozo de vaina foliar colocada en la parte interna de una inserción entre vainas foliares.....	27
Figura 15	Población de <i>Steneotarsonemus spinki</i> por planta a lo largo del tiempo.....	31
Figura 16	Individuos en cada estado de desarrollo (h: huevo, lv: larva, nc: ninfocrisálida, ♀: hembra, ♂: macho) de <i>Steneotarsonemus spinki</i> por planta a lo largo del tiempo...	32
Figura 17	Escala de lesiones morfológicas en las plantas de arroz. A. Comparación entre los niveles de lesión. En círculo manchas en el exterior de las vainas B. Lesión morfológica 0 (sin lesión, ni manchas en interior de la vaina). C. Lesión morfológica 1 (manchas dispersas en interior de la vaina donde indica la flecha, en círculo presencia de ácaros). D. Lesión morfológica 2 (manchas en interior de la vaina donde indica la flecha, en círculo presencia de ácaros). E. Lesión morfológica 3 (necrosis en interior de la vaina donde indica la flecha, en círculo presencia de ácaros, dentro cuadrado ácaros muertos).....	34

Figura 18	Superficie de la epidermis adaxial de las vainas foliares vista con microscopio electrónico de barrido. A. Superficie con nivel de lesión 0. B. Superficie con nivel de lesión 1. C. Superficie con nivel de lesión 2. D. Superficie con nivel de lesión 3.....	36
Figura 19	A. Tejidos sin lesión histológica por el ácaro. B. Tejidos con lesión histológica por el ácaro.....	37

LISTA DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1 Producción agrícola de cereales en México para 2012, modalidad de riego y temporal (SIAP, 2013a).....	10
Cuadro 2 Producción agrícola de arroz palay en México para 2012, modalidad de riego y temporal.....	11
Cuadro 3 Resultados de ANOVA de altura de plantas y número de brotes en plantas infestadas y no infestadas por <i>Steneotarsonemus spinki</i>	38
Cuadro 4 Correlación de Spearman (arriba en cada celda) y su nivel de significación (valor de probabilidad, abajo en cada celda) para las variables de observación en la planta de arroz bajo el efecto de dos tratamientos a lo largo del tiempo.....	39

1. INTRODUCCIÓN

Steneotarsonemus spinki Smiley es una plaga que llega a ser la más peligrosa y dañina para los cultivos de arroz debido a su alta reproducción en corto tiempo, su ubicación dentro de las vainas foliares, la asociación que tiene con otros microorganismos y su amplia distribución en los países productores de dicho cultivo (Rodríguez y Quirós, 2009).

Hasta el momento se tiene el conocimiento de la distribución de la especie en el mundo (CABI y EPPO, 2010), la descripción (Hummel *et al.*, 2009; Smiley, 1967) y la biología de ésta (Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria, 2005; Jhansi *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2002; Santos *et al.*, 2004). Además se han realizado estudios en cuanto a poblaciones del ácaro en diferentes países como Cuba (Almaguel *et al.*, 2000; Hernández, 2006; Leyva *et al.*, 2003), Panamá (Quirós-McIntire y Camargo, 1011), República Dominicana (Ramos *et al.*, 2001), Venezuela (Sandoval *et al.*, 2009), India (Karmakar, 2012) y Vietnam (Thuy *et al.* 2012) en diferentes variedades de arroz correspondientes a las existentes en cada país. También se han evaluado diferentes métodos de control para dicha plaga basándose en aplicación de productos químicos (Almaguel y Botta, 2005; Correa-Victoria, 2006), organismos biológicos (Almaguel y Botta, 2005; Cabrera *et al.*, 2005; Hummel *et al.*, 2009; Orona, 2008; Peteira *et al.*, 2008) y el uso de un control cultural (Almaguel y Botta, 2005; Orona, 2008). Finalmente, se han demostrado las lesiones morfológicas que es capaz de hacer este ácaro (Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria, 2005; Santos *et al.*, 2004), pero sólo Ramos y Rodríguez (2000) demostraron lesión a nivel histológico. Sin embargo, en México escasea la información con respecto a esta plaga.

Los productores de arroz en México han observado en sus cultivares la producción de un grano vano que afecta la economía del cultivo, lo cual es causado por el ácaro y según el Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria (2005), se debe a los efectos en la combinación de las lesiones directas e indirectas que causa el ácaro al alimentarse de las vainas foliares. Este efecto negativo se ha visto en México desde

el año 2006 cuando se determinó la presencia de la plaga en los cultivares de arroz de este país (Figura 1); en consecuencia, las superficies sembradas y la producción han disminuido prácticamente en un 50%. En el año 2006 se sembraban 337249 ha y se produjeron 73824 t, seis años después se sembraron apenas 178787 ha y se produjeron 32710 t (SIAP, 2013b).

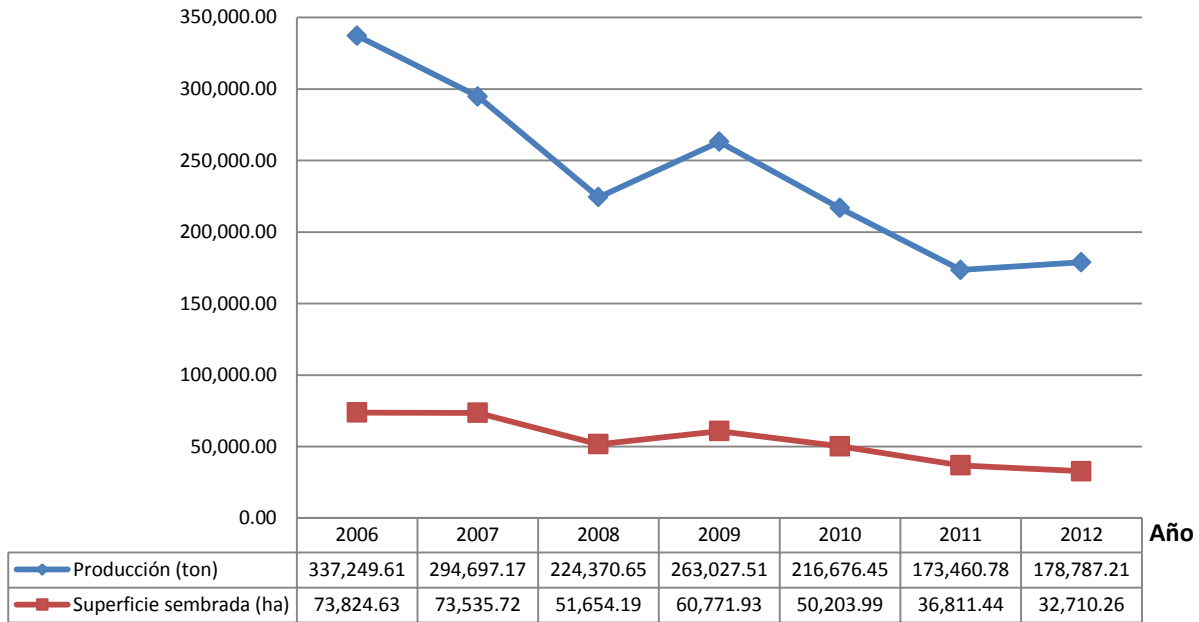


Figura 1. Superficie sembrada (ha) y producción (t) de arroz en México en los años posteriores a la presencia de *Steneotarsonemus pinki* en el país (SIAP, 2013b).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México hasta el momento sólo se tiene el conocimiento de la presencia de la especie del ácaro *S. spinki* asociado como plaga del arroz. Sin embargo, no se han realizado estudios de su comportamiento, biología, ecología, daños ni evaluación de poblaciones. Por ello, la importancia de realizar estudios sobre esta plaga y la necesidad de formular estrategias de manejo integrado de plagas usando métodos de control cultural, biológico e incluso algunos de control químico sistémico para disminuir las poblaciones de la plaga, que permitan evitar al máximo las lesiones y daños a la planta, lo que a su vez repercute en la producción del cultivo y la economía del país. En el presente trabajo se observan las lesiones morfológicas e histológicas en diferentes fases de crecimiento en condiciones de laboratorio asociadas a diferentes poblaciones del ácaro en la variedad de arroz Morelos A-92, de tal manera de determinar correlaciones entre ácaros y su lesión, así como analizar su sensibilidad a la presencia del ácaro.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivos generales

- Describir las lesiones que causa *S. spinki* al alimentarse de arroz de la variedad Morelos A-92 en México.
- Evaluar poblaciones de *S. spinki* en la variedad de arroz Morelos A-92 en México

3.2. Objetivos específicos

- Corroborar la identificación de *S. spinki* en las plantas de estudio.
- Evaluar las lesiones morfológicas de *S. spinki* en diferentes fases del crecimiento del arroz en condiciones de laboratorio.
- Observar las lesiones histológicas que ocasiona *S. spinki* en el arroz en condiciones de laboratorio en diferentes fases de crecimiento del cultivo.
- Determinar las poblaciones de *S. spinki* por planta y asociarlas con las lesiones morfo-histológicas, así como con las variables morfológicas.

4. HIPÓTESIS

Poblaciones de *S. pinki* son capaces de causar lesiones externas, de apariencia, en las vainas foliares y en general en toda la planta e incluso hasta la semillas del arroz, además de causar lesiones internas a nivel de tejidos como consecuencia de la alimentación del ácaro en las vainas foliares.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Arroz

5.1.1. Descripción

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cultivos más importantes en el consumo de los seres humanos a nivel mundial (Vivas *et al.*, 2010), por ser una fuente energética y proteica. Su importancia también se debe a otros usos de la planta; su granillo se aprovecha en la industria cervecera; la cáscara, en la fabricación de alimentos balanceados para animales; e incluso el arroz se usa para la fabricación de materiales en la construcción (SIAP, 2013b).

Es una gramínea de tallos cilíndricos, con nudos muy ramificados, con hojas que se van alternando y se envainan al tallo, las que terminan en una panícula que contiene flores o espiguillas de color verde blanquecino, que posteriormente formarán el grano (SAG y DICTA, 2003).

El arroz presenta tres fases de crecimiento; una fase vegetativa, una reproductiva y una de maduración (Figura 2) (González y Zamorano, 2009; SAG y DICTA, 2003). La primera es la fase vegetativa, que dura de 55 a 65 días aproximadamente; está constituida por cuatro etapas, comenzando por el proceso de germinación con una semilla formada por una hoja primaria, un coleoptilo y una radícula. Después se desarrolla la plántula formada por un tallo, cinco hojas y también aparecen las raíces secundarias. Posteriormente se da la etapa de macollamiento (ahijamiento), donde los macollos surgen de las yemas auxiliares ubicadas en los nudos. Finalmente, en la etapa de elongación del tallo se pueden seguir generando macollos y se da el crecimiento de la planta.

La segunda fase es la de reproducción, que dura aproximadamente unos 35 días. Se desarrolla en tres etapas, primero se engruesa el tallo, posteriormente se desarrolla la panícula (embuche) a través de la vaina foliar y finaliza con la floración, dada por la apertura de la espiga un día después de la salida de la panícula.

La última fase es la de maduración, que dura 30 días aproximadamente, donde se desarrolla el grano en tres etapas: primero se genera un grano lechoso y suave, momento en el cual comienza a curvarse la panícula; posteriormente el grano se torna pastoso y pasa de color verde a amarillento, con una consistencia suave a dura; después el grano llega a su madurez tornándose de color amarillo y de consistencia dura; en este punto la planta finaliza su ciclo.

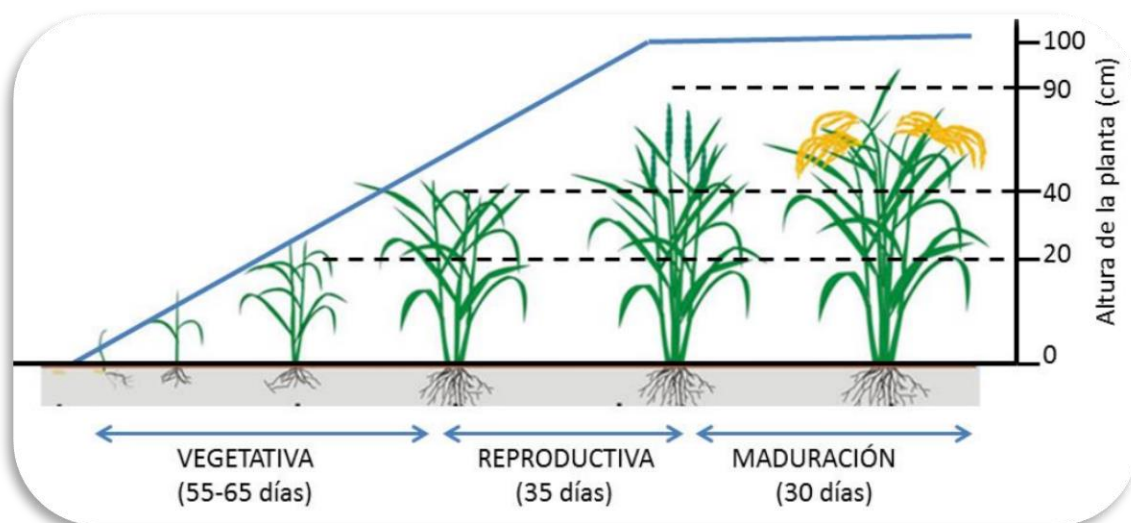


Figura 2. Fases de crecimiento del arroz (redibujado de Cultivo de arroz, 2013; González y Zamorano, 2009).

Este cultivo se desarrolla con mayor facilidad en climas húmedos tropicales. Su principal característica es que requiere de grandes cantidades de agua. Se desarrolla a una temperatura óptima de 30°C. El suelo en el que crece debe tener un pH óptimo de 6.6, además de tener la capacidad de retener agua, un alto contenido de materia orgánica y que sea preferiblemente pesado y arcilloso (CONAPAMEX, 2013; González y Zamorano, 2009; SIAP, 2013b).

El tejido de la vaina foliar en el corte transversal (Figura 3) está caracterizado por presentar una cutícula delgada con una capa de epidermis adaxial (epidermis interior de la vaina foliar), dentro de ésta se observan en algunos puntos unas células buliformes (que ayudan a enrollar o desplegar la hoja dependiendo de los cambios de turgencia) (Figura 3A), luego de un mesófilo unistratificado u homogéneo, después la presencia de un haz vascular formado por xilema y floema, rodeado por un estrato de células parenquimatosas, y finalmente una capa de epidermis abaxial (epidermis exterior de la vaina foliar). Además tiene grandes espacios intercelulares (para el intercambio gaseoso) característicos de esta especie (Figura 3B) (Esau, 1982; Bidlack y Jansky, 2011).

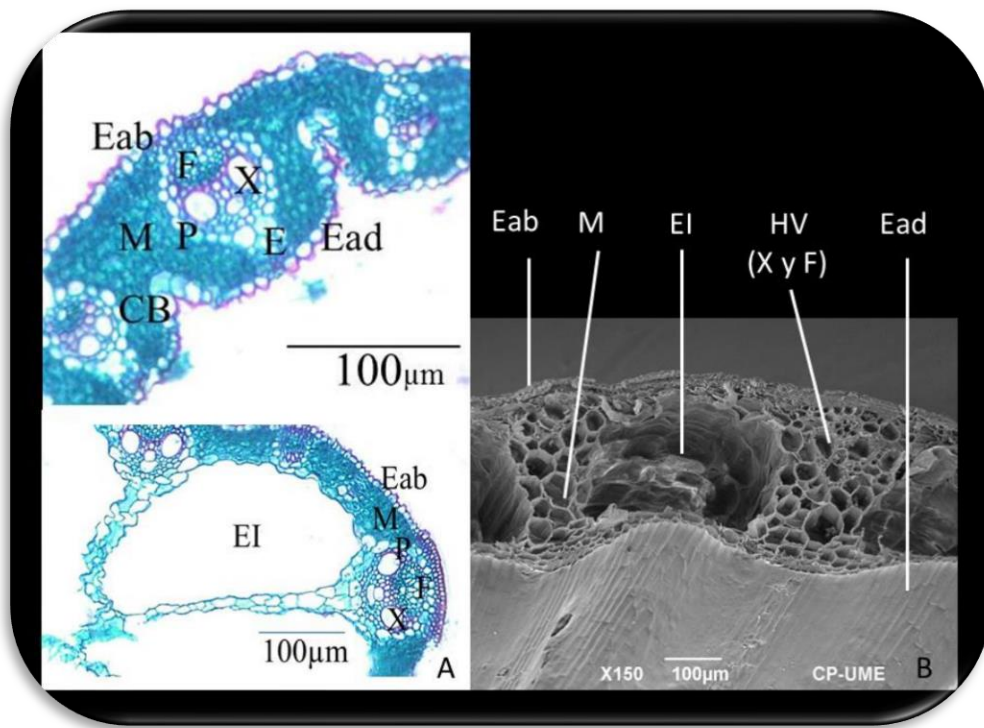


Figura 3. Corte transversal de una vaina foliar. A. Cortes histológicos (fotos originales). B. Corte visto en un microscopio electrónico de barrido (foto original, tomada en la Unidad de Microscopía Electrónica del Colegio de Postgraduados).

Ead: epidermis adaxial, Eab: epidermis abaxial, M: mesófilo, HV: haz vascular, X: xilema, F: floema, P: parénquima, CB: células buliformes, EI: espacios intercelulares.

5.1.2. Importancia a nivel mundial y nacional

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2013), la producción de arroz a nivel mundial ascendió a 730.9 millones de t en 2012 y se estimó un aumento de 16 millones de t más en 2013 (Figura 4). Estas cifras de alta producción se deben principalmente a países asiáticos.

En México, el arroz es el cuarto cereal de importancia que siembra después del maíz, el trigo y la cebada (SIAP, 2013a), pero es el primero con respecto al rendimiento (producción (t) por superficie sembrada (ha) (Cuadro 1) y de allí el valor de mantener la producción del arroz en este país.

De acuerdo con los datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2013b), en México se produce arroz palay en 13 estados (Figura 5). Se siembra una superficie total de 32710.26 ha, que aportan una producción de 178787.21 t (Cuadro 2), lo cual corresponde a menos del 1% de la producción latina de arroz para el año 2012.

Los estados con mayor superficie sembrada (ha) y mayor producción (t) son Campeche, Nayarit, Michoacán, Veracruz y Colima. Pero los que tienen el mejor rendimiento (producción por superficie sembrada) (t/ha) corresponden a Morelos, Michoacán, México y Colima (Cuadro 2), según datos del año 2012 (SIAP, 2013b).

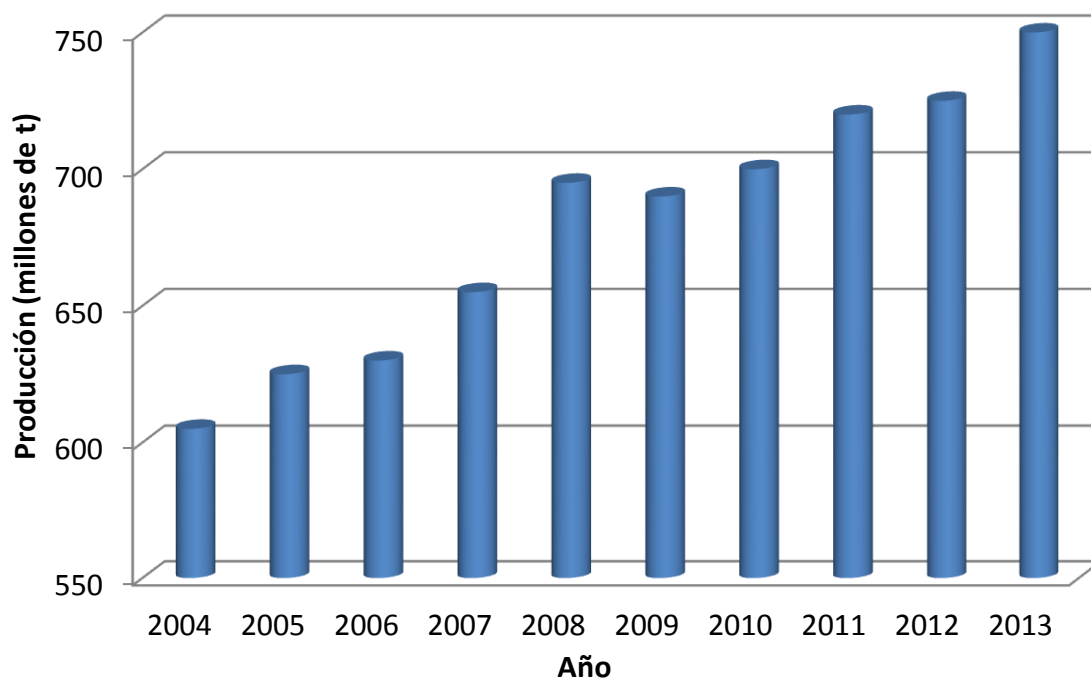


Figura 4. Producción de arroz a nivel mundial (FAO, 2013).

Cuadro 1. Producción agrícola de cereales en México en el 2012, modalidad de riego y temporal (SIAP, 2013a).

Cultivo	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	PMR (\$/t)	Valor Producción (Miles de pesos)
Maíz grano	7372218.19	6923899.73	22069254.42	3.19	4009.63	88489574.63
Trigo grano	589014.88	578836.38	3274336.75	5.66	3608.10	11814130.44
Cebada grano	335767.61	328190.81	1031533.44	3.14	3824.18	3944769.73
Arroz palay	32710.26	31795.26	178787.21	5.62	3774.95	674913.49
Avena grano	48041.20	47059.70	84403.92	1.79	5036.12	425067.99



Figura 5. Estados productores de arroz en México.

Cuadro 2. Producción agrícola de arroz palay en México durante 2012, modalidades de riego y temporal (SIAP, 2013b).

Ubicación	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	PMR (\$/t)	Valor Producción (miles de pesos)
Campeche	8725.00	8252.00	32596.10	3.95	3995.40	130234.50
Chiapas	511.00	511.00	1069.72	2.09	3874.81	4144.96
Colima	2679.00	2679.00	17501.30	6.53	3340.51	58463.22
Guerrero	267.00	267.00	1375.69	5.15	4813.56	6621.96
Jalisco	2130.00	2130.00	12535.10	5.88	3891.15	48775.91
México	66.00	66.00	551.00	8.35	3654.35	2013.55
Michoacán	3894.00	3894.00	35528.29	9.12	3594.41	127703.31
Morelos	1373.20	1373.20	14028.60	10.22	4094.57	57441.15
Nayarit	6542.80	6542.80	37006.74	5.66	3800.97	140661.61
Oaxaca	115.25	115.25	449.48	3.90	3900.00	1752.97
Tabasco	1993.00	1551.00	6276.00	4.05	3742.19	23486.00
Tamaulipas	659.30	659.30	3762.30	5.71	3770.19	14184.59
Veracruz	3754.71	3754.71	16106.89	4.29	3689.71	59429.75
	32710.26	31795.26	178787.21	5.62	3774.95	674913.49

5.1.3. Variedades

En México se siembra principalmente la variedad Milagro Filipino, el cual es un grano medio-corto de dos a tres veces más largo que ancho, además es un grano grueso o inflado, mide de 5.9 a 6.3 mm de longitud por 2.3 a 2.7 mm de ancho; su apariencia es de blanco a cristalino. La segunda variedad más sembrada para el país es la de Morelos, encontrando las subvariedades A-92, A-98 y la más reciente la 2010; éstas se caracterizan por ser un grano largo tres veces más largo que ancho, ligero, mide de 7.42 a 8.38 mm de longitud por 2-48 a 2.81 mm de ancho, blanco de apariencia (CONAPAMEX, 2013; Orona, 2008).

5.1.4. Plagas

El arroz se cultiva en zonas tropicales con clima relativamente caliente y húmedo (CONAPAMEX, 2013), pero este clima también permite que exista una gran diversidad de insectos asociados a dicho cultivo, entre los que se destacan como plagas principales *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Lepidoptera), *Diatrea* spp. (Lepidoptera), *Oebalus* spp. (Hemiptera), *Mormidea* spp. (Hemiptera) (Pantoja *et al.*, 1997), *Tagosodes orizicolus* (Muir) (Hemiptera) (Peñaranda, 1999), *Lissorhoptrus brevirostris* Suffrian (Coleoptera) (Meneses *et al.*, 2001), *Stenchaetothrips biformis* (Bagnall) (Thysanoptera) y *Trigonotylus tenuis* Reuter (Hemiptera) (Vivas *et al.*, 2010). Además, se sabe de la asociación con dos especies de ácaros, *Oligonychus oryzae* (Hirst) (Jhansi *et al.*, 2008) y *S. spinki* (Acari) (Rodríguez y Quirós, 2009). A nivel mundial esta última especie de ácaro es la que más causa daño al cultivo de arroz (Rodríguez y Quirós, 2009).

5.2. *Steneotarsonemus spinki*

5.2.1. Taxonomía

Steneotarsonemus spinki es una especie de ácaro que pertenece al orden de los Trombidiformes y se encuentra dentro de la familia de los Tarsonémidos. Esta especie se considera exitosa como plaga invasiva por su distribución, ubicación en la planta, su forma de alimentación y la asociación que tiene con otros microorganismos. Tiene un gnatosoma reducido, fuerte dimorfismo sexual y un ciclo de vida corto (aproximadamente de una semana) (Hoy, 2011; Krantz y Walter, 2009), lo que cataloga a este ácaro como una plaga peligrosa para el cultivo de arroz.

Steneotarsonemus spinki es conocido como el ácaro blanco del arroz, ácaro del vaneado de arroz, rice tarsonemid mite, rice mite, panicle mite, dust mite, ácaro da panícula do arroz, ácaro do arroz, o tarsonemídeo do arroz (Santos *et al.*, 2004).

La taxonomía de este ácaro es la siguiente (Krantz y Walter, 2009):

Reino: Animalia

Phylum: Arthropoda

Clase: Arachnida

Subclase: Acari

Superorden: Acariformes

Orden: Trombidiformes

Suborden: Prostigmata

Supercohorta: Eleutherengonides

Cohorte: Heterostigmata

Superfamilia: Tarsonemoidea

Familia: Tarsonemidae

Género: *Steneotarsonemus*

Especie: *Steneotarsonemus spinki* Smiley, 1967.

5.2.2. Ciclo de vida de *Steneotarsonemus spinki* y condiciones ambientales de crecimiento

Steneotarsonemus spinki tiene un ciclo de vida caracterizado por cuatro estados de desarrollo (Figura 6). El primer estado corresponde al huevo, luego sigue una fase larval (activa), posteriormente pasa a una ninfocrisálida (larva quiescente, inactiva) y finalmente el estado adulto constituido por machos y hembras. Estos ácaros son muy pequeños, no pueden ser vistos a simple vista, requieren el uso de un microscopio en laboratorio o de una lupa 10x en campo (Dossmann *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2004).

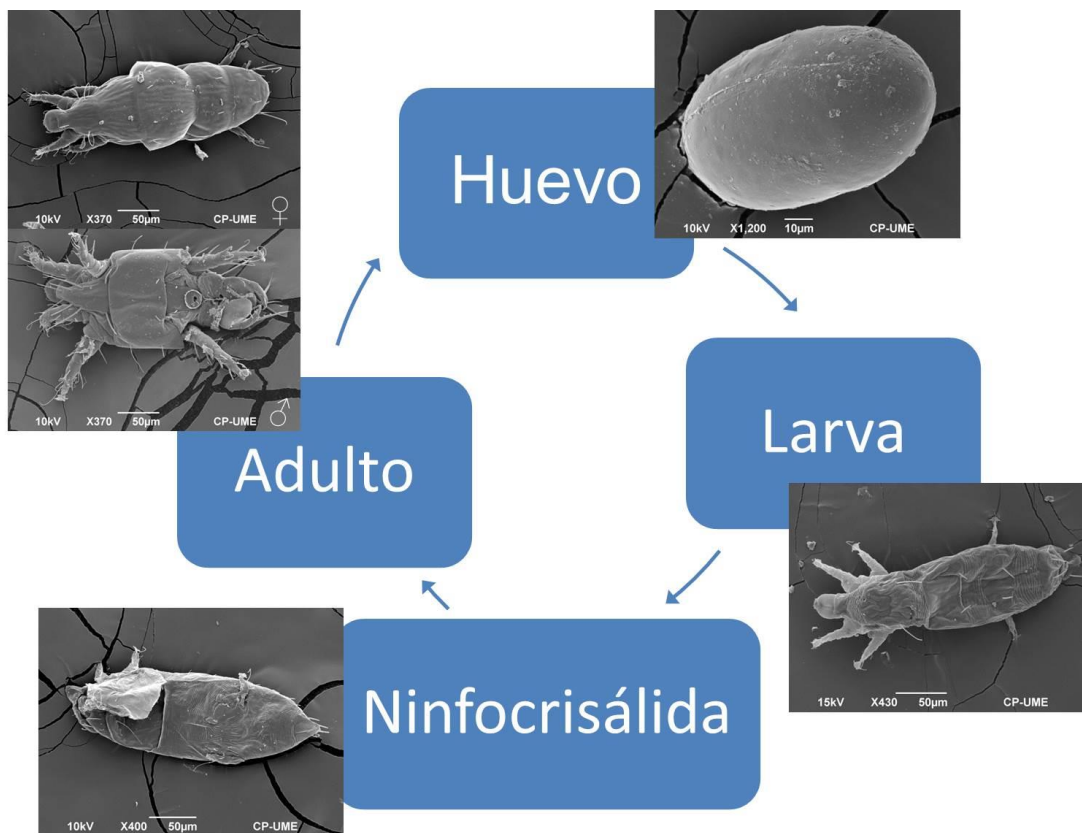


Figura 6. Ciclo de vida de *Steneotarsonemus spinki* (fotos originales, tomadas en la Unidad de Microscopía Electrónica del Colegio de Postgraduados).

Steneotarsonemus spinki tiene un amplio rango de temperatura en el cual puede desarrollarse, éste es un factor ambiental que está altamente relacionado con el tiempo de duración del ciclo del ácaro. Su temperatura óptima de crecimiento es entre 20 y

29°C, con un umbral mínimo de 16°C y uno máximo de 34°C. A los 20°C su desarrollo es de 11 días, a los 24°C es de ocho a nueve días y a los 34°C es de cuatro a cinco días (Almaguel y Botta, 2005; Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria, 2005; Dossmann *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2002). Por otro lado, requiere un alto porcentaje de humedad cercano al 80% (Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria, 2005; Santos *et al.*, 2004).

5.2.3. Historia

Steneotarsonemus spinki fue reportado por primera vez por Smiley (1967), los individuos macho holotipo y hembra paratipo fueron descubiertos en plantas de arroz en Baton Rouge, Luisiana, Estados Unidos de América, sobre *T. orizicolus* en 1960 y posteriormente depositados en el Museo de Estados Unidos (United States Museum). Sin embargo, en 1922 se reportaron en Taiwán algunos de tipos de daños que después fueron atribuidos a *S. spinki* (Almaguel y Botta, 2005), y lo mismo ocurrió en la década de 1930 en la India. No fue sino hasta la década de 1970 cuando se comenzaron a detectar los primeros casos confirmados de *S. spinki* en Asia (Hummel *et al.*, 2009) y ya para 1997 se tomaron las medidas contra esta plaga en Asia, ideando sistemas de divulgación dentro de la comunidad arrocera. Un año después se detectó este ácaro asociado con el hongo *S. oryzae* en Cuba y para finales de 1998 dicho país ya se encontraba invadido con este complejo ácaro-hongo en los cultivos de arroz.

Posteriormente, *S. spinki* comenzó a distribuirse por el resto de Centroamérica y el Caribe; en 1999 se observaron casos en República Dominicana y Haití, así como en Sudamérica, lo que activó una alerta máxima para este ácaro en Brasil (Almaguel y Botta, 2005). En 2003 se registraron los primeros casos de *S. spinki* en Panamá (Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria, 2005), además de casos en Nicaragua que para ese momento fueron atribuidos sólo al hongo *Sarocladium*. En 2004 en el Simposio Acarino en Cuba se notificó la presencia de dicho ácaro en Costa Rica y comenzaron a tomarse medidas fitosanitarias para controlar la

diseminación de dicha plaga, siendo en este mismo año cuando Guatemala comenzó a tomar medidas de control incluso sin presentar casos de *S. spinki*, así como se hizo también en Honduras (Almaguel y Botta, 2005). En 2005 se detectó a *S. spinki* en Nicaragua, Guatemala y Honduras, así como en Colombia (Rodríguez y Quirós, 2009). En 2006 se determinó la presencia de *S. spinki* en México y Venezuela, un año después en Puerto Rico (Rodríguez y Quirós, 2009), y nuevamente luego de varios años se volvió a observar la presencia del ácaro en invernaderos y cultivos en campo de arroz en Estados Unidos (Hummel *et al.*, 2009).

Lo anterior muestra que su potencial para distribuirse por el resto del continente Americano es elevado, aunado a que esta especie exótica se ha adaptado a las variadas condiciones ambientales que ofrecen dichos países para el desarrollo del arroz. En todas las naciones donde se ha establecido ha provocado pérdidas económicas en la agricultura debido a su capacidad invasora (Ramos y Rodríguez, 2003).

5.2.4. Distribución

Según un recopilado de la base de datos de especímenes de Museo de Historia Natural de Londres, de CAB ABSTRACTS e información compilada de EPPO, actualmente *S. spinki* actualmente se encuentra localizado en tres continentes (Figura 7). En Asia se presenta en China, India, Corea, Filipinas, Sri Lanka y Taiwán; en el continente Africano, en Kenia y Madagascar; en América se observa en Estados Unidos, México, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Cuba, Haití, República Dominicana, Puerto Rico (CABI y EPPO, 2010), Colombia (Rodríguez *et al.*, 2009; Rodríguez y Quirós, 2009) y Venezuela (Rodríguez y Quirós, 2009; Sandoval *et al.*, 2009).

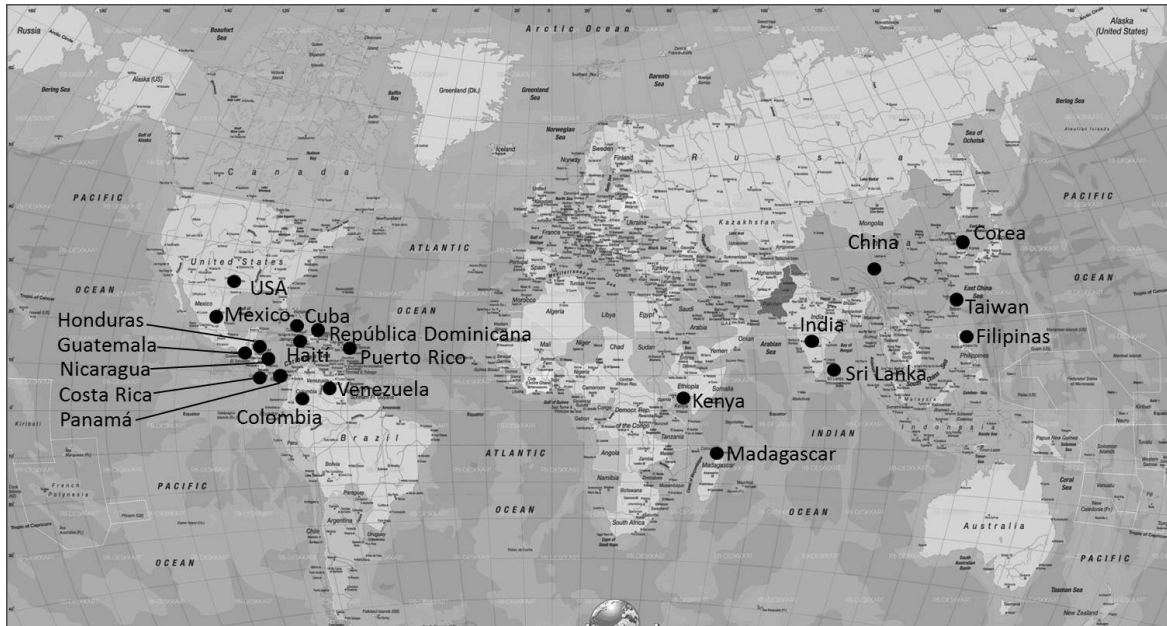


Figura 7. Distribución de *Steneotarsonemus spinki* en el mundo.

● Países con reporte de la presencia de *Steneotarsonemus spinki*.

5.2.5. Ubicación del ácaro en el arroz

El ácaro comienza a observarse en la segunda fase de desarrollo del arroz, la de reproducción (aproximadamente 2 meses) y alcanza su máxima población en la tercera fase del arroz correspondiente a la de maduración (aproximadamente tres meses) (Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria, 2005).

Dentro de la planta de arroz, cuando las poblaciones son altas, se puede observar al ácaro en varias partes, pero su ubicación primaria es sobre todo en la parte interna de la segunda y tercera lámina foliar, entre la parte media y basal de ésta (Rodríguez y Quirós, 2009; Correa – Victoria, 2006; Almaguel y Botta, 2005; Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria, 2005).

5.2.6. Asociación con microorganismos

En el cultivo de arroz *S. spinki* se ha encontrado estrechamente asociado al hongo *S. oryzae* y a la bacteria *B. glumae* (Hummel, 2009), los cuales producen daños, formando incluso un complejo ácaro-hongo-bacteria (Correa – Victoria, 2006; Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria, 2005) el cual es difícil de controlar en condiciones de campo tanto por la ubicación del ácaro como por la complejidad de la asociación (ácaro-hongo-bacteria). Sin embargo, la principal asociación que se ha estudiado es la que se da entre *S. spinki* cuando transporta las esporas de *S. oryzae* (Almaguel y Botta, 2005; Cabrera *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2002).

5.2.7. Comportamiento

➤ Los individuos de *S. spinki* viven agrupados en las vainas foliares más jóvenes, aproximadamente entre la segunda y cuarta vaina foliar (Correa – Victoria, 2006; Almaguel y Botta, 2005; Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria, 2005). Se encuentra en la parte interna de las vainas foliares, pero si su población llega a ser alta también se encontrará en las partes externas entre la segunda y la quinta vaina.

➤ Si el cultivo de arroz no se encuentra o ya fue barbechado, se refugia en la soca.

➤ El macho es capaz de diferenciar a las ninfocrisálidas hembras de las ninfocrisálidas machos por medio de feromonas. El macho captura a la ninfocrisálida hembra, la coloca sobre sus patas posteriores (patas III y IV), y la adhiere a su cuerpo con una ventosa que está al final del idiosoma (Figura 8). El macho junto con la ninfocrisálida hembra se va hacia las vainas más nuevas para disponer de alimento cuando la ninfocrisálida se transforme en adulto.

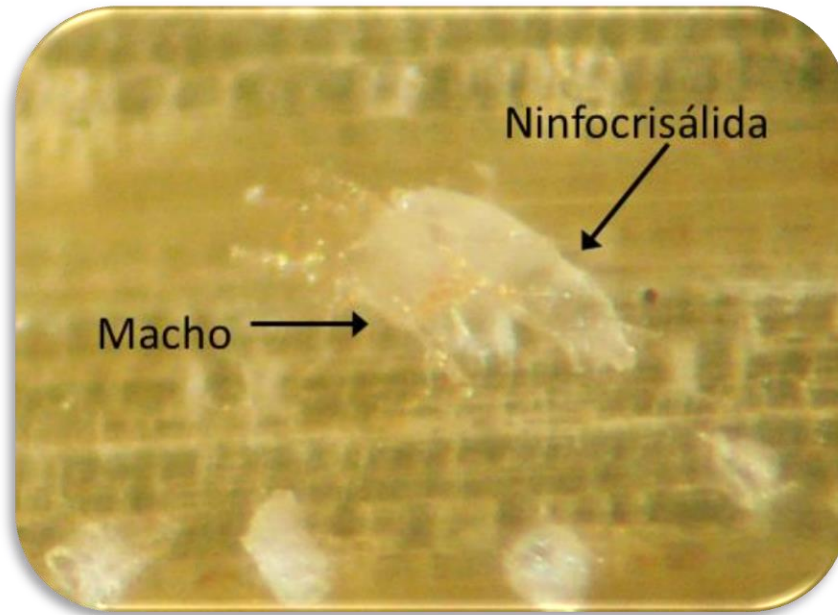


Figura 8. Macho cargando en su dorso a una ninfocrisálida hembra con sus patas posteriores (patas III y IV) (foto original).

➤ El ácaro del vaneo del arroz tiene una serie de propiedades únicas relacionadas con su reproducción, que al sumarlas se logra caracterizarlo y distinguirlo de otros ácaros. Presenta una cópula directa, tiene cuatro estados de desarrollo, coloca aproximadamente cuatro huevos por día, además tiene un ciclo de vida corto en condiciones favorables de temperatura y humedad (Almaguel y Botta, 2005; Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria, 2005; Dossmann *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2002) y es capaz de tener reproducción sexual y por partenogénesis arrenotoca (Jhansi *et al.*, 2008).

5.2.8. Lesiones

Steneotarsomenus spinki produce lesiones directas e indirectas. La primera sucede cuando se alimenta el ácaro y al extraer el contenido celular de las vainas foliares provoca deshidratación y muerte en estos tejidos; cuando se alimenta directamente del grano que está en proceso de formación, éste se avana (Orona, 2008).

La lesión indirecta es dada por la asociación del ácaro con el hongo, que es realmente el que causa las grandes pérdidas en los cultivos de arroz. Al alimentarse, el ácaro inyecta toxinas producto de esta asociación, ocasionando el vaneado de la panícula o de granos parcialmente llenos, de algunas panículas vaneadas con curvaturas anormales, de granos manchados desde marrón claro hasta negro, las vainas presentan necrosis principalmente en el ápice que puede extenderse en toda la estructura, así como la pudrición de la vaina, esterilidad de la planta e infertilidad parcial de la panícula (Hummel *et al.*, 2009; Almaguel y Botta, 2005; Santos *et al.*, 2002).

5.2.9. Propuestas de control

Ante todo se propone un mecanismo de prevención, más que de eliminación o erradicación del ácaro, el usar variedades de arroz resistentes (Almaguel y Botta, 2005) y realizar un programa de monitoreo del ácaro (Orona, 2008). Se han realizado hasta el momento varios métodos de control basados en prácticas culturales, biológicas y químicas principalmente, éstas son:

- Control cultural: Eliminar los restos del cultivo al terminar la cosecha, desinfección de los canales de riego, realizar la limpieza de los equipos que se usen para la siembra del arroz (Almaguel y Botta, 2005), además de un manejo de la densidad de siembra, manejo en el uso del agua, siembras en bloques, rotación de cultivos (Orona, 2008).

- Control biológico: Uso de ácaros depredadores para bajar las poblaciones del *S. spiniki* por debajo del umbral económico y evitar el nivel de daño económico. Se podría aplicar el fitoseido *Proprioseiopsis* sp. como un eficiente depredador del ácaro del vaneado. También se puede promover el uso de los hongos entomopatógenos *Metharizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, *Beauveria bassiana* (Balsamo)

Vuillemin, *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samsom, y *Verticillium lecanii* (Zimmerman) Viegas (Almaguel y Botta, 2005; Orona, 2008); asimismo existen hongos parásitos como *Hirsutella nodulosa* Petch, *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. y *Cephalosporium* sp., que son enemigos naturales y pueden llegar a disminuir la población de *S. spinki* (Cabrera *et al.*, 2005; Hummel *et al.*, 2009). Además, se ha probado el uso de la bacteria *Bacillus thuringiensis* Berliner var. Kurstaki (Orona, 2008). Finalmente, se han probado productos llamados bionutrientes de los llamados fitomas, así como el benzotiadiazol denominado BION; el primero actúa estimulando los procesos fisiológicos y la acción antiestrés, mientras que el segundo es un inductor en el mecanismos de resistencia de la planta; ambos producen de manera efectiva la disminución de la plaga (Peteira *et al.*, 2008).

➤ Control químico: Se puede promover la aplicación de un acaricida sistémico con un coadyuvante antes de la fase de macollamiento del arroz, para tener la seguridad de disminuir las poblaciones del ácaro. También se pueden aplicar agroquímicos para eliminar al hongo *S. oryzae*, al cual se encuentra asociado con *S. spinki* y juntos causan mayor daño al arroz (Almaguel y Botta, 2005). Se han usado plaguicidas como protiofos, endosulfan y triazophos, con ellos se ha obtenido 90% o más de mortalidad de los ácaros (Correa-Victoria, 2006).

➤ Finalmente, se propone una estrategia de manejo integrado de plagas para que sea más eficiente y se tenga un mejor control de la plaga *S. spinki* en el cultivo del arroz.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Formación de una colonia de *Steneotarsonemus spinki*

Se seleccionaron plantas de arroz procedentes de los estados de Veracruz (Piedras Negras, Municipio de Tlalixcoyan) (Figura 9), Campeche (Palizada) y Tabasco (Cárdenas), las cuales presentaron síntomas característicos de lesiones que sugirieron la presencia de poblaciones de *S. spinki* (Figura 10). Este material fue llevado al Laboratorio de Acarología en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, México para ser analizado. Se procedió a la observación de algunas vainas foliares de las plantas de arroz y se determinó la presencia del ácaro (Figura 11). Las plantas de arroz con ácaros se mantuvieron en condiciones de laboratorio para multiplicar una colonia de ácaros que posteriormente se usó para inocular otras plantas para el estudio.



Figura 9. Cultivo de arroz con *Steneotarsonemus spinki* en Piedras Negras, Veracruz, México.



Figura 10. Lesiones en el cultivo de arroz por *Stenotarsus spinki* en Piedras Negras, Veracruz, México.

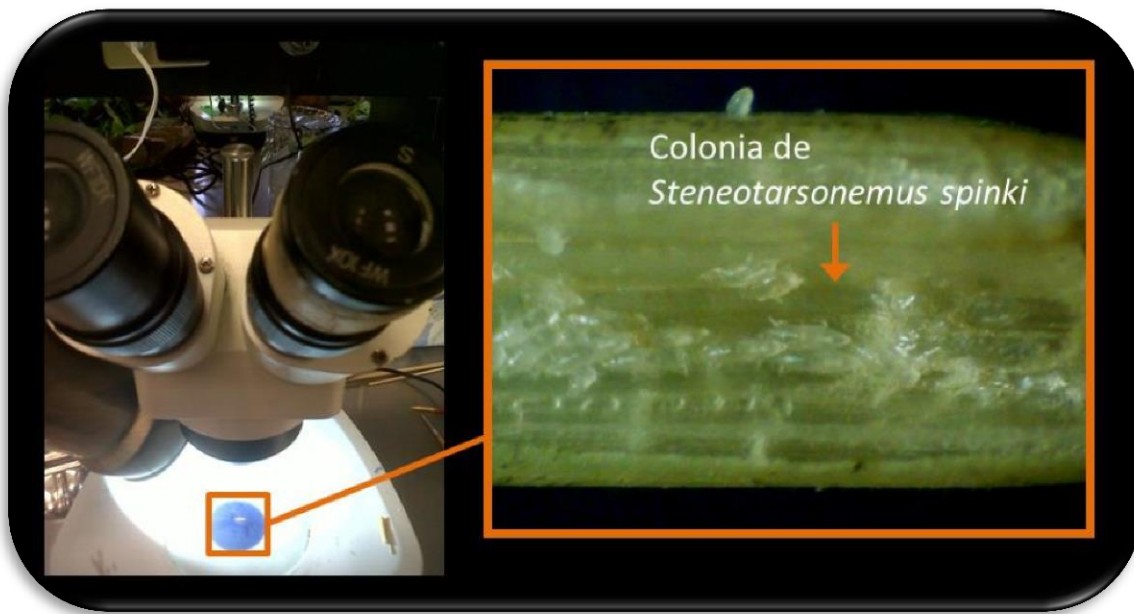


Figura 11. Observación de las vainas foliares del arroz bajo un estereoscopio. Se observan diferentes individuos de varios estados de desarrollo de *Stenotarsus spinki*.

6.2. Identificación de *Steneotarsonemus spinki*

Se identificaron ejemplares provenientes de las vainas foliares del arroz, tanto de las plantas de campo de los estados de Veracruz, Campeche y Tabasco, como de plantas que fueron inoculadas en laboratorio. Los ejemplares fueron colectados de las plantas y observados; se analizaron las características morfológicas y se siguieron las claves taxonómicas de Krantz y Walter (2009) y la descripción original de Smiley (1967).

Además, se observaron ejemplares de cada estado de desarrollo (huevo, larva, ninfocrisálida y adulto) de *S. spinki*. En cada estado de desarrollo se analizaron características morfológicas en montajes en líquido de Hoyer (Walter y Krantz, 2009), con el uso de microscopio óptico en contraste de fases y microscopio electrónico de barrido. Para esta última técnica el proceso incluyó fijación en etanol 70%, deshidratación en series de alcoholes (80, 90, 100%), secado a punto crítico y bañado en oro ionizado (método de Bozzola y Russell, 1992, con ligeras modificaciones).

6.3. Evaluación de lesiones

6.3.1. Selección de material a estudiar

Se seleccionaron plántulas procedentes de los Campos de Mazatepec, Morelos (Figura 12), pertenecientes a la variedad A-92; por observación cuidadosa de las muestras se determinó que se encontraban libres de la presencia de *S. spinki*. Además, el área donde fueron colectadas está considerada como libre de éste ácaro, ya que éste todavía no se establece ahí, según observaciones de los productores. Las plántulas colectadas no tenían ningún tratamiento químico y crecieron de manera natural alrededor del cultivo. Dichas plántulas tenían edad aproximada de seis semanas. Las plántulas fueron trasladadas al Laboratorio de Acarología, se trasplantaron en charolas

con suelo previamente esterilizado en autoclave (en bolsas de polipapel durante tres horas a 121°C) proveniente de Morelos (Figura 13).



Figura 12. Plántulas de arroz sin *Steneotarsonemus pinki* Campos de Mazatepec, Morelos, México.



Figura 13. Siembra de plántula de arroz de la variedad A-92 en charolas con suelo estéril. A. Extracción de plántulas de arroz y suelo en Campus de Mazatepec, Morelos. B. Plántulas de arroz y suelo en bolsas para trasladar al laboratorio. C. Suelo previo a esterilización. D. Plántulas sin presencia de ácaros. E. Esterilización de suelo proveniente de campo. F. Plántulas de arroz (provenientes de campo) sembradas en suelo estéril.

6.3.2. Inoculación con *Steneotarsonemus pinki* y lesiones en arroz

Se seleccionaron 96 plantas de la variedad A-92 (con aproximadamente un mes y medio de edad), de las cuales 48 fueron para el grupo testigo (sin presencia de ácaros) (Figura 14B) y 48 plantas para el grupo con tratamiento inoculado con ácaros (Figura

14C). El ensayo se estableció con un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, donde se colocaron las plantas en un ambiente de laboratorio con condiciones controladas de temperatura (promedio 29°C) y luz (fotoperiodo 14: 10 luz:oscuridad), cada repetición constituida por 12 plantas (Figura 14).

Se midió la altura de la hoja bandera de las 96 plantas y del número de brotes. Posteriormente, se procedió a inocular cada planta del tratamiento de plantas inoculadas con ácaros, una primera vez con 10 ejemplares de diferentes etapas de desarrollo (Figura 14D). Se usó un pincel hecho a base de una pestaña humana estéril (alcohol 96%) para el traslado de los ejemplares de la planta infestada (procedente de campo con presencia de ácaros) a la planta de estudio.

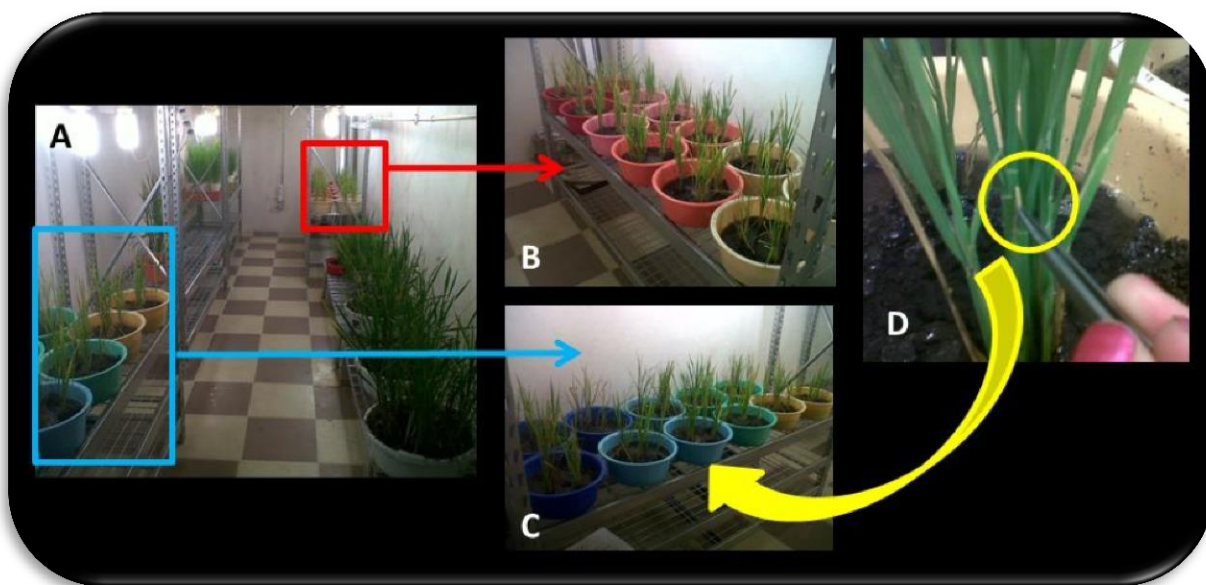


Figura 14. A. Plantas de arroz dentro del laboratorio en condiciones ambientales controladas, en un diseño experimental completamente al azar. B. Tratamiento sin inoculación de ácaros correspondiente al testigo. C. Tratamiento con inoculación de ácaros. D. Forma de inoculación con ejemplares de diferentes estados de desarrollo dentro de un trozo de vaina foliar colocada en la parte interna de una inserción entre vainas foliares.

Quince días después se tomó una planta por repetición de cada uno de los tratamientos y se tomaron las medidas de las variables morfológicas, el nivel de lesión ocasionada por el ácaro a nivel externo (nivel morfológico) y nivel celular (nivel histológico).

Inmediatamente después se realizó una segunda inoculación de ácaros con 10 ejemplares de diferentes etapas de desarrollo a las plantas del tratamiento con inoculación de ácaros.

Posteriormente, cada tres semanas se tomó una planta por repetición por cada tratamiento para obtener medidas de las variables morfológicas y evaluar lesiones morfológicas, histológicas y presencia de ácaros).

6.3.3. Efectos de la infestación de *Steneotarsonemus spinki* en el crecimiento de las plantas

Las vainas foliares observadas pasaron por un proceso de análisis que correspondió a cuatro factores:

El primer factor se basó en el número de ácaros por planta, el cual se determinó de manera destructiva en el tratamiento inoculado de ácaros; se abrieron todas las vainas foliares para el conteo total de ácaros contando por separado los diferentes estados de desarrollo, utilizando un microscopio estereoscópico; al final del estudio también se revisaron las plantas del tratamiento testigo.

El segundo factor se refirió a la medición de variables morfológicas basado en la altura de la planta (largo de la vaina foliar más la hoja principal en cm, usando una regla) y el número de brotes (retoños de las vainas foliares, haciendo conteo de dichos brotes).

El nivel de lesión morfológica fue el tercer factor y se determinó con base en cambios o características que presentaran las vainas foliares en cuanto a color y manchas, entre

otros, realizando una escala de lesión de 0 a 3, siendo 0 sin presencia de lesión y 3 con la mayor lesión que pudiera presentar la vaina foliar por la presencia de ácaros. Esta escala se presenta en los resultados. Se observaron y tomaron fotografías digitales de las vainas foliares mediante un estereoscopio y un microscopio electrónico de barrido. El manejo de las muestras para su observación en el microscopio electrónico de barrido fue igual que el usado para los ácaros (ver 6.2 en este documento, solo que al principio se fijó en formaldehído y luego se siguió un proceso de deshidratación gradual de alcoholes partiendo de 10% hasta el 100%).

El último factor fue basado en observaciones histológicas. Se realizaron cortes de vainas foliares de aproximadamente 1 cm² con lesiones y sin lesiones causadas por los ácaros, los cuales se fijaron en FAA (formaldehído - ácido acético - alcohol etílico) durante 24 horas, se lavaron y pasaron por un proceso de deshidratación gradual en etanol (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100%) y luego por xilol (4 horas cada uno); se incluyeron en parafina Paraplast (Sigma[®]) y se realizaron cortes de 10 µm con un micrótopo rotatorio, los que se colocaron en un portaobjetos; luego se pasaron por xilol para eliminar la parafina, se deshidrataron y se tiñeron con safranina - verde rápido (Esquivel-Chávez *et al.*, 2012; Tovar-Pedraza *et al.*, 2012; López *et al.*, 2005). Los cortes se observaron con el microscopio de campo claro y se tomaron fotografías. A la ausencia de lesión histológica se le asignó el valor de 0, mientras que a la presencia de lesión histológica se le asignó el valor de 1, en ambos casos para su tratamiento estadístico.

Los resultados de altura de plantas y número de brotes se analizaron por medio de un ANOVA (análisis de varianza), mediante el paquete estadístico The SAS[®] System for Windows 9.0 (SAS Institute Inc., 2002). Con las variables morfológicas (altura y número de brotes de la planta), las lesiones morfológicas, las lesiones histológicas y el número de ácaros se realizaron correlaciones para determinar la asociación entre estos factores que afectan la productiva de las plantas de arroz variedad A-92.

7. RESULTADOS

7.1. Fluctuación de poblaciones de ácaros

En la Figura 15 se observa cómo a las dos semanas de ser inoculadas, las plantas con ácaros presentan en promedio una población de 38.25 individuos. La población de ácaros de cada una de las cuatro plantas analizadas en esta fecha de muestreo presentó comportamiento muy diferente con respecto a las demás, con un número de ácaros muy variable entre ellas. Posteriormente, se observó un comportamiento más uniforme en las observaciones de las cuatro plantas de estudio por muestreo, representado por una menor desviación estándar (Figura 15). A las cuatro semanas no se encontraron ácaros en las cuatro plantas observadas, lo cual pudo haberse debido a que los ácaros no lograron establecerse en todas las plantas, debido a que éstas se encontraban en una etapa temprana de amacollamiento; por ello, se realizó una reinoculación en esa semana y a partir de las siete semanas se observó un crecimiento de la población hasta la semana 13, con un máximo de 58.5 individuos por planta en dicha semana. En la observación de la semana 16 la población promedio de ácaros se redujo significativamente hasta tres individuos por planta.

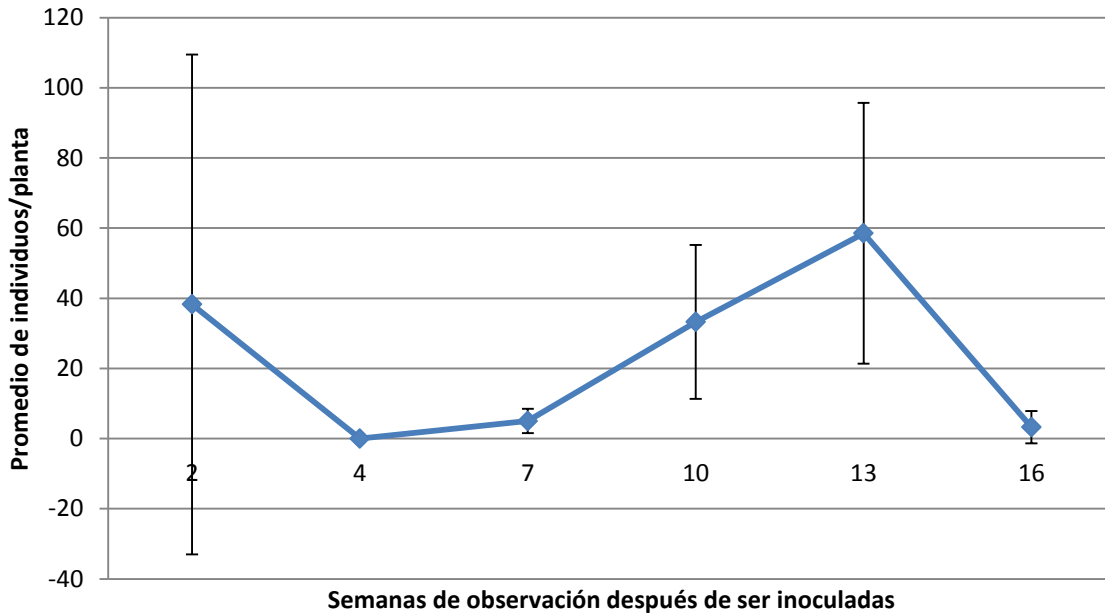


Figura 15. Población de *Steneotarsonemus spinki* por planta a lo largo del tiempo. Las barras son las desviaciones estándar de cuatro plantas en cada semana se observación.

Se presentaron diferencias con respecto a la abundancia de los estados de desarrollo dentro de las vainas foliares (Figura 16). A las dos primeras semanas después de ser inoculadas las plantas, predominaron los estados de huevo y ninfocrisálida, teniendo sus máximos en dicha semana con un promedio de 13.5 y 11.75 individuos/planta, respectivamente, lo que sugiere una población en crecimiento por la presencia de tantos inmaduros.

Posteriormente, desde la semana 4 hasta la 16 se presentó un patrón en forma de campana para todos los estados de desarrollo, que comenzó con un aumento de la población en la semana 4 hasta la semana 13, donde se tuvo el máximo de individuos en la mayoría de los estados, para finalmente bajar poblaciones a la semana 16.

Desde la semana 4, las hembras fueron los individuos más abundantes, ya que presentaron un valor máximo en la semana 13, correspondiente a un promedio de 29 individuos/planta. Esta abundancia de adultos (34.5 individuos/planta, dado por 29

hembras y 5.5 machos) sugirió que pronto la población se reduciría, lo que se observó en la semana 16 cuando la población llegó casi a cero donde se mantuvo la hembra con la mayor representación de individuos en las vainas foliares.

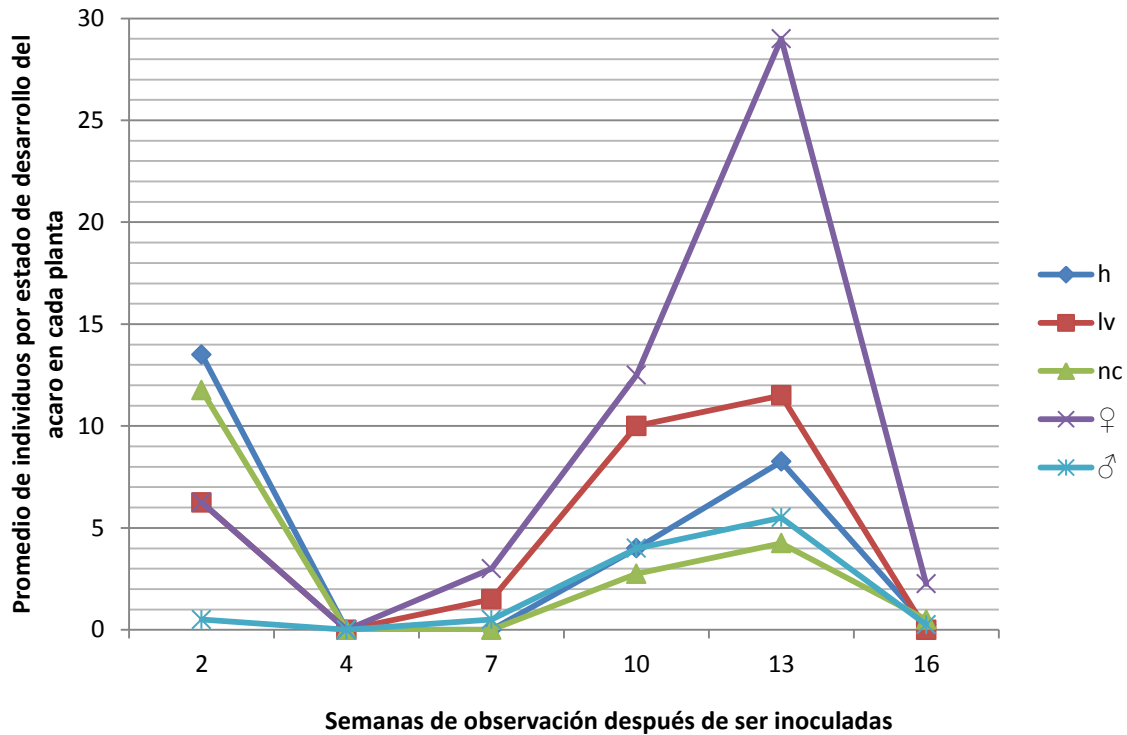


Figura 16. Individuos en cada estado de desarrollo (h: huevo, lv: larva, nc: ninfocrisálida, ♀: hembra, ♂: macho) de *Steneotarsonemus spinki* por planta a lo largo del tiempo.

7.2. Lesiones morfológicas

A lo largo de las observaciones de las poblaciones crecientes de *S. spinki*, se observó un aumento progresivo en la intensidad de las lesiones apreciadas visualmente. En el interior de las vainas foliares se observaron también lesiones crecientes. Este aumento progresivo permitió elaborar una escala de lesiones, la cual se describe a continuación y se ilustra en la Figura 17.

Escala de lesión morfológica en las plantas de arroz de la variedad Morelos A-92:

- Lesión 0: Plantas sin lesión (Figura 17A), sin presencia de ácaros, sin un patrón de manchas en las vainas foliares (Figuras 17B), sin lesión ni manchas en las espigas (Figura 17A); tejidos suculentos de color verde (Figura 17B).
- Lesión 1: Plantas con lesión apenas evidente a simple vista (Figura 17A), presencia de ácaros en promedio menor a 10 individuos, con pequeñas manchas aisladas color marrón claro en las vainas foliares (manchas que llegan a ocupar máximo un 30% de la vaina foliar) (Figuras 17C), sin aparentes manchas y si las hay representan un tenue el color marrón en las espigas (Figura 17A).
- Lesión 2: Plantas con lesión evidente a simple vista (Figura 17A), presencia de ácaros en promedio mayor a 50 individuos, con manchas aisladas de color marrón oscuro en las vainas foliares (que llegan a ocupar más de 40% de la vaina foliar) (Figuras 17D), espigas con manchas parciales en la cáscara del grano (Figura 17A).
- Lesión 3: Plantas con lesión muy evidente a simple vista (Figura 17A), presencia de ácaros vivos en promedio menor a 10 individuos, pero con abundantes ácaros muertos, con manchas de color marrón oscuro en las vainas foliares (que llegan a ocupar más de 80% de la vaina foliar), tejidos en su mayoría necróticos (Figuras 17E), espigas con manchas en la cáscara del grano y sin la presencia del grano o con grano partido (Figura 17A).

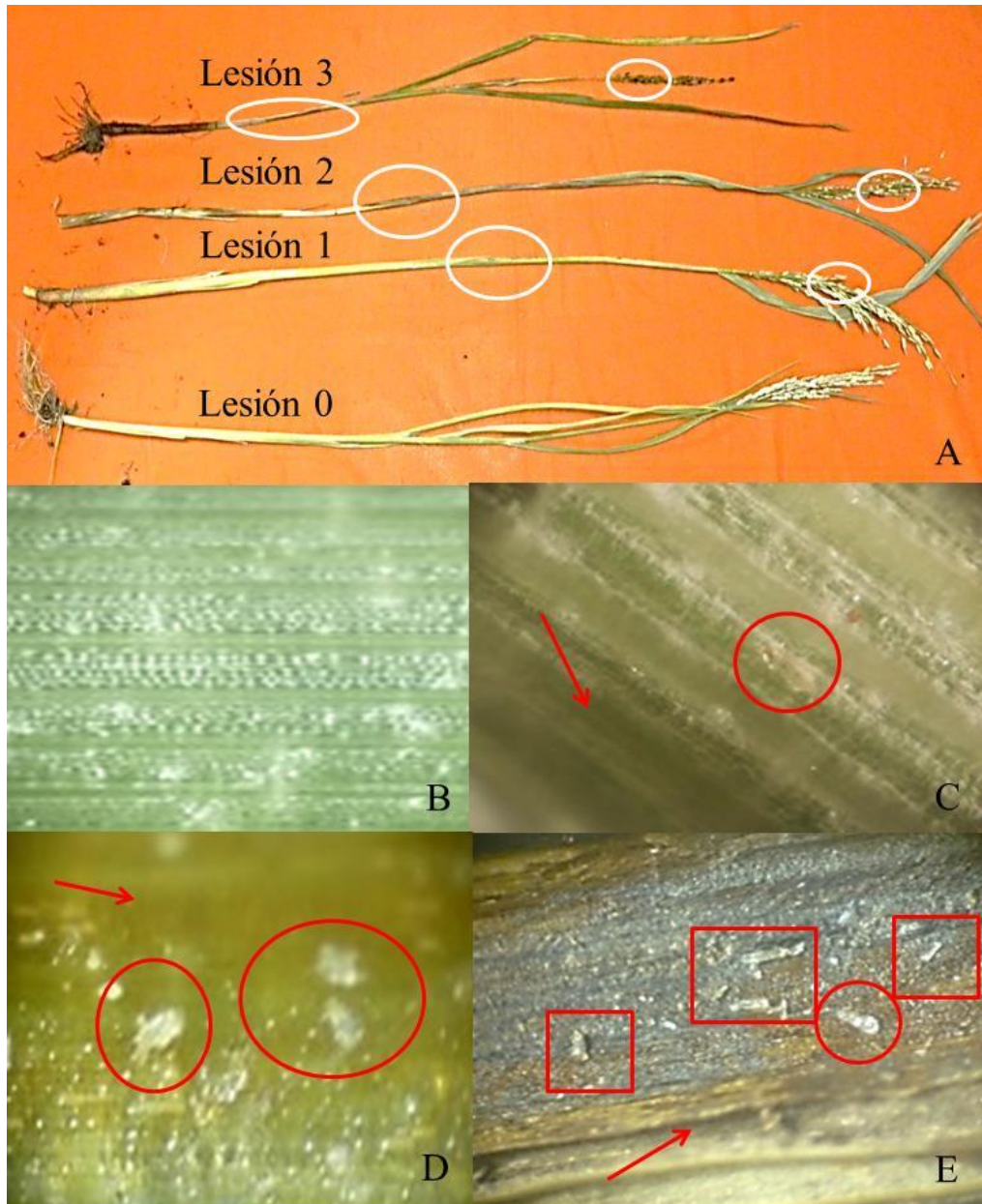


Figura 17. Escala de lesiones morfológicas en las plantas de arroz. A. Comparación entre los niveles de lesión. En círculo manchas en el exterior de las vainas B. Lesión morfológica 0 (sin lesión, ni manchas en interior de la vaina). C. Lesión morfológica 1 (manchas dispersas en interior de la vaina donde indica la flecha, en círculo presencia de ácaros). D. Lesión morfológica 2 (manchas en interior de la vaina donde indica la flecha, en círculo presencia de ácaros). E. Lesión morfológica 3 (necrosis en interior de la vaina donde indica la flecha, en círculo presencia de ácaros, dentro cuadrado ácaros muertos).

A lo largo de las observaciones en el tiempo se vio una evolución en el nivel de la lesión; dos semanas después de la infestación se encontraron todos los niveles. Sin embargo, lesiones en el mayor nivel de la escala (3) consistentemente correspondieron a poblaciones elevadas de *S. pinki*, y lesiones menores a menores poblaciones. En la segunda observación (cuatro semanas después de la infestación) no se observó ninguna lesión porque en todas las plantas examinadas la plaga no se había establecido, pero a partir de esa fecha todas las plantas observadas (destruictivamente) tenían colonias establecidas y en crecimiento; a las siete semanas se determinó un nivel de lesión 1; a las 13 semanas, con mayores poblaciones de ácaros (Figura 15), se observó en promedio una lesión 2 y finalmente, una última observación (semana 16) se caracterizó por un nivel máximo de lesión (3) y muerte de plantas. En esta fecha las poblaciones de ácaros eran reducidas pero fue evidente que había habido una mayor colonización porque se observaron abundantes ejemplares muertos (Figura 17E).

Con el microscopio electrónico de barrido se observó la superficie adaxial de vainas foliares de arroz. En plantas con poblaciones bajas de ácaros la epidermis lucía descubierta (Figura 18A), pero a medida que avanzaba la escala de lesión morfológica, la superficie de la vaina foliar se vio invadida por una capa formada al parecer por bacterias; también se notó la presencia de micelio y ambos estaban sobre y alrededor de los ácaros (Figura 18B, 18C y 18D). No se observó ningún tipo de orificio sobre la epidermis adaxial de las vainas foliares como evidencia de una lesión directa del ácaro, más bien debido a la asociación con un hongo y una bacteria.

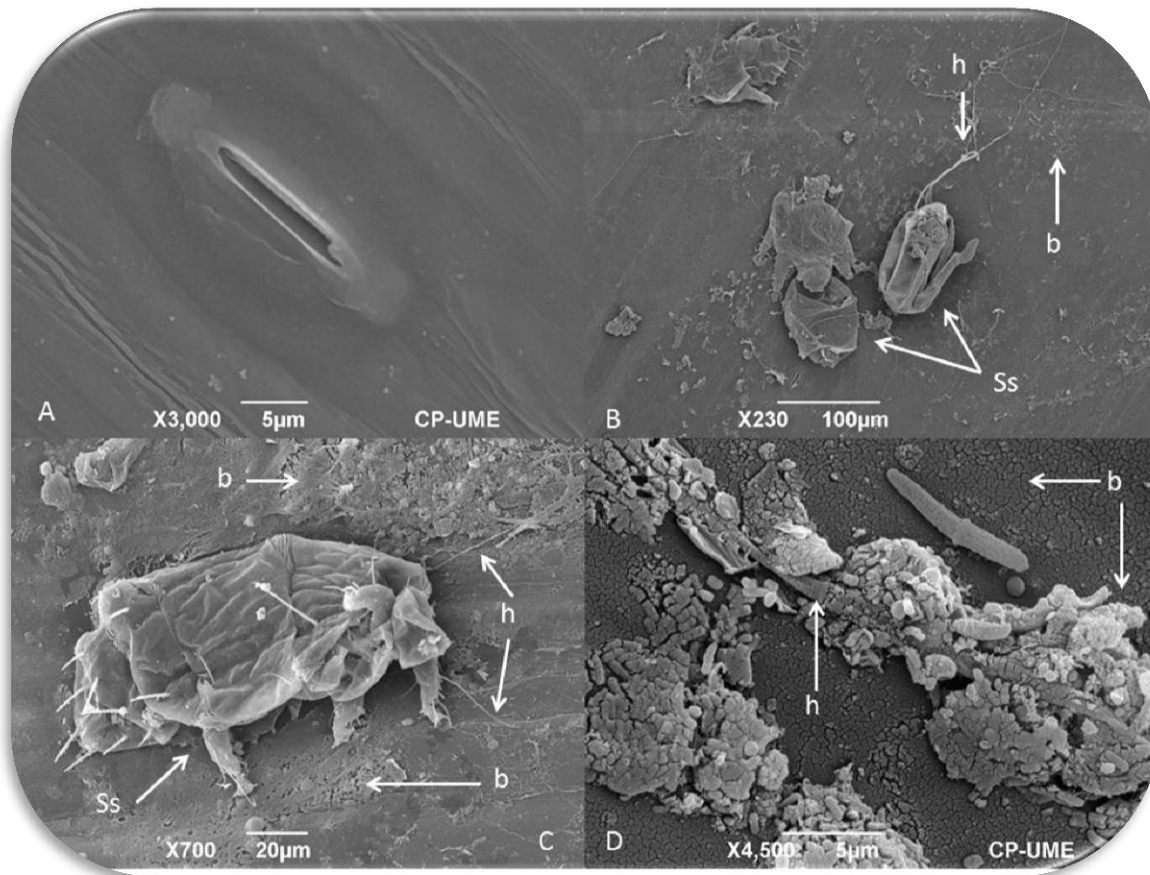


Figura 18. Superficie de la epidermis adaxial de las vainas foliares vista con microscopio electrónico de barrido. A. Superficie con nivel de lesión 0. B. Superficie con nivel de lesión 1. C. Superficie con nivel de lesión 2. D. Superficie con nivel de lesión 3. Ss: *Steneotarsonemus spinki*, b: presencia de bacteria, h: hifas de hongo.

7.3. Lesiones histológicas

En los niveles de lesión morfológica 0 a 2 no se observó una lesión histológica (Figura 19A) en la epidermis adaxial, lo que sugiere que se requiere de mayores poblaciones y una lesión acumulada para evidenciar una ruptura significativa en la estructura de las células epidérmicas. Otras estructuras del tejido de la vaina foliar como esclerénquima, xilema, floema, parénquima y epidermis abaxial no presentaron lesión y mantuvieron su forma y color.

En el nivel de lesión morfológica 3 se observó una lesión histológica intensa (Figura 19B) en las vainas foliares, caracterizada por ruptura y necrosis de las células de la epidermis adaxial, destrucción de células del mesófilo alrededor de los espacios aéreos que llegaba a convertirse en necrosis, e hipertrofia (aumento en tamaño) de las células del mesófilo. En algunos puntos esas lesiones se extendían por los haces vasculares hasta la epidermis abaxial. Consistentemente se observó la presencia de hifas de hongo(s) no identificado(s), sobre todo en el mesófilo.

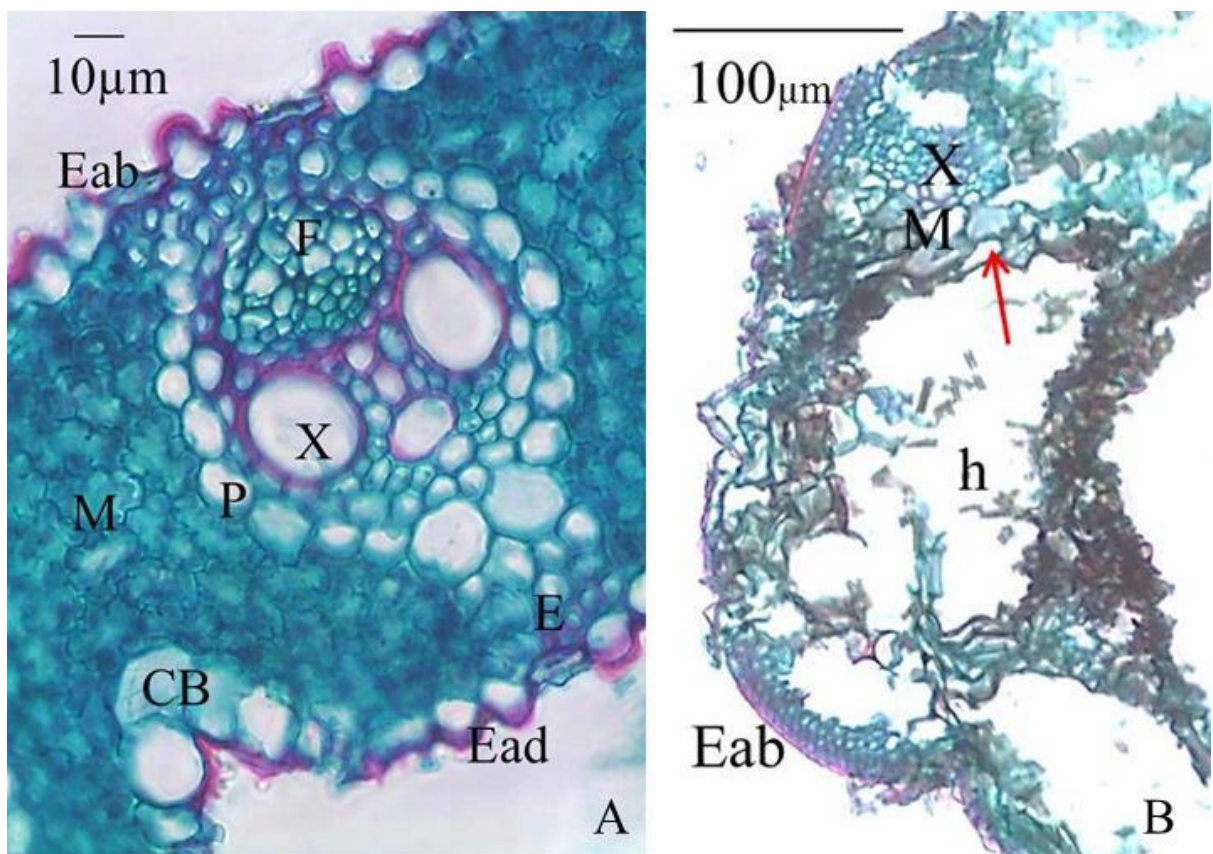


Figura 19. A. Tejidos sin lesión histológica por el ácaro. B. Tejidos con lesión histológica por el ácaro

Ead: epidermis adaxial, M: mesófilo, X: xilema, F: floema, P: parénquima, E: esclerénquima, Eab: epidermis abaxial, CB: células buliformes, h: lesión asociada a presencia de hongo. Flecha indica hipertrofia en células del mesófilo.

7.4. Efecto de las poblaciones de ácaros y las lesiones observadas en el crecimiento de las plantas

Al realizar un análisis de varianza mediante el modelo lineal generalizado (Cuadro 3), no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos en las variables altura de plantas y número de brotes.

A través de la correlación de Spearman (Cuadro 4) se observó una alta asociación positiva entre el número de ácaros y la lesión morfológica, la cual fue significativa ($r = 0.96$). Se observaron correlaciones más bajas pero aun significativas entre la lesión morfológica y la lesión histológica ($r = 0.48$), así como entre el número de ácaros con la lesión histológica ($r = 0.30$). Sorprendentemente, se observó una baja correlación positiva pero significativa entre los niveles de lesión morfológica e histológica con la altura de las plantas ($r < 20$). Para el caso de las otras variables no se evidenció un tipo de asociación debido a su baja correlación que no fue significativa.

Cuadro 3. Resultados de ANOVA ($\alpha=0.05$) de altura de plantas y número de brotes en plantas infestadas y no infestadas por *Stenetarsonemus spinki*.

Tratamiento	Altura inicial (cm) (semana 0)	Altura final (cm) (semana 16)	Número inicial de brotes (semana 0)	Número final de brotes (semana 16)
Infestadas con <i>S. spinki</i>	39.54 a	82.25 a	2.50 a	2.00 a
No infestadas con <i>S. spink</i>	42.06 a	89.67 a	2.83 a	1.83 a

Letras iguales en una columna indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 4. Correlación de Spearman (arriba en cada celda) y su nivel de significación (valor de probabilidad, abajo en cada celda) para las variables de observación en la planta de arroz bajo el efecto de dos tratamientos a lo largo del tiempo.

Variables	Lesión morfológica	Lesión histológica	Altura	N° brotes
N° ácaros	0.96132 <0.0001 *	0.30074 <0.0001 *	0.14044 0.0711	-0.02274 0.7712
Lesión morfológica		0.47757 <0.0001 *	0.15618 0.0445 *	-0.05624 0.4717
Lesión histológica			0.19928 0.0101 *	-0.05889 0.4511
Altura				-0.01100 0.8881

*Correlaciones significativas

8. DISCUSIÓN

8.1. Fluctuación de poblaciones de ácaros

En México la variedad Milagro Filipino es la que más se siembra y es susceptible a la presencia *S. spinki*; de hecho, el primer hallazgo de este ácaro en México se dio en esa variedad (Rodríguez y Quiros, 2009). En el estado de Morelos existe la variedad Morelos, subvariedad A-92, con la mayor superficie sembrada (CONAPAMEX, 2013). No hay datos de la presencia de *S. spinki* en el estado de Morelos, los productores al parecer han conseguido mantener al estado libre de esta plaga y con ello han mantenido más o menos constante la producción en 14000 a 15000 t en dicho estado (SIAP, 2013b). Por lo anterior, la infestación que se ha hecho de esta variedad es probablemente la primera en el mundo.

En condiciones de laboratorio se logró inocular la variedad A-92 y ver el efecto que tenía *S. spinki* sobre ésta. Se realizó una primera inoculación a las seis semanas después de germinadas las plantas, cuando empezaban a formarse brotes (amacollamiento), ya que es a partir de esta etapa cuando las plantas de arroz empiezan a ser susceptibles a la infestación de *S. spinki* (Leyva *et al.*, 2003; Quirós-McIntire y Camargo, 2011).

La primera infestación tuvo un éxito parcial porque no en todas las plantas se estableció el ácaro, al parecer porque los tejidos del hospedante todavía eran muy jóvenes. Por ello se realizó una segunda infestación (siete semanas después de ser inoculadas, 13 semanas de germinadas) cuando ya había mejor desarrollado del macollo, más tejido para que los ácaros se alimentaran y comenzaran a establecerse; a partir de entonces las poblaciones aumentaron hasta la semana 13 de ser inoculadas y 19 semanas después de germinadas, donde alcanzaron el máximo de la población por planta (un promedio de 58.5 individuos/planta). A partir de la siguiente observación disminuyó la población (semana 16 después de inoculadas, 22 semanas de

germinadas). Se postula que este descenso en las poblaciones se dio cuando los ácaros agotaron su recurso porque las plantas quedaron dañadas por efecto de las altas poblaciones; en esa etapa se presentaron más ácaros muertos, pocos individuos vivos y es posible que el ácaro (en estado larval o adulto) migró a otras plantas o se extinguió.

Almaguel *et al.* (2000) evaluaron seis variedades de arroz de ciclo corto y siete variedades de ciclo medio, observaron que las variedades más sensibles al ácaro eran las de ciclo corto (V1, V2, V3, V4, V5 variedades nuevas y la variedad Perla de Cuba), donde el máximo observado fue menor a 20 ácaros/planta, mientras que las variedades de ciclo medio (V6, V7, V8, V9, V10, V11, V12 variedades nuevas y la variedad J-104) tenían poblaciones menores, y un promedio menor a 10 individuos/planta. Leyva *et al.* (2003) observaron una población de 141 individuos/planta en la variedad J-104 y 58 ácaros/planta en la variedad IACuba 28. Por su parte, Quirós-McIntire y Camargo (2011) en Panamá determinaron hasta 532 individuos/planta en la variedad Idiap-22. Dado que las poblaciones máximas de *S. pinki* en la variedad A-92 fueron de 58.5 ácaros por planta, se considera que esta variedad tiene un nivel de susceptibilidad similar a IACuba 28, lo que sugiere una variedad medianamente resistente.

Se observó variación en la proporción de individuos de los diferentes estados de desarrollo de *S. pinki* a lo largo de las observaciones periódicas. En la primera observación (dos semanas después de la inoculación), las vainas foliares estaban muy tiernas, por lo que al parecer los tejidos no estaban todavía aptos para el desarrollo adecuado de este ácaro; en consecuencia se presentó mayor cantidad de huevos y larvas, los cuales son estados iniciales que muestran que no se había completado el ciclo del ácaro. Después de la semana 7 se incrementaron los otros estados de desarrollo, siendo la hembra la que tuvo el dominio por su mayor cantidad de individuos, con un máximo de 29 individuos/planta en la semana 13. Se registró un promedio de adultos (macho y hembra) de 34.5 individuos/planta (en la semana 13), valor superior al obtenido por Almaguel *et al.* (2000), de 26.8 individuos/planta en la variedad V5 en Cuba.

En el presente estudio se inoculó un máximo de 20 individuos/planta de diferentes estados de desarrollo y trece semanas después las poblaciones puntuales máximas no sobrepasaron los 150 individuos/planta, con un promedio de 58.5 individuos/planta (semana 13). Thuy *et al.* (2012) inocularon plantas con números variados de hembras de *S. spinki*; cuando inocularon 32 hembras por tallo (máxima infestación), contaron 526.60 y 834.67 individuos/tallo a los 13 y 28 días, respectivamente. Estas poblaciones son mucho más altas que las encontradas en la variedad A-92, lo que refuerza que la variedad de estudio puede considerarse medianamente tolerante.

Es de considerar que en condiciones de laboratorio se observaron sólo ácaros en las vainas foliares y en la parte interna de éstas, pero cuando las poblaciones son muy altas es posible encontrarlos en la parte exterior de las vainas e incluso en las espigas (observaciones personales en la variedad Milagro Filipino).

8.2. Lesiones morfológicas

Se determinaron principalmente lesiones en las vainas foliares caracterizados por la presencia de manchas en el exterior e interior de éstas, las que variaron en aspecto y extensión dependiendo de la severidad de la lesión. En las plantas que espigaron se observaron también manchas en la cáscara de la espiga y en algunas la ausencia de grano. Sin embargo, anteriores estudios reflejan que *S. spinki* causa mayores lesiones, como disminución del peso de la panícula, incremento en el porcentaje de esterilidad, curvatura de la panícula (Thuy *et al.*, 2012), disminución en la cantidad de los granos enteros y en consecuencia aumento en la cantidad de granos partidos, manchados y vanos (Ramos y Rodríguez, 2003)

En observaciones al microscopio electrónico de barrido, la superficie adaxial de las vainas foliares lucía desnuda, tersa y aspecto suculento. Conforme avanzaba el nivel de lesión se observó una capa que cubría la epidermis, al parecer formada por

bacterias y hongos. Según Correa-Victoria (2006), manchas de color oscuro en arroz están asociadas a la presencia de un hongo patógeno (*S. oryzae*), el cual provoca la pudrición de la vaina foliar en asociación con *S. spinki*; dicha asociación provoca la esterilidad de la panícula (Ramos y Rodríguez, 2003). Por la estructura y el pequeño tamaño de sus quelíceros, al momento de alimentarse el ácaro no produce *per se* una lesión importante de ruptura o apertura en la epidermis adaxial, no se observaron orificios sobre la superficie de la epidermis del tamaño del estilete del ácaro, pero se sabe que al alimentarse extrae el contenido celular y en consecuencia causa deshidratación, necrosis y muerte del tejido (patrón de manchas) (Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria, 2005). Posiblemente, el ácaro introduce sus estiletes por las células epidérmicas pero también aproveche las aperturas de los estomas y al penetrar dentro de los tejidos inyecte una toxina y/o transmita a un hongo (Santos *et al.*, 2004) (*S. oryzae*) y una bacteria (*B. glumae*) que son patógenas con las cuales está asociado, y por medio de este complejo es que causan las mayores lesiones (Correa-Victoria, 2006; Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria, 2005).

8.3. Lesiones histológicas

Se evidenciaron lesiones a nivel histológico causadas por *S. spinki* asociados con altas poblaciones de este ácaro; cuando la lesión morfológica se presentó visiblemente en su máximo valor con lesiones en la epidermis adaxial, se observaron hifas de hongo así como cambios en el color de las células del mesófilo unistratificado. Esta coloración ha sido atribuida a la acumulación de compuestos fenólicos, como lo sugirieron Smith *et al.* (2007) al evaluar los cambios anatómicos en hojas de eucalipto, además de observar la retención de clorofila, las que atribuyeron a la infección por un hongo patógeno (*Mycosphaerella sp*). En mirtáceas infestadas por ácaros eriófididos, Nahrung y Waugh (2012) observaron un cambio en tamaño y número de las células de la epidermis, así como lesiones en el mesófilo, las que atribuyeron a la pérdida de cloroplastos. Figueroa *et al.* (2011) observaron cambios en el tamaño y número de

células del parénquima y de los haces vasculares de plantas solanáceas infestadas por ácaros tetraníquidos. En el caso del arroz, Ramos y Rodríguez (2000) observaron hipertrofia y desorden en las células de la epidermis causadas por *S. spinki*; en el presente trabajo se observó dicha hipertrofia pero en células del mesófilo.

Como consecuencia de las lesiones histológicas (en el mesófilo) aunadas a las lesiones morfológicas, se sugiere que hay un impacto negativo en la fotosíntesis, lo que conlleva a una disminución de recursos para la planta (Bidlack y Jansky, 2011) y por consiguiente a la disminución e incluso la nula producción del grano. Figueroa *et al.* (2011) y Nahrung y Waugh (2012) observaron una reducción en el tejido fotosintético eficiente en las plantas hospederas (solanáceas y mirtáceas, respectivamente), por la acción de los ácaros plagas.

8.4. Efecto de las poblaciones de ácaros y las lesiones observadas en el crecimiento de las plantas

La presencia del ácaro no afectó significativamente la altura de las plantas de arroz pero sí se observó correlación del nivel de lesión morfológica e histológica con la altura de las plantas, lo que se asevera con la correlación de Spearman. Karmakar (2008) evaluó la asociación de las poblaciones de *S. spinki* con el largo de la panícula y con la longitud de la hoja bandera (ambas asociadas a la altura de la planta), pero no encontró una correlación entre estos factores y la cantidad de ácaros. Contrariamente, Thuy *et al.* (2012) encontraron que las poblaciones de *S. spinki* pueden producir un grado de enanismo. Es posible que la diferencia entre los resultados de estos trabajos se asocie con el grado de susceptibilidad de las variedades de arroz usadas en dichos estudios.

De los resultados de este trabajo se desprende que la presencia de ácaros, probablemente asociados con microorganismos, causa una lesión significativa a niveles morfológico e histológico provocando manchas en las vainas foliares, en la cáscara del

grano, en la epidermis y en el mesófilo y como consecuencia se forman granos vanos, las cuales son síntomas a prestar atención (en campo). Respecto a la abundancia de los ácaros, es importante resaltar que a mayor población de ácaros mayores serán las lesiones, excepto para una lesión severa (lesión 3) en que las poblaciones son bajas debido a la migración o muerte de éstos por falta de recursos ya que los tejidos de las vainas foliares se encuentran maltratados. En 2012, Thuy *et al.* también demostraron diferencias significativas entre plantas no inoculadas respecto a plantas inoculadas artificialmente con *S. spinki*, las que presentaron lesiones morfológicas. Karmaka (2008) realizó un análisis más detallado, al evaluar las poblaciones del ácaro con respecto al largo y ancho del grano, ancho de la hoja no demostró diferencias significativas, pero halló diferencias con respecto al porcentaje de grano partido y el rendimiento.

Los patrones de manchas indican el nivel de lesión, variable que se encuentra estrechamente correlacionada con la presencia y abundancia de ácaros, lo que determinará el grado de riesgo en que se encuentra el cultivo. Si está en sus primeras fases de lesión se podría controlar la presencia del ácaro e incluso salvar la producción del cultivo pero si ya las lesiones son severas, en consecuencia se tendrá una gran pérdida en la producción por las altas poblaciones del ácaro, aunque no fue posible medir el daño económico. Igualmente, Nahrung y Waugh (2012) determinaron una correlación positiva entre el número de ácaros (eriófididos) y la severidad de las lesiones en su planta hospedadora (Myrtaceae); al ser estos ácaros un grupo de tamaño pequeño muy difícil de observar, al igual que *S. spinki*, el observar las lesiones es una estrategia para estimar poblaciones de estas plagas.

9. CONCLUSIONES

Steneotarsonemus spinki es un ácaro que no puede ser observado a simple vista debido a su pequeño tamaño y color casi traslúcido, por lo que se requiere del uso de lupas o microscopios. Además, se aloja en la parte interna de la vaina foliar, lo que requiere de la abertura de dichas vainas para la adecuada observación de este microorganismo. Por tanto, un método alternativo para determinar su presencia es basarse en ciertas características de las vainas foliares y la espiga, como color, presencia y patrón de manchas, tipo de grano que tiene la planta; con éstos se puede estimar las poblaciones y el grado de lesión, debido a que hay una estrecha relación entre ellos, para así poder tomar una mejor decisión de manejo de la plaga.

Las lesiones comienzan aparecer después de estar formado el macollo ya que antes no se establece la especie en los tejidos poco maduros, no apropiados para su alimentación. Las poblaciones de *S. spinki* encontradas en la variedad A-92 no alteran significativamente el crecimiento de la planta, en cuanto a la altura y número de brotes, pero sí alteran la formación del grano; se aprecian ciertos cambios histológicos principalmente en las células del mesófilo que afectan la capacidad fotosintética al mostrar lesiones severas, con mayores implicaciones respecto a las lesiones morfológicas que se observan desde los niveles de lesión menores hasta manchas en las vainas foliares y la producción de grano vano.

Se observaron poblaciones relativamente bajas del ácaro, lo que hace considerar a la variedad Morelos A-92 tolerante a la presencia de *S. spinki*. Esta variedad podría apoyar al manejo integrado de *S. spinki* en el país, junto con otros métodos de control, para lograr tener menor cantidad de granos vanos aumentando de esta manera la producción que ha sido afectada desde el año 2006, año en que se detectó la plaga para México.

10. LITERATURA CITADA

Almaguel R., L. y E. Botta F. 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. Caso estudio: *Steneotarsonemus spinki* Smiley 1967 (Tarsonemidae). 44 pp.

Almaguel, L., J. Hernández, P. de la Torre, A. Santos, R. I. Cabrera, A. García, L. Báez, I. Cáceres, A. Ginarte y L. E. Rivero. 2000. Evaluación del comportamiento del ácaro *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) en los estudios de regionalización desarrollados en Cuba. Fitosanidad 4 (1-2): 15-19.

Bidlack, J. E. y S. H. Jansky. 2011. Stern's introductory plant biology. Edition twelve. The McGraw-Hill Companies, Inc. USA. 622 pp.

Bozzola, J. J. y L. D. Russell. 1992. Electron Microscopy: Principles and Techniques for Biologists. Jones and Bartlett Publishers, Inc, Sudbury, Massachusetts, USA. 15-63 p.

CABI y EPPO. 2010. *Steneotarsonemus spinki* (Distribution map). In: Distribution Maps of Plant Pests. CABI. Wallingford, UK. 738 pp.

Cabrera, R. I.; A. García; G. Otero-Colina; L. Almaguel y A. Ginarte. 2005. *Hirsutella nodulosa* y otros hongos asociados al ácaro tarsonémido del arroz *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) en Cuba. Folia Entomológica Mexicana. 44(2): 115-121.

Comité Técnico Nacional del Complejo Ácaro-Hongo-Bacteria. 2005. Guía técnica para el manejo integrado del complejo ácaro-hongo-bacteria en el cultivo del arroz. Ministerio de Desarrollo Agropecuario. Panamá. 17 pp.

CONAPAMEX (Consejo Nacional de Productores de Arroz de México A.C.). 2013. <http://conapamex.org.mx/>. Consultado 28 de Agosto de 2013.

Correa – Victoria, F. 2006. Complejo ácaro-hongo-bacteria en el arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 7 pp.

Cultivo de arroz. 2013. <http://cultivodearrozoryzasativa.blogspot.mx/2012/08/etapas-para-el-cultivo-de-arroz.html>. Consultado 1 de Diciembre de 2013.

Dossmann, J.; C. Botero y J. García, H. Rugeles e I. Urrego. 2005. El ácaro del vaneado del arroz *Steneotarsonemus spinki* Smiley en Colombia. En: Libro Resumen del Taller Regional Precongreso. El ácaro del arroz, *Steneotarsonemus spinki* (Tarsonemidae), retos y alternativas para América Latina y el Caribe. III Encuentro Internacional del arroz y III Congreso Nacional de Arroz. Ciudad de La Habana, Cuba. 36-39 p.

Esau, K. 1982. Anatomía de las plantas con semillas. Editorial Hemisferio Sur, S.A. 1ra edición en español. Argentina. 512 pp.

Esquivel-Chávez, F.; G. Valdovinos-Ponce; G. Mora-Aguilera; R. Gómez-Jaimes; J. J. Velázquez-Monreal; M. A. Manzanilla-Ramírez; J. L. Flores-Sánchez y J. I. López-Arroyo. 2012. Análisis histológico foliar de cítricos agrios y naranja dulce con síntomas ocasionados por *Candidatus Liberibacter asiaticus*. Agrobiencia 46: 769-782.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Seguimiento del mercado del arroz, Abril de 2013. <http://www.fao.org/economic/est/publicaciones/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/>. Consultado 28 de agosto de 2013.

Figuroa, S. D. del V., N. Dottori y M. T. Cosa. 2011. Alteraciones morfo-histológicas en hojas de *Solanum chenopodioides* (Solanaceae), producidas por ácaros y dípteros minadores. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 46 (3-4): 289-296.

González, N. y D. Zamorano. 2009. El cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). http://www.sap.uchile.cl/descargas/fisiogenetica/fisiologia_del_arroz.pdf.

Consultado 14 de mayo de 2013.

Hernández M. y Juan J. 2006. Evaluación de cinco variedades de arroz frente al ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley, la pudrición de la vaina (*Sarocladyum oryzae* Sawada) y el manchado del grano, en condiciones de producción en el Cai arrocero Los Palacios. Fitosanidad 10 (3): 249.

Hoy, M. 2011. Agricultural Acarology. Introduction to Integrated Mite Management. Taylor and Francis Group, LLC. United States of America. pp 410.

Hummel, N. A.; B. A. Castro; E. M. McDonald; M. A. Pellerano y R. Ochoa. 2009. The panicle rice mite, *Steneotarsonemus spinki* Smiley, a re-discovered pest of rice in the United States. Crop Protection. 30: 1–14.

Jhansi L., V.; N.V. Krishnaiah; I.C. Pasalu y G. Katti. 2008. Bio-Ecology and Management of Rice Mites - A Review. Agricultural Reviews. 29 (1): 31-39.

Karmakar, K. 2008. *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) – A yield reducing mite of rice crops in West Bengal, India. International Journal of Acarology 34 (1): 95-99.

Krantz, G. W. y D. E. Walter. 2009. A manual de Acarology. Third edition. Texas Tech University Press. USA. 807 pp.

Leyva, F., Y., N. Zamora Z., E. Alvarez A. y M. Jimenez. 2003. Resultados preliminares de la dinámica poblacional del ácaro *Steneotarsonemus spinki*. Revista Electrónica Granma Ciencia 7 (1).

López C., M. de L.; J. Márquez G. y G. Murguía S. 2005. Técnicas para el estudio del desarrollo en angiospermas. Editorial Las Prensas de Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 178 pp.

Meneses C., R.; A. Gutiérrez Y.; A. García R.; G. Antigua P.; J. Gómez S.; F. Correa V. y L. Calvert. 2001. Guía para el Trabajo de Campo en el Manejo Integrado de Plagas del Arroz. Instituto de Investigaciones del Arroz (IIA), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego (FLAR). Cuarta edición revisada y ampliada. Cali, Colombia. 72 pp.

Nahrung, H. F. y R. Waugh. 2012. Eriophyid mites on spotted gums: population and histological damage studies of an emerging pest. *International Journal of Acarology* 38 (7): 549-556.

Orona C., F. 2008. Tecnología de producción de arroz. Presentación del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Sureste, Campo Experimental Edzná. 32 pp.

Pantoja, A.; A. Fischer; F. Correa-Victoria; L. R. Sanint y A. Ramírez. 1997. MIP en arroz: Manejo Integrado de Arroz: Artrópodos, Enfermedades y Malezas. Centro Internacional de la Agricultura Tropical. Caracas, Venezuela. 148 pp.

Peñaranda R., V. H. 1999. Manejo Integrado de Sogata (*Tagosodes orizicolus* Muir) en el Cultivo de Arroz en los Llanos Orientales. FEDEARROZ – PRONATTA. Villavicencio, Colombia. 15 pp.

Peteira, B., A. Fernández, H. Rodríguez y E. González. 2008. Efecto del BION y del fitomas como indicadores de resistencia en plantas de arroz infectadas con *Steneotarsonemus spinki*. *Revista de Protección Vegetal* 23 (1): 32-37.

Quirós-McIntire, E. I. e I. Camargo B. 2011. Respuesta de variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) a las poblaciones de *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) en Panamá, 2007. *Revista de Protección Vegetal* 26 (1): 30-39.

Ramos, M. y H. Rodríguez D. 2000. Morphological response to *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) infestation on rice sheaths. *Revista de Protección Vegetal* 15 (3): 188-190.

Ramos, M., C. Gómez y R. I. Cabrera. 2001. Presencia de *Steneotarsonemus spinki* (Acari: Tarsonemidae) en cuatro variedades de arroz en la República Dominicana. *Revista de Protección Vegetal* 16 (1): 6-9.

Ramos, M. y J. Rodríguez D. 2003. Análisis de riesgo de una especie exótica invasora: *Steneotarsonemus spinki* Smiley. Estudio de un caso. *Revista de Protección Vegetal*. 18 (3): 153-158.

Rodríguez, H.; I. Miranda; J. L. Louis y J. Hernández. 2009. Notas: Comportamiento poblacional de *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Temas de Ciencia y Tecnología*. 13 (39): 55 – 66.

Rodríguez, M.; H y E. I. Quirós M. 2009. *Steneotarsonemus spinki*, el ácaro del vaneó del arroz, un enemigo silencioso. 17 pp. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/steneotarsonemus-spinki-acaro-vaneo-arroz/steneotarsonemus-spinki-acaro-vaneo-arroz2.shtml>. Consultado 8 de noviembre de 2012.

Sandoval, M. F.; L. Almaguel; F. Fréitez y C. Vásquez. 2009. Situación actual del ácaro del arroz, *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) en Venezuela. *Entomotropica* 24(3): 135-139.

Santos H., A.; L. Almaguel R.; P. de la Torre S.; J. Cortiñas A. e I. Cáceres S. 2002. Ciclo biológico del ácaro *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) en arroz (*Oriza sativa* L.) en Cuba. *Fitosanidad*. 6 (2): 15-18.

Santos M., R.; D. Navia y R. I. Cabrera. 2004. *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Prostigmata: Tarsonemidae) – uma ameaça para a cultura do arroz no Brasil Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Documento 117. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnología. Brasilia, Brasil. 48 pp.

SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería) y DICTA (Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria). 2003. Manual técnico para el cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Para extensionistas y productores. Programa de arroz. SAG y DICTA. Comayagua, Honduras. 59 pp.

SAS Institute Inc. 2002. The SAS[®] System for Windows 9.0 (Español). Cary, NC, USA.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013a. Cierre de la producción agrícola por cultivo. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350. Consultado 28 de agosto de 2013.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013b. Consulta de Información de tu Sistema - Producto Arroz. <http://www.arroz.gob.mx/index.php?portal=arroz>. Consultado 28 de agosto de 2013.

Smiley, R. L. 1967. Further studies on the Tarsonemidae (Acarina). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*. 69 (2): 127-146.

Smith, A. H., W. M. Gill, E. A. Pinkard y C. L. Mohammed. 2007. Anatomical and histochemical defence responses induced in juvenile leaves of *Eucalyptus*

globulus and *Eucalyptus nitens* by *Mycosphaerella* infection. *Forest Pathology* 37 (6): 361-373.

Tovar-Pedraza, J. M.; J. A. Mora-Aguilera; C. Nava-Díaz; D. Téliz-Ortiz, G. Valdovinos-Ponce; A. Villegas-Monter y J. Hernández-Morales. 2012. Identification, pathogenicity, and histopathology of *Lasiodiplodia theobromae* on mamey sapote grafts in Guerrero, Mexico. *Agrociencia* 46: 147-161.

Thuy, L. D., N. D. Tung y N. V. Dinh. 2012. Population intensity of panicle rice mite *Steneotarsonemus spinki* Smiley (Acari: Tarsonemidae) influence rice yield in Vietnam. *The Journal of International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences* 18 (2): 62-69.

Vivas C., L. C.; A. Notz y D. Astudillo. 2010. Fluctuación poblacional del chinche vaneadora en parcelas de arroz, Calabozo, estado Guárico, Venezuela. *Agronomía Tropical*. 60 (1): 61-73.

Walter D. E. y G. W. Krantz. 2009. Collection, rearing and preparing specimens. 83-96 p. In: Krantz, G. W. and D. E. Walter (eds). *A manual of Acarology*. Third Edition. Lubbock, Texas Tech University Press. USA. 807 pp.