



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

FLUCTUACIÓN POBLACIONAL Y ENEMIGOS NATURALES DE *Raoiella indica* HIRST EN MÉXICO

PRESENTA

CIPRIANA MORALES DE LA CRUZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MEXICO

2017

La presente tesis titulada: "**Fluctuación poblacional y enemigos naturales de *Raoiella indica* Hirst en México**", realizada por la alumna: **Cipriana Morales de la Cruz** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO 

Dr. Gabriel Otero Colina

ASESOR 

Dra. Raquel Alatorre Rosas

ASESOR 

Dr. Luciano Martínez Bolaños

ASESOR 

Dra. Edith Guadalupe Estrada Venegas

ASESOR 

Dr. Saúl Sánchez Soto

Montecillo, Texcoco, Estado de México, junio de 2017

FLUCTUACIÓN POBLACIONAL Y ENEMIGOS NATURALES DE *Raoiella indica*

HIRST EN MÉXICO

Cipriana Morales de la Cruz

Colegio de Postgraduados

Entomología y Acarología

RESUMEN

Raoiella indica, comúnmente conocido como el ácaro rojo de las palmas, es una plaga de gran capacidad como especie invasiva. Es originaria de sitios alrededor del Océano Índico, pero en 2004 se detectó en Martinica, donde se ha dispersado por amplias zonas de América tropical. Su principal hospedante es la palma de coco, pero en sus nuevas áreas de distribución ha expandido su gama de hospedantes a una gran variedad de plantas, sobre todo monocotiledóneas. Este ácaro se ha dispersado en la mayor parte de la República Mexicana; en el estado de Tabasco se detectó en 2013 en palma de coco y en plátano. El estado de Tabasco se caracteriza por poseer zonas que presentan regímenes climáticos que van desde subhúmedas hasta zonas de alta pluviosidad, con climas de los tipos Af, Am y Aw, y aparte de lo anterior tiene extensas áreas cultivadas con palma de coco y diversos cultivares de plátano. Esto lo convierte en una zona apropiada para estudiar las diferencias en infestación de *R. indica* en dos de sus principales hospedantes (coco y plátano) en su asociación con el clima, ya que los antecedentes muestran que el clima y el tipo de hospedante son factores importantes para el establecimiento del ácaro. En este trabajo se estudió la fluctuación poblacional de *R. indica* en áreas con diferentes tipos de climas como Af, Am y Aw en el estado de Tabasco; asimismo, se buscaron enemigos naturales, ácaros e insectos depredadores, así como hongos ácaropatógenos en varios estados de la República Mexicana donde el ácaro está presente. Se determinó que el clima tiene un efecto importante en la fluctuación de poblaciones de *R. indica*, sobre todo la humedad relativa seguido por la temperatura. Durante las temporadas de más alta humedad relativa y precipitación pluvial se observó un brusco descenso en las poblaciones de este ácaro, así como en su fecundidad. La palma de coco tuvo las más altas infestaciones, mientras que en plátano (Enano Gigante y Macho) las infestaciones fueron mínimas, si bien se elevaron en el segundo año de

observaciones, en las hojas más maduras. Se identificaron artrópodos depredadores de *R. indica*, los cuales se encontraron en bajas poblaciones, por lo que se postula que no ejercieron un control efectivo de este ácaro. Asimismo, se identificaron hongos entomopatógenos del género *Hirsutiella*, los cuales provocaron fuertes epidemias durante la temporada de lluvias.

Palabras claves: Arecaceae, clima, Musaceae, Tenuipalpidae, depredadores, ácaropatógeno.

**POPULATION FLUCTUATION AND NATURAL ENEMIES OF *Raoiella indica* HIRST
IN MEXICO**
Cipriana Morales de la Cruz

Colegio de Postgraduados
Entomología y Acarología

ABSTRACT

Raoiella indica, commonly known as the red palm mite, is a pest that has great potential as invasive pest. It is originary from sites around the Indian Ocean but in 2004 it was detected in Martinica, from where it disseminated through wide areas of Tropical America. Its main host is the coconut palm but in its new distribution areas it has expanded its host range to a great variety of plants, mainly monocots. This mite has dispersed in most Mexican territory; in Tabasco State it was detected in 2013 in coconut, banana and plantain. Tabasco State possesses areas with climatic regimes going from subhumid to those with heavy, year round rainfall, with climates Af, Am and Aw; in addition, Tabasco wide areas cultivated with coconut, banana and plantain. By this fact, Tabasco is an appropriate area to study differences in *R. indica* population fluctuations related to climate in its main hosts (coconut, banana and plantain) because previous data show that climate and host are important factors for its settlement. In this work the population fluctuation of *R. indica* was studied in areas with climates Af, Am and Aw in Tabasco State; besides, natural enemies, predatory arthropods and pathogenic fungi, were surveyed in various states of Mexico where *R. indica* is present. It was determined that climate has an important effect on population fluctuations of *R. indica*, mostly relative humidity and rainfall. During the seasons of highest relative humidity and rainfall, populations of *R. indica* strongly decreased, as well as fecundity of this mite. Coconut palm showed the highest infestation,

whereas in banana (Giant Dwarf) and plantain (Horn), infestations were minimal, although they increased during the second year of observations, in mature leaves. Predatory arthropods were identified, although their populations were low, suggesting that they do not exercise an effective control of this mite. Pathogenic fungi were identified as the genus *Hirsutella*; they caused strong epidemics during the rainy season.

Key words: Arecaceae, climate, Musaceae, Tenuipalpidae, predators, acaropathogen.

	CONTENIDO	Página
	RESUMEN	i
	ABSTRACT	ii
	LISTA DE CUADROS	v
	LISTA DE FIGURAS	viii
	CAPÍTULO I	
1.1	INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.2	REVISIÓN DE LITERATURA	4
1.2.1	Ciclo biológico de <i>Raoiella indica</i>	4
1.2.3	Distribución geográfica.....	5
1.2.4	Hospedantes de <i>Raoiella indica</i>	6
1.2.5	Daños causados por <i>Raoiella indica</i>	9
1.2.6	Control de <i>Raoiella indica</i>	11
1.2.7	Literatura citada.....	11
	CAPÍTULO II	
	Fluctuación poblacional de <i>Raoiella indica</i> Hirst (Trombidiformes: Tenuipalpidae) en palma de coco, plátano y banano, a lo largo de un gradiente de regímenes climáticos en México	
	RESUMEN	19
	ABSTRACT	20
2.1	INTRODUCCIÓN	21
2.2	MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.2.1	Sitios de estudio.....	23
2.2.2	Obtención de plántulas de coco, plátano y banano.....	24
2.2.3	Establecimiento del experimento.....	25
2.2.4	Muestreos en palmas adultas de coco, plántulas de coco, plátano Macho y banano Enano Gigante introducidos.....	26
2.2.5	Análisis de datos.....	27
2.2.6	Proceso de selección de estructuras de covarianzas para los análisis	

	longitudinales a través del modelo de perfiles.....	27
2.3	RESULTADOS	27
2.3.1	Fluctuación poblacional de <i>Raoiella indica</i> en palmas adultas de coco.....	27
2.3.2	Fluctuación poblacional de <i>Raoiella indica</i> en plántulas de coco, plátano y banano introducidas.....	29
2.3.3	Composición de edades y sexos de <i>Raoiella indica</i> a lo largo del periodo de muestreo.....	31
2.3.4	Condiciones climáticas prevalecientes y su relación con los cambios poblacionales y con la composición de edades de <i>Raoiella indica</i>	32
2.4	DISCUSIÓN	43
2.5	LITERATURA CITADA	49
	CAPÍTULO III	
	Enemigos naturales (hongos ácaropatógenos y artrópodos depredadores) de <i>Raoiella indica</i> Hirst en México	
	RESUMEN	53
	ABSTRACT	54
3.1	INTRODUCCIÓN	55
3.2	MATERIALES Y MÉTODOS	57
3.2.1	Sitios de muestreo de enemigos naturales de <i>Raoiella indica</i>	57
3.2.2	Identificación de los ácaros e insectos depredadores.....	57
3.2.3	Identificación de los ácaros micosados y aislamientos de hongos acaropatógenos.....	58
3.2.4	Extracción de ADN y PCR.....	59
3.2.5	Fluctuación estacional de ácaros micosados en Tabasco, México.....	61
3.3	RESULTADOS	62
3.3.1	Identificación de los ácaros e insectos depredadores.....	62
3.3.2	Identificación morfológica de los aislamientos de hongos	

	acaropatógenos.....	62
3.3.3	Características de los aislamientos del género <i>Hirsutella</i>	63
3.3.4	Características morfológicas del aislamiento TVIC4b.....	67
3.3.5	Características morfológicas del aislamiento TVIC5c.....	68
3.3.6	Características morfológicas del aislamiento QDZ14a.....	69
3.3.7	Características morfológicas del aislamiento QDZ14c.....	70
3.3.8	Características morfológicas del aislamiento CAM19a.....	71
3.3.9	Características morfológicas del aislamiento CAM20b.....	72
3.3.10	Características morfológicas del aislamiento CAM21a.....	73
3.3.11	Características morfológicas del aislamiento OAX24a.....	74
3.3.12	Identificación molecular de los hongos acaropatógenos.....	75
3.3.13	Fluctuación poblacional de ácaros micosados.....	77
3.4	DISCUSIÓN	81
3.5	LITERATURA CITADA	83

LISTA DE CUADROS

Página

CAPÍTULO I

Cuadro 1.	Lista de los hospedantes de <i>Raoiella indica</i> , tomada de Carrillo <i>et al.</i> (2011b).....	
	..	7

CAPÍTULO II

Cuadro 1	Selección de las estructuras de covarianzas para los datos de ácaros totales de <i>Raoiella indica</i> con el modelo de perfiles. Las estructuras que mejor se adaptaron a nuestros datos están marcadas en verde.....	37
Cuadro 2	Selección de las estructuras de covarianzas para los datos de los huevecillos de <i>Raoiella indica</i> con el modelo de perfiles. Las estructuras	

	que mejor se adaptaron a nuestros datos están marcadas en verde.....	38
Cuadro 3	Selección de las estructuras de covarianzas para los datos de hembras de <i>Raoiella indica</i> con los modelos de perfiles. Las estructuras que mejor se adaptaron a nuestros datos están marcadas en verde.....	39
Cuadro 4	Comparación de la fluctuación poblacional de <i>Raoiella indica</i> en palmas de coco adultas, plántulas de palma de coco Alto Caribe y Enano Malayo, plátano Macho y banano Enano Gigante entre tres localidades de estudio, Teapa, Cárdenas y Comalcalco, Tabasco, México, 2015-2016. Los valores en las celdas corresponden a la probabilidad de $\alpha = 0.05$. Las diferencias se consideran significativas cuando la probabilidad ≤ 0.05 ; se resaltan con negritas. Se consideran altamente significativas cuando la probabilidad ≤ 0.01 , se resaltan con negritas y subrayado.....	40
Cuadro 5	Comparación de la estructura de edades (porcentaje de hembras adultas) de <i>Raoiella indica</i> en palmas de coco adultas, plántulas de palma de coco Alto Caribe y Enano Malayo, plátano Macho y banano Enano Gigante entre las localidades de estudio Teapa, Cárdenas y Comalcalco, Tabasco, México, 2015-2016. Los valores en las celdas corresponden a la probabilidad de $\alpha = 0.05$. Las diferencias se consideran significativas cuando la probabilidad ≤ 0.05 ; se resaltan con negritas. Se consideran altamente significativas cuando la probabilidad ≤ 0.01 , se resaltan con negritas y subrayado.....	41
Cuadro 6	Efecto de temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial en las fluctuaciones poblacionales de <i>Raoiella indica</i> en palmas de coco adultas, plántulas de palma de coco Alto Caribe y Enano Malayo, plátano macho (<i>Musa AAB</i>) y banano enano gigante (<i>Musa AAA</i>) en tres localidades de estudio, Teapa, Cárdenas y Comalcalco, Tabasco, México, 2015-2016. Los valores en las celdas corresponden a la	

probabilidad de $\alpha = 0.05$. Los efectos se consideran significativos cuando la probabilidad ≤ 0.05 ; se resaltan con negritas. Se consideran altamente significativos cuando la probabilidad ≤ 0.01 , se resaltan con negritas y subrayado..... 42

Cuadro 7	Efecto de temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial en estructura de edades (porcentaje de hembras adultas) de <i>Raoiella indica</i> en palmas de coco adultas, plántulas de palma de coco Alto Caribe y Enano Malayo, plátano Macho (<i>Musa AAB</i>) y banano Enano Gigante (<i>Musa AAA</i>) en tres localidades de estudio, Teapa, Cárdenas y Comalcalco, Tabasco, México, 2015-2016. Los valores en las celdas corresponden a la probabilidad de $\alpha = 0.05$. Los efectos se consideran significativos cuando la probabilidad ≤ 0.05 ; se resaltan con negritas. Se consideran altamente significativos cuando la probabilidad ≤ 0.01 , se resaltan con negritas y subrayado.....	43
----------	--	----

CAPÍTULO III

Cuadro 1	Depredadores colectados en diferentes estados de la República Mexicana.....	64
Cuadro 2	Sitios de colectas de los hongos ácaropatógenos en palmas de coco.....	67
Cuadro 3	Efecto de temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial en las fluctuación poblacional de los ácaros micosados en palmas de coco adultas, plántulas de palma de coco Alto Caribe y Enano Malayo, plátano macho (<i>Musa AAB</i>) y banano enano gigante (<i>Musa AAA</i>) en tres localidades de estudio, Teapa, Cárdenas y Comalcalco, Tabasco, México, 2015-2016. Los valores en las celdas corresponden a la probabilidad de $\alpha \geq 0.05$. Los efectos se consideran significativos cuando la probabilidad ≤ 0.05 ; se resaltan con negritas. Se consideran altamente significativos cuando la probabilidad ≤ 0.01 , se resaltan con negritas y subrayado.....	80

LISTA DE FIGURAS

		Página
CAPÍTULO I		
Figura 1	Ciclo biológico de <i>Raoiella indica</i>	5
Figura 2	Mapa de distribución de <i>Raoiella indica</i> actualizado.....	6
Figura 3	Daños característicos de <i>Raoiella indica</i> en hojas de palmas de coco.....	10
Figura 4	Daños provocados por <i>Raoiella indica</i> en hojas de plátano.....	10
CAPÍTULO II		
Figura 1	Mapa de Tabasco, México, con sus zonas climáticas de acuerdo con García (2004) y los sitios de estudio. 1. Tzapingo, Teapa, 2. Km 21, Cárdenas y 3. Rancho el Recreo, Comalcalco.....	24
Figura 2	Selección de áreas para el muestreo de poblaciones de <i>R. indica</i> . A) Hoja de palma de coco establecida, B) plántula de coco introducida y C) plántula de plátano introducida.....	26
Figura 3	Promedio del número de ejemplares totales de <i>R. indica</i> en palmas adultas de coco en tres localidades de Tabasco, México: Teapa, Cárdenas, Comalcalco (febrero de 2015). Columnas con la misma letra no son significativamente diferente (diferencia mínima significativa, $P=0.05$).....	28
Figura 4	Fluctuación de poblaciones de <i>Raoiella indica</i> en palmas de coco adultas en tres localidades del estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	28
Figura 5	Fluctuación de poblaciones de <i>Raoiella indica</i> en plántulas de coco cultivar Alto Caribe en tres localidades del estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	29
Figura 6	Fluctuación de poblaciones de <i>Raoiella indica</i> en plántulas de coco cultivar	

	Enano Malayo en tres localidades de estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	30
Figura 7	Fluctuación de poblaciones de <i>Raoiella indica</i> en plántulas de plátano Macho en tres localidades del estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	31
Figura 8	Fluctuación de poblaciones de <i>Raoiella indica</i> en plántulas de banano Enano Gigante en tres localidades del estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	31
Figura 9	Composición de edades de <i>Raoiella indica</i> en palmas de coco adultas en tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	33
Figura 10	Composición de edades de <i>Raoiella indica</i> en plántulas de coco Alto Caribe en tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	33
Figura 11	Composición de edades de <i>Raoiella indica</i> en plántulas de coco Enano Malayo en los tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	34
Figura 12	Composición de edades de <i>Raoiella indica</i> en plátano Macho en tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	34
Figura 13	Composición de edades de <i>Raoiella indica</i> en banano Enano Gigante en tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	35
Figura 14	Temperaturas promedio mensuales tomadas en los tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	35
Figura 15	Humedades relativas promedio registradas durante todo el muestreo en los sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	36
Figura 16	Precipitación acumulada mensual en los tres sitios de estudios, registradas durante todo el muestreo en el estado de Tabasco, México.	

2015-2016.....	36
----------------	----

CAPÍTULO III

Figura 1	A y B) Foliolo de palma de coco con <i>Raoiella indica</i> infectado por <i>Hirsutella thompsonii</i> y C y D) imágenes de microscopía electrónica del barrido.....	65
Figura 2	Ácaros montados en lactofenol entre porta y cubreobjetos y observados en el microscopio Carl Zeiss. A) <i>Raoiella indica</i> infectado por <i>Hirsutella thompsonii</i> , B) <i>R. indica</i> infectado por <i>H. tydeicola</i> , C) <i>R. indica</i> infectados de <i>Hirsutella sp</i>	66
Figura 3	Características morfológicas del aislamiento TVIC4b. A. Colonia grisácea sin sinemas. B Fiálides conoidales y C. Conidios redondos.....	68
Figura 4	Características morfológicas del aislamiento TVIC5c. A. Colonia blanca con sinemas. B Fiálides ensanchados en la base y C. Conidios redondos.....	69
Fugura 5	Características morfológicas del aislamiento QDZ14a. A. Colonia grisácea con sinemas color crema. B Fiálides con dos a tres esterigmas y C. Conidios redondos.....	70
Figura 6	Características morfológicas del aislamiento QDZ14c. A. Colonia blanca con sinemas color crema. B Fiálide gradualmente estrechada formando esterigma y C. Conidios redondos con abultamiento.....	71
Figura 7	Características morfológicas del aislamiento CAM19a. A. Colonia color blanco con un ligero tono grisáceo en el centro. B Fiálides con uno a dos esterigmas y C. Conidios redondos.....	72
Figura 8	Características morfológicas del aislamiento CAM20b. A. Colonia grisácea. B Fiálides sésiles y C. Conidios redondos.....	73
Figura 9	Características morfológicas del aislamiento CAM21a. A Colonia grisácea con crecimiento radial. B los fiálides sésiles ensanchados hacia la base y C.	

	Conidios redondos	74
Figura 10	Características morfológicas del aislamiento OAX24a. A. blanco-grisáceo con abultamiento en el centro. B los fiálides alargados y C. Conidios redondeados	75
Figura 11	Árbol filogenético de los aislamientos QDZ14C, QDZ14a, CAM20b, OAX24a, CAM21a, TIV5C, TVIC4b, CAM19a de hongos acaropatógenos obtenidos de <i>Raoiella indica</i> en palmas de coco, utilizando el método de máxima verosimilitud con 1,000 repeticiones de Bootstrap.....	76
Figura 12	Proporción de ácaros micosados en diferentes cultivares en los tres sitios de estudios, durante todo el muestreo correspondiente de 2015-2016.....	78
Figura 13	Temperaturas promedio mensuales tomadas en los tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	79
Figura 14	Humedades relativas promedio registradas durante todo el muestreo en los sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	79
Figura 15	Precipitación acumulada mensual en los tres sitios de estudios, registradas durante todo el muestreo en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.....	80

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que me brindó durante mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados (CP) por darme la oportunidad de crecer profesionalmente.

A mi consejero, el Dr. Gabriel Otero Colina por creer y confiar en mí, por sus buenos consejos, por hacerme ver mis errores. Por darme siempre ánimos. Gracias por ser mi guía y un ejemplo a seguir.

A todos mis asesores que formaron parte de mi consejo particular.

A la Dra. Raquel Alatorre Rosas por sus asesorías, tiempo y disponibilidad otorgada durante la realización de esta investigación. Gracias por aconsejarme de lo que debo y no debo hacer.

Al Dr. Luciano Martínez Bolaños por su apoyo y sus acertados comentarios en la realización de este trabajo. Siempre estuvo al pendiente del trabajo brindándome todo el tiempo su apoyo.

A la Dra. Edith Guadalupe Estrada Venegas por sus buenas críticas para el mejoramiento del trabajo. Gracias por todo el apoyo brindado.

Y al Dr. Saúl Sánchez Soto por todo el apoyo recibido en el Campus Tabasco y por su aportación en el mejoramiento del trabajo.

A mi sinodal el Dr. Néstor por el ánimo que me dio durante mis exámenes predoctorales y sus palabras de aliento.

Por otro lado, le doy las gracias a la Dra. Guadalupe Carrillo por el apoyo que siempre recibí durante el trabajo de laboratorio, de lo cual surgió una bonita amistad.

Agradezco al maestro Jorge Valdez por su apoyo en la toma de fotografías de los ácaros micosados.

A los ingenieros de Sanidad Vegetal del estado de Tabasco.

A Eduardo, por todo el apoyo que he recibido, comprensión y amor incondicional que recibo de él.

A mis hermanas que siempre me apoyaron en los momentos difíciles. Estaré siempre agradecida.

A Marco Antonio por ser mi mejor amigo, a quien considero como un hermano, gracias por todo.

Al Dr. Agustín y a su esposa por los ánimos que me dieron y que me siguen dando para seguir adelante.

A la familia Ramírez Beltrán, Ramírez Durán por la linda amistad que tengo con ellos y hacerme saber que puedo contar con ellos para lo que sea.

A todos los que comparto una bonita amistad y a quienes yo admiro mucho: Abraham, Haidel, Martita, Cheli, Lupita, Nuvia, Karla, María, Amado, Jorge San Juan y a todo el equipo de la Sociedad Mexicana de Fitosanidad A.C.

A todos que una u otra manera aportaron para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A Dios

A mis padres: Por haberme educado y ayudado a crecer como persona.

A mi padre, donde quiera que esté siempre lo llevo en mi mente y en mi corazón.

A mi gran compañero, mi pareja de vida Eduardo Ramírez Beltrán. Este triunfo también se volvió tuyo en el momento en que llegaste a mi vida. Gracias por estar siempre y apoyarme en todo. Caminemos juntos siempre.

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

México tiene amplias tierras bajas, planicies costeras con clima cálido favorable para cultivos tropicales como palma de coco (*Cocos nucifera* L), plátano (*Musa* AAB) y banano (*Musa* AAA). Los estados que encabezan en la producción de estos cultivos son Guerrero, Colima y Tabasco (SIAP, SAGARPA, 2017).

La palma de coco es una especie diploide con 32 cromosomas ($2n=32$) y con hibridación intraespecífica (Granados-Sánchez y López-Ríos, 2002; Santos *et al.*, 2006). En esta especie se distinguen dos grupos principales: las palmas de porte alto (variedad típica) y las de porte bajo (enanas) (Santos *et al.*, 2006). Es considerado como uno de los cultivos de mayor importancia a nivel mundial (Borgtoff y Balslev, 1993), se cultiva ampliamente en países que bordean el Océano Pacífico, así como en Asia y África Oriental. Las variedades típicas se encuentran cultivadas a lo largo de las costas. Su centro de origen probablemente es la región del Océano Indo-Pacífico extendiéndose desde las Islas Seychelles al oeste, hasta las Islas de la Línea, también llamadas Espóradas Ecuatoriales, al este (Harries, 1978).

Por otro lado, el cultivo de plátano también es considerado de importancia económica para las zonas tropicales del mundo. Es un alimento básico para los países africanos y latinoamericanos (FAO, 2004). El cultivo de plátano y el de banano pertenecen a la familia Musaceae, se caracterizan por presentar pseudotallos compuestos de vainas foliares estrechamente ceñidas y ligeramente abultadas en la base (Samson, 1991). Son cultivos que pertenecen al género *Musa*. Existen más de 50 especies, algunas de las cuales están constituidas por subespecies (Wong *et al.*, 2002). El plátano y el banano provienen del cruzamiento entre *Musa acuminata* Colla (AA) y *Musa balbisiana* Colla (BB); dentro de este grupo están los clones que podrían ser diploides ($2n = 22$), triploides ($3n = 33$) y tetraploides ($4n = 44$). Las variedades de plátano (Macho) y banano (Enano Gigante) son triploides con 33 cromosomas ($3n = 33$) (Simmonds y Shepherd, 1955; Stover y Simmonds; 1987; Crane y Balerdi, 1998; Román *et al.*, 2004). Estas variedades son las más destacadas en México (SIAP, SAGARPA, 2017).

Entre las principales plagas que infestan a las palmas de coco están el picudo del cocotero (*Rhynchophrus palmarum*), vector de la enfermedad del anillo rojo (Motta *et al.*, 2008), la chicharrita (*Myndus crudus*), vector de la enfermedad de amarillamiento letal del cocotero (Howard *et al.*, 1984), y los ácaros (Navia *et al.*, 2005).

Entre las plagas que infestan al cultivo de plátano y al de banano se encuentran el picudo negro o gorgojo del plátano (*Cosmopolites sordidus*) (Gold *et al.*, 2005), el picudo rayado (*Metamasius hemipterus*) y el picudo amarillo (*Metamasius hebetatus*) (Valladolid y Castillo-Carrillo, 2001; Boscán y Godoy, 1988).

El ácaro *Raoiella indica*, también designado ácaro rojo de las palmas, fue descrito en la India, infestando palma de coco (Hirst, 1924); en Mauricio, Egipto e Israel se observó infestando a palma datilera (Jeppson *et al.*, 1975). En América se detectó por primera vez en la isla Martinica por Flechtmann y Etienne (2004), desde donde luego se diseminó hacia varios países. En 2009 se detectó en México (NAPPO, 2009) y se ha establecido en las zonas más importantes de producción de coco en México (SENASICA, 2014). En sus nuevos sitios de distribución en el Continente Americano, *R. indica* ha ampliado considerablemente su gama de hospedantes. La lista de hospedantes incluye especies de las familias Arecaceae, Musaceae, Celastraceae, Fabaceae, Heliconiaceae, Lamiaceae, Myrtaceae, Oleaceae, Pandanaceae, Strelitziaceae y Zingiberaceae (Cocco y Hoy, 2009). Carrillo *et al.* (2011b) presentan una lista de los hospedantes en el nuevo mundo, donde incluyen 27 nuevas especies. Varios autores mencionan la palma de coco su principal hospedante (Carrillo *et al.* 2010; Peña *et al.* 2009). Sin embargo, el cultivo de plátano y el de banano también son afectados por este ácaro (Carrillo *et al.*, 2011b).

Raoiella indica se alimenta a través de los estomas de sus plantas huésped, lo cual interfiere en el proceso de fotosíntesis y respiración de la planta (Ochoa *et al.*, 2011). Los daños que causa son manchas cloróticas amarillas en las hojas (Jeppson *et al.*, 1975); en plátano, Kane y Ochoa (2006) describen el daño como quemaduras en los bordes de las hojas. Sin embargo, Otero-Colina *et al.* (2016) observaron los mismos daños, pero en plantas no infestadas.

Los factores climáticos como la temperatura, la humedad relativa y la precipitación son factores abióticos que pueden llegar a influir en el desarrollo de *R. indica*. Consistentemente se

ha observado que las poblaciones de este ácaro se reducen drásticamente durante la temporada de lluvias (Moutia, 1958; Nagesha Chandra y ChannaBasavanna, 1984; Otero-Colina *et al.*, 2016). Asimismo, su capacidad de incremento varía según el tipo de hospedante (González y Ramos, 2010; Otero-Colina *et al.*, 2016; Cocco y Hoy, 2009).

Varios autores mencionan algunos enemigos naturales de *R. indica*. Carrillo *et al.* (2010) y Carillo y Peña (2011) reportan a *Amblyseius largoensis* como un depredador muy común de *R. indica* y lo consideran un agente biológico con gran potencial (Carrillo *et al.*, 2014). En México se ha reportado a *Chilocorus cacti* como un depredador nativo potencial de *R. indica* (Machkour-M'rabet *et al.*, 2015). Carrillo *et al.* (2011c) mencionan otros insectos como posibles depredadores de *R. indica*, tales como algunas especies de las familias Chrysopidae, Phlaeothripidae, Staphylinidae y Anthocoridae que se han encontrado en asociación con este ácaro.

Entre los enemigos naturales de los ácaros fitófagos se reporta a algunos hongos de patógenos de ácaros, o ácaropatógenos. Van der Geest *et al.* (2010) observaron a *Neozygites floridana* (Weiser y Muma) infectando principalmente *Tetranychus urticae*, así como a *N. abacaridis* infectando a algunas especies de eriófidos. Otros autores mencionan al género *Hirsutella* como patógeno de ácaros e insectos fitófagos, donde *H. kirchneri*, *H. necatrix* e *H. thompsonii* son exclusivos de ácaros fitófagos, principalmente eriofidos y tarsonémidos (Balazy *et al.* 2008), así como de *Brevipalpus phoenicis* (Rosas-Acevedo y Sampedro-Rosas, 2006).

En el desarrollo de una plaga y de sus enemigos naturales, el clima juega un papel importante, tal como lo mencionan Smitley *et al.* (1986). Cuando las condiciones ambientales como la humedad relativa, la temperatura y además la presencia suficiente de los ácaros huéspedes favorecen el desarrollo de los hongos, causando epizootias. Sin embargo, estos factores ambientales también pueden ser negativos para el desarrollo de dichos agentes de control biológico (Delalibera *et al.*, 2004).

La presencia y rápida diseminación de *R. indica* en América tropical representa un importante problema para los cultivos afectados. Este ácaro ha demostrado una gran adaptabilidad a nuevos hospedantes y climas; por otra parte, su control es problemático porque

varias de las plantas hospedantes, incluyendo las palmas de coco, son de porte alto. Por lo anterior, surgió el interés de estudiar su fluctuación poblacional en diferentes climas que conforman el estado de Tabasco (Af, Am y Aw) (García, 2004), teniendo como meta aportar información que expliquen el desarrollo poblacional de la plaga, den elementos para un manejo sustentable y para optimizar su control, buscando en última instancia evitar el uso masivo de productos químicos que podrían generar resistencia en *R. indica*.

1.2. REVISIÓN DE LITERATURA

Clasificación taxonómica de *Raoiella indica* Según Mendonça *et al.* (2005)

Phyllum: Arthropoda

Subphyllum: Chelicerata

Clase: Arachnida

Subclase: Acari

Orden: Prostigmata

Superfamilia: Tetranychoidae

Familia: Tenuipalpidae Berlese

Subfamilia: Tenuipalpinae Sayed, 1950

Tribu: Tenuipalpini Berlese, 1913

Género: *Raoiella* Hirst, 1924

Especie: *Raoiella indica* Hirst, 1924

1.2.1. Ciclo biológico de *Raoiella indica*

El ciclo biológico de *R. indica* comprende cinco etapas: huevos, larvas, protoninfa, deutoninfa y adulto (Figura 1).

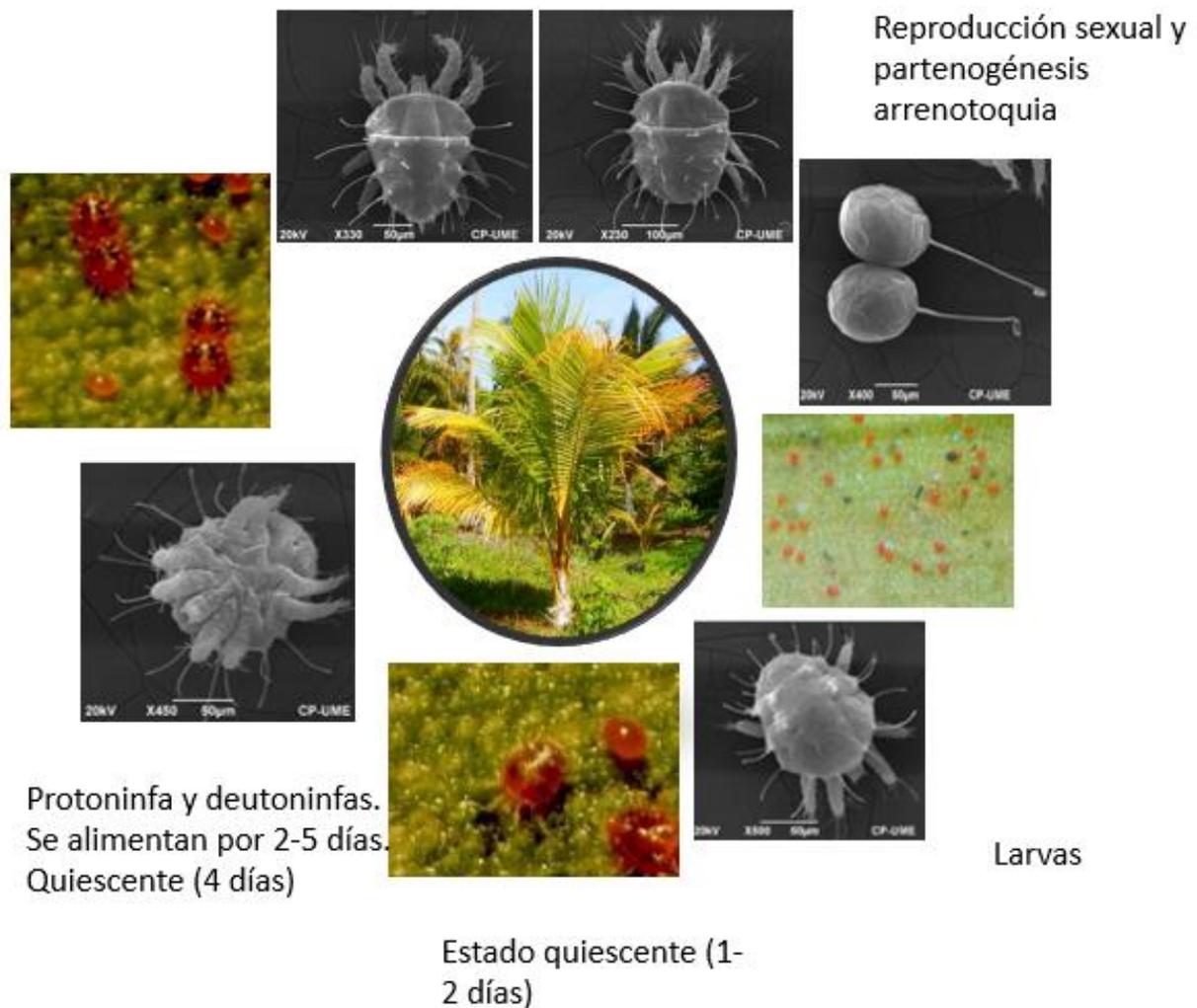


Figura 1. Ciclo biológico de *Raiella indica*.

1.2.2. Distribución geográfica

El ácaro rojo de las palmas *R. indica* fue descrito por primera vez en 1924 por Hirst sobre hojas de cocotero. Su área de distribución se extendía alrededor en las costas del Océano Índico, con límite en su distribución hacia el oeste en Israel y Egipto (Jeppson *et al.*, 1975), aunque el origen del género podría ser África o Medio Oriente (Dowling *et al.*, 2011) (Figura 2).

Flechtmann y Etienne (2004) lo detectaron por primera vez en América, en la isla Martinica, y de ahí se ha expandido a todas las islas del Caribe (Etienne y Flechtmann, 2006), Florida en los Estados Unidos de América (Peña *et al.*, 2006), México (NAPPO, 2009), Venezuela (Vásquez y de Moraes, 2013), Colombia (Carrillo *et al.*, 2011a) y Brasil (Navia *et al.*,

2011; Rodríguez, 2012; Chiaradia *et al.*, 2016) (Figura 2). En México este ácaro se ha establecido en las zonas de producción de coco más importantes que se localizan en los estados de Tabasco, Veracruz y Guerrero (SENASICA, 2014).

1.2.3. Hospedantes de *Raoiella indica*

Luego de su establecimiento en el Continente Americano, *R. indica* expandió considerablemente su gama de hospedantes. González y Ramos (2010) y Cocco y Hoy, (2009) registraron unas 70 especies hospedantes, pertenecientes a 11 familias botánicas; sin embargo, Carrillo *et al.* (2011b) presentan una lista más completa de los hospedantes de *Raoiella indica*, agregando 27 nuevas especies (Cuadro 1).

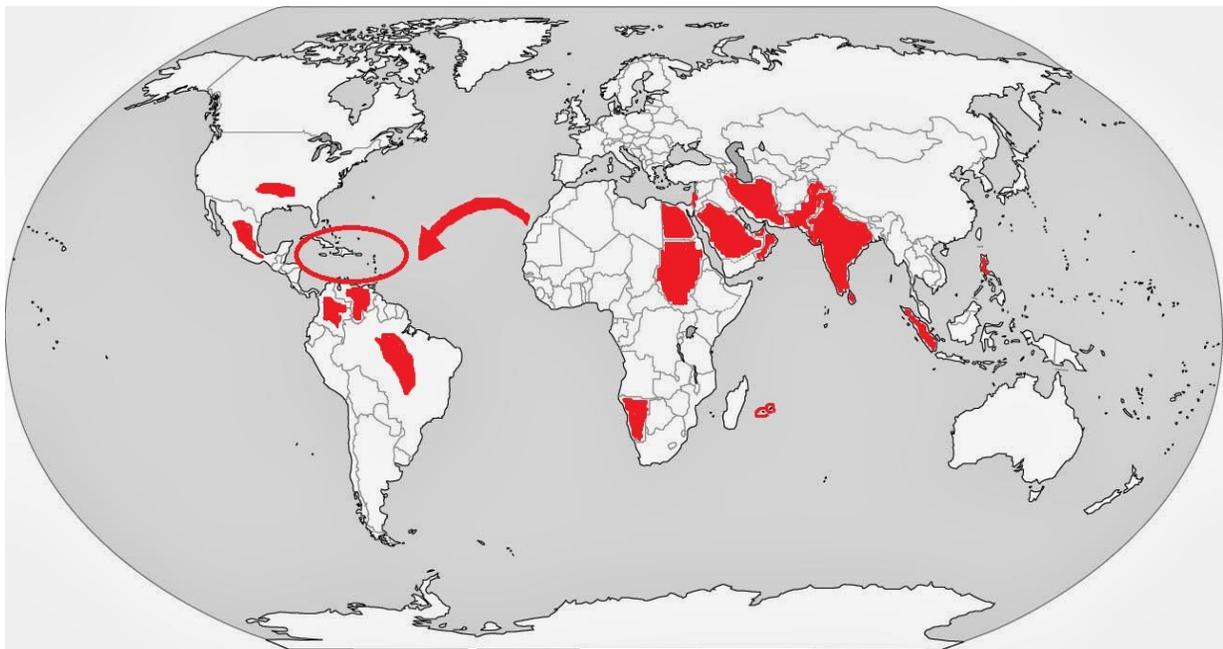


Figura 2. Mapa de distribución de *Raoiella indica* actualizado.

Cuadro 1. Lista de los hospedantes de *Raoiella indica*, tomada de Carrillo *et al.* (2011b)

Orden reproductivo	Familia	Subfamilia	Tribu	Nombre Científico	Referencia			
Arecales	Arecaceae	Arecoideae	Areceae	<i>Archontophoenix alexandrae</i> (F. Muell.) H. Wendl. y	Welbourn (2009)			
				<i>Acanthophoenix rubra</i> (Bory) H. Wendl.	Fairchild, nuevo reporte Negeshachandra y			
				<i>Areca catechu</i> L	Channabasavanna (1984) Pritchard y Baker (1958), Fairchild			
				<i>Areca sp.</i>	Pritchard y Baker (1958), Fairchild			
				<i>Neoveitchia storckii</i> (Wendl)	Fairchild			
				<i>Dypsis decaryi</i> (Jum.) Beentje y J. Dransf	Welbourn (2009)			
				<i>Dypsis lutescens</i> (H. Wendl.) Beentje y J. Dransf. (=Chrysalidocarpus)	Kane <i>et al.</i> (2005) Etienne y Flechtmann			
				<i>Adonidia merrillii</i> (Becc.) Becc. (=Veitchia)	(2006), Trinidad			
				<i>Ptychosperma elegans</i> (R.Br.) Blume	Welbourn (2009)			
				<i>Ptychosperma macarthurii</i> (H. Wendl. ex HJ Veitch) H. Wendl. ex Hook. F	Etienne y Flechtmann (2006), Trinidad			
				<i>Ptychosperma sp.</i>	Cocco y Hoy (2009)			
				<i>Veitchia arecina</i> Becc.	Cocco y Hoy (2009)			
				<i>Veitchia sp.</i>	Welbourn (2009)			
				<i>Wodyetia bifurcata</i> A.K. Irvine	Welbourn (2009)			
				<i>Dictyosperma album</i> (Bory) H. Wendl. y Drude ex Scheff.	Moutia (1958)			
				<i>Heterospathe elmeri</i> Becc. in Leafl.	Fairchild, nuevo reporte			
				<i>Heterospathe negrosensis</i> Becc.	Fairchild, nuevo reporte			
				<i>Heterospathe elata</i> Hough y Hubb	Fairchild, nuevo reporte			
				<i>Heterospathe intermedia</i> (Becc.) Fernando	Fairchild, nuevo reporte			
				Chamaedoreeae			<i>Chamaedorea sp.*</i>	Welbourn (2009)
				Cocoseae			<i>Gaussia princeps</i> (Scott)*	Fairchild, nuevo reporte
							<i>Butia capitata</i> (Mart.) Becc.	Welbourn (2009)
							<i>Cocos nucifera</i> L.	Hirst (1924), Welbourn (2009) Fairchild, Trinidad
							<i>Syagrus schizophylla</i> (Mart.) Glass.*	Welbourn (2009)
							<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glass.*	Kane <i>et al.</i> (2005), Trinidad
							<i>Allagoptera arenaria</i> (Gomes) O. Kintze*	Fairchild, nuevo reporte
							<i>Beccariophoenix madagascariensis</i> Jum. y H. Perrier	Welbourn (2009)
							<i>Aphanes caryotifolia</i> (Kunth) H. A. Wendl.*	Welbourn (2009)
							<i>Aphanes sp.*</i>	Kane <i>et al.</i> (2005)
							<i>Bactris plumeriana</i> Mart.*	Welbourn (2009)
							<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	Welbourn (2009)
						Roystoneeae	<i>Roystonea borinquena</i> Cook*	Welbourn (2009)
							<i>Roystonea regia</i> (Kunth) Cook*	Welbourn (2009)
						Ceroxyloideae	<i>Pseudophoenix sargentii</i> H. Wendl.*	Welbourn (2009)
						Cyclospatheae	<i>Pseudophoenix vinifera</i> (Mart.) Becc.*	Welbourn (2009)
						Coryphoideae	<i>Bismarckia nobilis</i> Hildebr. y Wendl.	Welbourn (2009)
							<i>Latania sp.</i>	Trinidad, nuevo reporte
							<i>Arenga australasica</i> (H. L. Wendl. & Drude)	
						Caryoteae	S. T. Blake	Trinidad, nuevo reporte
							<i>Arenga engleri</i> Becc.	Trinidad, nuevo reporte
							<i>Arenga pinnata</i> (Wurmb) Merrill	Trinidad, nuevo reporte
							<i>Arenga tremula</i> (Blanco) Becc.	Trinidad, nuevo reporte
							<i>Arenga undulatifolia</i> Becc.	Trinidad, nuevo reporte
			<i>Arenga microcarpa</i> Becc.	Trinidad, nuevo reporte				
			<i>Caryota mitis</i> Lour	Etienne y Flechtmann				

			(2006), Fairchild, Trinidad Florida y Trinidad, nuevo reporte
	Corypheeae	<i>Caryota urens</i> L. <i>Corypha umbraculifera</i> L.	Welbourn (2009) Etienne y Flechtmann (2006)
	Livistoneae (Trachycarpeae)	<i>Licuala grandis</i> Wendl. <i>Licuala spinosa</i> Thunberg <i>Livistona australis</i> (R. Br.) Mart. <i>Livistona carinensis</i> (Chiov.) Dransf. y Uhl <i>Livistona fulva</i> A.N. Rodd <i>Livistona mariae</i> F. Muell <i>Livistona muelleri</i> F. Muell <i>Livistona rigida</i> Becc. <i>Livistona rotundifolia</i> (Lam.) Mart. <i>Livistona chinensis</i> (Jacq.) R. Br. ex Mart. <i>Pritchardia pacifica</i> Seem. y H. Wendl. <i>Pritchardia vuylstekeana</i> H. Wendl <i>Washingtonia filifera</i> (Linden ex Andre') H. Wendl.* <i>Washingtonia robusta</i> H. Wendl.* <i>Acoelorrhaphe wrightii</i> (Griseb. y H. Wendl.) H. Wendl. <i>Brahea armata</i> S. Watson* <i>Guihaia grossefibrosa</i> J. Dransf., S.K. Lee y F.N. Wei	Trinidad, nuevo reporte Fairchild, nuevo reporte Fairchild, nuevo reporte Fairchild, nuevo reporte Fairchild, nuevo reporte Fairchild, nuevo reporte Fairchild, nuevo reporte Trinidad, nuevo reporte Welbourn (2009) Etienne y Flechtmann (2006), Trinidad Cocco y Hoy (2009) Welbourn (2009) Etienne y Flechtmann (2006), Trinidad Welbourn (2009) Fairchild, nuevo reporte
	Phoeniceae	<i>Rhapis excelsa</i> (Thunb.) A. Henry ex Rehder <i>Phoenix acaulis</i> Roxb. <i>Phoenix canariensis</i> hort. ex Chabaud <i>Phoenix dactylifera</i> L. <i>Phoenix reclinata</i> Jacq. <i>Phoenix roebelenii</i> O'Brien	Trinidad Trinidad, nuevo reporte Etienne y Flechtmann (2006), Fairchild Sayed (1950) Welbourn (2009), Fairchild Welbourn (2009), Fairchild, Trinidad
	Thrinaceae (Cryosophileae)	<i>Coccothrinax argentata</i> (Jacq.) L. H. Bailey* <i>Coccothrinax miraguama</i> (Kunth) Becc.* <i>Schippia concolor</i> Burret* <i>Thrinax radiata</i> Loddiges ex J.A. y J.H. Schultes (=T. floridana)* <i>Heliconia bihai</i> L.* <i>Heliconia caribaea</i> Lam.* <i>Heliconia psittacorum</i> Sassy <i>Heliconia rostrata</i> Ruiz y Pavon* <i>Heliconia</i> sp.* <i>Ravenala madagascariensis</i> Sonn. <i>Strelitzia reginae</i> Ait. <i>Musa acuminata</i> Colla <i>Musa balbisiana</i> Colla <i>Musa corniculata</i> Rumph. <i>Musa</i> sp. <i>Musa uranoscopus</i> Lour. (= <i>M. coccinea</i>)	Cocco y Hoy (2009) Welbourn (2009) Welbourn (2009) Welbourn (2009) Welbourn (2009) Etienne y Flechtmann (2006) Peña <i>et al.</i> (2009), Fairchild Welbourn (2009) Etienne y Flechtmann (2006) Kane <i>et al.</i> (2005), Fairchild Kane <i>et al.</i> (2005) Welbourn (2009) Etienne y Flechtmann (2006) Kane <i>et al.</i> (2005)
Zingiberales	Heliconiaceae		
	Strelitziaceae		
	Musaceae		

	Zingiberaceae	<i>Musa paradisiaca</i> L. <i>Alpinia purpurata</i> (Vieillard) K. Schumann <i>Alpinia zerumbet</i> (Pers.) Burt. y R. M. Sm.	Kane <i>et al.</i> (2005) Welbourn (2009) Welbourn (2009) Etienne y Flechtmann (2006)
Pandanales	Pandanaceae	<i>Etilingera elatior</i> (Jack) R. M. Sm. <i>Zingiber</i> sp. <i>Pandanus</i> sp. <i>Pandanus utilis</i> Bory	Peña <i>et al.</i> (2009) Kane y Ochoa (2006) Welbourn (2009)

1.2.4. Daños causados por *Raoiella indica*

El ácaro rojo de las palmas puede causar la muerte de las plantas. Los daños más intensos se observan en viveros. En palmas de coco se observan daños más evidentes en las hojas viejas, las cuales se tornan amarillas y con el tiempo se necrosan y pueden llegar a secarse completamente (Rodríguez *et al.*, 2007) (Figura 4).

Las plantas jóvenes de palmas de coco también son severamente dañadas. Estos ácaros se distinguen mejor en las hojas verdes, donde forman sus poblaciones en el envés de las hojas y en éstas pueden aparecer puntos amarillos esparcidos sobre ambas superficies hasta provocar una fuerte coloración amarilla y necrosis generalizada en toda la hoja (Figuras 3 y 4). Estos daños que causan en las hojas pueden provocar el aborto de las flores y la disminución del peso de la copa (Hoy *et al.*, 2006).



Fig 3. Daños característicos de *Raiella indica* en hojas de palmas de coco.



Fig. 4. Daños provocado por *Raiella indica* en hojas de plátano.

1.2.5. Control de *Raoiella indica*

El control de *R. indica* se ha realizado básicamente a través de productos químicos. Los estudios de variedades resistentes al ácaro son incipientes; sin embargo, los enemigos naturales han demostrado ser una alternativa promisoriosa (Mendonça *et al.*, 2005). El control químico, aparte de su elevado costo, es difícil de aplicar, ya que las plantas son de porte elevado, pues llegan a alcanzar de 20 a 25 metros de altura (Granados-Sánchez y López-Ríos, 2002).

En los países donde *R. indica* se ha estudiado con mayor profundidad como India, Mauricio y Egipto, se han encontrado asociados a la misma alrededor de 15 enemigos naturales. Carrillo *et al.* (2011c) presentan una lista de los enemigos naturales de *R. indica*; sin embargo, poco se conoce sobre el papel de las especies de depredadores comúnmente asociadas a *R. indica*, si son enemigos naturales efectivos (Hoy *et al.*, 2006).

1.2.6. LITERATURA CITADA

- Balazy S, Mietkiewski R, Tkaczuk C, Wegensteiner R y Wrzosek R. 2008. Diversity of acaropathogenic fungi in Poland and other European countries. *Exp Appl Acarol* 46:53-70.
- Borgtoft P H y Balslev H. 1993. Palmas útiles. Especies ecuatoriales para agroforestería y extractismo. Ediciones ABYA-YALA. Quito, Ecuador. 158 pp.
- Boscan N y Godoy F. 1988. Época de incidencia de *Cosmopolites sordidus* (G.) y *Metamasius hemipterus* (L.) en dos huertos de musáceas en el Estado Aragua. *Agron Trop.* (4-6): 108-119.
- Carrillo D, Hoy M A, Hoy y Peña J E. 2014. Effect of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) on *Raoiella indica* (Acari; Tenuipalpidae) by predator exclusion and predator release techniques. *Fla Entomol* 97 (1). 256-261.

- Carrillo D, Navia D, Ferragut F y Peña J E. 2011a. First report of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in Colombia. Fla Entomol 94 (2):370–371.
- Carrillo D, Amalin D, Hosein F, Roda A, Duncan R E, Peña J E. 2011b. Host plant range of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in areas of invasion of the New World. Exp Appl Acarol 57:271–289.
- Carrillo D, Howard J F, Rodrigues V J C y Peña J E. 2011c. Review of the natural enemies of the red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). Exp Appl Acarol DOI 10.1007/s10493-011-9499-4.
- Carrillo D y Peña J E. 2011. Prey-stage preferences and functional and numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). Exp Appl Acarol. DOI 10.1007/s10493-011-9488-7.
- Carrillo D, Peña J E, Hoy M A y Howard J F. 2010. Development and reproduction of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) feeding on pollen, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae), and other microarthropods inhabiting coconuts in Florida, USA. Exp Appl Acarol (2010) 52:119-129.
- Chiaradia O D, Pereira P E, Moraes G J, Gomes F M E, Alves C E, Guedes C G M y Navia D. 2016. First report of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in Southeastern Brazil. Fla Entomol 99(1): 123-125.
- Cocco A. y Hoy M A. 2009. Feeding, reproduction, and development of the red palm mite (Acari: Tenuipalpidae) on selected palms and banana cultivars in quarantine. Fla Entomol 92(2): 276-291.

- Crane J H y Balerdi C F. 1998. Los plátanos em Florida. Departamento de Ciencias Hortícolas, Florida Cooperativa extension service, Institute of Food and Agricultural Sciences. Universidad of Florida.
- Dowling A P G, Ochoa R, Beard J J, Welbourn W C y Ueckermann E A. 2011. Phylogenetic investigation of the genus *Raoiella* (Prostigmata: Tenuipalpidae): diversity, distribution, and world invasions. *Exp Appl Acarol* DOI 10.1007/s10493-011-9483-z.
- Delalibera I, Hajek A E y Humber R A. (2004). *Neozygites tanajoae* sp. nov., a pathogen of the cassava green mite. *Mycol*, 96, 1002–1009.
- Etienne J y Flechtmann C H W. 2006. First record of *Raoiella indica* (Hirst, 1924) (Acari: Tenuipalpidae) in Guadeloupe and Saint Martin, west Indies. *Exp Appl Acarol* 32:331–332.
- Flechtmann C H W, Etienne J. 2004. The red palm mite, *Raoiella indica* Hirst, a threat to palms in the Americas (Acari: Prostigmata: Tenuipalpidae). *Syst. Appl Acarol* 9: 109-110.
- FAO. 2004. The state of food and agriculture, 2003–2004. Agricultural biotechnology: meeting the needs of the poor? FAO agriculture series No. 35. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- González R A I y Ramos M. 2010. Desarrollo y reproducción de *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) en laboratorio. *Rev Protección Veg.* Vol. 25 No. 1: 7-10.
- Gold C S, Ragama P E, Coe R, y Rukazambuga N D T M. 2005. Selection of assessment methods for evaluating banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae) damage on highland cooking banana (*Musa* spp., genome group AAA-EA). *B. Entomol Res.* 95:115-123.

- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 5a ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Granados-Sanchez D y Lopez-Ríos G F. 2002. Manejo de la palma de coco (*Cocos nucifera* L.) en México. Rev. Chapingo serie Ciencias forestales y del ambiente 8(1):39-48.
- Howard F W, Wiillians D S y Norris R C. 1984. Insect transmission of lethal yellowing to young palms. Int. J. entomol 26: 331-338.
- Harries H C. 1978. The evolution, dissemination and classification of *Cocos nucifera* L. Bot Rev. 44 (3)265-319.
- Hirst S. 1924. On some new species of red spider. Ann Mag Natur Hist Ser 9:522–527.
- Hoy M A, Peña J y Nguyen R. 2006. Red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Arachnida: Acari: Tenuipalpidae). Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS) University of Florida, Florida. Pág. 6.
- Jeppson L R, Keifer H H y Baker E W. 1975. Mites injurious to economic plants. University of California Press, Berkeley.
- Kane E C y Ochoa R. 2006. Detection and identification of the red palm mite *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). United States Department of Agriculture Research, Education, and Economics Agricultural Research Service. USDA.
- Machkour-M'rabet S, Ferral-Piña J y Henaut Y. 2015. *Chilocorus cacti* (Coleoptera: Coccinellidae), a potential natural enemy for the red palm mite in México. Acta Zool. Mex (n.s.), 31(3): 512-517.

- Motta D, Aldana R C, Franco P N, Rairán N, Calvache H y Salamanca J C. 2008. Anillo rojo – Hoja corta. Boletín técnico 9. Tercera edición. Cenipalma. 29 p.
- Mendonça R S, Navia D y Flechtmann C H W. 2005. *Raoiella indica* Hirst (Prostigmata: Tenuipalpidae), o ácaro vermelho das palmeiras-uma ameaça para as Américas. Embrapa recursos genéticos e Biotecnología. 37p.
- Moutia L A. 1958. Contribution to the study of some phytophagous acarina and their predators in Mauritius. Bull Entomol Res 49: 59-75
- Navia D, Marsaro A L Jr, Silva F R, Gondim M G C y de Moraes G J. 2011. First report of the red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), in Brazil. Neotrop Entomol 40 (3): 409-411.
- Navia D, de Moraes G J, Lofego A C y Flechtmann C H W. 2005. Acarofauna asociada a frutos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) de algunas localidades das Americas. Neotrop Entomol 34 (2): 349-354.
- NAPPO (North American Plant Protection Organization) (2009) Detección del ácaro rojo de las palmas (*Raoiella indica*) en Isla Mujeres y Cancún, Quintana Roo, México. Sistema de Alerta Fitosanitaria-NAPPO (Organización Norteamericana de Protección a las Plantas). <http://www.pestalert.org/espanol/oprDetail.cfm?oprID=406>. Consultado en enero de 2013.
- Nagesha Chandra B, ChannaBasavanna G. 1984. Development and ecology of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) on coconut. In: Griffiths D A, Bowman C E (eds) Acarology VI. Ellis Horwood Publishers, Chicester, pp 785–798

- Otero-Colina G, Gonzalez-Gomez R, Martinez-Bolaños L, Otero-Prevost G, López-Buenfil J. A y Escobedo-Graciamedrano R M. 2016. Infestation of *Raoiella indica* Hirst (Trombidiformes: Tenuipalpidae) on host plants of high socio-economic importance for tropical America. *Neotrop Entomol* 45:300-309.
- Ochoa R, Beard J J, Bauchan G R, Kane E C, Dowling A P G y Erbe E F. 2011. Herbivore exploits chink in armor of host. *Am Entomol.* 57 (1): 26-29.
- Peña J E, Roda A, Rodrigues J C y Carrillo D. 2009. Predator-prey dynamics and strategies for control of the red palm mite (*Raoiella indica*) (Acari: Tenuipalpidae) in areas of invasion in the Neotropics. *Integrated Control of Plant-Feeding Mites IOBC/wprs Bulletin Vol. 50, 2009 pp. 69-79.*
- Peña J E, Mannion C M, Howard F W, y Hoy M A. 2006. *Raoiella indica* (Prostigmata: Tenuipalpidae): the red palm mite: a potential invasive pest of palms and bananas and other tropical crops in Florida. University of Florida IFAS Extension Service. <http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/28/47/00001/IN68100.pdf/>. Consultado 24 de febrero de 2015.
- Rodriguez H, Montoya A y Ramos M. 2007. *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae): Una amenaza para Cuba. *Rev Protección Veg.* Vol. 22 No. 3. 142-153.
- Rosas-Acevedo J L y Sampedro-Rosas L. 2006. Variability of *Hirsutella thompsonii* strains, isolated from phytophagous mites from three terrestrial systems in the State of Colima, Mexico. *Rev. Mexicana de Biodiversidad.* 77: 7-16.
- Román M I, Maruchi A, Xonia Xiqués, Gonzalez C, Sanchez I. 2004. Estudio del número cromosómico y la fertilidad del polen en especies y diploides de plátano fruta (*Musa* spp). *Cultivos tropicales,* 25 (2): 71-73.

- Rodrigues J C V. 2012. First Report of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in Amazonas State, Brazil. Fla Entomol, 94(4):1073-1074.
- SIAP-SAGARPA. 2017. Estadísticas de la producción agrícola de plátano. Disponibles en internet. www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351. Consultado 27 abril de 2017.
- SENASICA. 2014. Ácaro rojo de las palmas (*Raoiella indica* Hirst). Dirección General de Sanidad Vegetal - Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. México, D.F. Ficha Técnica No. 14. 23 p.
- Santos G A, Batugal P A, Othman A, Baudouin L y Labouisse J P. 2006. Manual sobre técnicas estandarizadas para la investigación del mejoramiento del cocotero. IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute).
- Samson J A. 1991. Fruticultura tropical. 1ra. ed. Ed. Limusa. México. 396 p.
- Stover R H y Simmonds N W. 1987. Bananas. Longmans, London.
- Smitley D R, Kennedy G G y Brooks W M. 1986. Role of the entomogenous fungus, *Neozygites xoridana*, in population declines of the twospotted mite, *Tetranychus urticae*. Entomol Exp Appl. 41, 255-264.
- Simmonds N W y Shepherd K. 1955. The taxonomy and origins of the cultivated bananas. Journal of the Linnaean Society 55, 302-312.
- Vásquez C y de Moraes G J. 2013. Geographic distribution and host plants of *Raoiella indica* and associated mite species in northern Venezuela. Exp Appl Acarol. 60:73-82.

Van der Geest L P S. 2010. IPM potential of microbial pathogens and diseases of mites A. Ciancio, K.G. Mukerji (eds.), integrated management of arthropod pests and insect borne diseases, integrated management of plant pests and diseases 5, DOI 10.1007/978-90-481-8606-8.

Valladolid M y Castillo-Carrillo P S. 2001. El gorgojo rayado del plátano (*Metamasius hemipterus* L.) (Coleoptera: Curculionidae) en Tumbes, Perú: Ciclo biológico en insectario. Rev Per Em. 42: 69-72.

Wong S, Kiew R, Argent G, Set O, Lee S K, Gan Y Y. 2002. Assessment of the validity of the sections in *Musa* (*Musaceae*) using AFLP. Ann. Bot. 90, 231–238.

CAPÍTULO II.

Fluctuación poblacional de *Raoiella indica* Hirst (Trombidiformes: Tenuipalpidae) en palma de coco, plátano y banano, a lo largo de un gradiente de regímenes climáticos en México

RESUMEN

El ácaro rojo de las palmas, *Raoiella indica* Hirst, es una plaga exótica de importancia cuarentenaria para América tropical y subtropical. Desde su detección en en Martinica en 2004 se ha expandido rápidamente por todo el Caribe y países de América continental; infesta principalmente a la palma de coco (*Cocos nucifera* L.), pero desde su establecimiento en América ha expandido su gama de plantas hospedantes, de numerosas familias sobre todo monocotiledóneas. Las áreas de distribución de este ácaro tienen regímenes climáticos que van desde zonas áridas hasta zonas de alta pluviosidad. En México, el estado de Tabasco es un sitio adecuado para estudiar el potencial de establecimiento de *R. indica* en su asociación con el clima, ya que presenta áreas con diferentes tipos de clima que incluyen cálido-húmedo con lluvias durante todo el año (Af), cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano (Am) y cálido-subhúmedo con lluvias en verano (Aw). Así mismo, en Tabasco hay plantaciones de palma de coco y diversos cultivares de plátano y banano, por lo que puede compararse la infestación del ácaro entre diferentes hospederos. Por tal razón se llevó a cabo este trabajo para estudiar la fluctuación poblacional de *R. indica* en palma de coco variedades Alto Caribe y Enano Malayo, plátano Macho (*Musa AAB*) y banano Enano Gigante (*Musa AAA*); se hicieron muestreos mensualmente durante 16 meses en los que se contaron por separado los sexos y estados de desarrollo de todos los ácaros presentes, en una superficie foliar de 15 cm² sin destrucción de las plantas, en los cultivares de coco, plátano y banano citados. Los datos se analizaron a través del modelo estadístico de análisis longitudinales, con la finalidad de hacer comparaciones entre las fluctuaciones poblacionales de *R. indica* y la proporción de hembras adultas entre las localidades, considerando además los efectos de humedad, temperatura y precipitación como variables independientes estudiadas. Se observaron dos picos de poblaciones, entre mayo y junio de 2015 y de 2016 en palma de coco; las poblaciones se redujeron al inicio de lluvias, de acuerdo con el

análisis longitudinal, por efecto significativo de la temperatura, la humedad relativa y la precipitación pluvial. En cultivo de plátano y en banano la infestación del ácaro fue mínima durante el primer año de muestreo y se incrementó en el segundo año, cuando las plantas entraron en estado de fructificación. Hubo diferencias altamente significativas entre las localidades para las dos variedades, con efecto significativo de humedad, temperatura y precipitación. El porcentaje de hembras respecto al total de individuos en una colonia varió significativamente entre sitios de estudio, asociado con la fluctuación de temperatura, humedad ambiental y precipitación pluvial a lo largo del año. Esto se interpretó como una reducción significativa en la tasa reproductiva de *R. indica* por efecto de las variables climáticas anotadas. Con la información obtenida en el presente trabajo se postula en qué climas *R. indica* puede alcanzar las más altas poblaciones y causar los mayores daños

Palabras claves: Arecaceae, *Cocos nucifera*, correlación, climas, *Musa*, Musaceae, Tenuipalpidae.

ABSTRACT

Raoiella indica Hirst is an invasive pest that has recently colonized tropical America. It currently has a host range comprising about 100 plant species. The distribution areas of this mite have climatic regimes that range from dry to very humid areas. The present study was aimed at observing the population fluctuation of *R. indica* on coconut (*Cocos nucifera* L.) palms Caribbean Tall and Malayan Dwarf, Horn plantain (*Musa* AAB), and Dwarf Giant banana (*Musa* AAA), in three locations representing climates progressively moister and with heavier rainfall. Monthly samples were taken for 16 months for population fluctuation and composition of developmental stages in the mentioned coconut, plantain, and banana cultivars. Through longitudinal statistical models, *R. indica* population fluctuation and the ratio of adult females among locations were compared; also, the effects of humidity, temperature, and rainfall on that fluctuation were investigated. Two population peaks were observed in coconut palms in May-June in 2015 and 2016. The populations decreased when the rainy season began; a significant effect of temperature, relative humidity, and rainfall was observed. In plantain and banana, the mite infestation was minimal during the first year of samplings and began to increase in the second year, when the plants began bearing fruit. Population fluctuation was significantly

different among locations in both *Musa* cultivars, with a significant effect from humidity, temperature, and rainfall. The percentage of females with respect to the total specimens varied significantly between study sites, associated with fluctuations in humidity, temperature, and rainfall throughout the year.

Key words: Arecaceae; *Cocos nucifera*; correlation; *Musa*; Musaceae.

2.1. INTRODUCCIÓN

El ácaro *Raoiella indica* Hirst (Trombidiformes: Tenuipalpidae), comúnmente conocido como ácaro rojo de las palmas, fue descrito originalmente en la India, donde infestaba a palma de coco (*Cocos nucifera* L) (Hirst, 1924). Su área de distribución conocida se extendía alrededor del Océano Índico, con límite en su distribución hacia el oeste en Israel y Egipto (Jeppson *et al.*, 1975) aunque el origen del género podría ser África o Medio Oriente (Dowling *et al.*, 2011). Flechtmann y Etienne (2004) lo detectaron por primera vez en América, en la isla Martinica, y de ahí se ha expandido a todas las islas del Caribe (Etienne y Flechtmann, 2006), Florida en los Estados Unidos de América (Peña *et al.*, 2006), México (NAPPO, 2009), Venezuela (Vásquez *et al.*, 2008; Vásquez y de Moraes, 2013), Colombia (Carrillo *et al.*, 2011) y Brasil (Navia *et al.*, 2011; Rodríguez, 2012; Chiaradia *et al.*, 2016). En México este ácaro se ha establecido en las más importantes zonas de producción de coco, que se localizan en los estados de Tabasco, Veracruz y Guerrero (SENASICA, 2014).

Los hospedantes conocidos de *R. indica* en el Viejo Mundo eran *C. nucifera*, *Phoenix dactylifera*, *Dictyosperma album* y *Areca catechu* (Hirst, 1924; Womersley, 1943; Moutia, 1958; Daniel, 1979), pero luego de su establecimiento en América ha ampliado considerablemente su gama de hospedantes, la que incluye a más de 100 especies de plantas de las familias Arecaceae, Cannaceae, Celastraceae, Cycadaceae, Heliconiaceae, Musaceae, Pandanaceae, Strelitziaceae y Zingiberaceae (Carrillo *et al.*, 2011b; Lima *et al.*, 2011; Gondim *et al.*, 2012).

El ácaro rojo de las palmas, a diferencia de otros ácaros fitófagos, se alimenta a través de los estomas, introduciendo sus quelíceros entre las células oclusivas (Ochoa *et al.*, 2011). Ataca principalmente las hojas maduras de palmas de coco (Roda *et al.*, 2012); las estructuras morfo-fisiológicas que presenta este cultivo lo convierten en su principal hospedante (Vásquez *et al.*,

2015). Los daños característicos que causa en los foliolos son manchas cloróticas que a través del tiempo se tornan en necróticas.

Este ácaro ha sido observado también infestando plantas de plátano y banano, si bien las observaciones sobre su infestación en cultivares de plátano y banano son contradictorias. Kane y Ochoa (2006) y Peña *et al.* (2006) describieron los daños que causa en hojas de plátano como quemaduras en los bordes de las hojas, mientras que Otero-Colina *et al.* (2016) observaron los mismos daños pero en plantas no infestadas, por lo que cuestionan si esos daños son causados por dicho ácaro. Al parecer las condiciones climáticas como la temperatura, la humedad relativa, la precipitación y el tipo de hospedante podrían influir en el desarrollo del ácaro (Zaher *et al.*, 1969; González y Ramos, 2010; Otero-Colina *et al.*, 2016; Cocco y Hoy 2009). Amaro *et al.* (2013) trazaron un mapa con la distribución potencial de *R. indica* en Sudamérica, con base en los datos conocidos de distribución de este ácaro en el mundo y usando el modelo de máxima entropía. Contrastando los sitios actuales de presencia de este ácaro en el mundo, dichos autores pronostican que este acaro se va a seguir dispersando hasta encontrar sitios donde el clima o la falta de hospedantes impidan su establecimiento.

La presente investigación se llevó a cabo con la finalidad de observar la fluctuación poblacional de *R. indica* a través de un gradiente de precipitación, temperatura y humedad relativa y con ello determinar cuál factor climático podría impedir el desarrollo de grandes poblaciones y, en consecuencia, limitar los daños que pueda causar. El trabajo se enfoca a palma de coco, plátano y banano, por la gran importancia que estos cultivos tienen en América tropical (FAOSTAT, 2016). Como sitio de estudio se eligió el estado de Tabasco, México, ya que reúne las siguientes características:

- (1) El ácaro rojo de las palmas está presente en toda su superficie.
- (2) Prácticamente en toda su extensión, el estado de Tabasco está formado mayormente por tierras bajas o llanuras costeras, aunque éstas se elevan gradualmente desde la costa hasta la zona de serranías o región Sierra, situada en el extremo sur. En la misma dirección, existe un gradiente de precipitación pluvial que va de regímenes de lluvia durante el año hasta los de abundante lluvia sólo durante el verano (Af, Am y Aw, respectivamente, según la clasificación de Köppen modificada por García, 2004).

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Sitios de estudio

Se seleccionaron tres sitios en el estado de Tabasco: la finca Tzapingo, ubicada en el municipio de Teapa en las coordenadas 17°39' 27" N, 92° 57'47" W y 22 m sobre el nivel del mar. En lo sucesivo se designará como Teapa. Posee clima cálido-húmedo y lluvias durante todo el año (clima Af según en la clasificación de Köppen modificada por García, 2004), temperatura media anual de 26°C y precipitación anual total de 3,437 mm, con promedio mensual de 569.7 mm en el mes más lluvioso (septiembre) y 167 mm en el mes más seco (abril) (INEGI, 2015). El segundo sitio fue el Campo Experimental Kilómetro 21 del Colegio de Postgraduados, ubicado en el municipio de Cárdenas en las coordenadas 17°59'24" N, 93°36'22" W y 15 metros sobre el nivel del mar. En lo sucesivo se le designará como Cárdenas. Este sitio presenta clima cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano (Am), con temperatura promedio anual de 26°C, precipitación total de 2,643 mm con promedio mensual de 335 mm en septiembre y 10 mm en abril (meses más lluvioso y más seco, respectivamente). El tercer sitio fue el Rancho el Recreo, ubicado en el municipio de Comalcalco en las coordenadas 18°16'25.8954" N, 93°6'34.92" W y 8 m sobre el nivel del mar; se le designará como Comalcalco. Presenta clima cálido-subhúmedo (Aw) con temperatura anual de 26.4°C y precipitación total de 2,052 mm, con un promedio mensual de 342 mm en septiembre y de 6 mm en abril (meses más lluvioso y más seco, respectivamente, Fig. 1).

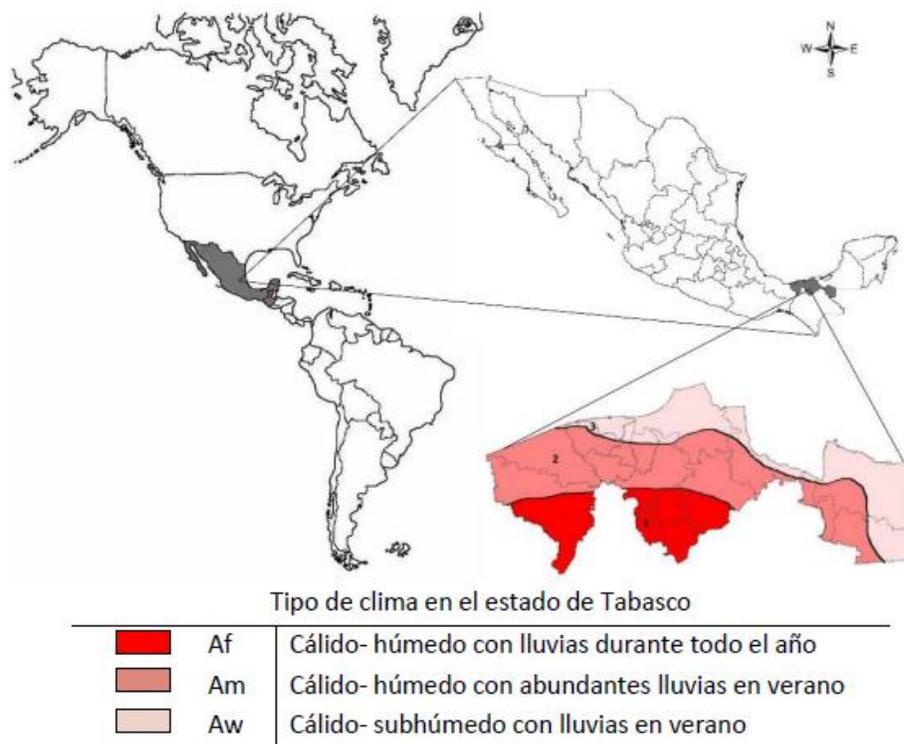


Figura 1. Mapa de Tabasco, México, con sus zonas climáticas de acuerdo con García (2004) y los sitios de estudio. 1. Tzapingo, Teapa, 2. Km 21, Cárdenas y 3. Rancho El Recreo, Comalcalco.

2.2.2. Obtención de plántulas de coco, plátano y banano

Se adquirieron plántulas de dos cultivares de coco, “Alto Caribe” y “Enano Malayo” de aproximadamente tres meses de edad y un metro de altura, se les asperjó agua con jabón biodegradable a concentración de 15 g/L y posteriormente con azufre elemental a concentración de 12 mL/L de agua (recomendación del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Tabasco, comunicación personal) con el objetivo de eliminar ácaros o insectos potenciales competidores o depredadores de *R. indica*.

Se adquirieron cormos de plátano Macho (*Musa* AAB) y el banano ‘CV’ “Enano Gigante” (*Musa* AAA). Éstos se plantaron en macetas y se les mantuvo en un vivero aislado de plantas infestadas por *R. indica* hasta que llegaron a una altura de 40 a 50 centímetros. A todas las plántulas mencionadas se les asperjó agua con jabón y cinco días después se les aplicó azufre

elemental a las concentraciones ya mencionadas, para eliminar la presencia de cualquier ácaro o insecto que pudiera alterar las poblaciones de *R. indica*. Ocho días después se hizo el muestreo general tomando al azar 10 plántulas para confirmar que las plantas estaban libres de dicho ácaro.

2.2.3. Establecimiento del experimento

En cada uno de los sitios de estudio había palmas de cocos ya establecidas, híbridos de Enano Malayo Amarillo por Criollo Alto del Pacífico, que formaban una hilera. Estas palmas tenían aproximadamente cinco años de edad y estaban infestadas de manera natural con *R. indica*, lo que se confirmó en un muestreo realizado en febrero de 2015. En lo sucesivo se les llamará palmas adultas. Para estimar la infestación inicial de *R. indica* en estas palmas se seleccionaron cuatro hojas distribuidas en los cuatro puntos cardinales; estas hojas se tomaron de la parte inferior del dosel, excepto las hojas marchitas del nivel inferior, cuando las había, ya que en ellas existió una población decreciente de *R. indica* (Rodas *et al.*, 2012). De cada hoja se seleccionaron cinco folíolos distribuidos uniformemente a lo largo del raquis (Fig. 2A), de cada folíolo se seleccionaron cinco superficies de 5x3 cm² y se contaron todos los ácaros presentes con ayuda de una lupa de mano de 20x.

Las plántulas de coco, plátano y banano de los cultivares mencionados arriba se plantaron en los tres sitios de estudio el día 23 de febrero de 2015, colocando intercaladamente cada cultivar a 3 m de la hilera de las palmas de coco adultas, dejando una distancia de 2.5 metros entre cada una de las plántulas introducidas. Se colocaron 10 plántulas de cada cultivar de coco y 13 plántulas de plátano y banano, formando una hilera paralela a la de las palmas adultas. Estas palmas fueron entonces la fuente de infestación de *R. indica* para todas las plántulas introducidas; la infestación se dio de manera natural, presumiblemente por ácaros transportados por el viento (Welbourn, 2006).

2.2.4. Muestreos en palmas adultas de coco, plántulas de coco, plátano macho y banano enano gigante introducidos

Un mes después de la instalación del experimento se empezaron a muestrear las palmas de coco adultas y las plántulas introducidas. Se hicieron muestreos mensuales que iniciaron en marzo de 2015 y terminaron en junio de 2016. En las palmas de coco adultas se llevó a cabo el muestreo como se describió arriba, con excepción de que se contaron por separado huevos, inmaduros (larvas y ninfas) hembras y machos. En las plántulas de coco, plátano y banano introducidas se seleccionaron las hojas de manera similar, pero cuando había menos de cuatro hojas, se muestrearon todas. En cada hoja se seleccionaron cinco áreas de 5x3 cm², distribuidas en toda su extensión (Fig. 2B y C). Se contaron por separado los ejemplares de cada estadio de desarrollo del ácaro presentes en dicha área; todas estas actividades se hicieron directamente en campo sin destrucción de las hojas y utilizando una lupa de mano de 20x. Los datos de temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial se tomaron de estaciones climatológicas cercanas a los sitios de estudio ubicadas aproximadamente de uno a cinco kilómetros de distancia.

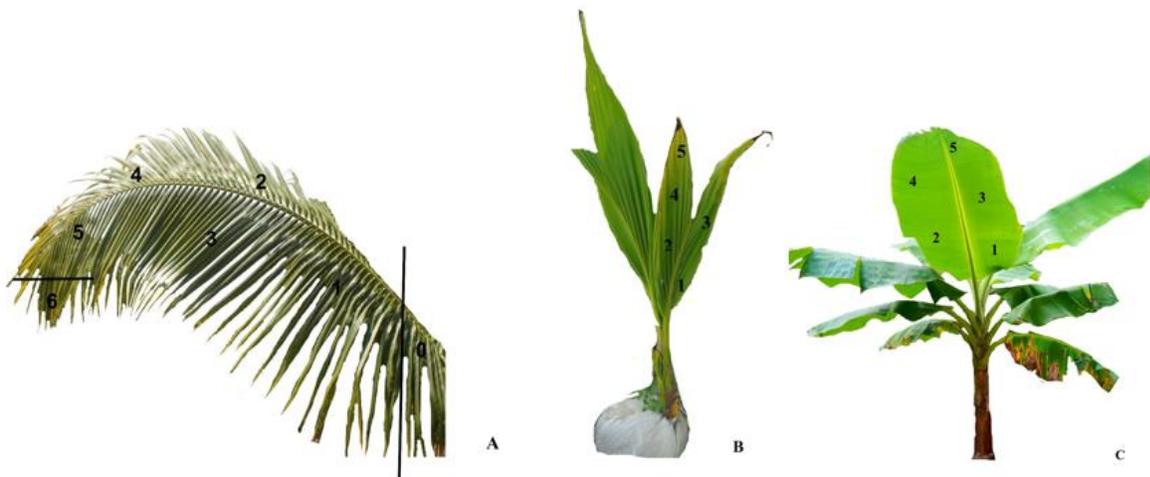


Figura 2. Selección de áreas para el muestreo de poblaciones de *R. indica*. A) Hoja de palma de coco establecida, B) plántula de coco introducida y C) plántula de plátano introducida.

2.2.5. Análisis de datos

Las densidades de población de *R. indica* en palmas de coco adultas estimadas en el primer muestreo (febrero 2015) se analizaron utilizando la prueba estadística de comparación de medias LSD (diferencia mínima significativa, $p=0.05$). Los datos de cada fecha de muestreo se graficaron con números promedios de individuos por cm^2 y se analizaron mediante modelos longitudinales (Fitzmaurice, 2004, 163-183) para cada genotipo. Se seleccionaron modelos (modelo de perfiles y cuadrático) y estructuras de covarianza (CS, AR (1) y TOEP) que ajustaran mejor a nuestros datos utilizando PROC MIXED en SAS y que permitieran medir si existen o no diferencias significativas de las fluctuaciones de las poblaciones del ácaro entre las localidades. Las variables de humedad, temperatura y precipitación que se registraron a lo largo del estudio se analizaron como variables independientes, para determinar su posible efecto en las fluctuaciones poblaciones de *R. indica*; se utilizó el modelo cuadrático como TOEP y AR (1).

2.2.6. Proceso de selección de estructuras de covarianza para los análisis longitudinales a través del modelo de perfiles

Para la selección de las estructuras de covarianza para cada genotipo, se tomaron los valores más pequeños de AICC (Criterio de información de Akaike condicional) de cada estructura de covarianza; para esto se utilizó el modelo de perfiles ((Fitzmaurice *et al.*, 2004).

Las estructuras seleccionadas se sometieron al modelo cuadrático, lo cual sirvió para estudiar las variables independientes (temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial). Este procedimiento se aplicó para los ácaros totales, huevecillos y hembras.

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Fluctuación poblacional de *Raoiella indica* en palmas adultas de coco

Durante el primer muestreo, antes de que se introdujeran las plántulas de coco, plátano y banano (febrero de 2015), todas las palmas de coco adultas estaban infestadas por *R. indica* pero

el nivel de infestación varió significativamente entre sitios (diferencia mínima significativa, $P = 0.05$, Fig. 3), siendo Comalcalco donde hubo más infestación de ácaros, con un promedio de 0.81 ácaros/ cm^2 . Se observaron picos de poblaciones en los tres sitios entre mayo y junio de 2015 (Fig. 4) y a partir de junio las poblaciones de *R. indica* bajaron y se mantuvieron a niveles de menos de 0.1 ejemplar / cm^2 entre octubre de 2015 y marzo de 2016. A partir de marzo de 2016 las poblaciones se elevaron en los tres sitios hasta alcanzar un pico entre abril y junio, cercano a 2 ácaros / cm^2 .

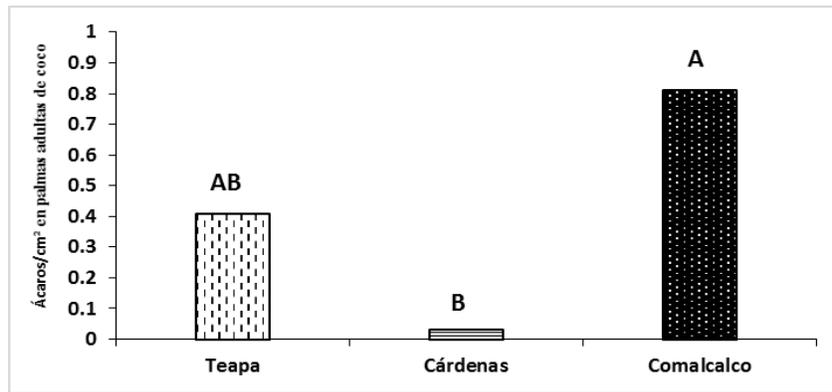


Figura 3. Promedio del número de ejemplares totales de *R. indica* en palmas adultas de coco en tres localidades de Tabasco, México: Teapa, Cárdenas, Comalcalco (febrero de 2015). Columnas con la misma letra no son significativamente diferentes (diferencia mínima significativa, $P=0.05$).

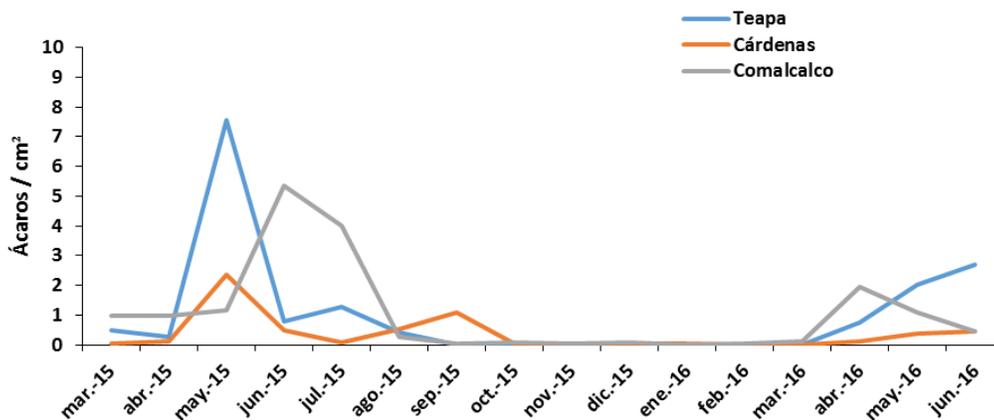


Fig. 4. Fluctuación de poblaciones de *Raoiella indica* en palmas de coco adultas en tres localidades del estado de Tabasco, México. 2015-2016.

2.3.2. Fluctuación poblacional de *Raoiella indica* en plántulas de coco, plátano y banano introducidas

La primera detección de *R. indica* en Teapa y Comalcalco fue en abril de 2015 en plántulas de coco de los cultivares Enano Malayo y Alto Caribe; en Cárdenas se hizo la primera detección en mayo (Figs. 5 y 6). Ya que las plántulas de coco estaban libres de infestación de este ácaro hasta el momento en que se plantaron en sus respectivos sitios, su infestación ocurrió presumiblemente por ejemplares de *R. indica* procedentes de las palmas adultas. Un mes después se detectaron picos poblacionales en coco Alto Caribe y Enano Malayo en Teapa, y sólo en coco Enano Malayo en Comalcalco; la infestación en ambos sitios llegó a niveles cercanos a las de las palmas de coco adultas (hasta cerca de 9 ácaros / cm²). En Cárdenas, donde la infestación de las palmas adultas era muy baja, la población de *R. indica* fue también baja y no mostró un pico en ninguno de los cultivares de coco.

De igual forma que en las palmas adultas, las poblaciones de *R. indica* descendieron y se mantuvieron bajas a partir de julio de 2015 en plántulas de coco de ambos cultivares, con alrededor de 0.1 ácaros / cm², para elevarse gradualmente a partir de enero o febrero de 2016 hasta alcanzar un pico en abril o mayo, con máximo 2 ácaros / cm².

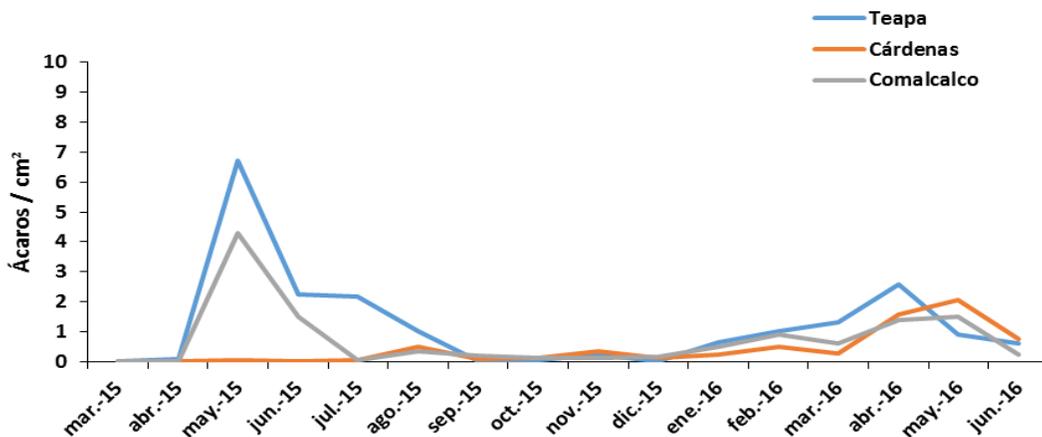


Figura 5. Fluctuación de poblaciones de *Raoiella indica* en plántulas de coco cultivar Alto Caribe en tres localidades del estado de Tabasco, México. 2015-2016.

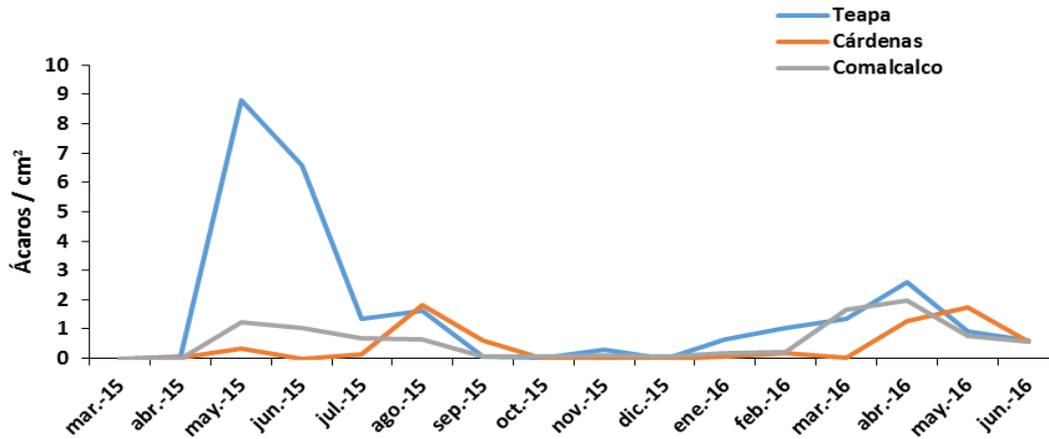


Figura 6. Fluctuación de poblaciones de *Raoiella indica* en plántulas de coco cultivar Enano Malayo en tres localidades del estado de Tabasco, México. 2015-2016.

A diferencia de lo observado en árboles adultos y plántulas de palma de coco, en plátano y banano las poblaciones fueron mínimas a lo largo de los primeros 12 meses, si bien se detectaron algunos ejemplares en las tres localidades de estudio a partir de mayo de 2015. Entre abril y mayo de 2016 las poblaciones se elevaron hasta alcanzar entre 1 y 2 ácaros/cm² en Comalcalco (Figs. 7 y 8); para entonces las plántulas de plátano y banano tenían una altura de entre 2 y 2.5 m y habían iniciado la etapa de fructificación. Hacia junio de 2016 las poblaciones mostraron tendencia a reducirse. En Cárdenas se observaron las poblaciones más bajas tanto en plátano como en banano, con menos de 0.1 ácaros/ cm², esto debido a que al inicio la población era baja.

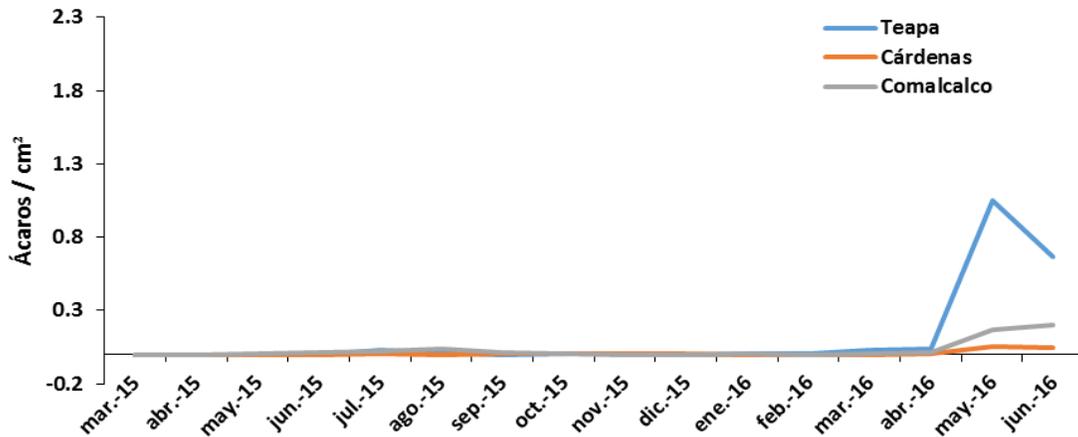


Figura 7. Fluctuación de poblaciones de *Raoiella indica* en plántulas de plátano Macho en tres localidades del estado de Tabasco, México. 2015-2016.

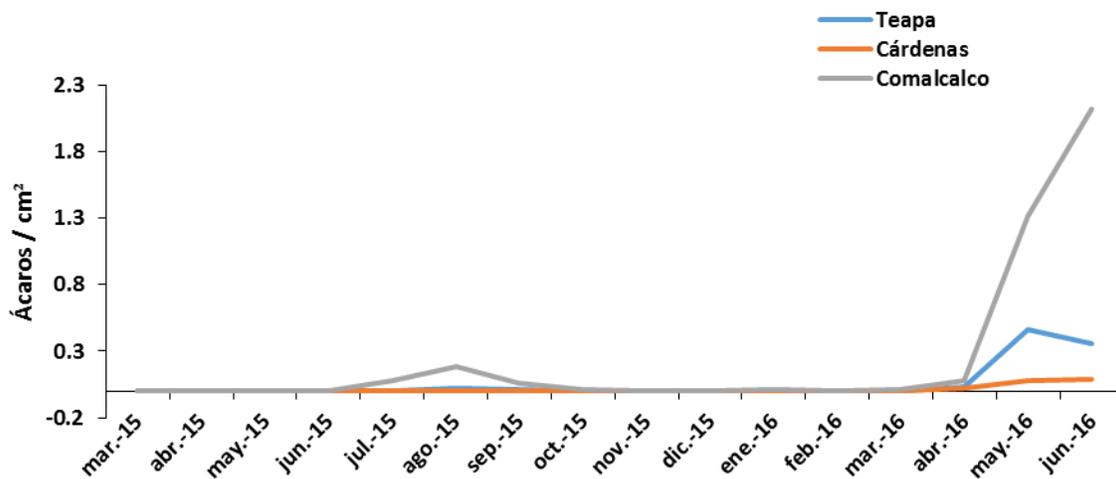


Figura 8. Fluctuación de poblaciones de *Raoiella indica* en plántulas de banano Enano Gigante en tres localidades del estado de Tabasco, México. 2015-2016.

2.3.3. Composición de edades y sexos de *Raoiella indica* a lo largo del periodo de muestreo

En las plántulas de palma de coco Enano Malayo y Alto Caribe, desde la primera detección de *R. indica* entre marzo y mayo de 2015 se encontraron huevos, inmaduros (larvas y ninfas), hembras y machos adultos en las tres localidades de estudio. Los machos se mantuvieron por lo general debajo de 10% de los individuos totales, excepto en Comalcalco en julio de 2015 y

junio de 2016, cuando constituyeron cerca de 40% de la cantidad total de individuos (Figs. 9 - 11).

La proporción de los diferentes estadios fue variable a lo largo de los meses y en los diferentes cultivares y localidades; sin embargo, en aproximadamente la mitad de las observaciones el número de hembras fue mayor al de los inmaduros, o se presentaron meses en los que sólo se encontraron hembras adultas.

En el caso de plátano y banano, la primera detección de *R. indica* ocurrió entre dos y cuatro meses después del inicio de los muestreos. En la mayor parte de los casos en que se encontraron inmaduros (huevos, larvas o ninfas), éstos se encontraban en cantidades menores que las hembras; en más de la mitad de las ocasiones, en todos los cultivares y localidades de estudio, sólo se encontraron hembras o no se encontró ningún ácaro en las superficies muestreadas. Sin embargo, en plátano y banano y en las tres localidades de estudio, en abril y mayo de 2016 se observaron ácaros inmaduros, en una creciente proporción respecto a las hembras (Figs. 12 y 13).

2.3.4. Condiciones climáticas prevalecientes y su relación con los cambios poblacionales y con la composición de edades de *Raoiella indica*

Las temperaturas promedio en las localidades de estudio siguieron cursos paralelos, la máxima diferencia entre sitios fue de alrededor de 2°C (Fig. 14). La humedad relativa se mantuvo en promedio por arriba de 80% la mayor parte del año, incluso en la llamada temporada “seca”, excepto en Comalcalco, que tuvo valores inferiores a 50% en los meses de mayo y junio (Fig. 15). Por su parte, los meses de abril de 2015 y 2016, de manera típica, tuvieron una baja precipitación pluvial en las tres localidades. A partir de mayo de 2015 se presentaron picos sucesivos de precipitación pluvial, con un máximo en octubre del mismo año, para luego descender gradualmente en los siguientes meses (Fig. 16). La precipitación acumulada durante los 16 meses que duraron las observaciones fue de 3377 mm en Teapa, 2094 mm en Cárdenas y 2229 mm en Comalcalco; en este último sitio se presentó el periodo más largo con lluvias escasas, nueve meses con menos de 100 mm acumulados.

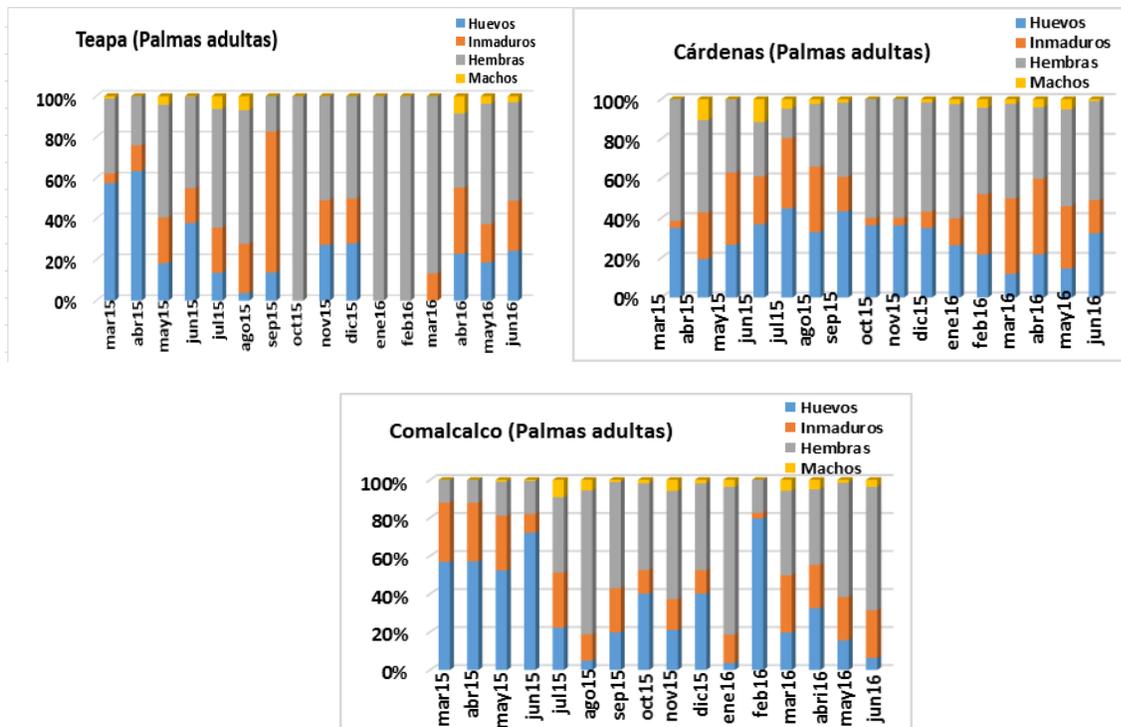


Figura 9. Composición de edades de *Raoiella indica* en palmas de coco adultas en tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.

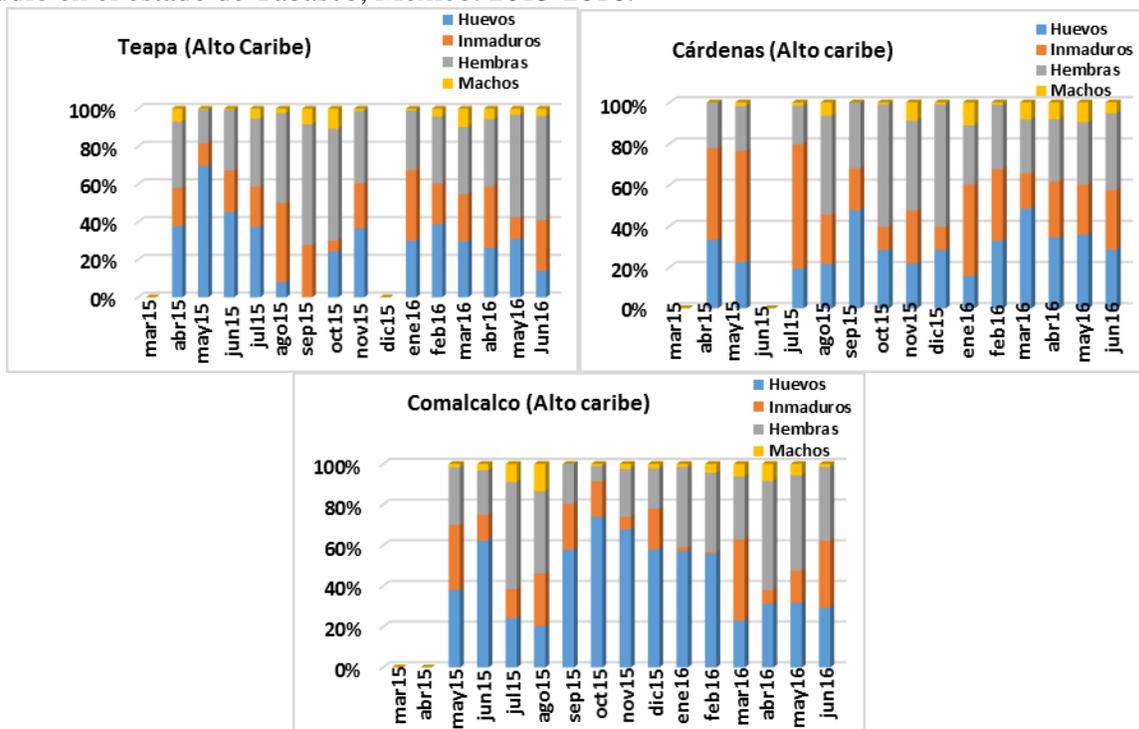


Figura 10. Composición de edades de *Raoiella indica* en plántulas de coco Alto Caribe en tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.

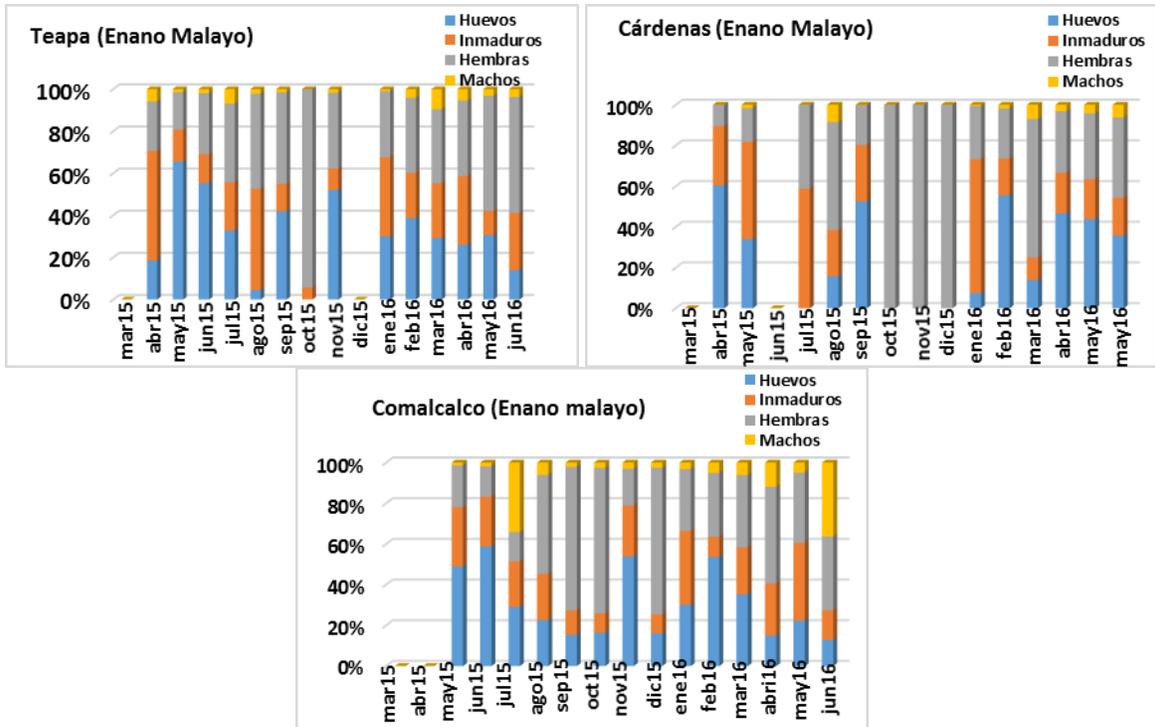


Figura 11 Composición de edades de *Raiella indica* en plántulas de coco Enano Malayo en los tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.

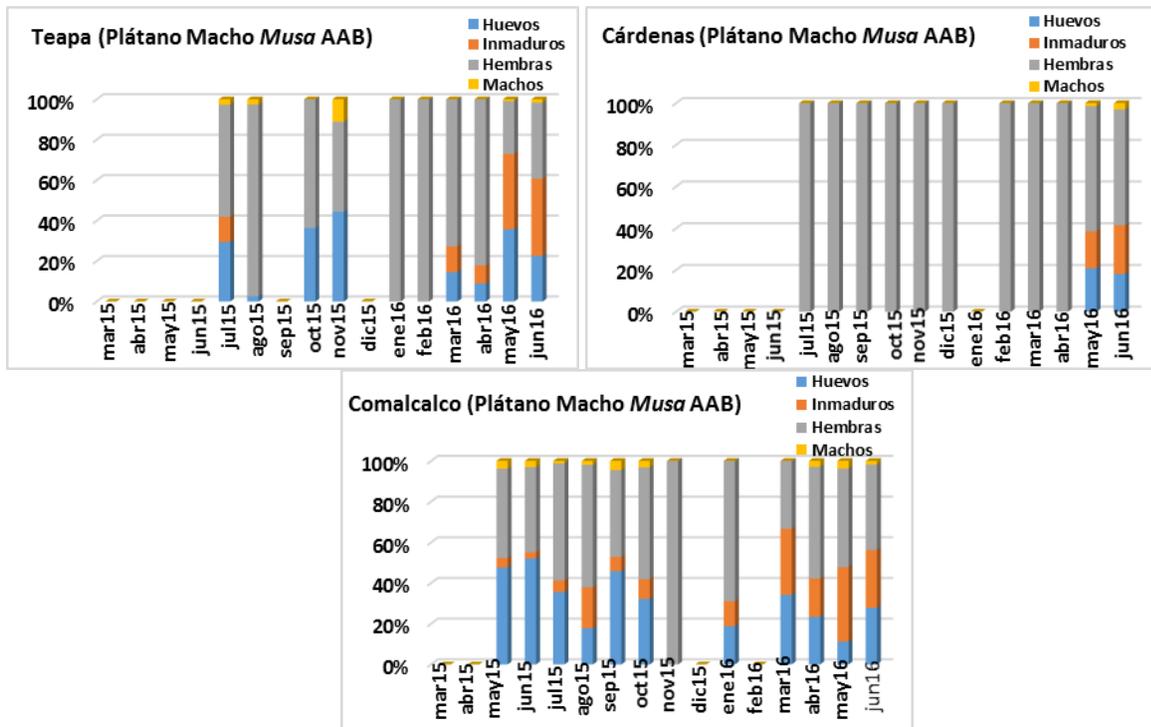


Figura 12. Composición de edades de *Raiella indica* en plátano Macho en tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.

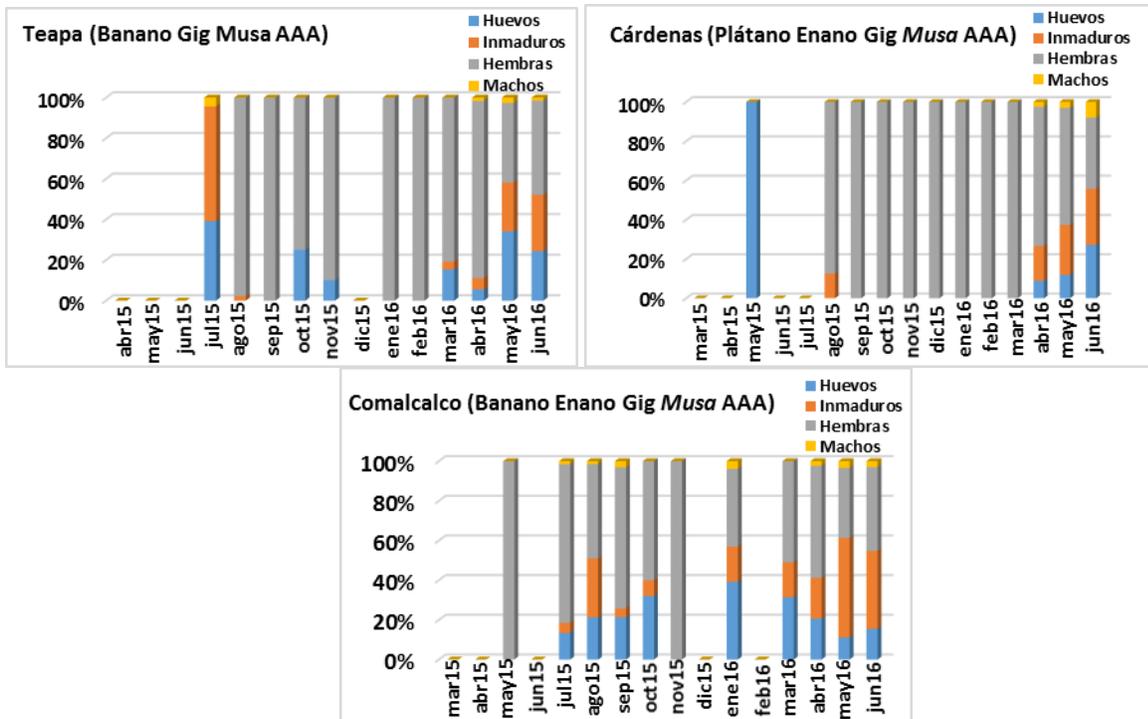


Figura 13. Composición de edades de *Raviella indica* en banano Enano Gigante en tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.

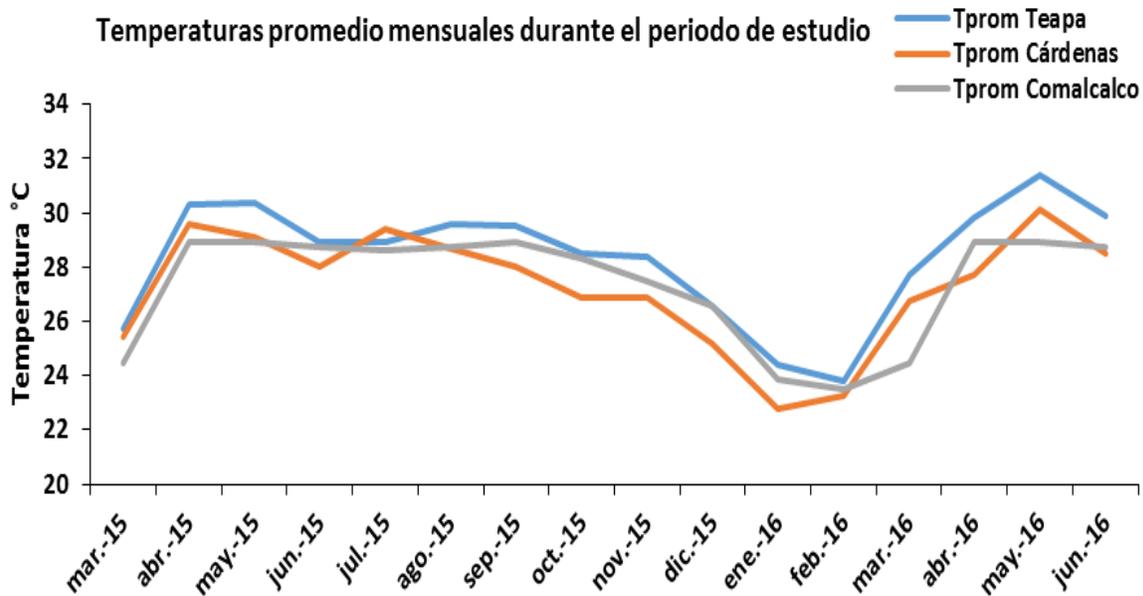


Figura 14. Temperaturas promedio mensuales tomadas en los tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.

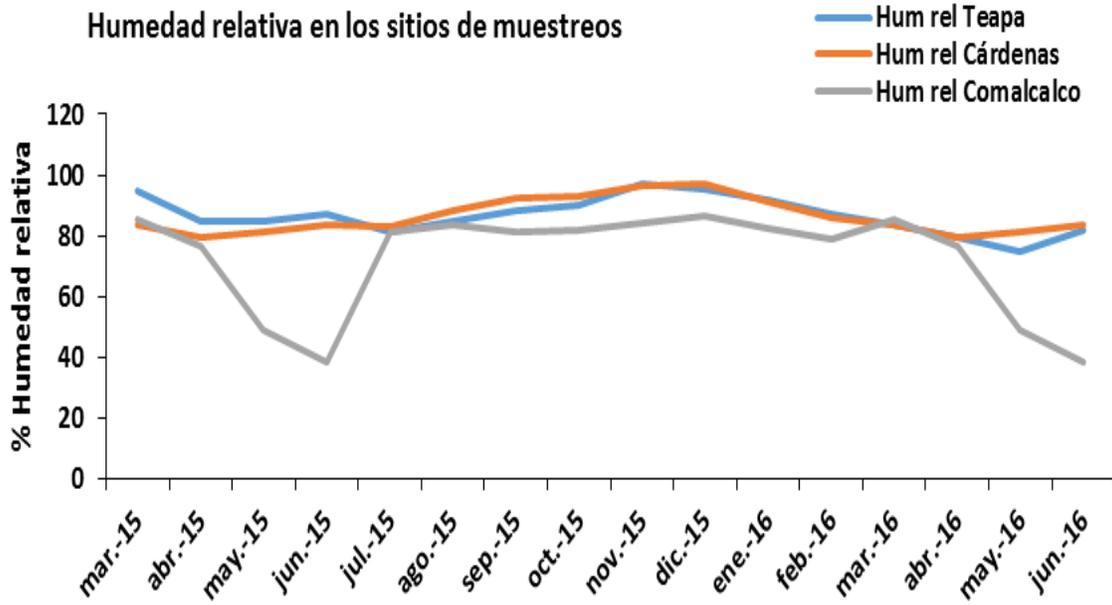


Figura 15. Humedades relativas promedio registradas durante todo el muestreo en los sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.

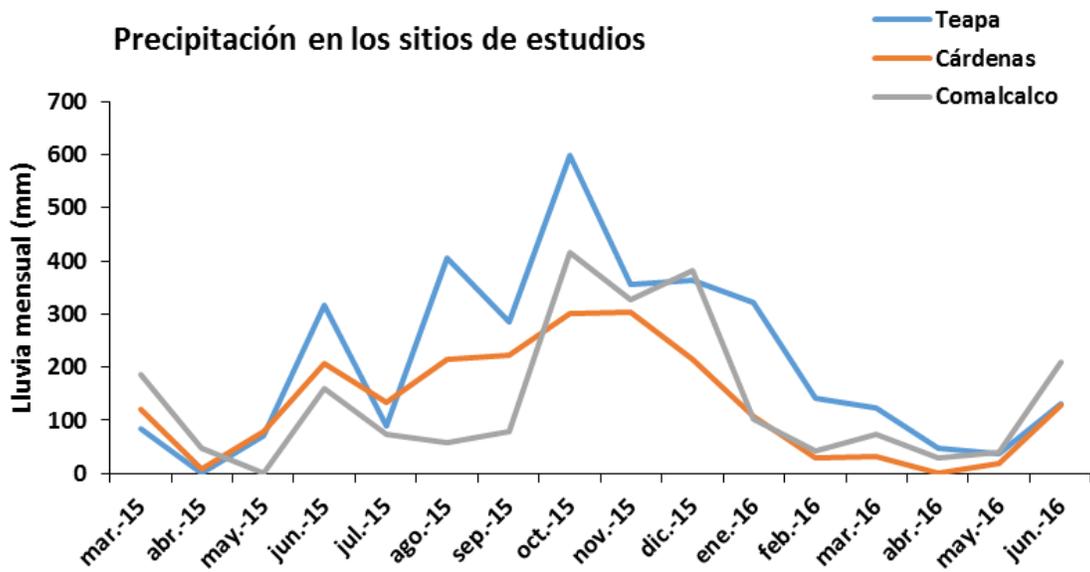


Figura 16. Precipitación acumulada mensual en los tres sitios de estudios, registradas durante todo el muestreo en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.

Los modelos para el análisis longitudinal y la estructura de covarianza TOEP y AR (1), se aplicaron selectivamente a datos que tuvieron el mejor ajuste a ellos, para comparar las curvas de fluctuación poblacional de *R. indica* en una especie vegetal dada, entre localidades (Cuadro 1, 2 y 3). Se observó diferencia significativa entre las fluctuaciones poblacionales en todos los cultivares, con tres excepciones, todas en Comalcalco (Cuadro 4).

Los mismos modelos se aplicaron para comparar el porcentaje de hembras respecto al total de individuos de *R. indica* en una especie vegetal dada, entre localidades (Cuadro 5). Se observó diferencia significativa de manera errática y en menos de la mitad de las comparaciones entre localidades. Sin embargo, donde hubo diferencia significativa entre localidades, Comalcalco fue una de ellas, excepto en plántulas de plátano Macho, donde se observó diferencia significativa entre Teapa y Cárdenas.

Cuadro 1. Selección de las estructuras de covarianzas para los datos de ácaros totales de *Raoiella indica* con el modelo de perfiles. Las estructuras que mejor se adaptaron a nuestros datos están marcadas en verde.

Estructura de covarianza	Genotipo	Convergencia	AICC	BIC	RT	Localidad	Tiempo	Localidad*time
CS	1	si	3487.4	3489.7	0.1043	0.1752	<.0001	0.0035
	2	si	4268.8	4271.5	0.089	0.0198	<.0001	<.0001
	3	si	4225.5	4228.2	0.0163	0.0004	<.0001	<.0001
	4	si	3349.3	3352.6	0.0361	0.0024	<.0001	<.0001
	5	si	3828.9	3832.2	0.0536	0.0001	<.0001	<.0001
AR (1)	1	si	3487.6	3489.9	0.115	0.1042	<.0001	0.0043
	2	si	4266.5	4269.3	0.0235	0.009	<.0001	<.0001
	3	si	4231	4233.8	0.6157	<.0001	<.0001	<.0001
	4	si	3300.5	3303.8	<.0001	0.0105	<.0001	<.0001
	5	si	3713.7	3717	<.0001	0.0899	<.0001	<.0001
TOEP	1	si	3486.1	3503.3	0.0039	0.2347	<.0001	0.0012
	2	si	4251.2	4272.3	<.0001	0.0196	<.0001	<.0001
	3	si	4205.6	4226.7	<.0001	0.0001	<.0001	<.0001
	4	si	3329.1	3354.7	<.0001	0.0099	<.0001	<.0001
	5	si	3735.9	3761.6	<.0001	0.0172	<.0001	<.0001

Donde:

El genotipo 1 = palmas adultas

El genotipo 2 = plántulas de coco Alto Caribe

El genotipo 3 = plántulas de coco Enano Malayo

El genotipo 4 = plántulas de plátano macho (*Musa* AAB)

El genotipo 5 = plántulas de banano Enano Gigante (*Musa* AAA)

Las localidades estudiadas fueron enumeradas como:

1 = Teapa

2 = Cárdenas

3 = Comalcalco

Cuadro 2. Selección de las estructuras de covarianzas para los datos de los huevecillos de *Raoiella indica* con el modelo de perfiles. Las estructuras que mejor se adaptaron a nuestros datos están marcadas en verde.

Estructura de covarianza	Genotipo	Convergencia	AICC	BIC	RT	Localidad	Tiempo	Localidad*time
CS	1	si	2295.4	2297.7	0.716	0.0001	0.0001	0.0001
	2	si	3020	3022.8	0.247	<.0001	<.0001	<.0001
	3	si	3382	3384.8	0.1138	0.0071	<.0001	<.0001
	4	si	2803.6	2806.9	0.0339	0.0006	<.0001	<.0001
	5	si	2311.1	2314.4	0.1987	0.0002	<.0001	<.0001
AR (1)	1	si	2294.1	2296.4	0.2279	0.0001	0.0001	0.0001
	2	si	3019.1	3021.9	0.1312	<.0001	<.0001	<.0001
	3	si	3380	3382.8	0.0353	0.0029	<.0001	<.0001
	4	si	2796.3	2799.6	0.0006	0.0002	<.0001	<.0001
	5	si	2311.9	2315.2	0.3626	<.0001	<.0001	<.0001
TOEP	1	si	2286.2	2303.3	0.0006	0.0002	<.0001	<.0001
	2	si	3017.6	3038.7	0.0046	<.0001	<.0001	<.0001
	3	si	3383.9	3405	0.0123	0.0035	<.0001	<.0001
	4	si	2817.9	2843.6	0.2064	0.0007	<.0001	<.0001
	5	si	2331.2	2356.9	0.7889	0.0009	<.0001	<.0001

Cuadro 3. Selección de las estructuras de covarianzas para los datos de hembras de *Raoiella indica* con los modelos de perfiles. Las estructuras que mejor se adaptaron a nuestros datos están marcadas en verde.

Estructura de covarianza	Genotipo	Convergencia	AICC	BIC	RT	Localidad	Tiempo	Localidad*time
CS	1	si	2519.5	2521.6	0.2061	<.0001	<.0001	<.0001
	2	si	3625.6	3628.4	0.0014	<.0001	<.0001	<.0001
	3	si	3664	3666.8	0.0067	0.0001	<.0001	<.0001
	4	si	4288.3	4291.7	0.1364	<.0001	<.0001	<.0001
	5	si	4220.7	4224	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
AR (1)	1	si	2514.8	2517	0.0126	<.0001	<.0001	<.0001
	2	si	3617.7	3620.5	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
	3	si	3652.8	3655.6	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
	4	si	4274.3	4277.6	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
	5	si	4191.8	4195.2	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
TOEP	1	si	2527.2	2542.8	0.0703	<.0001	<.0001	<.0001
	2	si	3634.6	3655.7	0.01	<.0001	<.0001	<.0001
	3	si	3670.2	3691.3	0.0105	<.0001	<.0001	<.0001
	4	si	4284.2	4309.8	0.0022	<.0001	<.0001	<.0001
	5	si	4184.4	4210	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Cuadro 4 Comparación entre fluctuaciones de población de *Raoiella indica* en palmas de coco adultas, plántulas de palma de coco Alto Caribe y Enano Malayo, plátano Macho y banano Enano Gigante entre tres localidades de estudio, Teapa, Cárdenas y Comalcalco, Tabasco, México, 2015-2016. Los valores en las celdas corresponden a la probabilidad de $\alpha = 0.05$. Las diferencias se consideran significativas cuando la probabilidad ≤ 0.05 ; se resaltan con negritas. Se consideran altamente significativas cuando la probabilidad ≤ 0.01 , se resaltan con negritas y subrayado.

Palmas de coco adultas, modelo de perfiles con la estructura de covarianza TOEP			
	Teapa	Cárdenas	Comalcalco
Teapa		p = 0.0306	p = 0.0045
Cárdenas	p = 0.0306		p = <0.0001
Comalcalco	p = 0.0045	p = <0.0001	

Plántulas de palma de coco cultivar Alto Caribe, modelo cuadrático (TOEP)			
	Teapa	Cárdenas	Comalcalco
Teapa		p = <0.0001	p = 0.0659
Cárdenas	P = <0.0001		p = 0.0004
Comalcalco	P = 0.0659	P = 0.0004	

Plántulas de coco cultivar Enano Malayo, modelo cuadrático (TOEP)			
	Teapa	Cárdenas	Comalcalco
Teapa		p = <0.0001	p = 0.0168
Cárdenas	p = <0.0001		p = 0.6943
Comalcalco	p = 0.0168	p = 0.6943	

Plántulas de plátano Macho (<i>Musa AAB</i>) modelo cuadrático con AR (1)			
	Teapa	Cárdenas	Comalcalco
Teapa		p = 0.0007	p = 0.5108
Cárdenas	p = 0.0007		p = 0.0004
Comalcalco	p = 0.5108	p = 0.0004	

Plántulas de banano Enano Gigante (<i>Musa AAA</i>) modelo cuadrático con AR (1)			
	Teapa	Cárdenas	Comalcalco
Teapa		p = <0.0001	p = <0.0014
Cárdenas	p = <0.0001		p = 0.0006
Comalcalco	p = <0.0014	p = <0.0001	

Cuadro 5 Comparación de la estructura de edades (porcentaje de hembras adultas) de *Raoiella indica* en palmas de coco adultas, plántulas de palma de coco Alto Caribe y Enano Malayo, plátano Macho y banano Enano Gigante entre las localidades de estudio Teapa, Cárdenas y Comalcalco, Tabasco, México, 2015-2016. Los valores en las celdas corresponden a la probabilidad de $\alpha = 0.05$. Las diferencias se consideran significativas cuando la probabilidad ≤ 0.05 ; se resaltan con negritas. Se consideran altamente significativas cuando la probabilidad ≤ 0.01 , se resaltan con negritas y subrayado.

Palmas de coco adultas, modelo cuadrático con la estructura de covarianza AR (1)			
	Teapa	Cárdenas	Comalcalco
Teapa		p = 0.1234	p = 0.6623
Cárdenas	p = 0.1234		p = 0.1482
Comalcalco	p = 0.6623	p = 0.1482	

Plántulas de palma de coco cultivar Alto Caribe, modelo cuadrático con (AR (1))			
	Teapa	Cárdenas	Comalcalco
Teapa		p = 0.1644	p = 0.2407
Cárdenas	p = 0.1644		p = 0.0447
Comalcalco	p = 0.2407	p = 0.0447	

Plántulas de coco cultivar Enano Malayo, modelo cuadrático con (AR (1))			
	Teapa	Cárdenas	Comalcalco
Teapa		p = 0.2146	p = 0.4194
Cárdenas	p = 0.3701		p = 0.3701
Comalcalco	p = 0.4194	p = 0.3701	

Plántulas de plátano Macho (<i>Musa AAB</i>) modelo cuadrático con (AR (1))			
	Teapa	Cárdenas	Comalcalco
Teapa		p = <0.0001	p = 0.2292
Cárdenas	p = <0.0001		p = 0.0134
Comalcalco	p = 0.2292	p = 0.0134	

Plántulas de banano Enano Gigante (<i>Musa AAA</i>) modelo cuadrático con TOEP			
	Teapa	Cárdenas	Comalcalco
Teapa		p = 0.1435	p = <0.0001
Cárdenas	p = 0.1435		p = 0.2729
Comalcalco	p = <0.0001	p = 0.2729	

Para encontrar una posible asociación entre las fluctuaciones de poblaciones de *R. indica* y las condiciones climáticas prevalecientes en los tres sitios de estudio, se utilizó el modelo cuadrático con la estructura de covarianza TOEP y AR (1) para algunas variedades, se agregaron los datos de temperatura, humedad relativa y precipitación que se observaron en dichos sitios de

estudio a lo largo del periodo de estudio, por separado y como variables independientes (Cuadro 6). Cabe mencionar que para palmas adultas de coco no se analizaron las variables independientes ya que los datos no se ajustaron al modelo cuadrático y solo se utilizó el modelo de perfil para este caso. Con la incorporación de estas variables, los casos de diferencias significativas encontradas entre localidades se interpretan como efecto de temperatura, humedad relativa o precipitación pluvial sobre las fluctuaciones de población del ácaro mencionado. Utilizando los mismos modelos, se comparó la proporción de hembras adultas con respecto al total de individuos, a lo largo del periodo de estudio (Cuadro 7).

Se observó efecto significativo de temperatura y humedad relativa sobre las fluctuaciones de población de *R. indica* entre localidades en tres de las cinco plantas hospedantes estudiadas pero sólo se observó efecto significativo de la precipitación pluvial en plántulas de palma de coco Alto Caribe. En la proporción de hembras, se observó efecto significativo de temperatura y humedad relativa en cuatro de las cinco plantas hospedantes, así como efecto significativo de la precipitación pluvial en tres de los cinco hospedantes.

Cuadro 6. Efecto de temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial en las fluctuaciones poblacionales de *Raoiella indica* en palmas de coco adultas, plántulas de palma de coco Alto Caribe y Enano Malayo, plátano macho (*Musa AAB*) y banano enano gigante (*Musa AAA*) en tres localidades de estudio, Teapa, Cárdenas y Comalcalco, Tabasco, México, 2015-2016. Los valores en las celdas corresponden a la probabilidad de $\alpha = 0.05$. Los efectos se consideran significativos cuando la probabilidad ≤ 0.05 ; se resaltan con negritas. Se consideran altamente significativos cuando la probabilidad ≤ 0.01 , se resaltan con negritas y subrayado.

	Temperatura	Humedad relativa	Precipitación pluvial
Palmas de coco adultas			
Plántulas de palma de coco Alto Caribe	p = 0.7359	p = <u>0.0004</u>	p = <u>0.0006</u>
Plántulas de palma de Enano Malayo	p = <u>0.0018</u>	p = 0.4397	p = 0.7187
Plántulas de plátano Macho	p = <u>0.011</u>	p = <u>0.0031</u>	p = 0.7599
Plántulas de banano Enano Gigante	p = 0.8038	p = <u><0.0001</u>	p = 0.0963

Cuadro.7 Efecto de temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial en estructura de edades (porcentaje de hembras adultas) de *Raoiella indica* en palmas de coco adultas, plántulas de palma de coco Alto Caribe y Enano Malayo, plátano Macho (*Musa AAB*) y banano Enano Gigante (*Musa AAA*) en tres localidades de estudio, Teapa, Cárdenas y Comalcalco, Tabasco, México, 2015-2016. Los valores en las celdas corresponden a la probabilidad de $\alpha = 0.05$. Los efectos se consideran significativos cuando la probabilidad ≤ 0.05 ; se resaltan con negritas. Se consideran altamente significativos cuando la probabilidad ≤ 0.01 , se resaltan con negritas y subrayado.

	Temperatura	Humedad relativa	Precipitación pluvial
Palmas de coco adultas	p = 0.1711	p = <u><0.0001</u>	p = 0.943
Plántulas de palma de coco cultivar Alto Caribe	p = <u><0.0001</u>	p = <u><0.0001</u>	p = 0.0882
Plántulas de palma de coco cultivar Enano Malayo	p = <u><0.0001</u>	p = <u><0.0001</u>	p = <u>0.0123</u>
Plántulas de plátano Macho (<i>Musa AAB</i>)	p = <u><0.0001</u>	p = 0.3824	p = <u>0.0025</u>
Plántulas de banano Enano Gigante (<i>Musa AAA</i>)	p = <u>0.0009</u>	p = <u>0.0006</u>	p = <u><0.0001</u>

2.4. DISCUSIÓN

Raoiella indica se ha mostrado en el Continente Americano como una plaga con gran capacidad invasiva y enorme potencial para causar daños a sus plantas hospedantes. Los primeros trabajos no proporcionan datos numéricos sobre las poblaciones de este ácaro, pero muestran que no eran particularmente altas en palma de coco en Reunión (Moutia, 1958), o en palma datilera en Egipto (Sayed, 1942) e Israel (Gerson, 1983). Por su parte, Taylor *et al.* (2012) estimaron un pico de población de 0.94 ejemplares / cm² en palma de coco en Peechi, India. En contraste, Kane *et al.* (2012) observaron entre 4,000 y 40,000 ejemplares en un solo foliolo de palma de coco en Trinidad; esto corresponde a una densidad de entre 20 y 200 ácaros / cm² si se estima que la superficie de un foliolo es de aproximadamente 200 cm².

En cuanto a la gama de hospedantes de este ácaro, en el Viejo Mundo únicamente cuatro especies vegetales estaban registradas como susceptibles a su infestación, mientras que en

América este número ha ascendido a cerca de 100. Aunque la mayor parte de las arecáceas determinadas como hospedantes de *R. indica* son originarias de Asia, fue en América donde este ácaro se adaptó a parasitarlas (Carrillo *et al.*, 2011). Pero a pesar de esa gran variedad de hospedantes, la palma de coco es considerada su hospedante más favorable en el Nuevo Mundo, sin diferencias en susceptibilidad entre cultivares altos y enanos (Otero-Colina *et al.*, 2016).

Con todo lo anterior, debe considerarse que el fenómeno de *R. indica* como plaga invasiva se dio luego de su establecimiento en el Continente Americano. De acuerdo con Dowling *et al.* (2008), todos los ejemplares colectados en el Continente Americano son de un mismo haplotipo, lo que muestra que hasta el momento ha habido sólo una introducción de este ácaro a este continente.

Sin embargo, aun en el Continente Americano y en palma de coco se ha observado variación en los niveles de infestación. Por ejemplo, Roda *et al.* (2012) observaron densidades máximas de 2 ácaros / cm² en Trinidad y Tobago, mientras que Gondim *et al.* (2012) observaron un pico máximo de 0.35 ácaros / cm² en el Amazonas, Brasil. En el presente estudio, la máxima densidad se observó en Teapa, con aproximadamente 9 ácaros / cm² en palma de coco Enano Malayo, mientras que en banano Enano Gigante el pico de población llegó a 2.1 ácaros / cm².

En todos los sitios de estudio se ha observado que *R. indica* tiene ciclos poblacionales, en los que sus poblaciones descienden considerablemente durante la temporada de lluvias. Por otra parte, la mayor parte de los sitios en que este ácaro se estableció inicialmente en las Antillas tienen un régimen climático Aw, con lluvias abundantes en el verano pero con un largo periodo de escasas lluvias, sobre todo durante la primavera.

El presente estudio se desarrolló al inicio de la temporada de relativa sequía (febrero-marzo de 2015) en tres sitios con diferentes regímenes climáticos; Teapa, con régimen Af; Cárdenas, con régimen Am; y Comalcalco, con régimen Aw. En el año de estudio la precipitación observada fue acorde con el tipo climático en que se ubica a estos sitios; aunque hubo más precipitación acumulada en Comalcalco que en Cárdenas, el periodo de sequía de Comalcalco fue más largo, con menos precipitación acumulada. Desde antes del inicio del estudio, las palmas adultas establecidas estaban infestadas por *R. indica*, por lo que fueron la fuente de infestación para las plántulas introducidas. Aunque este ácaro fue detectado por primera vez en el estado de Tabasco en 2012 (SCOPE, 2012), al inicio de este estudio al parecer

todavía estaba en proceso de colonización; en Cárdenas se observó una infestación significativamente más baja en palmas adultas (Fig. 3), lo cual probablemente se deba a que el ácaro tenía menos tiempo de haberse establecido en el lugar.

En los tres sitios, las poblaciones de *R. indica* aumentaron en las palmas de coco adultas, con picos de población entre mayo y junio de 2015. Por su parte, en las plántulas de palma de coco Enano Malayo y Alto Pacífico se empezaron a detectar ejemplares de este ácaro a partir de un mes después de su introducción a los tres sitios de estudio (marzo de 2015) y su infestación aumentó de manera que se observaron picos poblacionales en mayo; en Teapa los picos de población de plántulas de coco Enano Malayo y Alto Pacífico alcanzaron a los de las palmas adultas, con 7.8 ácaros / cm². El pico poblacional menos pronunciado se observó en Cárdenas, lo cual se atribuye a la más baja infestación de las palmas adultas que fueron fuente de ácaros.

En plátano y banano se observó infestación por *R. indica* entre abril y julio, pero en niveles mínimos. La infestación de las plántulas de coco, plátano y banano probablemente ocurrió con ejemplares de *R. indica* arrastrados por el viento, como lo sugirió Welbourn (2006). Ya que la dispersión por el viento es un mecanismo pasivo, es de suponerse que las plántulas de coco, plátano y banano tuvieron la misma probabilidad de recibir ácaros migrantes; por ello, la gran diferencia en infestación entre coco y plátano y banano debe atribuirse a que los ácaros migrantes se reprodujeron en coco, y no lo hicieron, o lo hicieron de manera mínima, en plátano y banano.

Entre junio y agosto la infestación por *R. indica* se redujo considerablemente en palmas de coco (adultas y plántulas) en los tres sitios de estudio, coincidentemente con el inicio de la temporada de lluvias. La infestación se mantuvo por debajo de 2 ejemplares / cm² hasta marzo de 2016, cuando tuvo un nuevo incremento. En plátano y banano las infestaciones se mantuvieron muy bajas, máximo 0.19 ejemplares / cm²; sin embargo, a partir de abril incrementaron en mayo o junio de 2016, cuando alcanzaron un máximo de 2.1 ácaros / cm² en Comalcalco. Otros investigadores observaron este descenso en la infestación de *R. indica* en palma de coco o palma datilera durante la temporada de lluvias (Moutia, 1958; Taylor *et al.*, 2012; Otero-Colina *et al.*, 2016, entre otros); dicho fenómeno se observó en el presente trabajo.

La infestación de *R. indica* en plátano y banano se mantuvo en niveles mínimos, casi indetectables, en 2015. Otero-Colina *et al.* (2016) observaron que este ácaro se alimenta preferentemente y prospera en hojas maduras. Las plántulas de plátano y banano iniciaron a partir de cormos, por lo que al inicio de las observaciones todas las hojas eran jóvenes, que no son su alimento más favorable, y eso pudo resultar en un limitado aumento en la infestación. Sin embargo, en 2016 tanto plátano como banano habían alcanzado entre 2 y 2.5 m de altura, varias de sus hojas tenían ya un año de edad y se había iniciado la etapa de fructificación. Ya que la casi nula infestación de *R. indica* a plátano y banano ocurrió en los tres sitios de estudio, postulamos que esto no es un efecto del sitio sino de una menor susceptibilidad de plátano y banano, probablemente debida al hecho de que las hojas eran jóvenes en el primer año. Iniciando la primavera de 2016 se observó un aumento en la infestación, lo que es congruente con la hipótesis de que *R. indica* se desarrolla preferentemente en hojas viejas.

En palmas de coco, tanto en plantas adultas como en las plántulas que se introdujeron, se observaron todas las etapas de desarrollo de *R. indica* a lo largo del periodo de estudio. En plántulas de coco Enano Malayo y Alto Pacífico, esto se observó uno o dos meses después de que estas plantas fueron introducidas a los sitios de estudio (entre marzo y abril de 2015), lo que indicó que en ellas los ácaros empezaron a reproducirse muy pronto luego de colonizar las plantas. La proporción de hembras con respecto a la población total fue con frecuencia menor que 0.5 (Figuras 10 y 11), lo que se interpretó como resultado de un activo proceso de reproducción. En contraste, en plátano y banano las primeras detecciones de *R. indica* se hicieron con un atraso de entre tres y seis meses, y en la mayor parte de los muestreos la proporción de hembras fue mayor a 0.5 o incluso se detectaron sólo hembras. Suponiendo una tasa de colonización de plántulas igual para plántulas de coco que de plátano y banano, el bajo nivel de infestación y la escasez de estados inmaduros (o su total ausencia) en plátano y banano muestran que la mayor parte de los individuos que componían su población eran en realidad migrantes procedentes de las palmas adultas. Sin embargo, en los tres sitios de estudio y en plátano y banano, entre abril y junio de 2016 la proporción de inmaduros aumentó, lo que indicó el inicio de una colonización por *R. indica* y el establecimiento de colonias multigeneracionales.

Con la aplicación de los modelos de perfiles y cuadrático y con la estructura de covarianza TOEP y AR (1), se observó diferencia significativa en las fluctuaciones poblacionales

y en la composición de edades de las colonias de ácaros, entre sitios de estudio, para varias plantas hospedantes (Cuadros 4 y 5). Al agregar las variables independientes de temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial, se identificaron las variables individuales en su contribución a la diferencia entre sitios (Cuadros 6 y 7). La temperatura y la humedad relativa tuvieron un efecto significativo más consistente que la precipitación pluvial tanto en las fluctuaciones de población como en la composición de edades de *R. indica*.

Las temperaturas promedio en Teapa fueron en promedio más altas que en Cárdenas y Comalcalco (Fig. 14). Estas temperaturas son características de las tierras bajas de Tabasco (García, 2004) y están dentro de los límites tolerados por *R. indica* (Moutia, 1958; Flores-Galano *et al.*, 2010), pero la pequeña diferencia observada en Teapa se asocia con un incremento sustancial en los picos de población.

La humedad ambiental está estrechamente ligada a la precipitación pluvial, aunque la humedad relativa se mostró como un evento más constante. Teapa y Cárdenas tuvieron humedades ambientales promedio superiores a 80%, mientras que Comalcalco tuvo un claro descenso en la humedad relativa durante la temporada de secas, entre abril y junio de 2015. En este sitio el pico poblacional de *R. indica* en palmas adultas se presentó un mes después que en Teapa y Cárdenas, presumiblemente por el efecto negativo de la alta humedad relativa en los dos últimos sitios, aunque no se observó el mismo fenómeno en plántulas de coco, plátano o banano.

La temperatura, la humedad relativa y la precipitación pluvial tuvieron una clara asociación con la proporción de edades de las colonias de *R. indica*, aunque no se observó efecto significativo entre sitios para todas las plantas hospedantes. Sin embargo, de manera consistente se observó que la proporción de hembras disminuyó en plantas adultas y plántulas de palma de coco en algunos de los meses correspondientes a la temporada de lluvias, entre julio y noviembre de 2016, lo cual se atribuye a una menor tasa reproductiva de este ácaro, asociada con la más alta humedad relativa y precipitación pluvial. Este fenómeno fue más marcado en Teapa, sitio con los valores más altos de humedad y precipitación.

En plátano y banano la proporción de hembras fue con frecuencia menor que 0.5; en más de la mitad de las observaciones, sobre todo concentradas en la temporada de lluvias, el total de

individuos encontrados eran hembras, lo que sugiere que la reproducción se detuvo por completo y más probablemente las hembras encontradas eran individuos dispersantes procedentes de las palmas de coco adultas. Este efecto puede asociarse con el clima pero también con el hecho de que plátano y banano son hospedantes menos favorables para el establecimiento de *R. indica*, como se discutió previamente.

Amaro *et al.* (2013) elaboraron un mapa con la distribución potencial de *R. indica* en América. Los datos del presente trabajo no concuerdan del todo con los de dichos autores. Postulamos que el clima llega a ser un factor limitativo para el establecimiento de este ácaro, por lo que sitios con clima Af y Am podrían ser menos favorables. Dada la preferencia de *R. indica* por palma de coco, se esperaría que pueda establecerse en sitios con climas Af y Am, como son extensas zonas del Amazonas (Kottek *et al.*, 2006). Sin embargo, sus incrementos poblacionales se verían limitados a un número reducido de meses al año, lo que reduciría los daños que causa. En plátano banano a la condición del clima como limitativo hay que agregar el hecho de que estas plantas son menos favorables como hospedantes de *R. indica*. Por lo anterior, se esperaría que las más altas infestaciones de este ácaro, con daños más altos consecuentemente, se puedan presentar en sitios con climas Aw o más secos, a condición de que estén presentes las plantas hospedantes. De hecho, en el mapa de Amaro *et al.* (2013) no aparece la costa del Pacífico en México como sitio propicio para el establecimiento de *R. indica* (la cual tiene clima de tipo Aw); datos recientes han mostrado que este ácaro se ha dispersado ampliamente por la costa del Pacífico en México; nuestros datos sugieren que ahí dicho ácaro puede alcanzar infestaciones más altas, y causar fuertes daños. En sitios con clima similar se esperaría una situación de ese orden.

2.5. LITERATURA CITADA

- Amaro G, Gomes Fidelis de Moraes E. 2013. Potential geographical distribution of the red palm mite in South America. *Exp Appl Acarol* 60:343-335.
- Carrillo D, Navia D, Ferragut F, Peña J E. 2011. First report of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in Colombia. *Fla Entomol* 94(2):370–371.
- Carrillo D, Amalin D, Hosein F, Roda A, Duncan R E, Peña J E. 2011b. Host plant range of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in areas of invasion of the New World *Exp App. Acarol* 57:271-289.
- Cocco A y Hoy M A. 2009. Feeding, reproduction, and development af the red palm mite (Acari: Tenuipalpidae) on selected palms and banana cultivars in quarantine. *Fla Entomol*, 92: 276-291.
- Chiaradia O D, Pereira P E, Moraes G J, Gomes F M E, Alves C E, Guedes C G M y Navia D. 2016. First Report of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in Southeastern Brazil. *Fla Entomol* 99: 123-125.
- Daniel M. 1979. Survey of the indigenous predators of arecanut phytophagous mites. In: Venkata CS (ed) *Proceedings of the Second Annual Symposium on Plantation Crops. Plant protection (entomology, microbiology, nematology, plant pathology and rodentology)* pp. 227–236.
- Dowling A P G, Ochoa R, Beard J J, Welbourn W C, Ueckermann E A. 2012. Phylogenetic investigation of the genus *Raoiella* (Prostigmata: Tenuipalpidae): diversity, distribution, and world invasions. *Exp Appl Acarol* 57:257-269.
- Dowling A P G, Ochoa R, Beard J J. 2008. Preliminary results on phylogeographic patterns of the invasive red mite, *Raoiella indica* (Prostigmata: Tenuipalpidae). *Proceedings of the 6th European Congress. Integrative Acarology. Montpellier, France 21-25 July 2008.* p. 147-154.

- Etienne J, Flechtmann C H W. 2006. First record of *Raoiella indica* (Hirst, 1924) (Acari: Tenuipalpidae) in Guadeloupe and Saint Martin, West Indies. *Exp Appl Acarol* 32:331–332.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2016) <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Consultado 10 de febrero de 2016.
- Flores-Galano G, Montoya A, Rodríguez H. 2010. Biología de *Raoiella indica* Hirst (acari: tenuipalpidae) sobre *Areca catechu* L. *Rev. Protección veg.* Vol. 25 No.1: 11-16.
- Flechtmann C H W, Etienne J. 2004. The red palm mite, *Raoiella indica* Hirst, a threat to palms in the Americas (Acari: Prostigmata: Tenuipalpidae). *Syst. Appl Acarol* 9: 109-110.
- Fitzmaurice G M, Laird N M, Ware J H. 2004. Applied longitudinal analysis. Wiley series in probability and statistics, John Wiley and Sons, Inc., New Jersey, pp 163-183.
- González R A I y Ramos M. 2010. Desarrollo y reproducción de *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) en laboratorio. *Rev Protec Veg.* 25(1): 7-10.
- Gerson U, Venezian A, Blumberg D. 1983. Phytophagous mites on date palms in Israel. *Fruits.* 38: 133-135.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 5a ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. p 21.
- Hirst S. 1924. On some new species of red spider. *Ann Mag Natur Hist Ser* 9:522–527.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México). 2015. Anuario estadístico y geográfico de Tabasco 2015 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México, p23.
- Jeppson L R, Keifer H H y Baker E W. 1975. Mites injurious to economic plants. University of California Press, Berkeley, p 281.

- Kane E C, Ochoa R, Mathurin G, Erbe E F y Beard J J. 2012. *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae): an exploding mite pest in the neotropics. *Exp Appl Acarol* 57:215–225.
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B y Rubel F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Z* 15: 259-263.
- Lima R M, Rodriguez H, Gonzalez A y Gonzalez M. 2011. Management strategy of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in Cuba. *Zoosymposia* 6: 152–159.
- Moutia L A. 1958. Contribución to the study of some phytophagous acarina and their predators in Mauritius. *Bull Entomol Res.* 49: 59-75.
- Navia D, Marsaro A L Jr, Silva F R, Gondim M G C, De Moraes G J. 2011. First report of the red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae), in Brazil. *Neotrop Entomol* 40: 409-411.
- NAPPO (North American Plant Protection Organization) (2009). Detección del ácaro rojo de las palmas (*Raoiella indica*) en Isla Mujeres y Cancún, Quintana Roo, México. Sistema de Alerta Fitosanitaria-NAPPO (Organización Norteamericana de Protección a las Plantas). <http://www.pestalert.org/espanol/oprDetail.cfm?oprID=406> acceso en marzo 2017.
- Ochoa R, Beard J J, Bauchan G R, Kane E C, Dowling A P G y Erbe E F. 2011. Herbivore Exploits Chink in Armor of Host. *Am Entomol.* 57:26-29.
- Otero-Colina G, Gonzalez-Gomez R, Martinez-Bolaños L, Otero-Prevost G, López-Buenfil J A y Escobedo-Graciamedrano R M. 2016. Infestation of *Raoiella indica* Hirst (Trombidiformes: Tenuipalpidae) on host plants of high socio-economic importance for tropical America. *Neotrop Entomol* 45:300-309.
- Peña J E, Mannion C M, Howard F W y Hoy M A. 2006. *Raoiella indica* (Prostigmata: Tenuipalpidae): the red palm mite: a potential invasive pest of palms and bananas and other tropical crops in Florida. University of Florida IFAS Extension Service pp 1-8.

- Roda A, Nachman G, Hosein F, Rodrigues J C. V y Peña J E. 2012. Spatial distributions of the palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) on coconut and their implications for development of efficient sampling plans. *Exp Appl Acarol* 57: 291-308.
- Rodrigues J C V. 2012. First Report of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in Amazonas State, Brazil. *Fla Entomol*, 94(4):1073-1074.
- SCOPE. 2017. Ácaro rojo de las palmas. Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Sistema Coordinado para la Operación y Manejo de Plagas y su Epidemiología. SINAVEFDGSV-SENASICA. En <http://portal.sinavef.gob.mx/>. Acceso 16 de febrero de 2017.
- SENASICA. 2014. Ácaro rojo de las palmas (*Raoiella indica* Hirst). Dirección General de Sanidad Vegetal - Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. México, D.F. Ficha Técnica No. 14. 23 p.
- Sayed M T. 1942. Contribution to the knowledge of the Acarina of Egypt: I. The genus *Raoiella* Hirst (Pseudotetranychidae–Tetranychidae). *Bull Soc Fouad Entomol* 26:81–84.
- Taylor B, Rahman P M, Murphy S T, Sudheendrakumar V V. 2012. Within-season dynamics of red palm mite (*Raoiella indica*) and phytoseiid predators on two hosp palm species in south-west India. *Exp Appl Acarol*. 57: 331-345.
- Vásquez C, Egurrola Z, Valera R, Sanabria M E y Colmenárez. 2015. Anatomía y química foliar en especies ornamentales de Arecaceae: posibles barreras a la alimentación de *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). *Gayana Bot*. 72(2): 296-304.
- Vásquez C, de Moraes G J. 2013. Geographic distribution and host plants of *Raoiella indica* and associated mite species in northern Venezuela. *Exp Appl Acarol* 60:73–82.
- Vásquez C, Quirós G M, Aponte O y Sandoval M F. 2008. First Report of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in South America. *Neotrop Entomol* 37(6):739-740.

Welbourn C. 2006. Red palm mite *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). Pest Alert. http://www.freshfromflorida.com/content/download/66454/1601562/Pest_Alert_-_Raoiella_indica,_Red_palm_mite.pdf. Acceso 27 de marzo de 2017.

Womersley H. 1943. Australian Acarina of the family Tricadenidae Oudemans 1938. Records South Australia Museum. Queensland 7:245–248.

Zaher M A, Wafa A K, Yousef A A. 1969. Biological studies on *Raoiella indica* Hirst and *Phyllostetranychus aegyptiacus* Sayed infesting date palm trees in U. A. R. Z Angew Entomol 63: 406-411.

CAPÍTULO III.

Enemigos naturales (hongos ácaropatógenos y artrópodos depredadores) de *Raoiella indica* Hirst en México

RESUMEN

El ácaro rojo de las palmas *Raoiella indica* es una plaga invasiva que infesta a palmas de coco, plátano y otras plantas, principalmente monocotiledóneas. Desde su primer hallazgo en la Martinica en 2004, se ha diseminado rápidamente en varios países de América tropical donde ha causado graves daños. Su control químico es difícil de aplicar, por lo que destaca la necesidad de buscar enemigos naturales capaces de mantener su infestación a un nivel en el que no cause daños. El objetivo del presente trabajo fue en buscar enemigos naturales de *R. indica* como ácaros e insectos depredadores y hongos ácaropatógenos en los sitios de prevalencia de dicho ácaro en México. Por otra parte, se llevó a cabo un estudio de fluctuación estacional de los ácaros micosados en diferentes cultivares de palma de coco y en los cultivares de plátano macho y banano enano. Se registraron las variables climáticas de temperatura, humedad relativa y precipitación y se evaluó su relación con la proporción de los ácaros micosados. Durante los muestreos se encontraron ácaros depredadores de las familias Phytoseidae, Cunaxidae, Macrochelidae y Laelapidae, así como insectos depredadores de las familias Phlaeothripidae, Thripidae, Coccinellidae y Chrysopidae. En cuanto a los hongos ácaropatógenos, se identificó morfológicamente a *Hirsutella thompsonii* y a *Hirsutella tydeicola*. Cuando se utilizaron los primers ITS1 e ITS2, los hongos acaropatógenos del género *Hirsutella* procedentes de todas las

localidades de muestreo se agruparon dentro de *H. thompsonii*, por lo que se confirma de que los aislamientos pertenecen al género *Hirsutella*. Los resultados de esta investigación representan un primer registro de *Raoiella indica* como hospedante de *Hirsutella thompsonii*. El análisis de componentes principales indica que la temperatura es el principal factor que influye en la fluctuación de ácaros micosados.

Palabras claves: ácaros e insectos depredadores, ácaropatógenos, *Hirsutella thompsonii*.

ABSTRACT

The red palm mite *Raoiella indica* is an invasive pest that infests coconut palms, banana, plantain and other plants, mostly monocots. Since its first detection in Martinique in 2004, it has quickly disseminated through several countries of tropical America where it has caused severe injuries. Its chemical control is difficult to apply, so this highlights the need of searching for natural enemies capable of maintaining its infestation below an injury level. The aim of this work was to search for natural enemies of *R. indica* such as predaceous mites and insects, as well as acaropathogenic fungi, in sites where this mite is present in Mexico. In addition, a study on fluctuation of fungus-infected mites was carried out in different cultivars of coconut palm and in Horn plantain and Giant Dwarf banana. Climatic variables as temperature, relative humidity and rainfall were recorded and its relationship with proportion of fungus-infected mites was evaluated. During the surveys, predaceous mites of the families Phytoseiidae, Cunaxidae, Macrochelidae and Laelapidae, as well insects of the families Phlaeothripidae, Thripidae, Coccinellidae and Chrysopidae were found. Among acaropathogenic fungi, *Hirsutella thompsonii* and *Hirsutella tydeicola* were morphologically identified. By using primers ITS1 and ITS2, acaropathogenic fungi of all locations, morphologically identified as *Hirsutella*, grouped within *H. thompsonii*, corroborating their identity. The results from this research represent the first record of *Raoiella indica* as a host of *Hirsutella thompsonii*. The analysis of principal components shows that temperature is the main factor influencing fluctuation of fungus-infected mites.

Key words: predaceous mites and insects, acaropathogenic fungi, *Hirsutella thompsonii*.

3.1. INTRODUCCIÓN

Raoiella indica Hirst (Acari: Tenuipalpidae), el ácaro rojo de las palmas, es una plaga de importancia cuarentenaria procedente de países alrededor del Océano Índico y que se detectó por primera vez en isla de Martinica en 2004 (Flechtmann y Ettienne, 2004). A partir de ese lugar se ha diseminado por todas las Antillas y varios países de América continental (Barrios y Bustillo, 2016). Se detectó por primera vez en México en 2009 en isla Mujeres y en Cancún, Quintana Roo, donde ocasiona graves daños a palmas de coco (*Cocos nucifera* L.) y a plátano y banano (*Musa* spp.), así como a diversas especies vegetales (NAPPO, 2009). En el transcurso de su expansión en América tropical se ha adaptado a nuevos ambientes y hospedantes (Carrillo *et al.*, 2011), donde puede alcanzar poblaciones muy altas y causar un daño significativo (Ettienne y Flechtmann, 2006; Peña *et al.*, 2006; de la Torre *et al.*, 2010).

Las plantas afectadas por la presencia del ácaro rojo muestran manchas amarillentas, dispersas en el haz y envés de las hojas, las que posteriormente se tornan completamente bronceadas. Cuando una planta está muy infestada puede sufrir aborto de flores o frutos pequeños (Hoy *et al.*, 2006). El control de este ácaro resulta difícil, ya que las plantas suelen ser de porte elevado que va de 12 a 25 metros de altura (Granados-Sánchez y López Ríos, 2002) y se necesita hacer aplicaciones repetidas de insecticidas para lograr un control efectivo (Mendonça *et al.*, 2005).

Es bien conocida la gran capacidad que tienen algunos ácaros fitófagos para desarrollar resistencia a los plaguicidas (Cranham y Helle, 1985), por lo que no se descarta que *R. indica* podría llegar a desarrollar resistencia a acaricidas. De estas dificultades y en la necesidad de generar soluciones de bajo impacto ambiental, surge el interés de buscar los enemigos naturales de dicho ácaro, tanto artrópodos depredadores como hongos ácaro-patógenos. Carrillo *et al.* (2010) y Carrillo y Peña (2011) reportan a *Amblyseius largoensis* Muma como un depredador muy común, que está presente durante todo el año asociado con *R. indica* en Trinidad y Tobago, Puerto Rico y en Florida, EE.UU., y además Carrillo *et al.* (2014) consideran que es un depredador importante para el control del ácaro citado. Sin embargo, los datos sobre la efectividad de *A. largoensis* para controlar a *R. indica* son contradictorios; por ejemplo, Morais *et al.* (2016) observaron que no ejerce un control satisfactorio de este ácaro; se trata de un

depredador de amplia distribución que estaba presente en palma de coco, así como muchas otras plantas en América, desde antes del arribo del ácaro rojo de las palmas (de Moraes *et al.*, 2004). De acuerdo con la clasificación de los ácaros de la familia Phytoseiidae por sus hábitos alimentarios, *A. largoensis* es un depredador del tipo III, generalista (McMurtry y Croft (1997). Por otra parte, Carrillo *et al.* (2011c) presentan una lista de los depredadores asociados con *R. indica* como son: *Chrysopa cubana* Hagen (Neuroptera: Chrysopidae), *Sterthorus* sp., *Chilocorus* sp. (Coleoptera: Coccinellidae), *Aleurodothrips fasciapennis* (Franklin) (Thysanoptera: Phlaeothripidae) y *Oligota* sp. (Coleoptera: Staphylinidae). González *et al.* (2013) reportan a *Orius insidiosus* Say (Hemiptera: Anthocoridae) en asociación con *R. indica*. Recientemente Machkour-M'rabet *et al.* (2015) reportaron en México a *Chilocorus cacti* Linnaeus como un depredador nativo potencial de *R. indica*, y Estrada-Venegas *et al.* (2017) reportan a *A. largoensis* como depredador mas abundante y frecuente en el sur de México.

En cuanto al control de ácaros fitófagos con hongos ácaro-patógenos, Van der Geest *et al.* (2010) mencionan los hongos más conocidos que infectan a ácaros; algunos de éstos son *Neozygites floridana* (Weiser y Muma), que ataca principalmente a *Tetranychus urticae* Koch, y *N. abacaridis* Mietk y Bałazy, que ataca a algunas especies de eriófidos. Por su parte, Bałazy *et al.* (2008) mencionan que el género *Hirsutella* incluye a los acaropatógenos más frecuentes de ácaros e insectos fitófagos, siendo *H. kirchneri* Minter, *H. necatrix* Minter y *H. thompsonii* Fisher patógenos exclusivos de ácaros fitófagos, principalmente eriófidos y tarsonemidos, así como de *Brevipalpus phoenicis* Geijskes (Rosas-Acevedo y Sampedro-Rosas, 2006). Por otro lado, Peña *et al.* (2006) y Carrillo *et al.* (2011a) hacen mención del género *Hirsutella* como posible acaropatógeno de *R. indica* en Florida, EE.UU. Cabe señalar que el clima juega un papel importante en el desarrollo de los hongos acaropatógenos, tal como lo mencionan Smitley *et al.* (1986); cuando las condiciones ambientales como la humedad relativa y la temperatura favorecen el desarrollo de los hongos, y además hay poblaciones elevadas de los ácaros huésped, ocurren epizootias (Delalibera *et al.*, 2004). Estas epizootias podrían jugar un papel sustancial en el control natural de *R. indica*.

Con base en lo anterior, los objetivos de este trabajo fueron buscar los enemigos naturales de *R. indica* en varias zonas de la República Mexicana donde *R. indica* ha sido reportada y describir la fluctuación estacional de la ocurrencia de ácaros infectados por hongos acaro-

patógenos (micosados) en tres sitios del estado de Tabasco, donde cada sitio estaba representado un tipo de clima.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Sitios de muestreo de enemigos naturales de *Raoiella indica*

Para la observación y colecta de enemigos naturales de *R. indica* se hicieron recorridos durante 2013 y 2014 en estados de la República Mexicana donde había sitios de prevalencia de *R. indica*: Veracruz, Tabasco, Chiapas, Oaxaca, Campeche, Quintana Roo y Yucatán. Para esto se visitaron huertas comerciales, plantas de traspatio y del arbolado urbano, donde se cortaron entre 12 y 15 foliolos de palmas de coco infestados con *R. indica* y se guardaron en bolsas de polietileno; estas muestras se llevaron al laboratorio en hieleras con geles refrigerantes o bolsas de hielo y se revisaron detenidamente bajo el microscopio estereoscópico.

3.2.2. Identificación de los ácaros e insectos depredadores

Se colectaron ácaros e insectos, tentativamente definidos como depredadores, en palma de coco en los estados donde *R. indica* estaba presente. Se observaron los foliolos con un microscopio estereoscópico; con un pincel se tomaron todos los insectos y ácaros que se encontraban asociados a *R. indica* y se transfirieron en frascos con alcohol al 70%. Una parte de la muestra (foliolos de palma de coco) se procesó para la colecta de ácaros por el método de lavado y tamizado. Para esto se colocó en un frasco con una suspensión de detergente en agua a una cantidad de entre tres a cuatro gotas en un litro de agua y se agitó para facilitar el desprendimiento de cualquier ácaro e insecto. Todo el contenido del frasco se hizo pasar por dos tamices de diferente abertura (3.0 mm y 21.8 μm); posteriormente todo lo que quedaba sobre el tamiz de 21.8 μm de abertura se transfirió a un frasco con alcohol al 70% para su revisión (Southwood, 1978).

Para su identificación, los ácaros se montaron entre porta y cubreobjetos en líquido de Hoyer, previamente tratados con ácido láctico para aclararlos (disolver sus órganos sin dañar su

exoesqueleto) (Walter y Krantz, 2009). Cuando los ácaros eran muy esclerosados se utilizó hidróxido de potasio en lugar de ácido láctico para aclararlos. Los ejemplares inmaduros (larvas o ninfas) sólo se identificaron a nivel de familia. Los insectos depredadores se montaron en alfileres entomológicos y para su identificación se usaron claves dicotómicas de los insectos, según su grupo.

3.2.3. Identificación de los ácaros micosados y aislamientos de hongos acaropatógenos

Todas las muestras se observaron al microscopio estereoscópico para coleccionar ejemplares de *R. indica* micosados (reconocidos por la presencia de micelio que salía radialmente de su cuerpo). Una parte se montó en lactofenol entre porta y cubreobjetos para su observación en microscopio de contraste de fases y otra parte se sembró en medio de cultivo H, desarrollado por McCoy *et al.* (1972) y modificado por Cabrera *et al.* (2006), el cual contiene 10 g de sacarosa, 5 g de dextrosa, 0.5 g de peptona de soya, 3% de extracto de levadura y 15 g de agar-agar en un litro de agua destilada. Todos los ingredientes se disolvieron hasta obtener un líquido completamente homogéneo, el cual se esterilizó en autoclave a 121 ° C durante 25 minutos. El medio se vertió en cajas Petri de 9 cm de diámetro y en cada caja Petri se marcaron siete u ocho puntos para definir sitios en donde se habrían de sembrar los ácaros micosados, y con ello facilitar la ubicación de las colonias que se llegaran a desarrollar. Cuando se localizó un ácaro micosado, con una aguja de punta fina previamente desinfectada con alcohol y flameada en un mechero se tomó el ácaro y se transfirió a un punto de la caja Petri con el medio H hasta completar siete u ocho puntos por caja.

Todas las cajas sembradas se incubaron a 27°C, cada dos días se observaban para ver si había crecimiento de micelio y para descartar hongos o bacterias contaminantes, que suelen crecer mucho más rápido y producir mayor número de esporas que los hongos patógenos (Humber, 1998). Posteriormente se tomó una porción de cada colonia con la ayuda de una aguja de disección y se transfirió a una nueva caja Petri para la separación de las colonias procedentes de diferentes ácaros. Las nuevas colonias se revisaron diariamente, cuando se observaron hongos contaminantes se les descartó.

De los hongos obtenidos con el procedimiento anterior (plurispóricos) se hicieron cultivos monospóricos. Para ello se seleccionaron cajas de colonias que se veían uniformes, de cada una se tomó una muestra raspando con un bisturí una porción de la colonia y ésta se colocó en un frasco con 20 mL de Tween al 0.03% previamente esterilizado, se agitó en vortex y se tomó 1 mL, el cual se esparció sobre la superficie de una caja Petri con agar-agua al 2% (Smith y Onions, 1994.) Al día siguiente se observaron las cajas Petri bajo el microscopio estereoscópico para observar si había conidios germinados, pero en caso de que no los hubiera, se esperaba un día más. Cuando se localizaron conidios germinados, con un bisturí de punta fina se transfirió un solo conidio a una nueva caja Petri con medio H y se incubó a 27 °C durante 10 a 20 días.

De cada una de las colonias monospóricas establecidas, se registró el tiempo de desarrollo, tipo de crecimiento, textura y color, y se hicieron montajes en azul de lactofenol tomando una pizca de la colonia con una aguja estéril previamente flameada en el mechero; esta pizca se distribuyó en una gota de azul de lactofenol entre porta y cubreobjetos para su observación al microscopio de contraste de fases. Se llevó a cabo la identificación morfológica con claves taxonómicas de Minter y Brady (1980).

Se almacenaron respaldos de todos los aislamientos obtenidos, monospóricos y plurispóricos; para ello se cortaron pedacitos del medio cubierto por micelio y se colocaron en tubos crioviales de 2 mL, se les agregó 1 mL de glicerina a 15% o más, tratando de que el material biológico quedara cubierto; enseguida se guardaron en un ultracongelador a -80°C (Henaó *et al.*, 2006, con ligeras modificaciones). Un duplicado de las mismas muestras se almacenó en agua destilada estéril en tubos de ensaye a 4°C (Bueno y Gallardo, 1998). Por otra parte, se seleccionó una colonia para toma de fotografías al microscopio electrónico del barrido (MEB) con la finalidad de observar las estructuras del género *Hirsutella*; para esto se siguió el protocolo de Bozzola y Ruseell, (1991).

3.2.4. Extracción del ADN y PCR

Se extrajo el ADN total de los hongos usando el protocolo propuesto por Laurentin y

Martinez-Hilders (2012), con la diferencia de que la maceración de tejidos se hizo con nitrógeno líquido. Se tomaron pizcas de entre 100 y 200 mg de micelio de las colonias monospóricas; cada pizca se colocó en mortero con nitrógeno líquido y se maceró hasta obtener un polvo fino; este producto se depositó en un tubo Eppendorf estéril, se le agregaron 1000 µl de buffer de extracción (Tris 0,1 M, EDTA 0,01 M, Na Cl 0,7 M, BME 1% y CTAB 1%), se incubó a 60°C por una hora agitando con un vortex cada 15 minutos, se le adicionaron 200 µl de acetato de sodio (3 M) y se incubó a -20°C durante 15 minutos, se centrifugó por 10 minutos a 10,000 rpm, se tomaron 750 µl del sobrenadante y se colocaron en un nuevo tubo, se precipitó el sobrenadante con 750 µl de isopropanol (agitando suavemente), se incubó a -20°C por 15 minutos, se centrifugó por 10 minutos a 14,000 rpm, se decantó el líquido y se lavó dos o tres veces con 100 µl de etanol al 70%. Para finalizar se dejó secar a temperatura ambiente. Una vez seca, cada muestra se resuspendió con 50 µl de buffer TE IX. Se midió la concentración de ADN mediante espectrofotometría (NanoDrop 2000, Thermo Fisher Scientific, Inc. Waltham, MA, USA) y se almacenó a -20°C.

Se llevó a cabo la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para la amplificación de segmentos del gen ITS; se utilizaron los cebadores (primers) ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') e ITS2 (5'-GCTGCGTTCTTCATCGATGC-3') (White *et al.* 1990). Las amplificaciones se realizaron en tubos Eppendorf de 0.2 mL con un volumen de reacción de 25 µl, usando 12.5 µl de DyNAzyme™ II master mix 2X. Las condiciones de PCR fueron: desnaturalización inicial a 94°C por 5 min, 30 ciclos de 94°C por 30 seg, 56°C por 30 seg y 72°C por 1 min, una etapa de elongación final de 72°C por 10 minutos y terminar con 4° C; estas condiciones se llevaron a cabo en un termociclador MyCycler™ (BIORAD Laboratories Inc., Hercules, CA, USA). El producto del PCR se corrió por electroforesis en gel de agarosa al 1.5 % en buffer TAE 1X, al que se adicionaron dos gotas de bromuro de etidio (10 ml, 0.625mg/ml) el gel se vació en la cámara de electroforesis donde se cargaron las muestras y se corrió a 96 volts por 40 minutos y se visualizó mediante un fotodocumentador. Todas las muestras donde se amplificó el segmento de ITS se mandaron a secuenciar por el método Sanger en Macrogen (Corea del Sur). Las secuencias obtenidas se editaron, se ensamblaron usando el programa BioEdit V. 7.2.5 (Hall, 1999) y FinchTV. V.1.4.0 (Paterson *et al.*, 2006) y se compararon con los datos de 16 diferentes secuencias de *Hirsutella* que se encuentran en el

GenBank del NCBI (National Center for Biotechnology Information) utilizando el programa BLAST. Se realizaron alineamientos con el programa Muscle. Se utilizó el programa MEGA 6.06 para la reconstrucción filogenética (Tamura *et al.*, 2013) por el método de máxima verosimilitud basado en el modelo de Kimura 2-parametro (Kimura, 1980). El árbol inicial se obtuvo por el método de máxima verosimilitud compuesta. Se utilizó la distribución gamma para el modelo de diferencias evolutiva entre sitios (cinco categorías). Se utilizó la prueba de Bootstrap con 1000 réplicas. El análisis involucró 25 secuencias de nucleótidos, con un total de 1086 posiciones. Para el análisis filogenético se incluyó una secuencia de la especie *Pandora neoaphidis* con el número de acceso HQ677587.1 en el GenBank, la cual sirvió de referencia de grupo fuera.

3.2.5. Fluctuación estacional de ácaros micosados en Tabasco, México

Se estudió la fluctuación estacional de la ocurrencia de ácaros micosados en su asociación con regímenes climáticos; para ello se eligieron tres sitios del estado de Tabasco, donde cada sitio presentaba un tipo de clima (Af, Am y Aw). Los sitios fueron: Teapa (clima Af), con las coordenadas 17°39' 27" N, 92° 57'47" W y 22 m sobre el nivel del mar. El segundo sitio fue en Cárdenas (clima Am), situado en las coordenadas 17°59'24" N, 93°36'22" W y 15 metros sobre el nivel del mar, y el tercer sitio fue Comalcalco (clima Aw), con las coordenadas de 18°16'25.8954" N, 93°6'34.92" W y 8 m sobre el nivel del mar (INEGI, 2015 y García, 2004).

En los tres sitios de estudio había palmas de coco adultas previamente establecidas, las que estaban infestadas con *R. indica*, lo que se corroboró visualmente. En cada uno de esos sitios se introdujeron plántulas de coco cultivar "Alto Caribe" y cultivar "Enano Malayo" y plántulas de plátano Macho (*Musa* AAB) y banano Enano Gigante (*Musa* AAA), en febrero de 2015. Estas plántulas estaban libres de *R. indica* al momento de su introducción, por lo que se esperaba que se infestaran naturalmente por este ácaro, presumiblemente con ejemplares transportados pasivamente por el viento (Welbourn, 2007).

En cada hoja se seleccionaron cinco áreas de 5x3 cm², distribuidas en toda su extensión. Se contaron todos los ácaros presentes sanos y micosados en el área seleccionada (ácaros con

micelio saliente radialmente del cuerpo) Todas estas actividades se hicieron directamente en campo sin destrucción de las hojas y utilizando una lupa de mano de 20x.

Se tomaron datos de humedad relativa, temperatura y precipitación pluvial, en estaciones climatológicas ubicadas aproximadamente de uno a cinco kilómetros de distancia de los sitios de estudio. Se estudió la asociación de la proporción de ácaros micosados con las variables climáticas de temperatura, humedad relativa y precipitación; para ello se sometieron el análisis longitudinal, utilizando los modelos cuadráticos como TOEP y AR (1).

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Identificación de los ácaros e insectos depredadores

De los ocho estados donde se hicieron las colectas, en cuatro hubo presencia de ácaros depredadores. Se encontró principalmente a la familia Phytoseidae, representada por *A. largoensis*, y con menor frecuencia a las familias Cunaxidae, Macrochelidae y Laelapidae. Se encontraron insectos depredadores de las familias Phlaeothripidae y Thripidae alimentándose de las larvas de *R. indica*, así como neurópteros de la familia Chrysopidae y coleópteros de la familia Coccinellidae.

En todos los casos la población de ácaros e insectos depredadores fueron muy bajas, menos de 10 ácaros y/o insectos depredadores asociados a una población de más de 200 ejemplares de *R. indica* (Cuadro 1).

3.3.2. Identificación morfológica de los aislamientos de hongos acaropatógenos

Los ejemplares de *R. indica* micosados se identificaron por la presencia de micelio que salía radialmente de su cuerpo (Fig 1 A-B), los cuales se identificaron como *Hirsutella thompsonii* (fig 1 C-D). Entre los hongos colectados en ácaros y montados entre porta y cubreobjetos con lactofenol se identificó con base en caracteres morfológicos a *Hirsutella thompsonii* (Fig 1. A), *Hirsutella tydeicola* Samsom y McCoy (fig 1. B) e *Hirsutella sp.* (Fig 1.

C). Estos aislamientos se designaron como TVIC4b, TVIC5c, QDZ14a, QDZ14c. CAM19a, CAM20b, CAM21a y OAX24a; sus datos de colecta aparecen en el Cuadro 2.

Cabe mencionar que de la especie *H. tydeicola* únicamente se obtuvo un ejemplar micosado de *R. indica*, con el cual se hizo montaje en lactofenol por lo que no hubo manera de aislarlo en el medio H. El hongo se caracterizó por presentar fiálides ligeramente infladas hacia la base, en algunas de sus fiálides presentaban dos cuellos con conidios fusiformes, sus hifas eran hialinas y septadas, con células conidiógenas solitarias (fig 1. B). El micelio que formó en el cuerpo del ácaro era hialino y brillante (Fig. 2 B).

3.3.3. Características de los aislamientos del género *Hirsutella*

Los aislamientos se caracterizaron por desarrollar colonias de color marrón claro, con sinemas cilíndricos a filiformes (otros carecían de ellos), que podían ser simples o ramificados, erectos, compuestos de hifas septadas y portaban células conidiogénicas. Las fiálides hinchadas hacia la base se estrechaban gradualmente formando uno o más de dos cuellos delgados. Con lo anterior el hongo se identificó en el género *Hirsutella*.

Cuadro 1. Artrópodos depredadores colectados en diferentes estados de la República Mexicana.

Lugar de colecta	Localidades	Coordenadas geográficas	Hospedantes	Orden: familia	Especies
Tabasco	Chiltepec, Paraíso.	18°25'21.7" -93°06'2.6"	<i>Cocos nucifera</i> L.	Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>Amblyseius largoensis</i>
				Cunaxidae	-----
				Macrochelidae	-----
				Laelapidae	-----
				Thysanoptera: Thripidae	<i>Scolothrips sexmaculatus</i> Pergande
	Aguiles Serdán	18.420345 -93.041119	<i>C. nucifera</i>	Thysanoptera: Phlaeothripidae	<i>Leptothrips sp.</i>
				Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>A. largoensis</i>
				Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>A. largoensis</i>
				Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>A. largoensis</i>
				Coleopteros: coccinellidae	<i>Chilocorus cacti</i> L <i>Stethorus sp.</i>
Oaxaca	Ranchería El Bellote	18.4282274 -93.09396	<i>C. nucifera</i>	Neuróptera: Chrysopidae	<i>Chrysoperla sp.</i>
				Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>A. largoensis</i>
				Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>A. largoensis</i>
				Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>A. largoensis</i>
Campeche	Malecón, Campeche	19.850903 -90.5364	<i>C. nucifera</i> A. <i>merrillii</i>	Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>A. largoensis</i>
				Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>A. largoensis</i>
				Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>A. largoensis</i>
Chiapas	Carretera, Campeche-Mérida	19.958765 -90.348495	<i>C. nucifera</i>	Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>A. largoensis</i>
				Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>A. largoensis</i>
	Playa del sol	15°55'01.4" -93°46'50.8" 7msnm	<i>C. nucifera</i>	Thysanoptera: Thripidae	<i>S. sexmaculatus</i>
				Thysanoptera: Phlaeothripidae	<i>Leptothrips sp</i>
			<i>A. merrillii</i>	Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>A. largoensis</i>
				Mesostigmata: Phytoseiidae	<i>A. largoensis</i>
				Thysanoptera: Phlaeothripidae	<i>Leptothrips sp</i>

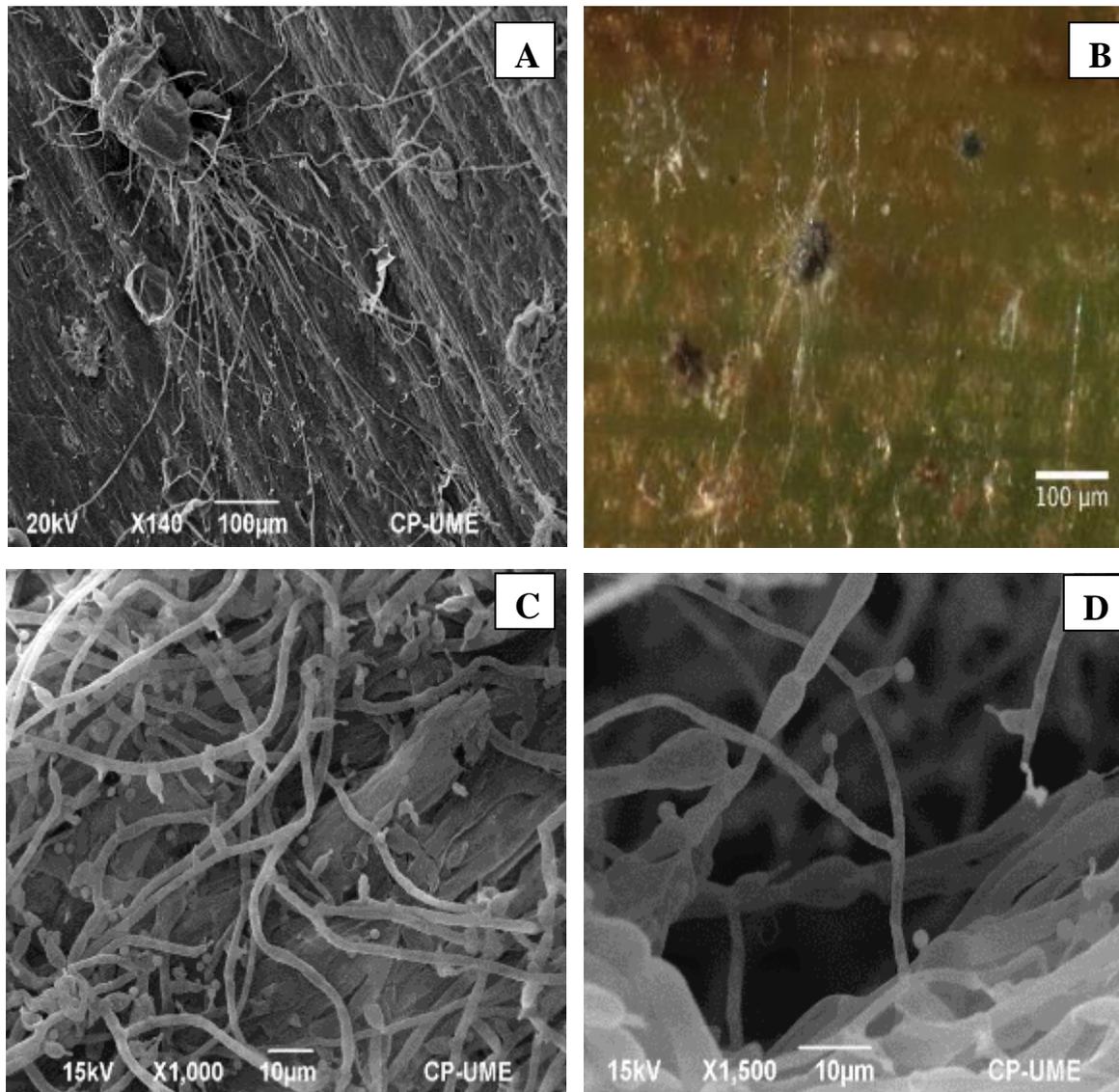


Figura 1. A y B) Foliolo de palma de coco con *Raoiella indica* infectado por *Hirsutella thompsonii* y C y D) imágenes de microscopía electrónica del barrido.

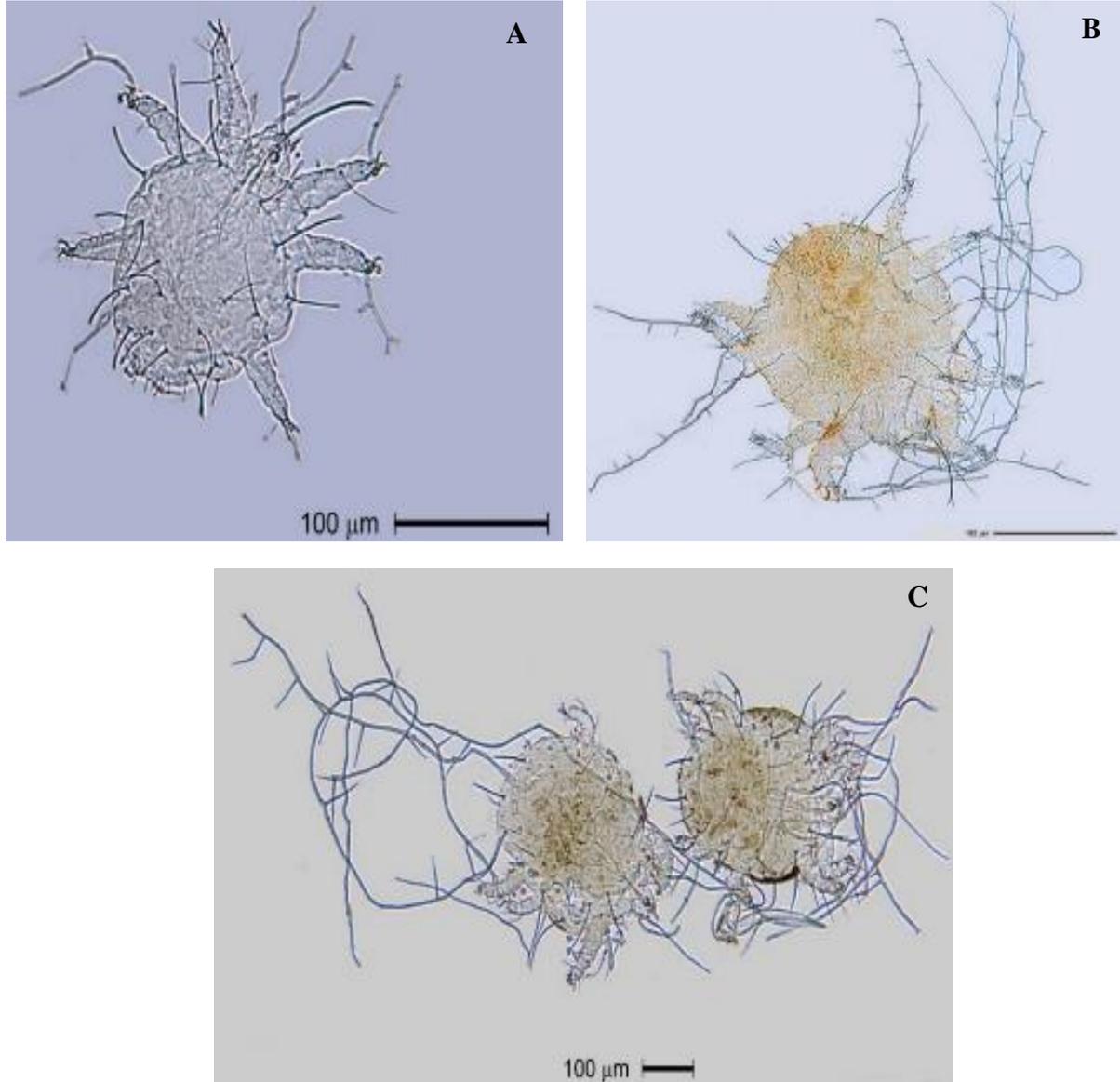


Figura 2. Ácaros montados en lactofenol entre porta y cubreobjetos y observados en el microscopio Carl Zeiss. A) *Raoiella indica* infectado por *Hirsutella thompsonii*, B) *R. indica* infectado por *H. tydeicola*, C) *R. indica* infectados de *Hirsutella sp.*

Cuadro 2. Sitios de colecta de los hongos ácaropatógenos en palmas de coco.

Sitios de Colecta	Localidad	Coordenadas geográfica	Muestras	Variedad	Fechas de colecta
Tabasco	Paraíso	18°25'25" 93°02'18	TVIC4b	<i>thompsonii</i>	septiembre, 2014
	Paraíso	18°25'25" 93°02'18	TVIC5c	<i>sinematosa</i>	septiembre, 2014
Quintana Roo	Dzemul	21.32811 -89.40277	QDZ14a	<i>sinematosa</i>	Junio, 2014
	Dzemul	21.32811 -89.40277	QDZ14c	<i>sinematosa</i>	Junio, 2014
	Champotón	19.850903 -90.5364	CAM19a	<i>thompsonii</i>	julio, 2014
Campeche	Carretera-Campeche, Mérida	19.958765 90.348495	CAM20b	<i>thompsonii</i>	julio, 2014
	Champotón	19.358167-90.721683	CAM21a	<i>thompsonii</i>	julio, 2014
Oaxaca	San Pedro, Pochutla	15.73736 -96.47168	OAX24a	<i>thompsonii</i>	enero, 2015

3.3.4. Características morfológicas del aislamiento TVIC4b

La colonia del aislamiento TVIC4b creció en el medio H a una temperatura de 25 a 27°C; presentó una coloración grisácea y blanca algodonosa con micelio abundante y liso. El hongo presentó fialides de forma conoidal de aproximadamente 5.26 µm de largo, donde al final presentaban esterigmas que comúnmente se denominan “cuello”.

Los conidios eran redondeados con pequeños abultamientos, de 1.64 µm x 1.15 µm (medidas tomadas en 40x). La colonia generaba gotas de exudados color oscuro a los 15 días después de su siembra, alcanzó 2.5 a 3.0 cm de diámetro (Fig. 3).

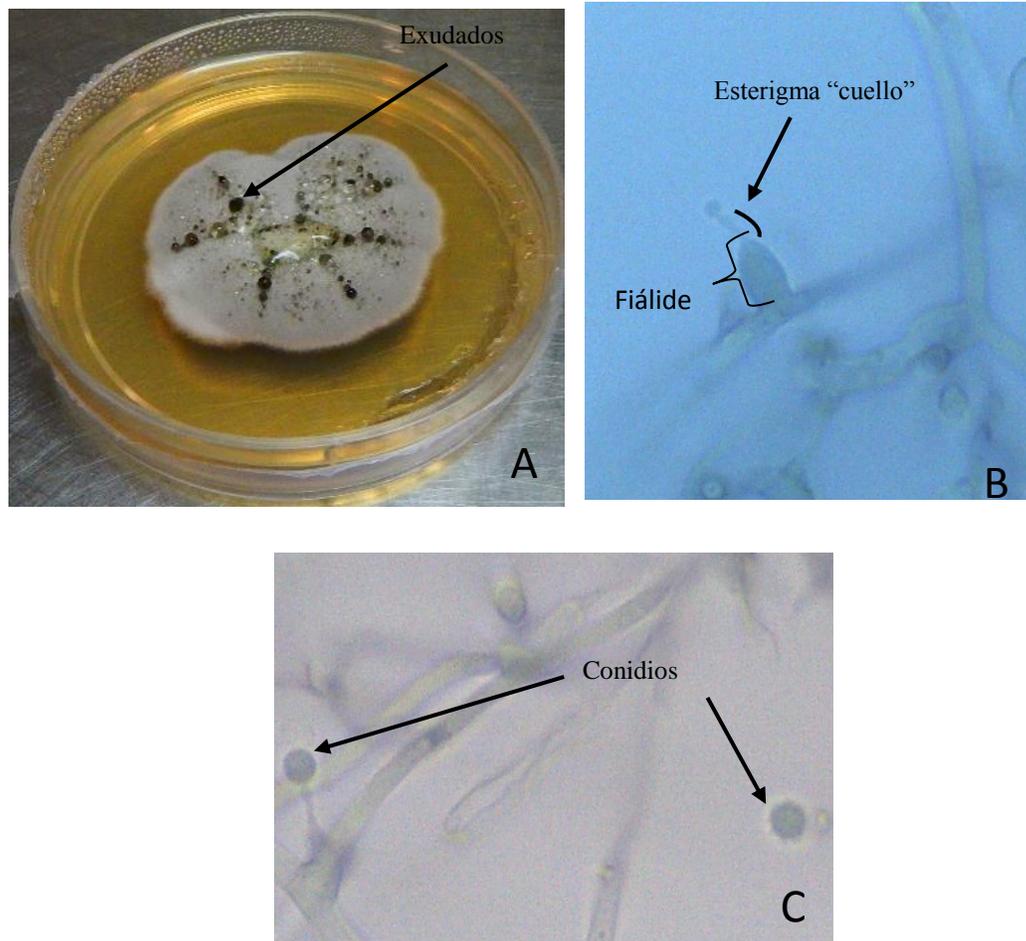


Figura 3. Características morfológicas del aislamiento TVIC4b. A. Colonia grisácea sin sinemas. B Fiálide conoidal y C. Conidios redondos.

3.3.5. Características morfológicas del aislamiento TVIC5c

La colonia del aislamiento TVIC5c se caracterizó por ser de color blanco y después de 15 días de su siembra a 25-27 °C alcanzó un crecimiento de 3.5 cm de diámetro. La colonia presentaba sinemas color blanco-cremoso cilíndricos (Fig 2), fiálides de forma conoidal, de 6.12 μm de largo con esterigmas o cuellos con conidios solitarios redondeados, de aproximadamente de 2.45 μm x 2.46 μm . Los conidios eran lisos con pequeños abultamientos (Fig. 4).

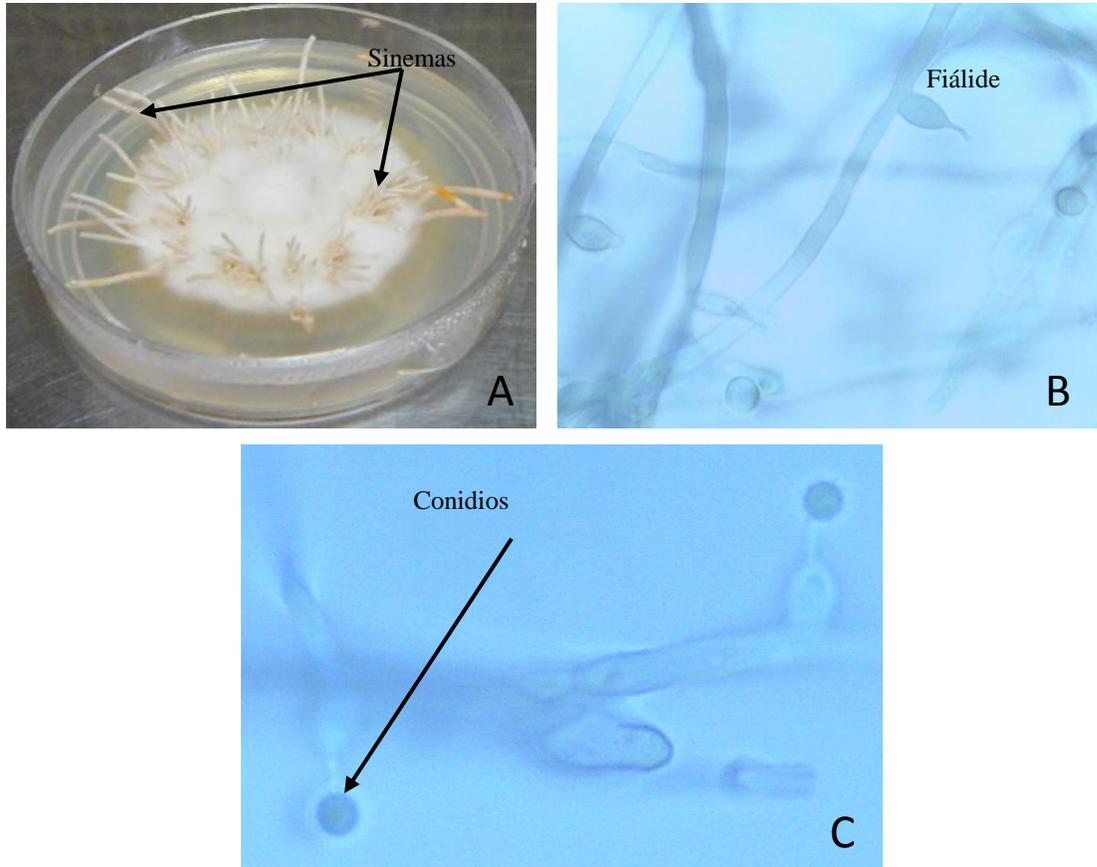


Figura 4. Características morfológicas del aislamiento TVIC5c. A. Colonia blanca con sinemas. B Fiálide ensanchada en la base y C. Conidios redondos.

3.3.6. Características morfológicas del aislamiento QDZ14a

Colonia de color grisáceo con sinemas color crema, cubiertos con una capa de micelio grisáceo. A los 15 de la siembra alcanzó de 2.5 a 3 cm de diámetro. Las fiálides llegan a medir 5.65 μm de largo, con dos a tres esterigmas (Fig. 5). Los conidios eran solitarios, redondeados, de 2.10 x 2.15 μm (Fig. 5).

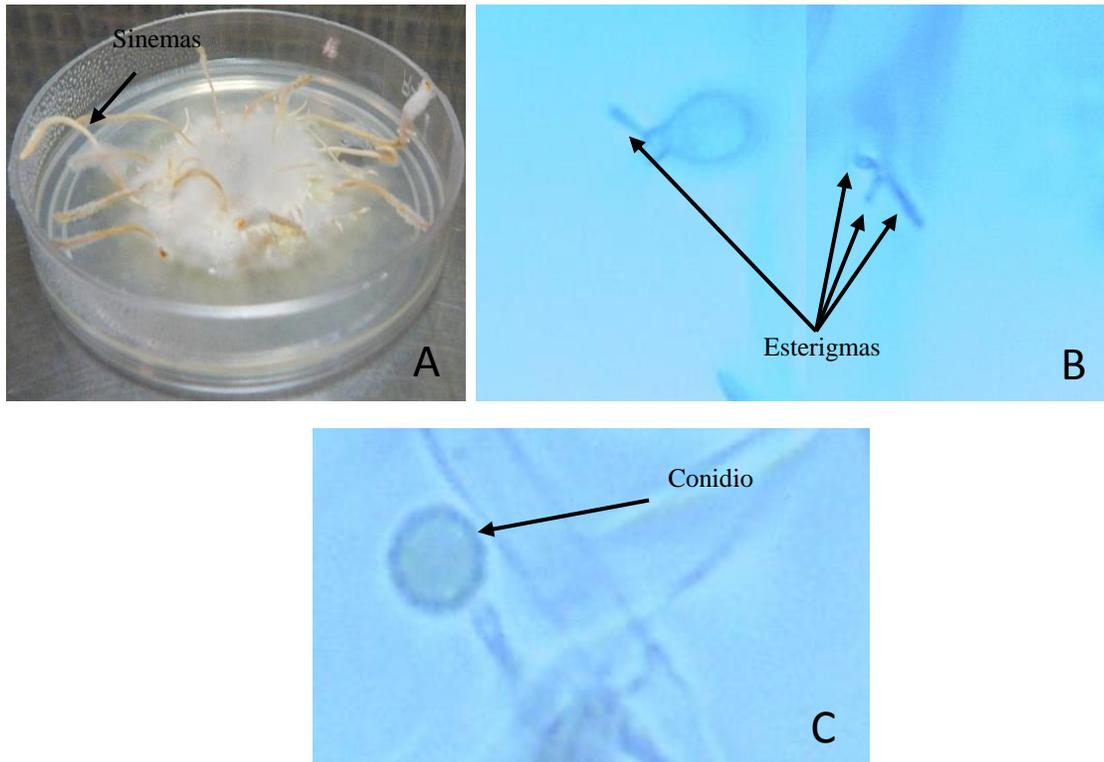


Figura 5. Características morfológicas del aislamiento QDZ14a. A. Colonia grisácea con sinemas color crema. B Fiálides con dos a tres esterigmas y C. Conidios redondos.

3.3.7. Características morfológicas del aislamiento QDZ14c

Colonia blanco-grisácea, 15 días después de su siembra alcanzó aproximadamente 3 cm de diámetro, presentaba sinemas color blanco-cremoso alrededor de la colonia. Sus fiálides llegaban a medir 6.41 μm de largo y se estrechaban gradualmente formando esterigmas con conidios redondeados con pequeños abultamientos que medían aproximadamente 2.29 x 2.38 μm (Fig. 6).

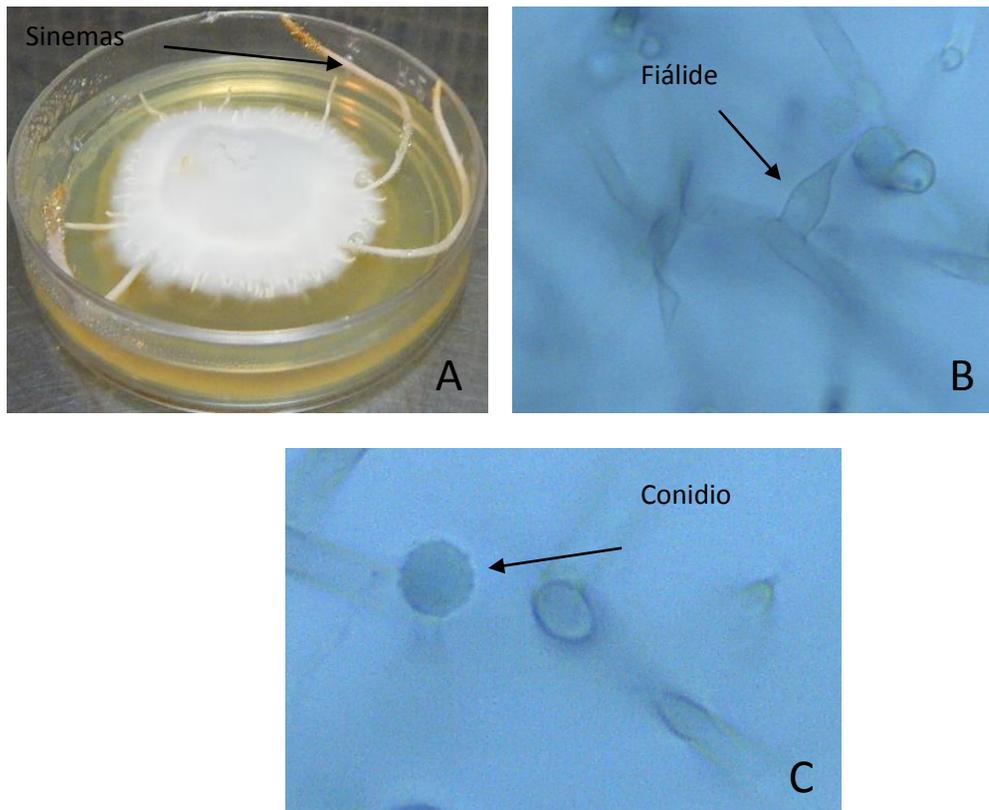


Figura 6. Características morfológicas del aislamiento QDZ14c. A. Colonia blanca con sinemas color crema. B Fiálide gradualmente estrechada formando esterigma y C. Conidios redondos con abultamiento.

3.3.8. Características morfológicas del aislamiento CAM19a

Colonia color blanco con un ligero tono grisáceo en el centro, que alcanzaba 2 a 2.5 cm de diámetro después de los 15 días de su aislamiento. Presentaba micelio liso y carecía de sinemas. Sus fiálides eran sésiles y medía 6.96 μm de largo, cada fiálide presentaba de uno a tres cuellos con conidio de aproximadamente 2.48 x 2.52 μm (Fig. 7).

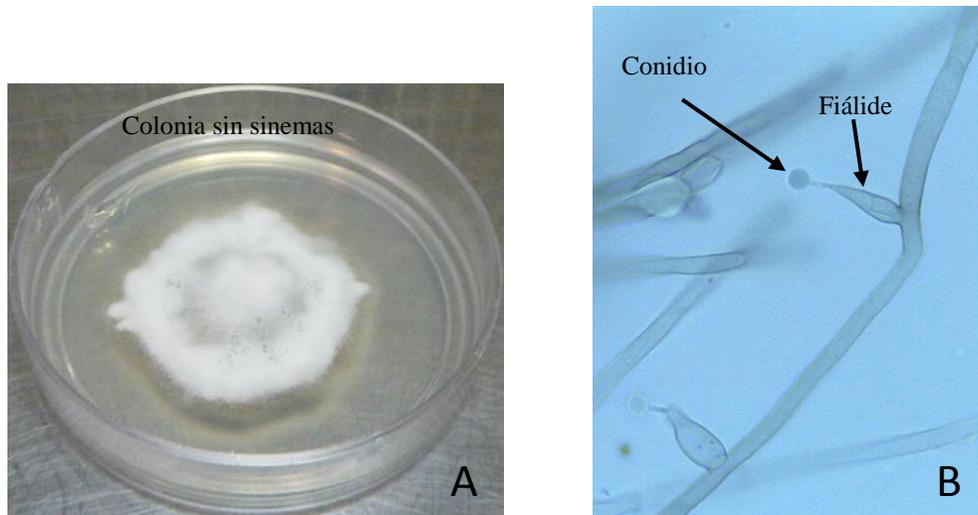


Figura 7. Características morfológicas del aislamiento CAM19a. A. Colonia color blanco con un ligero tono grisáceo en el centro. B Fiálides con uno a dos esterigmas y C. Conidios redondos.

3.3.9. Características morfológicas del aislamiento CAM20b

Colonia grisácea, a los 15 días de desarrollo alcanzaba 3 a 4 cm de diámetro. Presentaba micelio liso y carecía de sinemas. Sus fiálides eran sésiles que medían 6.42 μm , cada fiálide presentaba un cuello con conidio de aproximadamente 2.46 x 2.51 μm (Fig. 8).

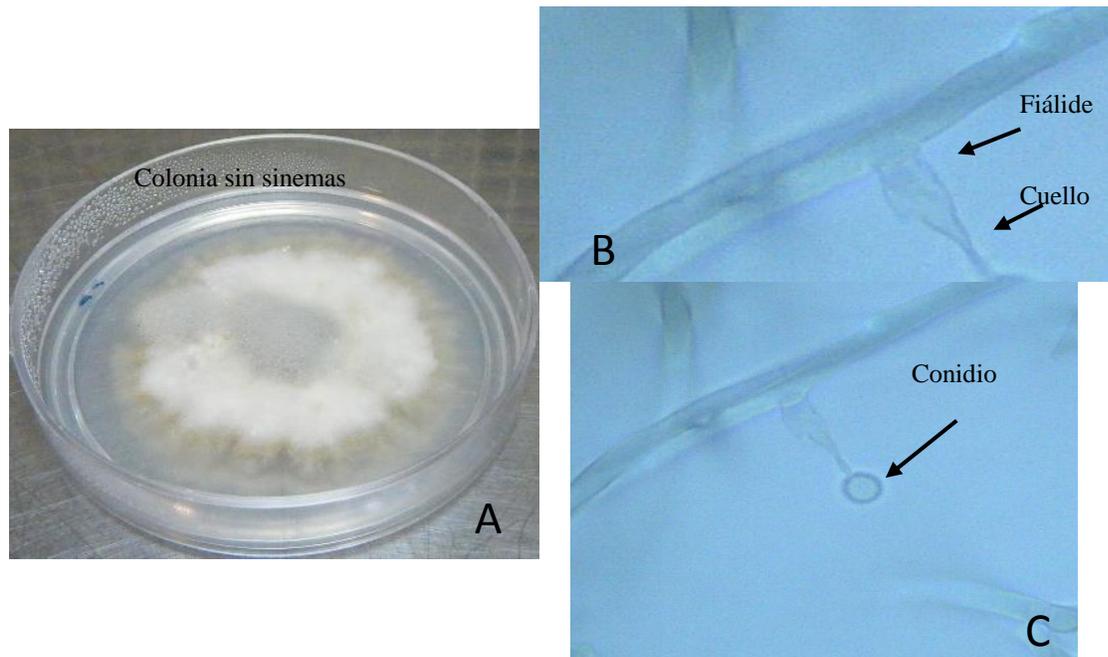


Figura 8. Características morfológicas del aislamiento CAM20b. A. Colonia grisácea. B Fiálides sésiles y C. Conidios redondos.

3.3.10. Características morfológicas del aislamiento CAM21a

Colonia grisácea con crecimiento radial, alcanzaba 2.5 a 3.0 cm de diámetro. Carecía de sinemas, presentaba micelio liso, los fiálides sésiles de 5.70 μm de largo ensanchados hacia la base, conidios redondeados y lisos de aproximadamente 2.50 x 2.55 μm (fig. 9).

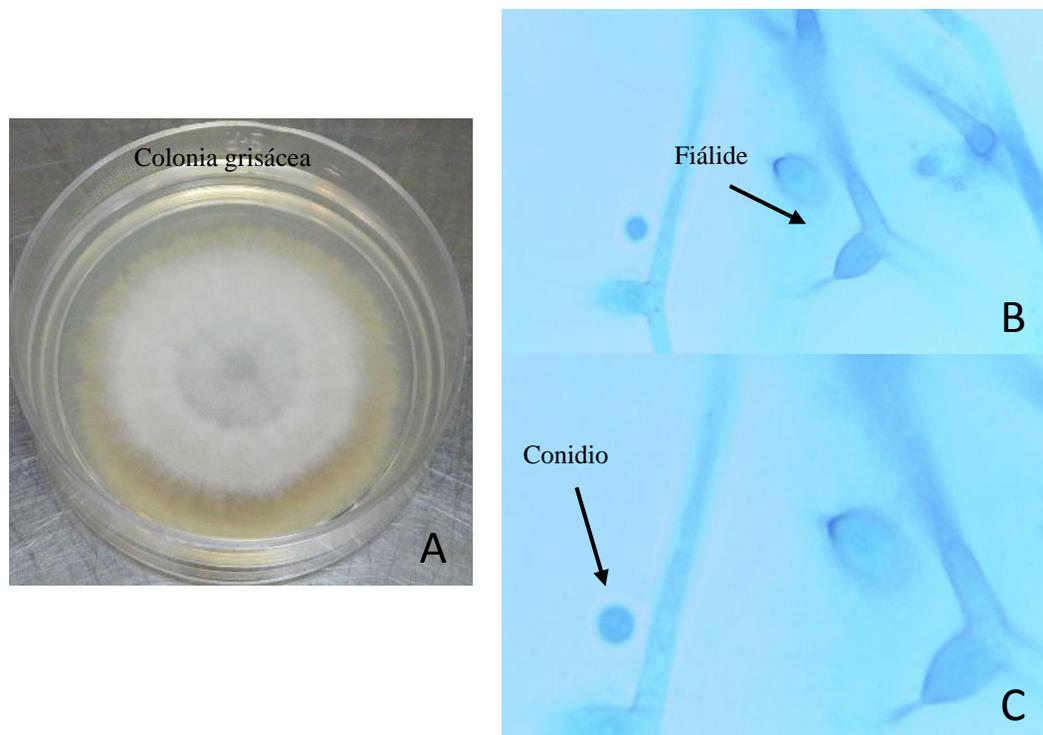


Figura 9. Características morfológicas del aislamiento CAM21a. A Colonia grisácea con crecimiento radial. B los fiálides sésiles ensanchados hacia la base y C. Conidios redondos.

3.3.11. Características morfológicas del aislamiento OAX24a

Colonia blanco-grisácea con abultamiento en el centro, a los 15 días de desarrollo alcanzaba 2 a 2.5 cm de diámetro. Fiálides alargadas de aproximadamente 6.97 μm . conidios redondeados de 2.31 x 2.48 μm (Fig. 10).

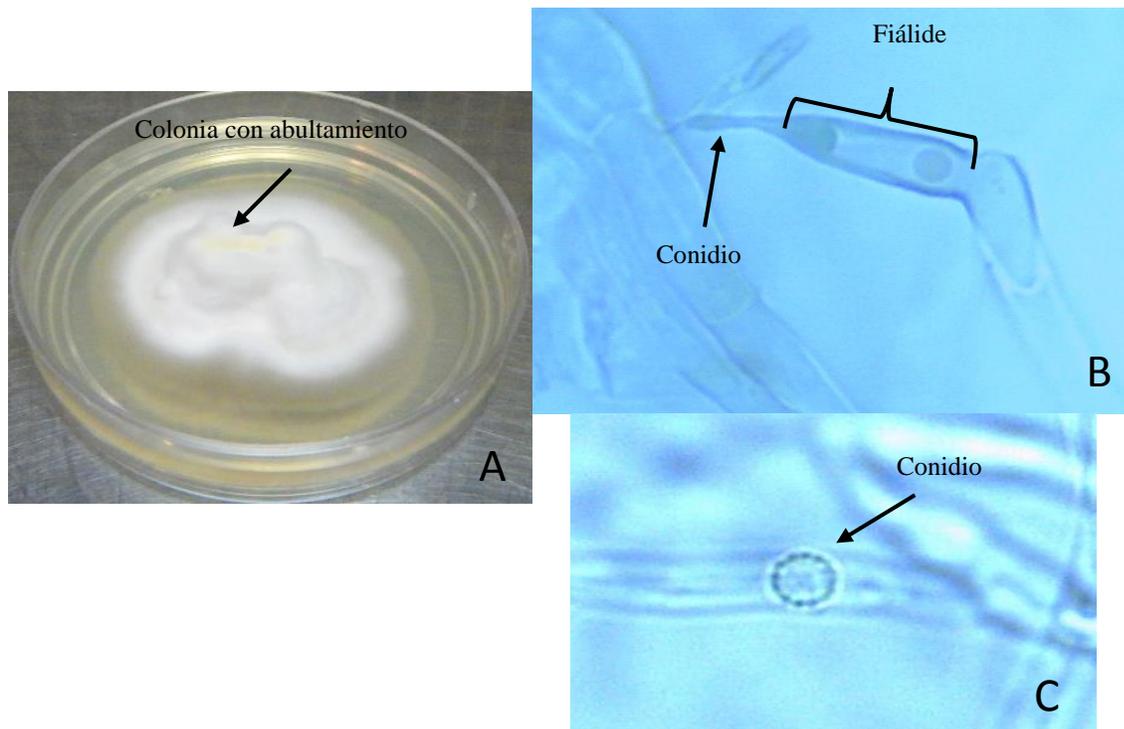


Figura 10. Características morfológicas del aislamiento OAX24a. A. blanco-grisáceo con abultamiento en el centro. B los fiálides alargados y C. Conidios redondeados.

3.3.12. Identificación molecular de los hongos ácaropatógenos

Todas las muestras procesadas para la extracción de ADN de las que se obtuvieron concentraciones arriba de 500 ng de ADN/ μ l, fueron amplificadas y se agruparon en *H. thompsonii*. Luego del análisis de los productos de PCR obtenidos con los primers ITS1 e ITS2 se corroboró que las muestras pertenecen al género *Hirsutella*.

Las secuencias tuvieron una amplificación de 1086 pb, la verosimilitud fue de (-525,7712), la tasa de diferencia evolutiva fue 5 categoría + G, parámetro= 1.7336. La escala del árbol mide el número de sustituciones por sitio. Mediante el análisis filogenético se determinaron tres grupos principales; en el primero está *Pandora neoaphidis*, que corresponde al grupo fuera; el segundo grupo se dividió en dos subgrupos que incluyeron a *Hirsutella rhossiliensis*, *Hirsutella citrifomis*; y en el tercer grupo se encuentra el grupo de estudio que se agrupa con *H. thompsonii* (Fig. 11).

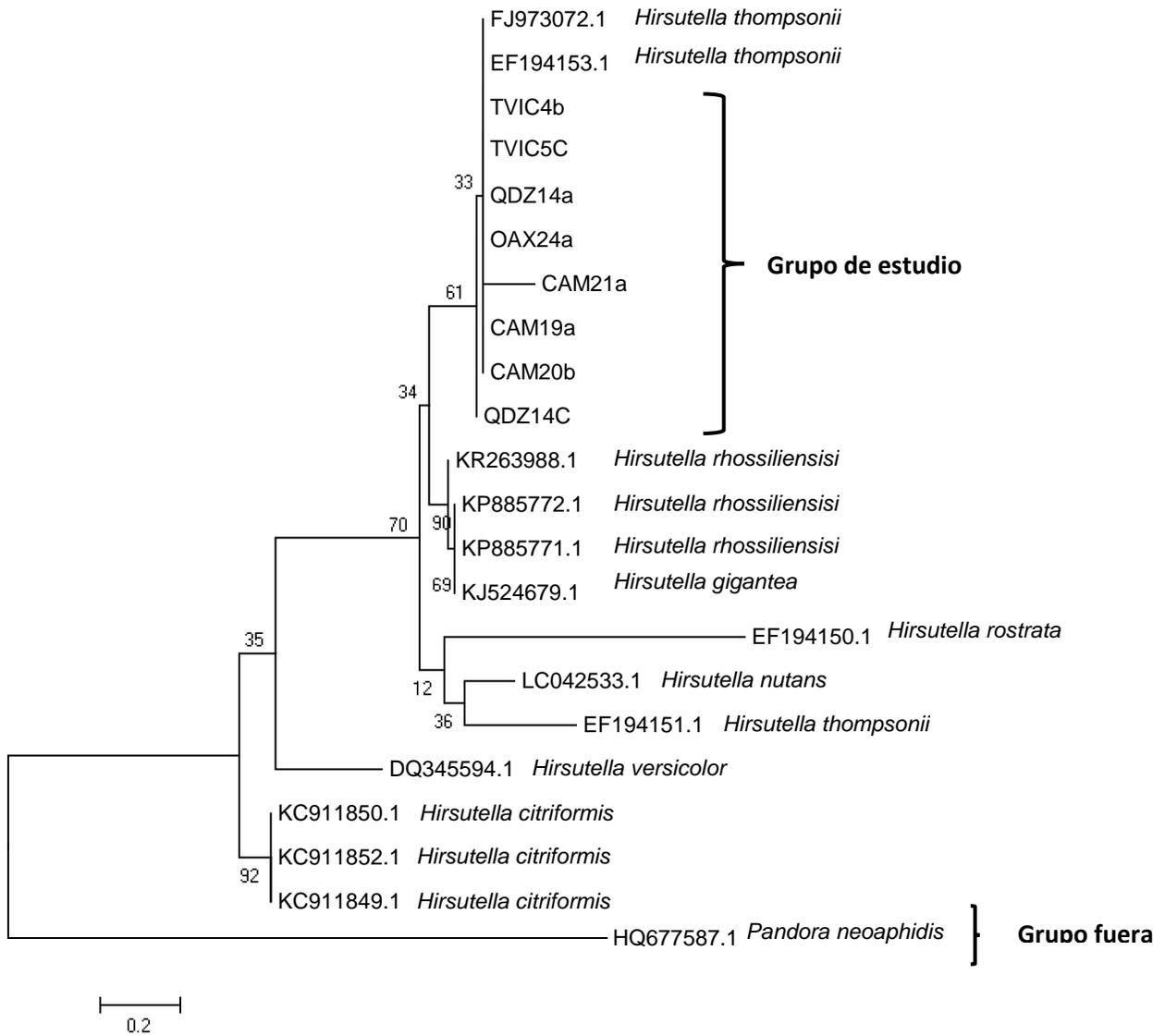


Figura 11. Árbol filogenético de los aislamientos QDZ14C, QDZ14a, CAM20b, OAX24a, CAM21a, TVIC5C, TVIC4b, CAM19a de hongos acaropatógenos obtenidos de *Raoiella indica* en palmas de coco, utilizando el método de máxima verosimilitud con 1,000 repeticiones de Bootstrap.

3.3.13. Fluctuación estacional de ácaros micosados

Se observaron ácaros micosados en todos los muestreos mensuales; sin embargo, la proporción de dichos ácaros fue menor a 0.1 la mayor parte de los meses del año de estudio, en los cultivares de coco en las tres localidades. En el caso de las palmas adultas, se presentó un brote de ácaros micosados al inicio del muestreo, en marzo de 2015, y otro brote visible en febrero de 2016 (Fig. 12 A). En las plántulas de coco Alto Caribe, la proporción de los ácaros micosados fue menor que 0.2 y se presentaron tres picos entre los meses de septiembre, noviembre 2015 y enero de 2016. En las plántulas de coco Enano Malayo se presentaron tres picos en los meses de junio, octubre y diciembre de 2015. En plátano Macho (*Musa* AAB) sólo se observaron ácaros micosados en enero de 2016 ya que la población de ácaros sanos apareció muy tarde, y lo mismo ocurrió con el banano Enano Gigante (Fig. 12 E).

Por otro lado, en los meses de enero y febrero de 2015, la temperatura osciló entre 22 y 24° C y la humedad que fue de 82.4 a 91.2 (Fig. 14); estas condiciones son propicias para el desarrollo de los hongos acaropatógenos (Smitley *et al.*, 1986), pero este efecto sólo se observó en palmas adultas (Fig. 12 A). De acuerdo con el análisis estadístico, la temperatura tuvo influencia significativa sobre los hongos acaropatógenos (Cuadro 3).

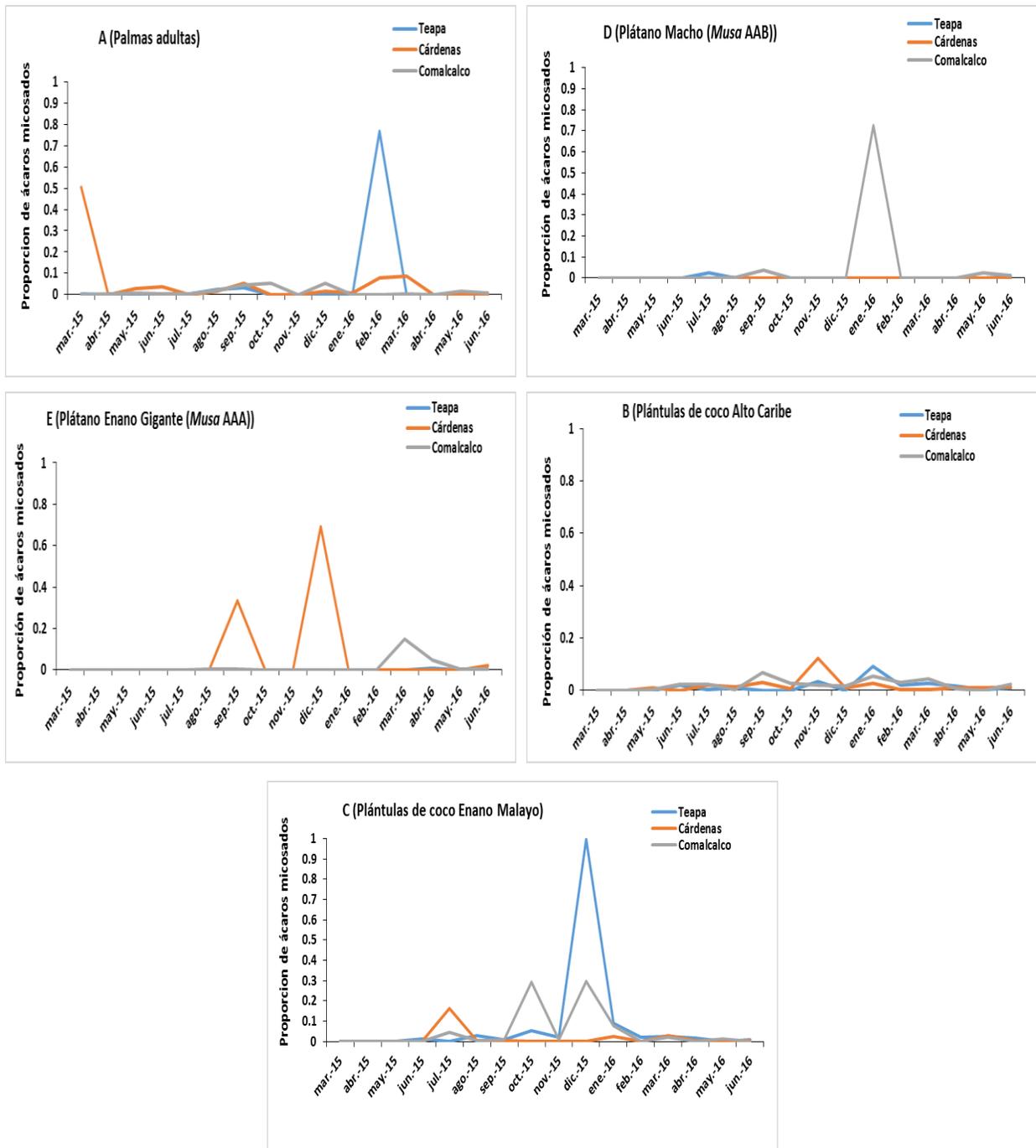


Figura 12. Proporción de ácaros micosados en diferentes cultivares en los tres sitios de estudios, durante todo el muestreo correspondiente de 2015-2016.

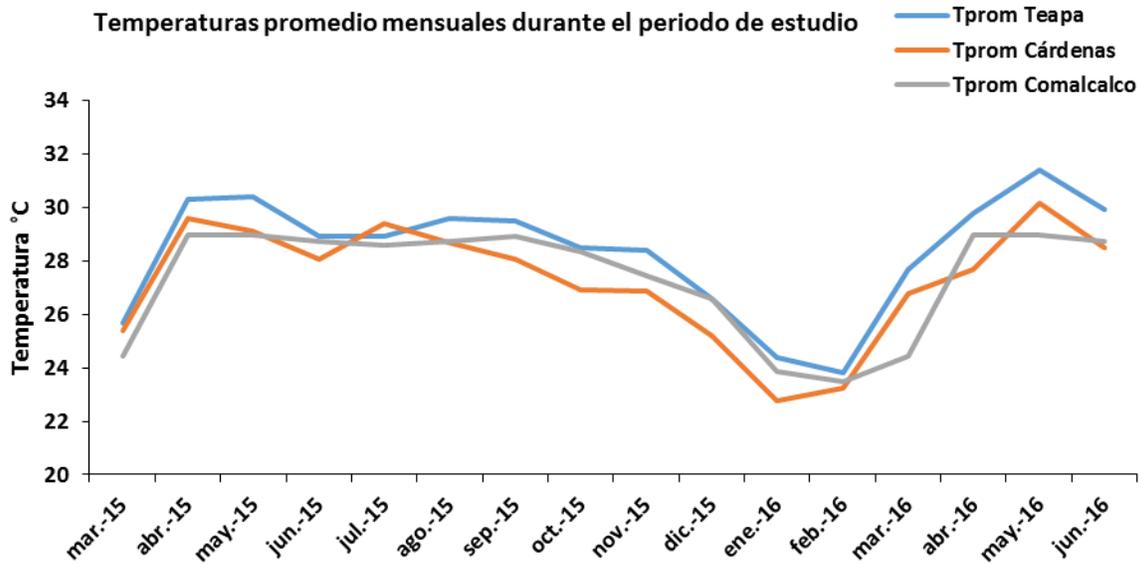


Figura 13. Temperaturas promedio mensuales tomadas en los tres sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.

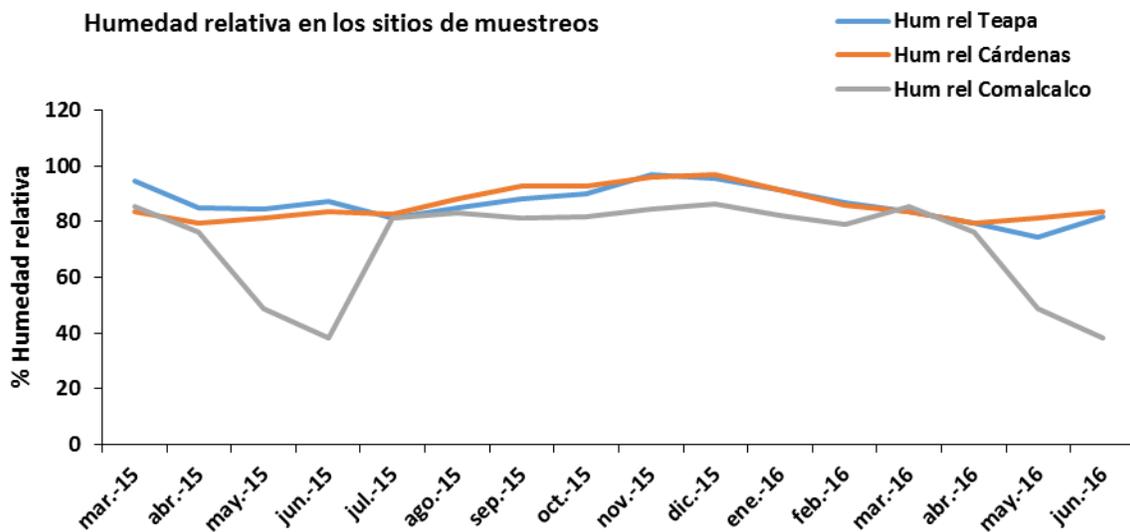


Figura 14. Humedades relativas promedio registradas durante todo el muestreo en los sitios de estudio en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.

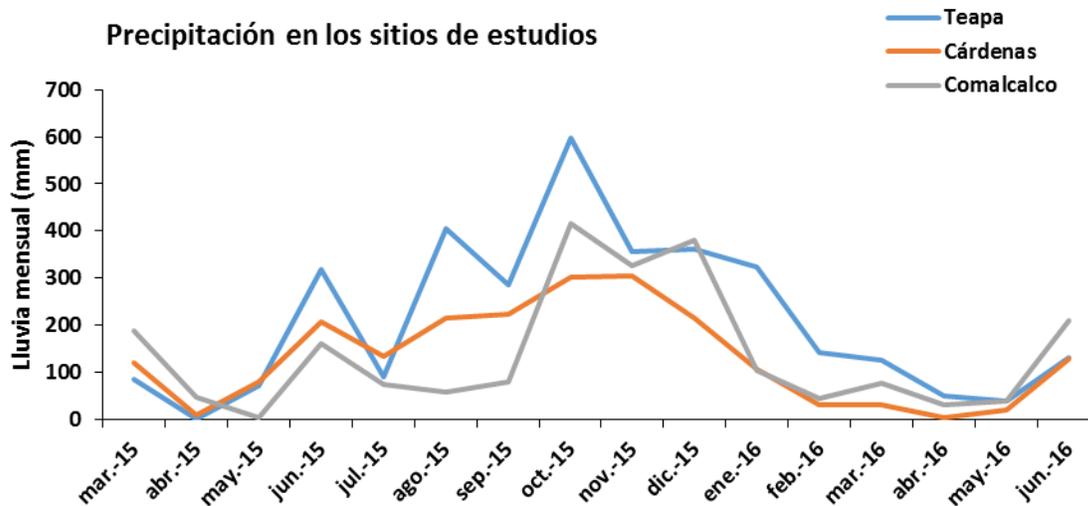


Figura 15. Precipitación acumulada mensual en los tres sitios de estudios, registradas durante todo el muestreo en el estado de Tabasco, México. 2015-2016.

Cuadro 3. Efecto de temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial en las fluctuaciones poblacionales de los ácaros micosados en palmas de coco adultas, plántulas de palma de coco Alto Caribe y Enano Malayo, plátano macho (*Musa AAB*) y banano enano gigante (*Musa AAA*) en tres localidades de estudio, Teapa, Cárdenas y Comalcalco, Tabasco, México, 2015-2016. Los valores en las celdas corresponden a la probabilidad de $\alpha \geq 0.05$. Los efectos se consideran significativos cuando la probabilidad ≤ 0.05 . Se consideran altamente significativos cuando la probabilidad ≤ 0.01 , se resaltan con negritas y subrayado.

	Temperatura	Humedad relativa	Precipitación pluvial
Palmas de coco adultas	<u>p = 0.0135</u>	p = 0.894	p = 0.469
Plántulas de palma de coco Alto Caribe	p = 0.112	p = 0.0834	p = 0.1186
Plántulas de palma de Enano Malayo	p = 0.8876	p = 0.637	p = 0.0864
Plántulas de plátano Macho	p = 0.0815	p = 0.6015	p = 0.3198
Plántulas de banano Enano Gigante	p = 0.7713	p = 0.9775	p = 0.3319

3.4. DISCUSIÓN

Desde que *R. indica* se detectó en América (Etienne y Flechtmann, 2006), se han realizado investigaciones en busca de enemigos naturales de este ácaro, por lo que varios autores como Carrillo *et al.* (2010, 2011b, 2014), Carrillo y Peña (2011) y Colmenarez *et al.* (2014) han reportado algunos depredadores y patógenos de *R. indica*. La mayoría de ellos reportan a *A. largoensis* como el depredador más común de *R. indica*. En esta investigación, en los cuatro estados en que se hicieron muestreos se registró la presencia de ácaros depredadores; *A. largoensis* fue el ácaro depredador predominante en todos los sitios, por lo que se considera un depredador con amplia distribución geográfica tal como los mencionan Carrillo *et al.* (2011), Peña *et al.* (2009), Gonzales *et al.* (2013) y Carrillo *et al.* (2011b). Se ha observado su capacidad de alimentarse sólo de *R. indica*, principalmente de los huevecillos (Carrillo *et al.*, 2011c) y además de que sus poblaciones pueden aumentar cuando se alimenta solamente de *R. indica*, por lo que ha sido considerado como depredador con potencial para el control de dicho ácaro (Ramos *et al.*, 2010; Carrillo *et al.* 2011c).

Se han encontrado otras familias de ácaros asociados con *R. indica*; éstas son Cunaxidae, Macrochelidae y Laelapidae (Taylor *et al.*, 2011) y (Carrillo *et al.*, 2011b). Las mismas familias se reportan en esta investigación, en asociación con la población de *R. indica*. Por otro lado, Peña *et al.* (2009) mencionan a otras familias como Bdellidae (*Bdella distincta*) y Cheyletidae (*Cheletomimus sp.*), entre los depredadores de *R. indica*.

En cuanto a los insectos depredadores, se encontraron dos especies de trips, *Leptothrips sp.* y *Scolothrips sexmaculatus* de la familia Thripidae alimentándose de huevos larvas y adultos de *R. indica* en palmas de coco en los estados de Tabasco y Chiapas. Estos insectos han sido reportados como depredadores de ácaros, principalmente tetraníquidos (Gilstrap y Oatman, 1976).

La variedad de insectos depredadores asociados a *R. indica* reportada en los trabajos mencionados es mayor a la encontrada en el presente trabajo. Por ejemplo, Peña *et al.* (2009) mencionan a *Aleurodothrips fasciapennis*, de la familia Phlaeothripidae, como depredador de *R. indica*, el cual se alimenta de huevecillos, larvas y adultos. Otros insectos asociados con *R. indica*

en palmas de coco en Tabasco son los Coccinélidos *Stethorus sp.* y *Chilocorus cacti*; recientemente Machkour-M'rabet *et al.* (2015) reportaron a *C. cacti* como un depredador nativo y potencial de *Raoiella indica* en México, así como a larvas de la familia Chrysopidae. En Cuba también se encontraron Coccinélidos y Crisópidos asociados con el ácaro rojo de las palmas (Gonzales *et al.*, 2013). Es posible que los insectos citados sean de ocurrencia ocasional, por lo que no fueron detectados durante el presente estudio.

Los trabajos mencionados arriba hacen referencia a la eficacia de algunos ácaros e insectos como depredadores de *R. indica*. Sin embargo, Peña *et al.* (2009) mencionan que *A. largoensis* no reduce totalmente la población de *R. indica* en Puerto Rico, lo cual se puede deber a que es un depredador generalista (Yue y Tsai, 1996), por lo que es importante llevar a cabo trabajos más detallados para encontrar enemigos naturales efectivos contra *R. indica*. Por lo anterior, este estudio se le dio el enfoque principalmente a los hongos ácaropatógenos en un intento por determinar si son una buena alternativa para el control de *R. indica*. El hongo *H. thompsonii* ha sido reportado como patógeno de ácaros (McCoy y Kanavel. 1969), comúnmente en diferentes especies de las familias Eriophyidae y Tetranychidae (Samson *et al.*, 1980).

En esta investigación se encontraron ácaros infectados por hongos del género *Hirsutella* durante todo el muestreo que correspondió de marzo 2015 a junio de 2016. Se dedujo de que se trataba de este género por las características que presentaba la colonia, coloración y el aspecto que presentaba el ácaro infectado a comparación de un ácaro normal; lo cual nos indica que podrían ser utilizado como agente potencial para el manejo de *R. indica*. Como se dijo antes, no había registro que confirmara categóricamente la infección de *H. thompsonii* en *Raoiella indica*; sin embargo, Carrillo *et al.* (2011b) mencionan que *Simplicillium sp.*, *Lecanicillium lecanii* (Zimmerm.) y *H. thompsonii* Fisher están asociados con las poblaciones de *R. indica* en Puerto Rico. Por otra parte, Colmenarez *et al.* (2014) mencionan algunos hongos asociados con *R. indica* como son *Cladosporium*, *Simplicillium spp.*, *Penicillium* y otros como *Aspergillus*, *Cochliobolus*, *Fusarium*, *Pestalotiopsis* y *Pithomyces*. Sin embargo, no confirmam la identificación de *H. thompsonii* ni de otras especies del género, por lo que este trabajo sería el primero en reportar a ésta y a otras especies de *Hirsutella* como patógenos de *R. indica*.

Se ha encontrado a *Hirsutella spp.* de manera natural en México en *Aceria guerreronis* (Hall *et al.*, 1980). En este trabajo también hubo infestaciones de hongos del mismo género sobre el ácaro rojo de las palmas. Los aislamientos ubicados en el árbol filogenético (Fig. 3) fueron también identificados morfológicamente como *H. thompsonii* con dos variedades (*thompsonii* y *sinematosa*). Para el caso de *H. tydeicola* se encontró un solo ejemplar por lo que se considera que fue un hallazgo casual. Este hongo se ha encontrado en *Tydeus sp.*, *Phyllocoptes abaenus* y *Aceria phloeocoptes* en ciruelos (Balazy *et al.*, 2008). Los análisis realizados fueron para corroborar el género por lo que es recomendable utilizar primers específicos para la determinación de las especies ya que existe la probabilidad de que haya más especies de *Hirsutella* infestando a *R. indica*.

De manera natural se observaron altos picos de infección por *H. thompsonii* en Tabasco, sobre todo en palma de coco (Figura 12), por lo que se postula que este hongo podría ser un ácaropatógeno con potencial para ser utilizado como control del ácaro rojo de las palmas. El clima mostró tener un efecto significativo en la infección (Cuadro 3); como lo mencionan Smitley *et al.* (1986), la humedad y las temperaturas son factores que influyen en el desarrollo de los hongos.

3.5. LITERATURA CITADA

- Barrios C, y Bustillo A E. 2016. El ácaro rojo *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) no es una plaga de la palma de aceite. *Palmas*, 37(2), 11-18.
- Bueno L y Gallardo R. 1998. Preservación de hongos filamentosos en agua destilada estéril. *Rev Iberoam Micol* 14:166-168.
- Balazy S, Mietkiewski R, Tkaczuk C, Wegensteiner R y Wrzosek. 2008. Diversity of acaropathogenic fungi in Poland and other European countries. *Exp. Appl Acarol* 46:53-70.

- Bozzola, J J y Russell L D. 1991. Electron microscopy: principles and techniques for biologists. Jones and Barlett publishers. USA.
- Carrillo D, Peña J E, Hoy M A, Howard J F. 2010. Development and reproduction of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) feeding on pollen, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae), and other microarthropods inhabiting coconuts in Florida, USA. Exp. Appl Acarol 52:119-129.
- Carrillo D, Navia D, Ferragut F y Peña J E. 2011a. First report of *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) in Colombia. Fla Entomol 94(2):370–371.
- Carrillo D, Howard J F, Rodrigues V J C y Peña J E. 2011c. Review of the natural enemies of the red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). Exp Appl Acarol DOI 10.1007/s10493-011-9499-4.
- Carrillo D y Peña J E. 2011. Prey-stage preferences and functional and numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). Exp, appl Acarol. DOI 10.1007/s10493-011-9488-7.
- Carrillo D, Hoy M A y Peña J E. 2014. Effect of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) on *Raoiella indica* (Acari; Tenuipalpidae) by predator exclusion and predator release techniques. Fla Entomol 97 (1). 256-261.
- Cabrera R I, Vega M y Ayra L. 2006. Un medio simplificado a base de soya más azúcar turbinada de caña para la producción del hongo acaropatógeno *Hisutella nodulosa* Petch en fase líquida. Fitosanidad vol. 10. No. 4.
- Colmenarez Y, Moore D, Polar P y Vasquez C. 2014. Population trends of the red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) and associated entomopathogenic fungi in Trinidad, Antigua, St. Kitts and Nevis and Dominica. Acarol 54(4): 433-442.

- Cranham J E y Helle W. 1985. Pesticide resistance y Tetranychidae. Capítulo 3.4. En: Helle W y Sabelis M W (eds.). Spider Mites, their Biology, Natural Enemies and Control, vol1B. Amsterdam: Elsevier.
- De Moraes G J, McMurtry J A, Denmark H A y Campos C B. 2004. Revised catalog of the mite family Phytoseiidae. Zootaxa 434. 494 pp.
- De la Torre S P E, Suárez G A, González A I. 2010. Presencia del ácaro *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) en Cuba. Rev Protección Veg. Vol. 25 No. 1 (2010): 1-4.
- Delalibera I, Hajek A E., y Humber R A. 2004. *Neozygites tanajoae* sp. nov., a pathogen of the cassava green mite. Mycologia, 96, 1002–1009.
- Estrada-Venegas E G, Chaires-Grijalva M P, Acuña-Soto J A, Equihua-Martínez A y Ramos-Lima M. 2017. Ácaros phytoseiidae asociados a *Raoiella indica* Hirst, 1924 (Acari: tenuipalpidae) en el sur de México. Folia Entomol Mex. (n. s.), 3(1): 1–8.
- Etienne J y Flechtmann C H W. 2006. First record of *Raoiella indica* (Hirst, 1924) (Acari: Tenuipalpidae) in Guadeloupe and Saint Martin, West Indies. Exp Appl Acarol 32:331–332.
- Flechtmann C H W y Etienne J. 2004. The red palm 423 mite, *Raoiella indica* Hirst, a threat to palms in the Americas (Acari: Prostigmata: Tenuipalpidae). Syst Appl Acarol 9:109-110.
- González M, Reyes A I, Ramos M. 2013. Enemigos naturales asociados a *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) en Santiago de Cuba. Rev Protección Veg. Vol. 28 No. 3. 215-218.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 5a ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. p 21.

- Granados-Sanchez D y Lopez-Ríos G F. 2002. Manejo de la palma de coco (*Cocos nucifera* L.) en México. Rev. Chapingo serie Ciencias forestales y del ambiente 8(1):39-48.
- Gilstrap F y Oatman E R. 1976. The bionomics of *Scolothrips sexmaculatus* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae), an insect predator of spider mites Journal of Agricultural science published by the California agricultural experiment station Vol 44, Number 2.
- Hall R A, Hussey N W, y Mariau D. 1980. Results of biological control agents of the coconut mite *Eriophyes guerreronis*. Oléagineux. 35(8-9):395-400.
- Hall T A. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. Nucleic Acids Symp Ser, 41, 95-98.
- Henao I, Franco-Correa M y Marín G. 2006. Evaluación de métodos de conservación para *Aspergillus niger* con actividad enzimática amilolítica. Rev de la Facultad de Ciencias 11 (2): 51-60.
- Humber R A. 1998. Entomopathogenic fungal identification. APS/ESAWorkshop. November 7, 1998. APS/ESA Joint Annual Meeting. Las Vegas, NV. 26.
- Hoy M A, Peña J E y Nguyen R. 2006. Red palm mite, *Raoiella indica* Hirst (Arachnida: Acari: Tenuipalpidae). Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS) University of Florida, Florida. Pág. 6.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI). 2015. Anuario estadístico y geográfico de Tabasco 2015 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México.
- 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.
- Laurentin H y Martínez-Hilders. 2012. Optimización de protocolo para extracción de ADN del hongo fitopatógeno. Boletín del centro de Investigaciones biológicas. Vol. 46. No. 3, Pp 2917-309.

- Morais E G F, Silva O J, Guedes C G M Jr, y Moraes G J. 2016. *Amblyseius largoensis* in controlling red palm mite under semi-field conditions. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.5, p.671-675, DOI: 10.1590/S0100-204X2016000500030.
- McMurtry J A y Croft B A. 1997. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control *Annu. Rev Entomol.* 42:291-321.
- McCoy, C W y Kanavel R F. 1969. Isolation of *Hirsutella thompsonii* from the citrus rust mite, *Phyllocoptruta oleivora*, and its cultivation on various synthetic media. *J. Invertebr Pathol.* 14, 386- 390.
- Machkour-M'rabet S, Ferral-Piña J y Henaut Y. 2015. *Chilocorus cacti* (Coleoptera: Coccinellidae), a potential natural enemy for the red palm mite in México. *Acta Zool. Mex. (n.s.)*, 31(3): 512-517.
- McCoy CW, Hill A J y Kanavel R F. 1972. A liquid medium for the large-scale production of *Hirsutella thompsonii* in submerged culture. *J. Invertebr. Patholo* 19: 370-374.
- Mendoça R S, Navia D, Flechtmann C H W. 2005. *Raoiella indica* Hirst (Prostigmata: Tenuipalpidae), o ácaro vermelho das palmeiras-uma ameaça para as Américas. *Embrapa recursos genéticos e Biotecnología.* 37p.
- Minter DW y Brady B L. 1980. Mononematous species of *Hirsutella*. *Mycol Soc.* 74 (z) 271-282.
- NAPPO (North American Plant Protection Organization) (2009) Detección del ácaro rojo de las palmas (*Raoiella indica*) en Isla Mujeres y Cancún, Quintana Roo, México. Sistema de Alerta Fitosanitaria-NAPPO (Organización Norteamericana de Protección a las Plantas). <http://www.pestalert.org/espanol/oprDetail.cfm?oprID=406> acceso en enero 2013.
- Peña J E, Mannion C M, Howard F W y Hoy M. A. 2006. *Raoiella indica* (Prostigmata: Tenuipalpidae): the red palm mite: a potential invasive pest of palms and bananas and other tropical crops in Florida. University of Florida IFAS Extension Service.

<http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/28/47/00001/IN68100.pdf/>. Consultado 24 de febrero de 2015.

Peña J E, Roda A, Rodrigues J C V y Carrillo D. 2009. Predator-prey dynamics and strategies for control of the red palm mite (*Raoiella indica*) (Acari: Tenuipalpidae) in areas of invasion in the Neotropics. Integrated Control of Plant-Feeding Mites IOBC/wprs Bulletin Vol. 50, 2009 pp. 69-79.

Patterson J, Chamberlin B J y Thayer D. 2006. FinchTV version 1.4.0. Developed by the Geospica Research team.

Rosas-Acevedo J L y Sampedro-Rosas L. 2006. Variability of *Hirsutella thompsonii* strains, isolated from phytophagous mites from three terrestrial systems in the State of Colima, Mexico. Rev. Mexicana de Biodiversidad. 77: 7-16.

Ramos M, Gonzales A I, Gonzales M. 2010. Management strategy of *Raoiella indica* Hirst in Cuba, based on biology, host plants, seasonal occurrence and use of acaricide. In: XIII International Congress of Acarology, Recife, Brazil, Abstract book, pp 218–219.

Smitley D R, Kennedy G G y Brooks W M. 1986. Role of the entomogenous fungus, *Neozygites xoridana*, in population declines of the twospotted mite, *Tetranychus urticae*. Entomol Exp Appl. 41, 255-264.

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

Smith D, Onions A H S. 1994. The Preservation and Maintenance of Living Fungi. 2ª ed. CAB International, Wallingford, Oxon, p 15, 87.

Southwood T R E. 1978. Ecological methods. Chapman & Hall, London.

- Taylor B, Rahman P M, Murphy S T y Sudheendrakumar V V. 2011. Within-season dynamics of red palm mite (*Raoiella indica*) and phytoseiid predators on two host palm species in south-west India. *Exp Appl Acarol*. DOI 10.1007/s10493-011-9482-0.
- Tamura K, Stecher G, Peterson D, Filipski A y Kumar S. 2013. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0. *Molecular Biology and Evolution* 30: 2725-2729.
- Van der Geest L P S. 2010. IPM potential of microbial pathogens and diseases of mites A. Ciancio, K.G. Mukerji (eds.), *Integrated Management of Arthropod Pests and Insect Borne Diseases, Integrated Management of Plant Pests and Diseases 5*, DOI 10.1007/978-90-481-8606-8.
- Van der Geest L P S, Elliot S L, Breeuwer J A J y Beerling E A M. 2000. Diseases of mites. *Exp. Appl. Acarol* 24: 497–560.
- Walter D E, Krantz y G W. 2009. Collecting, rearing and preparing specimens. Capítulo 7. En: Krantz G W y Walter D E (eds.). *A manual of Acarology Tercera edición*. Texas Tech University Press.
- White T J, Bruns T D, Lee S B y Taylor J W. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. Academic Press, Inc rights of reproduction in any form reserved. *PCR Protocols: a guide to methods and applications*. San Diego, Academic Press, USA, pp. 315-322.
- Yue B S y Tsai J H. 1996. Development, survivorship, and reproduction of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) on selected plant pollens and temperatures. *Environ Entomol* 25:488–494.

CONCLUSIONES GENERALES

El clima juega un papel importante en la fluctuación poblacional de *R. indica*; de los factores climáticos involucrados, la humedad tuvo un mayor efecto, seguido por la temperatura. La precipitación pluvial por sí sola no tuvo efecto significativo en las poblaciones de *R. indica*, lo que sugiere que el efecto físico de la lluvia (golpeteo sobre las hojas) no ocasiona la caída de los ácaros. Esto puede explicarse simplemente porque *R. indica* habita en el envés de las hojas de palma y plátano, donde está protegido de la acción directa de la lluvia.

Independientemente del clima, fue clara la diferencia en infestación de *R. indica* entre plátano, banano y palma de coco. En los tres sitios de estudio, con tres regímenes climáticos, la infestación de este ácaro en plátano y banano fue mínima, aunque aumentó en el segundo año, todavía con niveles bajos, presumiblemente porque contaba con hojas más maduras como alimento.

Se observó un efecto significativo del clima en la fecundidad de *R. indica*; la humedad relativa tuvo el mayor efecto y llevó a que la reproducción de este ácaro prácticamente se suspendiera durante la temporada de lluvias, sobre todo en plátano y banano.

Se encontraron diversas especies de artrópodos depredadores asociados con *R. indica* y al parecer ejerciendo control natural sobre este ácaro. La especie más abundante fue *A. largoensis*. Sin embargo, la proporción entre depredadores y el ácaro presa fue muy baja, lo que muestra que no hubo un efecto significativo en la infestación de ésta.

Se identificaron hongos acaropatógenos de las especies *H. thompsonii*, variedades *thompsonii* y *synematosa*, así como *H. tydeicola*. La primera especie fue la más abundante y ocasionó epizootias estacionales sobre *R. indica* en se alcanzó 70% de ejemplares infectados (micosados). Esto muestra que, entre los enemigos naturales observados, los hongos acaropatógenos tienen el mayor potencial para su uso en el control biológico de este ácaro.