



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

PROGRAMA DE POSTGRADO EN FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

DISPOSICIÓN ESPACIAL, ESQUEMA DE MUESTREO Y FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE LOS ÁCAROS CAFÉ *Oligonychus punicae* (Hirst) y CRISTALINO *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker & Abbatiello) EN COATEPEC HARINAS, ESTADO DE MÉXICO

OSCAR MORALES GALVÁN

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2020

La presente tesis titulada: Disposición espacial, esquema de muestreo y fluctuación poblacional de los ácaros café *Oligonychus punicae* (Hirst) y CRISTALINO *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker & Abbatiello) en Coatepec Harinas, Estado de México realizada por el alumno Oscar Morales Galván bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

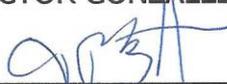
DOCTOR EN CIENCIAS
ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

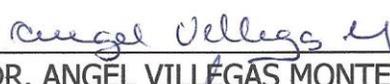
CONSEJERO


DR. HÉCTOR GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

ASESOR


DR. JOSÉ LÓPEZ COLLADO

ASESOR


DR. ANGEL VILLEGAS MONTER

ASESORA


DRA. MARIA TERESA SANTILLÁN GALICIA

ASESOR


DR. JUAN FERNANDO SOLÍS AGUILAR

Montecillo, Texcoco, Estado de México, marzo de 2020

DISPOSICIÓN ESPACIAL, ESQUEMA DE MUESTREO Y FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE LOS ÁCAROS CAFÉ *Oligonychus punicae* (Hirst) Y CRISTALINO *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker & Abbatiello) EN COATEPEC HARINAS, ESTADO DE MÉXICO

Óscar Morales Galván, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2020

RESUMEN

Durante 2001 y 2002 se realizaron muestreos en huertos de aguacate Hass en el Sur del Estado de México, los cuales permitieron definir la disposición espacial del ácaro café *Oligonychus punicae* (Hirst) y ácaro cristalino *O. perseae* (Tuttle, Baker & Abbatiello), continuando con planes de muestreo, por etapas y binomial, así también, se determinó la fluctuación poblacional de ambas especies y su relación con elementos del clima. El plan de muestreo por etapas considera que para estimar la media de *O. punicae*, con una confiabilidad de 80% y una precisión relativa (D) igual a 0.25, se requieren examinar 120 hojas en 12 árboles; para *O. perseae* se requieren 170 hojas de 17 árboles. Por otra parte, el plan de muestreo binomial establece una relación entre la proporción de hojas infestadas y la media poblacional, de tal forma que, mediante la determinación de la relación hojas infestadas/total de hojas revisadas, se puede estimar la media de la densidad poblacional para cada una de las dos especies de ácaros estudiados.

Las mayores densidades poblacionales de *O. punicae* se observaron a inicios de febrero, con una media de 76 formas móviles por hoja. Mientras que, *O. perseae* fue más abundante a finales de dicho mes, con 42 formas móviles por hoja. Las menores densidades de ambas especies se presentaron a partir de mediados de mayo hasta la segunda semana de enero de 2002. Los resultados obtenidos muestran que la densidad de población de ambos ácaros se incrementa conforme la temperatura aumenta y decrece marcadamente, una vez que se establece la temporada de lluvias en la región.

Palabras clave: ácaros, aguacate, muestreo, Sur del Estado de México.

SPATIAL DISPOSITION, SAMPLING AND POPULATION DYNAMICS OF THE AVOCADO BROWN MITE *Oligonychus punicae* (Hirst) AND THE PERSEAE MITE *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker & Abbatiello) IN COATEPEC HARINAS, ESTADO DE MEXICO

Óscar Morales Galván, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2020

ABSTRACT

During 2001 and 2002 samplings were conducted in Hass avocado orchards in the southern of Estado de México, México, where spatial distribution of mites *Oligonychus punicae* and *O. perseae* was defined, a sampling plan was proposed, the population fluctuation was studied of both mite species and their relationship to weather elements.

To estimate the mean population of *O. punicae*, with an accuracy of 80% and a relative precision (D) of 0.25 it is required to examine 120 leaves out of 12 trees; and for *O. perseae* to 170 leaves out of 17 trees are required. Moreover, the binomial sampling plan establishes a relationship between the proportion of infested leaves and the mean population, so that by determining the relationship of infested leaves / total revised leaves it can estimate the population mean for each of the two studied species of mites.

The highest population densities of *O. punicae* were observed in early February, with an average of 76 mites per leaf. While *O. perseae* was more abundant at the end of that month, with 42 mites per leaf. The lower densities of both mite species occurred from mid-May to the second week of January 2002. The results suggest that the population density of both mites increase as the weather warms up and it decreases markedly once the rainy season set in.

Key words: mites, avocado, sampling, Southern of Estado de México.

DEDICATORIA

- A mis hijos Oscar y Samuel Jeddiel, por su alegría que me motiva.
- A mis padres Julia y Felipe, mi fundamento.
- A mi hermano César.
- Mi reconocimiento a mis Maestros, los Doctores Hiram Bravo Mojica, Néstor Bautista Martínez, Héctor González Hernández, Daniel Téliz Ortiz y MC. Jorge Valdéz Carrasco.
- Sirva la presente para hacer un reconocimiento a los servidores públicos de México, quiénes desde su trinchera, desarrollan sus actividades con un alto nivel de responsabilidad, eficiencia y vocación de servicio.

AGRADECIMIENTOS

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico para realizar mis estudios de Maestría.
- Al Colegio de Posgraduados y al Posgrado en Fitosanidad, por brindarme la oportunidad de pertenecer a su comunidad.
- A mi Consejo Particular por su orientación, asesoría, interés y ayuda proporcionada para concluir con mi Programa de Doctorado en Ciencias, en particular al Dr. Héctor González Hernández.
- A mis Profesores quiénes durante mi formación académica me proporcionaron los conocimientos y valores.
- A amigos Fernando Salazar, Roberto Lucio, José Abel López, César Oropeza, José Manuel Figueroa, José Manuel Cambrón, Mario Espinosa, Jairo Barrueto y todos aquellos que me han otorgado su apoyo y amistad.
- A mis compañeros Profesores y Estudiantes de la Universidad Autónoma Chapingo.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	2
El cultivo del aguacate y sus plagas asociadas	2
Los ácaros Tetranychidae	3
Distribución y muestreo de ácaros	4
Muestreo por etapas.....	4
Muestreo binomial (ausencia – presencia)	5
Disposición espacial de ácaros y uso de distribuciones matemáticas para su representación.....	6
Recuento de ácaros	6
Evaluación de área foliar dañada.....	8
Especies de ácaros plaga del aguacate.....	8
Acaro café <i>Oligonychus punicae</i> (Hirst)	9
Ácaro cristalino <i>Oligonychus perseae</i> (Tuttle, Baker & Abbatiello).....	10
Influencia de los ácaros foliares en el metabolismo y fisiología del aguacate	11
Medidas de manejo de los ácaros del aguacate	13
LITERATURA CITADA	14
CAPITULO I DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN PLAN DE MUESTREO POR ETAPAS PARA <i>Oligonychus punicae</i> Y <i>O. perseae</i> EN ÁRBOLES DE AGUACATE CV. HASS	21
1.1. RESUMEN.....	21
1.2. SUMMARY	22
1.3. INTRODUCCIÓN	23
1.4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	24
1.4.1. Muestreo por etapas o en conglomerados	24
1.4.2. Estimación de la relación varianza / media por la LPT.....	25

1.5.	MATERIALES Y MÉTODOS	27
1.5.1.	Huerto experimental	27
1.5.2.	Muestreo y colecta de datos	27
1.5.3.	Análisis de datos.....	27
1.5.4.	Disposición espacial.....	28
1.5.5.	Tamaño de muestra	28
1.5.6.	Validación del plan de muestreo	29
1.6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
1.6.1.	Disposición espacial	29
1.6.2.	Tamaño de muestra	31
1.6.3.	Validación del plan de muestreo	31
1.7.	CONCLUSIONES	33
1.8.	LITERATURA CITADA.....	34
CAPITULO II. MUESTREO BINOMIAL DE ÁCAROS PLAGA DEL AGUACATE		
EN COATEPEC HARINAS, ESTADO DE MÉXICO		36
2.1	RESUMEN.....	36
2.2	SUMMARY	37
2.3	INTRODUCCIÓN	38
2.4	REVISIÓN DE LITERATURA.....	39
2.4.1	Técnica de muestreo	39
2.4.2	El muestreo Binomial o de presencia- ausencia	39
2.4.3	Estimación de parámetros de la distribución binomial negativa	40
2.4.4	Método de momentos para estimar k	41
2.4.5	Método de Bliss y Owen (1958) para determinar una k común	41
2.4.6	Modelo de Wilson y Room (1983) para estimar k.....	42
2.4.7	Estimación de la media a partir de P (1).....	42
2.4.8	Tamaño de muestra.....	43
2.4.9	Validación de los modelos	43
2.5	MATERIALES Y MÉTODOS	44
2.5.1	Muestreo preliminar.....	44
2.5.2	Estimación de los parámetros poblacionales	44

2.5.3	Validación	46
2.6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
2.6.1	Relación entre la media y hojas infestadas	47
2.6.2	Modelo de Bliss y Owen.....	51
2.6.3	Modelo de Wilson y Room (1983)	54
2.6.4	Comparación de los modelos de Bliss y Owen y Wilson y Room	56
2.6.5	Validación de los modelos para estimar la media a partir de la proporción de hojas infestadas.....	56
2.7	CONCLUSIONES	60
2.8	LITERATURA CITADA.....	61
CAPITULO III. EFECTOS DE ELEMENTOS CLIMÁTICOS EN LAS DENSIDADES DE <i>Oligonychus punicae</i> Hirst Y <i>O. perseae</i> (Tuttle, Baker y Abbatiello) EN AGUACATE cv. Hass, EN COATEPEC HARINAS, ESTADO DE MÉXICO		63
3.1	RESUMEN.....	63
3.2	SUMMARY	64
3.3	INTRODUCCIÓN	65
3.4	REVISIÓN DE LITERATURA.....	66
3.5	MATERIALES Y MÉTODOS	67
3.6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
3.6.1	Fluctuación poblacional	68
3.6.2	Efecto de los factores del clima en la densidad de ácaros	71
3.7	CONCLUSIONES	73
3.8	LITERATURA CITADA.....	74
CONCLUSIONES GENERALES.....		76

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1. Índices de agregación para <i>Oligonychus punicae</i> y <i>Oligonychus perseae</i> en aguacate c.v. Hass, de acuerdo a un muestreo por etapas.	31
Cuadro 1.2. Precisión relativa y parámetros de seis muestreos para el monitoreo de <i>Oligonychus punicae</i> y <i>Oligonychus perseae</i> en aguacate cv. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México.	32
Cuadro 2.1. Estimación de la k común por el método de Bliss y Owen (1958) para ácaros del aguacate cv. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México.	45
Cuadro 2.2. Resumen de modelos por el método de Bliss y Owen (1958) para ácaros del aguacate cv. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México.	45
Cuadro 2.3. Parámetros poblacionales estimados para las dos especies de ácaros plaga del aguacatero cv. Hass en Coatepec Harinas, estado de México.	46
Cuadro 2.4. Modelos de regresión lineal simple ($S^2 = am^b$) para ácaros plaga del aguacate cv. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México.	46
Cuadro 2.5. Relación entre hojas infestadas y media de ácaros plaga del aguacate, con base en el método de Wilson y Room, expresado en términos de la proporción de hojas infestadas y de la media. Coatepec Harinas, Estado de México.....	56
Cuadro 2.6. Suma de residuales de los Modelos empleados para relacionar la proporción de hojas infestadas de cv. Hass de aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México.	58
Cuadro 3.1. Coeficientes de correlación (r) entre elementos del clima y la densidad de ácaros en aguacate. Coatepec Harinas, Estado de México. 2002.	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	Ajuste de la ley de la potencia de Taylor para los registros de estados móviles de ácaros en aguacate cv. Hass. a) <i>Oligonychus punicae</i> , b) <i>Oligonychus perseae</i>	30
Figura 1.2.	Relación entre las medias de ácaros por hoja y la precisión de la estimación de la media poblacional (D).	33
Figura 2.1.	Matriz de diagramas de dispersión para las variables, proporción de hojas infestadas de aguacate cv. Hass infestadas, media y varianza. A) <i>O. punicae</i> , B) <i>O. perseae</i> . Coatepec Harinas, Estado de México.	48
Figura 2.2.	Densidad muestral para cada fecha de muestreo para las variables, media y varianza de <i>O. perseae</i> (A y B) y <i>O. perseae</i> (C y D) en aguacate cv. Hass. Coatepec Harinas, Estado de México.	49
Figura 2.3.	Matriz de diagramas de dispersión para las variables, proporción de hojas infestadas de aguacate cv. Hass, media y varianza de huevos del ácaro cristalino <i>O. perseae</i> . Coatepec Harinas, Estado de México.	50
Figura 2.4.	Densidad muestral para cada fecha de muestreo para las variables, media y varianza de huevecillos del ácaro cristalino <i>O. perseae</i> . Coatepec Harinas, Estado de México.	51
Figura 2.5.	Ajuste del Modelo de Bliss y Owen (1958) para la relación entre la proporción de hojas infestadas de aguacate cv. Hass y ácaros/hoja de <i>Oligonychus punicae</i> . Coatepec Harinas, Estado de México.	52
Figura 2.6.	Ajuste del Modelo de Bliss y Owen para la relación entre la proporción de hojas infestadas de aguacate cv. Hass y ácaros/hoja de <i>O. perseae</i> . Coatepec Harinas, Estado de México.	53
Figura 2.7.	Ajuste del Modelo de Bliss y Owen para la relación entre la proporción de hojas infestadas de aguacate cv. Hass y media de huevos de <i>Oligonychus perseae</i> . Coatepec Harinas, Estado de México.	53
Figura 2.8.	Estimación de regresión por cuadrados mínimos para ácaros en aguacate cv. Hass, cálculo de k conforme a la Ley de la Potencia de Taylor. A y B) <i>O. punicae</i> , C y D) <i>O. perseae</i> , E y F) huevos de <i>O. perseae</i> . Coatepec Harinas, Estado de México.	54

Figura 2.9. Ajuste del Modelo de Wilson y Room (1983) para la relación entre la proporción de hojas infestadas de aguacate cv. Hass y ácaros fitófagos. Coatepec Harinas, Estado de México. A. <i>O. perseae</i> , B. <i>O. perseae</i> , C. huevos de <i>O. perseae</i>	55
Figura 2.10. Comparación de los modelos de Bliss y Owen y Wilson y Room para la relación entre la proporción de hojas infestadas en aguacate cv. Hass y ácaros/hoja. Coatepec Harinas, Estado de México. A) <i>O. perseae</i> , B) <i>O. perseae</i> , C) huevecillos de <i>O. perseae</i>	57
Figura 2.11. Suma de residuales de los Modelos de Bliss y Owen (a) y Wilson y Room (b) para la relación entre la proporción de hojas infestadas en aguacate cv. Hass y ácaros/hoja de <i>O. punicae</i> . Coatepec Harinas, Estado de México.	58
Figura 2.12. Suma de residuales de los Modelos de a) Bliss y Owen y b) Wilson y Room para la relación entre la proporción de hojas infestadas en aguacate cv. Hass y ácaros/hoja de <i>O. perseae</i> . Coatepec Harinas, Estado de México.	59
Figura 2.13. Suma de residuales de los Modelos de Bliss y Owen (a) y Wilson y Room (b) para la relación entre la proporción de hojas infestadas en aguacate cv. Hass y huevos/hoja de <i>O. perseae</i> . Coatepec Harinas, Estado de México.	59
Figura 3.1. Fluctuación de la densidad poblacional de <i>O. punicae</i> y <i>O. perseae</i> , y fenología del aguacate cv. Hass. Coatepec Harinas, Estado de México. 2002.	70
Figura 3.2. Temperatura y precipitación pluvial registradas en el huerto La Cruz de aguacate cv. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México. 2002.	71

INTRODUCCIÓN

El cultivo de aguacate tiene una gran relevancia para México, pues se cuenta con una superficie sembrada de 231 028 ha, con un rendimiento promedio de 10.9 t ha⁻¹, que generan en su conjunto, una producción aproximada de 2 186 376 de toneladas, con lo cual, México es el principal productor de aguacate mundialmente, proveyendo el 35% de la producción mundial (SIAP, 2019).

Un aspecto importante del cultivo es el hecho de que, a partir del reinicio de las exportaciones de este producto hacia Estados Unidos de América, el 31 de enero de 1997, la superficie cosechada se incrementó en un 7.7% y el volumen de producción aumentó un 9.1% (SIAP, 2018).

Equihua *et al.* (2015) reportan doce especies de artrópodos como plagas importantes del aguacate, entre ellas, los picudos barrenadores de la semilla del aguacate *Conotrachelus perseae* y de ramas del aguacate *Copturus aguacatae*, el barrenador grande de la semilla *Heilipus lauri*, el ácaro café *Oligonychus punicae* y el ácaro cristalino *Oligonychus perseae*; además de la palomilla barrenadora del fruto *Stenoma catenifer* (SENASICA, 2011). González *et al.* (2015) mencionan que los picudos barrenadores de ramas y de la semilla del aguacate son las que tienen un mayor impacto económico, por los daños que causan y por las restricciones cuarentenarias que originan para la exportación de los frutos.

Badii *et al.* (2000) mencionan que *O. punicae* en densidades de alrededor de 300 ácaros por hoja producen bronceado en la misma, así como defoliación parcial; mientras que, densidades menores ocasiona sólo ligeras puntuaciones. En tanto que Sances *et al.* (1982) indican que a pesar de que se ha determinado la relación entre las densidades y las lesiones que ocasiona *O. punicae*, no se ha estimado si realmente afectan el crecimiento o el rendimiento de las plantas. Para poder disponer de esta información, es necesario contar con metodologías que permitan una estimación eficiente de los parámetros de la población de la plaga, como son su disposición espacial, variación poblacional a través del año y factores del ambiente que afectan a las poblaciones de ácaros.

Con base en lo anteriormente planteado, en el desarrollo de la presente investigación, llevada a cabo en Coatepec Harinas, Estado de México y enfocada a contribuir al conocimiento ecológico de *Oligonychus punicae* y *O. perseae*, se consideraron los objetivos siguientes:

- Determinar la disposición espacial de los ácaros entre y dentro de los árboles
- Diseñar un plan de muestreo para la estimación de los parámetros poblacionales de los ácaros
- Determinar fluctuación poblacional de ambas especies de ácaros durante el periodo de diciembre de 2001 a diciembre de 2002, en huerto de Coatepec Harinas, Estado de México
- Conocer los efectos de la precipitación, temperatura y humedad relativa en la densidad de las poblaciones de los ácaros

REVISIÓN DE LITERATURA

El cultivo del aguacate y sus plagas asociadas

Los descubrimientos arqueológicos han evidenciado que el aguacate ha tenido una gran importancia en la dieta de los nativos de México y América Central (Bergh, 1992a). Además de su excelente sabor, el aguacate tiene una alta cantidad de nutrientes, por lo cual es un alimento importante para el humano; además, sus grasas consisten principalmente de ácidos oleicos insaturados, los cuales ayudan a reducir el colesterol dañino (Bergh, 1992b). Las especies del género *Persea* se clasifican en los subgéneros *Eriodhapne* y *Persea*. En este último, se encuentran las variedades Hass y Fuerte que son las de mayor consumo humano, mientras que el primero, comprende a las especies con resistencia a la tristeza del aguacatero causado por *Phytophthora cinnamomi* DeBary. Desafortunadamente, no existe compatibilidad reproductiva entre ambos subgéneros, los cuales son originarios de una región comprendida desde la parte central de México a Guatemala y parte de Centroamérica (Bergh, 1992a). El mismo autor, menciona que los aguacates comerciales se encuentran en tres subespecies (o cultivares botánicos) *P. americana*, *P. guatemalensis* y *P. drymifolia*.

Equihua *et al.* (2007) reportan a 12 especies como plagas importantes del aguacate y otras cuatro como secundarias. Dentro de las primeras se encuentran varias especies de barrenadores considerados de importancia cuarentenaria como los picudos, los barrenadores pequeños de la semilla *Conotrachelus perseae* (Barber) y *C. aguacatae* (Barber), el barrenador grande de la semilla *Heilipus lauri* Boheman, el barrenador de ramas del aguacate *Copturus aguacatae*

Kissinger y la palomilla barrenadora del fruto *Stenoma catenifer* Walsingham. Los ácaros *Oligonychus punicae* Hirst y *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker y Abatiello), llegan a ser considerados de solo importancia económica en el aguacatero.

Los ácaros Tetranychidae

Los tetraníquidos se consideran como el grupo más importante de los ácaros plaga de cultivos agrícolas. Presentan quelíceros modificados, que forman un estilete, mismo que usan para alimentarse y que se encuentran fusionados en su base, formando una estructura denominada “estilóforo” (Ochoa *et al.*, 1991). Otras características de Tetranychidae, son la presencia de glándulas de seda en los palpos, con la cual son capaces de producir y secretar una “telaraña” que tiene diversas funciones. La mayoría de las especies de tetraníquidos producen telaraña en condiciones de baja humedad relativa, lo cual les ayuda a prevenir la posible deshidratación. Por otra parte, se ha determinado una correlación positiva entre la cantidad de telaraña producida y la tasa de reproducción del ácaro, es decir, cuanto mayor es la telaraña, mayor es el número de ácaros presentes (Badii *et al.*, 2000).

Los tetraníquidos se dispersan, en condiciones de competencia intraespecífica, de dos maneras:

- Dispersión eólica. Sucede cuando el ácaro se cuelga de la planta mediante un hilo de seda que es desprendido con la ayuda del viento. De esta forma, las altas densidades de ácaros pueden reducirse rápidamente en una planta e invadir a otras. El ácaro café del aguacate, *O. punicae*, presenta este tipo de dispersión.
- Pasiva. Los ácaros que se mueven hacia la parte superior de la planta, donde forman una masa de telaraña y pueden ser acarreados por el viento, insectos y pájaros.

Algunas especies de ácaros tienen periodo de diapausa que es regulada por hormonas, aunque también los estímulos externos influyen en la aparición de este proceso, como son: fotoperíodo más corto, temperatura, disponibilidad de alimentos y baja humedad relativa.

Distribución y muestreo de ácaros

Algunas recomendaciones de un programa de manejo sugieren que una plaga debe de tratarse de acuerdo con el daño potencial que su población causaría al hospedero, así como reconocer la necesidad de determinar el tamaño y estructura de dicha población, el daño potencial que puede causar, la respuesta fisiológica del hospedero a ese daño y las consecuencias socioeconómicas de la relación plaga- hospedero. Estas determinaciones son críticas para el éxito en la ejecución de la estrategia del MIP (Pedigo y Buntin, 1994).

Un programa de muestreo (basado en la toma y análisis de muestras), da información de la presencia de una especie, de la densidad de su población, su disposición espacial, el nivel de daño que está causando al cultivo y otros importantes parámetros de la misma.

Las características importantes a considerar de una muestra son su tamaño, número, tipo, frecuencia, costo y precisión requerida.

Sabelis (1985) menciona que el tamaño de muestra depende de la disposición espacial de los ácaros en el área a muestrear. Cuando los elementos de una población están distribuidos “homogéneamente” (uniformemente) en un hábitat, la variación en el número de elementos de cada unidad de muestreo debe de ser baja, por lo anterior, se espera que el tamaño de muestra sea relativamente pequeño. Lo contrario sucede cuando la variación es mayor, como es el caso de una distribución espacial en agregados (Sabelis, 1985). Una condición intermedia entre los dos patrones mencionados se presenta con la distribución espacial al azar.

Muestreo por etapas

El desarrollo del muestreo para determinar el estado de la población de una plaga ha sido importante para los avances en la tecnología del control de éstas (Pedigo y Buntin, 1994).

Para reducir la variabilidad de los datos del muestreo, éste se lleva a cabo por etapas, lo cual es útil cuando las unidades de muestreo se arreglan en grupos definidos, denominados unidades primarias. En el caso de ácaros en frutales, las unidades primarias podrían ser los árboles y las

secundarias las hojas. Por su parte Croft *et al.* (1976), sugieren que la variación es mayor entre árboles que dentro de los mismos y que esto se debe a la reducida capacidad de dispersión de los ácaros de un árbol a otro.

Davis (1994) señala que el tamaño de muestra depende de la distribución estadística de la población y de los términos en que se defina la precisión. Cuando no se conoce la distribución matemática de la población, se puede utilizar la Ley de la Potencia de Taylor, la cual establece una relación entre la media de la población (m) y la varianza (S^2) mediante la expresión $S^2=am^b$, en la que el coeficiente a , es un factor escalable relacionado al tamaño de muestra, b es una constante que puede ser usada para determinar el patrón de dispersión espacial de una población, con valores aleatorios ($b=1$), agregados ($b>1$) o uniformes ($b<1$). De tal forma que el tamaño óptimo de muestra puede ser calculado con la fórmula siguiente:

$$N = \frac{(am^{b-2})}{C^2}$$

En diversos trabajos se ha evaluado el modelo de la potencia de Taylor para estimar el tamaño de muestra, como es el caso reportado por Pringle y Giliomee (1992), quienes desarrollaron un plan de muestreo para *Tetranychus urticae* Koch, plaga importante de la manzana, *Malus domestica*, en Sudáfrica.

Muestreo binomial (ausencia – presencia)

El conteo total para determinar la densidad de una especie, con frecuencia requiere de una gran cantidad de tiempo y recursos, por lo que el registro muestral de la simple presencia o ausencia puede ser una alternativa (Davis, 1994). Lo anterior es posible, siempre y cuando se establezca una relación entre la media muestral y la proporción de muestras que contienen uno o más individuos (pI), la cual resulta asintótica cuando las densidades de la población son altas y cuando la probabilidad de que una hoja tenga uno o más individuos es cercana a 1.

Davis (1994), también menciona que mediante esta técnica, se obtienen muestras a menor costo, comparándolas con un conteo total. Sin embargo, presenta una desventaja, pues se requiere examinar una gran cantidad de muestras para realizar inferencias con cierto nivel de precisión.

Otro factor que limita su desarrollo es que es útil sólo a bajas densidades, pues a medida que la densidad se incrementa, las estimaciones son menos precisas. No obstante, se han establecido planes de muestreo binomial para las algunas especies de ácaros como *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead), *Tetranychus urticae* Koch (Nachman, 1984, Binns y Bostanian, 1990), *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Nachman, 1984), *Panonychus ulmi* (Koch) (Binns y Bostanian, 1990) y *Euseius tularensis* (Congdon) (Grout, 1985) y para algunas especies de insectos, como *Diuraphis noxia* (Mordvilko) (Schaalje *et al.*, 1991), *Diabrotica longicornis* Say y *Diabrotica virgifera* Le Conte (Gerrard y Chiang, 1970).

Disposición espacial de ácaros y uso de distribuciones matemáticas para su representación

Un factor importante en la disposición espacial de los ácaros es la exposición del sustrato al sol, la cual no es homogénea en la planta. Así, en el caso de ácaros de vid *Tetranychus urticae* Koch y *Panonychus ulmi* Koch, McMurtry *et al.* (1970) dividieron a la planta en tres sectores, considerando la incidencia del sol, sobre la copa, soleado en la mañana y soleado en la tarde. Esta sectorización tiene como objetivo reducir la variación entre las diferentes unidades de muestra.

Recuento de ácaros

Se han diseñado diversas metodologías para facilitar el recuento de ácaros, buscando con todas ellas el ahorro de tiempo y mayor precisión de los resultados. Entre ellas tenemos las de registro directo, impresión, cepillado y el lavado.

a) Registro directo. Este método se supone es el más preciso; consiste en recolectar hojas y examinarlas con un microscopio estereoscópico para realizar un recuento del total de ácaros por hoja. Este método consume una gran cantidad de tiempo y puede ser menos exacto de lo que se podría suponer, especialmente cuando se trata de ácaros muy móviles. Este problema se ha tratado de resolver colocando las hojas a bajas temperaturas (alrededor de 5 °C) por algunos minutos o rociando las hojas con algún fijador transparente para el cabello. Debido a la desventaja ya comentada, se han propuesto métodos alternativos para el recuento de artrópodos.

b) Registro por impresión. Se basa en utilizar un aparato para prensar las hojas contra una hoja de papel, en la que quedan impresos los ácaros aplastados, mismos que el investigador aprende a distinguir de otras manchas. Este método presenta la ventaja de que queda un registro temporal de la infestación de ácaros. Por otra parte, presenta el inconveniente de que, en ocasiones, no es posible distinguir entre la coloración dejada por distintas especies, pero con colores similares. Además, cuando las poblaciones son altas, las impresiones pueden unirse de tal forma que se hace difícil determinar el número de ácaros representados por las manchas (Venables y Dennys, 1941).

c) Recuento mediante máquina de cepillado. En la máquina de cepillado para separar a los ácaros, las hojas infestadas se hacen pasar a través de cepillos rotatorios, de tal forma que aquellos caen en un disco interno, cuya cara superior está cuadrículada y tratada con una película adherente y una cuadrícula que facilita el recuento. Este método presenta mayores ventajas que el de impresión, ya que permite una mejor diferenciación entre especies y estados biológicos removidos de las hojas. Como con el método anterior, también se pueden hacer registros de las láminas mediante la toma de fotografías o se pueden conservar en refrigeración los platos con ácaros. Sin embargo, la efectividad de la máquina depende de la uniformidad de las hojas, de tal forma que una proporción más reducida de ácaros son desprendidos del follaje cuanto éste tiene nervaduras pronunciadas (Macmillan y Costello, 2015).

d) Lavado de ácaros de las hojas. Los ácaros son desprendidos de las hojas cuando éstas se lavan con agua; así, se obtiene una suspensión de ácaros en un volumen conocido de agua. De esta suspensión se toman alícuotas para el recuento de ácaros previamente separados con un papel filtro cuadrículado. El número total de ácaros por hoja se obtiene mediante extrapolación. Una modificación de este método utiliza una máquina para retirar los ácaros de la seda o de otras partículas del suelo; consiste en hacer girar las hojas infestadas en una solución de hipoclorito de sodio, la cual disuelve a la seda, después se separan los ácaros sobre un papel filtro permitiendo así un recuento rápido (Badii *et al.*, 2000).

Existen algunos conceptos que permiten determinar cuándo se puede considerar a una especie como plaga, con base en el impacto que esta tiene en la economía del productor. Dentro de estos conceptos encontramos los de nivel de daño económico y umbral de acción, ambos de aplicación en numerosas especies plagas que causan daños directos a las estructuras vegetales que se

comercian. No es así para el caso de ácaros fitófagos de frutales, debido a que generalmente no se alimentan de los frutos sino del follaje, por lo que su daño indirecto no se refleja directamente en la producción, como es en el caso de *Raoiella indica* (Badii *et al.*, 2000).

Evaluación de área foliar dañada

El daño originado por las lesiones ocasionadas por las plagas que se alimentan del follaje se ha evaluado mediante el índice de área foliar, mismo que se empleó para estimar el efecto del daño en el rendimiento. Para la determinación de dicho índice se usa el medidor de fotosíntesis como el LAI-2000 (LI-COR, Lincoln, NE). Solberg *et al.* (2006) comparó el uso del LAI-2000 con fotografías hemisféricas analizadas con el programa Hemiview® para mapear la defoliación producida por insectos en bosques de pino, sin embargo, los valores de Hemiview LAI fueron generalmente 17% más bajos debido a la influencia de la intensidad de luz en cada día de muestreo.

Otra metodología para evaluar el daño foliar ocasionado por insectos herbívoros es la asimetría fluctuante, mediante la cual se miden las desviaciones que ocurren entre el lado izquierdo y derecho de un árbol o planta, estas diferencias se originan por la alimentación de los insectos (Benitez y Parra, 2011; González *et al.* 2015).

Especies de ácaros plaga del aguacate

En la zona aguacatera de Uruapan, Michoacán y en casi todas las regiones aguacateras de México, durante las épocas secas, los árboles de aguacate son seriamente afectados principalmente por los ácaros *O. perseae* y *O. punicae* que se alimentan del follaje. Algunos autores mencionan que, a medida que transcurren los años, se ha hecho más difícil el control de estas plagas, ya que las poblaciones se mantienen altas, aún en épocas de lluvia y durante el invierno, lo que ha orillado al uso constante de acaricidas para su control (Badii, 2010).

Anteriormente, se mencionaba al ácaro de seis manchas *Eotetranychus sexmaculatus* como la especie plaga más común en aguacate (González *et al.*, 2017), pero en los últimos años se localizan con mayor frecuencia al ácaro cristalino o telarañero *O. perseae* y al ácaro café *O. punicae* (Morales *et al.*, 1999).

Acaro café *Oligonychus punicae* (Hirst)

Los individuos de esta especie se encuentran por lo regular en el haz de las hojas, a lo largo de la nervadura central o en las depresiones de la lámina foliar (Lemus y Pérez, 2016).

Los ácaros se alimentan del contenido de las células, destruyen la clorofila y ocasionan reducción en la producción de fotosintatos y alteración de la relación carbono - nitrógeno en la planta. Debido a la alimentación de *O. punicae*, las hojas afectadas adquieren una coloración café, conocida como “bronceado” conforme el daño avanza, las hojas se tornan coriáceas, la brotación se retrasa y el aspecto general del árbol es de decaimiento. Por lo anterior, se considera al ácaro café como el principal problema en la región aguacatera de Michoacán (Morales *et al.*, 1999; Coria y Ayala, 2010). Esta reducción en la brotación afecta el crecimiento y la floración. Debido a que el árbol cuenta con reservas de nutrientes, no es notoria la reducción en la producción más próxima de frutos, por lo que es común no efectuar alguna medida de control, ya que la época más severa de ataque son los meses de marzo a mayo, que coincide con la fruta ya formada. Sin embargo, se menciona que el daño durante el ciclo siguiente podría ser muy severo, debido a la reducción de la fijación de frutos, a pesar de que en ese ciclo las poblaciones de ácaros sean bajas (Coria y Ayala, 2010).

Por otra parte, se sugiere que, cuando las densidades de esta especie son bajas y las lesiones escasas, el árbol no se ve afectado. Sin embargo, en el cv. Hass, cuando las densidades son de 80 a 100 adultos hembras o 200 a 300 estados inmaduros por hoja, pueden ocurrir defoliaciones parciales (De La Torre *et al.* 1997; McMurtry y Jonson, 1966; McMurtry, 1985).

Los huevos de *O. punicae* son color café ámbar y presentan un pedicelo. En un principio, estos ácaros se ubican a lo largo de la nervadura central; pero cuando las poblaciones se incrementan, se distribuyen sobre toda la superficie del haz de la hoja en la que causa necrosis de color (Coria y Ayala, 2010).

Las ninfas son muy similares entre sí, aunque su color varía de acuerdo con la edad, de rosa pálido a café negruzco. Las hembras adultas miden 0.4 mm de longitud, son ovaladas y llevan 26 sedas

fuertes y pálidas en el dorso; el tercio posterior del cuerpo es más largo que ancho. El idiosoma es rosa pálido y las áreas laterales del abdomen están ocupadas por manchas púrpuras o café negruzcas; los pedipalpos presentan cinco artejos que terminan en un proceso uña – tibia – tarso; poseen sedas dorsales arregladas en líneas transversales y longitudinales que fluctúan de 22 a 56 pares; también poseen sedas “dobles” en el dorso de las patas I y II (Coria y Ayala, 2010). El macho es más pequeño, de cuerpo angosto y su extremo caudal termina en punta. Este ácaro café se presenta con más altas poblaciones en los meses calurosos y secos del año de finales de febrero a mayo y su ciclo biológico completo es de 30 a 60 días (Badii *et al.*, 2010).

Ácaro cristalino *Oligonychus perseae* (Tuttle, Baker & Abbatiello)

Esta especie es originaria de una zona comprendida entre México y Guatemala. En California, E.U.A., se detectó por primera vez en 1920 y actualmente se encuentra distribuido en casi todas las zonas productoras de aguacate en ese país (McMurtry, 1985).

En ocasiones, las lesiones por *O. perseae* pueden ser confundidas con las causadas por el ácaro de seis puntos *Eutetranychus sexmaculatus* (Riley), ya que ambas especies se alimentan por el envés de las hojas y producen telaraña a lo largo de las nervaduras. Sin embargo, en comparación con *E. sexmaculatus*, las lesiones ocasionadas por *O. perseae* se perciben como puntos necróticos circulares y su telaraña es más densa (Coria y Avalos, 2010).

La hembra de *O. perseae* es de forma oval, ligeramente aplanada – alargada, de color verde-amarillento claro, además, sobre la región histerosomal, presenta varios puntos oscuros pequeños. Las hembras de mayor edad y que ha cesado la oviposición, comparado con el tamaño de una hembra activa, son verde oscuro, inactivas y de cuerpo más pequeño (Ochoa *et al.*, 1991). Al igual que en otros tetraníquidos, el macho de *O. perseae* es más pequeño que la hembra y tiene el cuerpo en forma de pera, ligeramente aplanado, color amarillo y ocasionalmente presenta pequeños puntos oscuros en la región histerosomal.

Los huevecillos recién puestos son semiesféricos, amarillo pálido, posteriormente se pueden distinguir los ojos rojos, a través del corion, lo cual es característico de esta especie. Los estados

inmaduros son amarillentos o verde claro, con dos o más puntos negros en la región histerosomal (Aponte y McMurtry, 1997).

Oligonychus perseae se localiza primeramente a lo largo de la nervadura central y nervaduras primarias de la hoja, después se distribuye hacia el resto de las nervaduras. Las ninfas y adultos ingieren el contenido de las células y el remanente del material celular se coagula para formar una masa necrótica de color amarillento o café. El daño, inicialmente está confinado a las células de la epidermis del envés y parénquima esponjoso, después se dispersa a las células del mesófilo y daña algunas del parénquima de empalizada (Aponte y McMurtry, 1997). Hoddle (1999) menciona que cuando el tejido necrosado provocado por *O. perseae* excede el 8% de la superficie de la hoja, la probabilidad de que ésta caiga se incrementa considerablemente. Por su parte, Bender (1993), indica que, en California, EUA, se presentan defoliaciones cuando existen densidades de 500 o más ácaros por hoja, correspondiendo estas altas densidades a los períodos con alta temperatura y baja humedad relativa. Por otra parte, Hoddle y Morse (2013) indican que la industria de aguacate de California, EUA, utiliza como umbral de acción el valor de 100 individuos de *O. perseae* por hoja, con lo que se inician las aplicaciones de acaricidas. Adicionalmente a la alteración en la fisiología del árbol, a causa de la defoliación, los frutos presentan el daño denominado “golpe de sol” por exceso de exposición a los rayos solares (Lara and Hoddle, 2015).

Influencia de los ácaros foliares en el metabolismo y fisiología del aguacate

La distribución de fotosintatos dentro de la planta es regulada por la interacción fuente-demanda. Las fuentes generadoras son los exportadores de fotosintatos y la demanda la provocan los sitios importadores (Ho, 1988). De tal forma que las hojas maduras fijan el CO₂ y exportan fotosintatos, principalmente sacarosa, a otras partes de la planta, como son los tejidos de almacenamiento en tallos y raíz.

Dependiendo de las necesidades de la planta y de la estación del año, las hojas jóvenes presentan altas tasas metabólicas y de expansión, que demandan y compiten con otros órganos de la planta por fotosintatos. En una hoja en desarrollo, el carbono es fijado por ella misma y es incorporado principalmente como pigmentos, sacarosa, proteínas y carbohidratos estructurales; esto es, fracciones químicas asociadas con el rápido desarrollo de la capacidad fotosintética y de los

componentes estructurales de la hoja (Castillo, 1996). La translocación de fotosintatos de una porción madura de la lámina foliar comienza después que todos los requerimientos de C de esa parte de tejido han sido satisfechos, el floema ha madurado y existe un exceso de azúcares para ser exportado (Dickson, 1991).

Las lesiones ocasionadas por los insectos influyen en la fotosíntesis, transferencia de vapor de agua y respiración, procesos primarios importantes que determinan el crecimiento, desarrollo y la capacidad de la planta. Lo anterior, puede explicar cómo las lesiones provocadas por los insectos alteran estos procesos primarios y se pueden generar modelos mecánicos para explicar la pérdida en rendimiento (Peterson, 2001).

Según Davie *et al.* (1995), los daños por *O. punicae* y *O. persea* disminuyen la producción de frutos debido a que se altera la relación de N-C y se presentan niveles muy bajos de carbohidratos en el estado crítico de amarre y desarrollo de fruto, es decir, se afecta negativamente la capacidad del árbol para retener su carga de frutos. Por su parte Wolstenholme (1987; 1988) menciona que la competencia entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo, ha sido demostrada como un factor que influye en la caída de frutos, debido a la insuficiencia de carbohidratos. El mismo autor señala que, en el caso de aguacate, se ha observado que la producción está correlacionada con el contenido de carbohidratos.

En el caso de aguacate cv. Fuerte, la transición de una hoja de ser demandante a ser exportador de fotosintatos ocurre cuando las hojas están entre el 80 y 100% de su expansión total (Castillo, 1996). Por lo anterior, se puede inferir que los ácaros al afectar la síntesis de fotosintatos y el almacenamiento de los mismos pueden afectar negativamente el amarre de frutos y en consecuencia el rendimiento.

Kerguelen y Hoddle (2000) evaluaron el daño ocasionado por la alimentación de *O. perseae* en la susceptibilidad de siete cultivares de aguacate: Esther, Fuerte, Gwen, Hass, Lamb Hass, Pinkerton y Reed. Encontraron que el cv. Hass mostró un daño foliar por el ácaro café dos veces mayor que en Fuerte, Lamb Hass y Reed; mientras que, el daño sobre Esther y Pinkerton fue intermedio. Los autores concluyeron que Hass y Gwen fueron más susceptibles y presentaron una mayor

infestación del ácaro café, mientras que fue mínimo en los cultivares Fuerte, Lamb Hass y Reed (Kerguelen y Hoddle, 2000).

Medidas de manejo de los ácaros del aguacate

Se ha observado que las altas precipitaciones ayudan a disminuir las densidades de ácaros y que aplicaciones de agua, a presiones de 10.5 a 14.1 Kg/cm², tienen un efecto parecido al de la aplicación de un insecticida (Phillips y Faber, 1995).

Diversas especies de ácaros fitoseídos se han evaluado para el control de *Oligonychus perseae* en aguacate, entre éstas, *Galendromus annectens*, *G. helveolus*, *G. pilosus*, *G. occidentalis*, *Neoseiulus californicus* y *Typhlodromus rickeri* (Hoodle, et al. 1999). Por su parte Aponte y McMurtry (1997) señalaron que las liberaciones inoculativas de fitoseídos han mostrado algún potencial para el control de *O. perseae* en California, EUA.

Phillips y Faber (1995) observaron que en huertos de aguacate de California, EUA, el aumento en el uso de plaguicidas contra plagas secundarias, como el trips de invernadero *Heliothrips haemorrhoidalis* (Bouché) (Thysanoptera: Thripidae), ácaro café del aguacate *Oligonychus punicae* (Hirst) (Acari: Tetranychidae), ácaro de seis puntos *Eotetranychus sexmaculatus* (Riley) (Acari: Tetranychidae) y *Sabulodes aegrotata* (Gueneé) (Lepidoptera: Tortricidae), provocó un efecto negativo en la actividad reguladora de los depredadores nativos de *O. perseae*, por lo que fue más frecuente el uso de plaguicidas.

Un factor que obstaculiza el control eficiente de *O. perseae*, es la telaraña que forma y le da protección contra ciertos enemigos naturales. Además, la dispersión de depredadores entre árboles es muy lenta, por lo que sus liberaciones tendrían que ser en cada árbol, lo cual resulta impráctico e incosteable, sin embargo, en un esfuerzo por evitar el uso de acaricidas, los productores de California, EUA liberan 2000 individuos de *Neoseiulus californicus* por árbol para el control de *O. perseae* (Hoddle et al., 2000). Dichas liberaciones se complementan con el papel que ejercen especies nativas, tal es el caso de *Eusieus hibisci* (Chant), *Neoseiulus californicus* (McGregor), *Galendromus helveolus* (Chant) y *G. annectens* (De Leon).

Por otra parte, el control de *O. punicae* y *O. perseae* se ha basado en la aplicación de acaricidas convencionales, los cuales gradualmente han perdido eficacia (Lemus y Pérez, 2016). En la zona aguacatera de Michoacán, se hace un uso extensivo de azufre y aceites derivados del petróleo, tal es el caso del aceite mineral ligero y el aceite parafínico de petróleo, los cuales no presentan efectos ovicidas, no obstante, son aceptados como estrategia de control en la agricultura orgánica (Coria y Ayala, 2010).

Con el objeto de buscar alternativas químicas para el control de *O. punicae* en aguacate, Lemus y Pérez (2016) evaluaron siete acaricidas en Los Reyes, Michoacán y concluyeron que los ingredientes activos que mostraron los porcentajes de eficacia más altos fueron fenpyroximate, bifezanate y milbectina.

Por su parte, Phillips y Faber (1995) indican que, en ocasiones, la topografía irregular de los suelos dificulta la aplicación de agua mediante equipos accionados por tractor; por lo anterior, se debe recurrir al uso de equipo de aspersión motorizado o aplicaciones aéreas, que se caracterizan por bajas presiones, un bajo volumen de aplicación y hace necesario el uso de algún producto acaricida, como es el caso de proparguite o del aceite NR 435 oil plus Terminator. Estos acaricidas presentan una gran eficacia en el control de *O. perseae*, sin ser fitotóxicos hacia algunos cultivares de aguacate, lo contrario ocurre con dicofol (clorado), el cual ofrece un buen control del ácaro cristalino, pero es fitotóxico.

LITERATURA CITADA

Aponte, O. y Mc Murtry A. J. (1997). Damage on 'Hass' avocado leaves, webbing and nesting behaviour of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acar.* 21: 265 - 272.

Badii, M. H., Flores, A.E. y Ponce, G. (2000). *Fundamentos y perspectivas del control biológico*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Editores Badii, M. H., Flores E. A. y Galán W. L. 255-278.

- Badii, M. A., Landeros, J. y Cerna, E. (2010). Regulación Poblacional de Ácaros Plaga de Impacto Agrícola. *International Journal of Good Conscience*. 5 (1): 270-302.
- Bender, G. S. (1993). A New Mite Problem in Avocados. *California Avocado Society, Inc. Yearbook*. 77: 73-77.
- Benítez, A. H. y Parra, E. L. (2011). Asimetría Fluctuante: Una herramienta morfo-funcional para Medir Estabilidad del Desarrollo. *Int. J. Morphol.* 29 (4):1459-1469.
- Bergh, B. (1992a). The origin, nature, and genetic improvement of the avocado. *California Avocado Society, Inc. Yearbook*. 76: 61-75.
- Bergh, B. (1992b). Nutritious Value of Avocado. *California Avocado Society, Inc. Yearbook*. 76:123 - 135.
- Binns, M. R. y Bostanian, N. J. (1990). Robustness in empirically based binomial decision rules for integrated pest management. *J. Econ. Entomol.* 83: 420-427.
- Castillo, G. A. M. (1996). Fluctuación anual de carbohidratos y nutrimentos en relación al amarre de fruto en aguacate (*Persea americana* Mill.) CV Colón V-33. Tesis de Doctorado en Ciencias. IREGEP. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 137 p.
- Coria, A. V. M. (1993). Principales plagas del aguacate en Michoacán. SARH, INIFAP, CÁPAC, CEFAP. Uruapan, Michoacán. 20 p.
- Coria, A. V. M. y Ayala, S.A. (2010). Manejo de ácaros del aguacate en México. Folleto Técnico Núm. 20. SAGARPA. INIFAP. CIRPAC-CIRPAS. Campo Experimental Uruapan/ Campo Experimental Zacatepec. Uruapan, Michoacán, México. 20 p.

- Croft, B. A., Welch, S. M. y Dover, M. J. (1976). Dispersion statistics and sample size estimates for populations of the mite species *Panonychus ulmi* and *Amblyseius fallacis* on apple. *Environ. Entomol.* 5:227-234.
- Davie, S. J., Van Der Walt, M. y C. Stassen, P. J. (1995). A study of avocado tree carbohydrate cycles to determine ways of modifying alternate bearing. World Avocado Congress III. Program Book of abstracts. Tel Aviv, Israel. 4 p.
- Davis, P. M. (1994). Statistics for describing populations. *In Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture.* CRC Press. Larry P. Pedigo (edit) pp. 33-53.
- De la Torre, V. J. D., Montes, S.H., Arévalo A.V., Díaz, G.C. (1997). Guía para cultivar aguacate en el estado de Guanajuato. INIFAP. Campo Bajío. Celaya, Guanajuato. 48 p.
- Dickson, R.E. (1991). Assimilate distribution and storage. *In: Physiology of Trees.* A.S. Raghavendra ed. Wiley. pp. 51-85.
- Equihua, M. A., Venegas, E. E. y González, H. H. (2014). Plagas del Aguacate. pp. 133-169. En: Téliz, D. y A. Mora (eds.). *El Aguacate y su Manejo Integrado.* México, D.F. 2a. Edición Ed. Mundi-Prensa.
- García, A. M., Méndez, V. M. y Morales, G. A. (1976). El Aguacatero: plagas y enfermedades. *Fitofilo* 56:5-30.
- Gerrard, D. J., y Chiang, H. C. (1970). Density estimation of corn rootworm egg populations based upon frequency of occurrence. *Ecology* 51: 237-245.
- González, E. J.G., Ávila, C. L. D., Álvarez, A. M. Y., González, R. A., Cuevas, R. P. y Maldonado, L. Y. (2018). Daño foliar causado por insectos herbívoros y su asociación con la asimetría fluctuante en *Croton suberosus* en bosques maduros y secundarios en Chamela, Jalisco. *Entomología mexicana*, 5: 191–197.

- González, H. H., Johansen, R. N., Gasca, L. C., Equihua, A. M., Salinas, A. C., Estrada E. V., Duran A. F. y Valle, A. R. (2000). El Aguacate y su Manejo Integrado. Editorial Mundi-Prensa. pp.117-136.
- Grout, T. G. (1985). Binomial and sequential sampling of *Euseius tularensis* (Acari: Phytoseiidae), a predator of citrus red mite (Acari: Tetranychidae) and citrus thrips (Thysanoptera: Thripidae). *J. Econ. Entomol.* 78: 567-570.
- Hoddle, M. S. (1999). Using *Neoseiulus californicus* for control of perseae mite. *California Avocado Society, INC.* 83:127-139.
- Hoddle, M. S., Lindsay, R., y Judy, V. (2000). Biological Control of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) on avocado: III. Evaluating the efficacy of varying release rates and release frequency of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *International Journal of Acarology.* 26 (3): 203 – 214.
- Hoddle, M. S. y Morse, J. G. (2013). The perseae mite invasion into California: History, biology, management and current status. *Calif. Avocado. Soc. Year book.* 95:106–136.
- Hunt, T. E., Haile, F. J., Wyatt, H. W., y Higley, L. G. (1999). Indirect Measurement of Insect Defoliation. *Environ. Entomol.* 28(6): 1136-1139.
- Kerguelen, V. y Hoddle, M. S. (2000). Comparison of the susceptibility of several cultivars of avocado to the perseae mite *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). *Scientia horticulturae.* 84: 101-114.
- Lemus, S. B. A. y Pérez, A. D. A. (2016). Control químico del ácaro café del aguacate *Oligonychus punicae* (hirst, 1926) (Acari: Tetranychidae). *Folia Entomologica Mexicana.* 20: 349-353.

- McMurtry, J. A. y Johnson, H. G. (1966). An ecological study of the spider mite *Oligonychus punicae* (Hirst) and its natural enemies. *Hilgardia*. 37(11): 363-402.
- McMurtry, J. A., Huffaker C. B., y Van de Vrie, M. (1970). Tetranychid enemies: Their characters and the impact of spray practices. *Hilgardia*. 40. 331-390.
- McMurtry, J. A. (1985). Avocado. In Spider Mites. Their Biology, Natural Enemies and Control. Vol. 1B. Edited by W. Helle and M. W. Sabelis. El Seiver. The Netherlands. pp. 327-332.
- Macmillan, C. D. y Costello, M. J. (2015). Evaluation of a brushing machine for estimating density of spider mites on grape leaves. *Exp Appl Acarol*. 67(4): 583-94.
- Morales, G. J. L., Estrada-Navarrete, L. y Gutiérrez, M. C. (Compiladores). (1999). El cultivo del aguacate en Michoacán. 25 años de Investigación del M. C. Ramón Martínez Barrera. Universidad San Nicolás de Hidalgo. Uruapan, Michoacán. 199 p.
- Nachman, G. (1984). Estimates of mean population density and spatial distribution of *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae) based on the proportion of empty sampling units. *J. Appl. Ecol*. 21: 903-913.
- Ochoa, R., Aguilar, H. y Vargas C. (1991). Ácaros Fitófagos de América Central: *Guía Ilustrada*. CATIE. Costa Rica. 251 p.
- Pedigo, L. P. y Buntin, G. D. (1994). Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture. *CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida*. 715 p.
- Peterson, K. D. R. (2001). Photosynthesis, yield loss, and injury guilds. Biotic Stress and Yield Loss. Edited by Peterson K. D. R. and Higley G. L. CRC Press. Pp. 83 – 96.

- Phillips, P. y Faber, B.(1995). Persea Mite Spray Trial. *In: Avocado Year book. California Avocado Society, Inc. 79: 197-200.*
- Pringle, K. L. y Giliomee, J. H. (1992). Dispersion statistics and sample size estimates for monitoring mite populations in commercial apple orchards. *Journal of Applied Ecology. 29: 143-149.*
- Sabelis, M. W. (1985). Sampling techniques. *In: Spider Mites. Their Biology, Natural Enemies and Control. Vol. 1B. Edited by W. Helle and M. W. Sabelis. Elseiver. The Netherlands. Pp. 337-350.*
- Sances, F. V., N. Toscano, C., Hoffmann, M. P., Lapré L. F., Jonson, M. W., y Bailey, J. B. (1982). Physiological Responses of avocado brown mite feeding injury. *Environ. Entomol. 11 (2): 516-518.*
- Sánchez, L. A. (1998). Efecto del hidróxido de calcio micronizado y detergente biológico en el control de araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst.), del aguacatero en la región de Atapa, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 54 p.
- Schaalje, F. B., Butts, R. A., and Lysyk, T. J. (1991). Simulation studies of binomial sampling: a new variance estimator and density predictor, with special reference to the Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol. 84: 140-147.*
- Secretaría de Economía. (2012). Monografía del Sector Aguacate en México: Situación Actual y Oportunidades. Dirección General de Industrias Básicas. 21 p.
- SENASICA. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2011). Manual Operativo de la NOM-066-FITO-1995 para la Campaña Plagas Reglamentadas del Aguacatero. Dirección General de Sanidad Vegetal. 48 p. En línea: <http://www.senasica.gob.mx/?id=4624>. Fecha de consulta 21 de octubre de 2017.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). “Atlas Agroalimentario 2013” (consultado en julio de 2019), disponible en https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018.

Venables, E. P. y Dennys, A. A. (1941). A new method of counting orchard mites. *J. Econ. Entomol.* 34:324.

Wolstenholme, B. N. (1987). Theoretical and applied aspects of avocado yield as affected by energy budgets and carbon partitioning. *S. Afr. Avocado Growers' Assoc. Yearbook.* 10:59 - 61.

Wolstenholme, B. N. (1988). An overview of avocado technology towards 2000. *Proc. Austral. Avocado Bicentennial Conf. Caloundra.* pp. 4 -13.

CAPITULO I DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN PLAN DE MUESTREO POR ETAPAS PARA *Oligonychus punicae* Y *O. perseae* EN ÁRBOLES DE AGUACATE CV. HASS

1.1. RESUMEN

Se propone un plan de muestreo por etapas de *Oligonychus punicae* y *O. perseae*, considerando como unidades primarias a los árboles y secundarias a las hojas. El tamaño de muestra para la inspección de las poblaciones de estas dos especies de ácaros fitófagos en huertos de aguacate se derivó de estadísticas de dispersión (varianza e índice de dispersión) en un sistema de muestreo de dos etapas. La relación entre la varianza y la media se obtuvo mediante la Ley de la Potencia de Taylor (LPT) (Taylor, 1961), misma que permitió establecer que ambas especies de ácaros plaga presentan una distribución en agregados dentro y entre árboles. Por otra parte, se observó una varianza más alta entre árboles que dentro de éstos. Se determinó que para estimar la media de *O. punicae*, con una confiabilidad de 80% y una precisión relativa (D) igual a 0.25, se requiere examinar 120 hojas en 12 árboles; mientras que para *O. perseae* se requieren 170 hojas de 17 árboles. A través de la validación de dicho plan de muestreo, se obtuvo una precisión cercana o dentro del nivel establecido, lo cual, según diversos autores, se considera suficiente para la mayoría de los programas de muestreo.

Palabras clave: Ley de la Potencia de Taylor, muestreo de ácaros, distribución espacial y ecología de ácaros.

1.2. SUMMARY

We propose a two-stage sampling plan for *Oligonychus punicae* and *O. perseae* considering as primary unit an avocado tree and as secondary unit a leaf. The sample sizes to estimate the mean density of these two species of mites in avocado orchards were derived from dispersion statistics. The aggregation indices calculated using Taylor's power law indicated that both species of mite pests had aggregated distribution within and between trees. The largest variance was observed between trees. We found the sample size for estimating populations of *O. punicae* with an accuracy of 80% and relative accuracy (D) of 0.25, was 120 leaves in 12 trees, and for *O. perseae* 170 leaves taken from 17 trees. Through the validation, estimates were obtained with the required precision level, which is considered according to diverse authors enough for most of the sampling programs.

Kew words: Taylor's Power Law, mite sampling, spatial distribution and mite ecology.

1.3. INTRODUCCIÓN

Oligonychus punicae es una plaga importante del aguacate en México, ya que en densidades de alrededor de 300 ácaros (adultos y ninfas) por hoja, ocasiona un bronceado de hojas y defoliación parcial, mientras que, en densidades menores, ocasiona sólo pequeños puntos necróticos (Baddi *et al.*, 2000). Sin embargo, otros autores mencionan que la defoliación puede ocurrir a densidades menores, cuando se presentan 70 hembras por hoja durante periodos cortos o cuando se tienen por varias semanas 50 hembras por hoja (Sances *et al.*, 1982).

Cuando *O. perseae* se alimenta del envés de las hojas, consume el contenido de las células y un pequeño remanente del mismo se coagula formando una masa necrótica amarillenta; solamente las células del parénquima esponjoso son inicialmente afectadas, después el daño avanza hacia las células del mesófilo y en menor grado al parénquima empalizado. Las densidades de entre 100 y 500 ácaros de *O. perseae* por hoja, pueden causar una defoliación parcial (Aponte y McMurtry, 1997).

Debido a la importancia de ambas especies de ácaros en el aguacatero, es trascendental disponer de un método de muestreo adecuado, en términos de precisión y costo, que facilite su detección. Para lo anterior, se hace uso del muestreo estadístico, técnica que permite, mediante el análisis de una muestra, realizar inferencias sobre parámetros de interés de una determinada población de individuos, como puede ser la densidad promedio de una plaga (López-Collado, 2004). Además, con la información obtenida a partir de una muestra, se pueden correlacionar las poblaciones de la plaga con el grado de daño ocasionado (Rojas, 1964; Sabelis, 1985).

La disposición espacial de los organismos en un área, influye en el tamaño de la muestra a seguir, pues cuando los elementos de la población están distribuidos homogéneamente (uniformemente) en un hábitat, la variación en el número de elementos de cada unidad de muestreo es reducida; por lo anterior, se espera que el tamaño de muestra sea relativamente pequeño.

Lo contrario sucede cuando la variación es mayor, como es el caso de una disposición espacial en agregados, situación común en el caso de ácaros, para lo cual se ha propuesto el muestreo

estratificado aleatorio para reducir el tamaño de muestra, pero sin disminuir la precisión del mismo (Cochran, 1977; Sabelis, 1985).

El diseño del muestreo depende de la disposición espacial que presentan los organismos, por lo cual, se hace uso de modelos probabilísticos que la representan convenientemente. En el caso de ácaros, como ya se mencionó, generalmente se observa una disposición espacial en agregados, lo cual origina variaciones mayores (Cochran, 1977; Sabelis, 1985). Este tipo de disposición de contagio, puede ser representada por alguna derivación de la distribución de Poisson, de la que destaca la distribución binomial negativa, que se adapta a una gran cantidad de fenómenos biológicos (Rojas, 1964). Cuando no se conoce la distribución matemática que represente las poblaciones de alguna especie, se puede utilizar la Ley de la potencia de Taylor (LTP), la cual establece una relación entre la media (m) de la población y la varianza (S^2), con la expresión siguiente: $S^2 = am^b$ (Ruiz y Uribe, 2000; Taylor 1961).

Donde, el coeficiente a , es un factor de escala relacionado con el tamaño de muestra, mientras que b , es el índice de agregación característico de cada especie; de tal forma que, cuando $b = 1$ la disposición de los organismos es aleatoria, cuando $b > 1$ es agregada, mientras que, $b < 1$, indica un arreglo o disposición uniforme (Davis, 1994; Southwood, 1978).

1.4. REVISIÓN DE LITERATURA

1.4.1. Muestreo por etapas o en conglomerados

Para reducir la variabilidad de los datos, se hace uso del muestreo de conglomerados (se entiende por conglomerados: cuando los elementos de una población se pueden dividir en grupos definidos). Esta modalidad es útil cuando las unidades de muestreo se arreglan en grupos definidos, los cuales se denominan unidades primarias. En el caso de frutales, frecuentemente las unidades primarias corresponden a los árboles y las secundarias a las hojas, ramas o frutos (López-Collado, 2004).

Se menciona que la variación es mayor entre árboles (unidades primarias), que dentro de los mismos (unidades secundarias) y que esto se debe a que los ácaros presentan poca capacidad de

dispersión de un árbol a otro (Croft *et al.* 1976; Lara y Hoddle, 2015). Mediante el muestreo estratificado aleatorio, se puede reducir el tamaño de muestra sin disminuir la precisión del mismo. Este tipo de muestreo considera que las unidades de muestreo (secundarias), que se aglomeran en grupos definidos, denominados “unidades primarias”.

Adicionalmente, Cochran (1980) menciona que hay tres razones para aplicar esta técnica de muestreo, las cuales son:

- a) La necesidad de una determinada precisión para ciertas subdivisiones de la población, de tal forma que sea factible considerar cada subdivisión como una “población”
- b) Cuando la estratificación significa una ganancia en precisión en la estimación de algún atributo de la población. Entonces, es posible dividir una población heterogénea en estratos, siendo cada estrato “homogéneo”
- c) Las cuantificaciones o estimaciones dentro de estas unidades varían poco, de tal forma que se pueden obtener estimaciones precisas mediante una muestra pequeña de cada estrato.

1.4.2. Estimación de la relación varianza / media por la LPT

El tamaño de muestra depende de la disposición espacial de la población y de cómo esté definida la precisión. Cuando no se conoce la distribución matemática de la misma, se puede utilizar la Ley de la Potencia de Taylor, la cual establece una relación entre la media de la población y la varianza, mediante la expresión $S^2=am^b$ (Ruiz y Uribe, 2000; Taylor 1961); entonces el tamaño óptimo de muestra puede ser calculado con la fórmula siguiente:

$$n = \left(\frac{t_{\alpha/2, n-1}}{D\bar{Y}..} \right)^2 \left[\frac{S_w^2}{m} + S_a^2 \right]$$

Donde:

D: precisión relativa.

$\bar{Y}..$: media muestral

n: número de árboles muestreados

m: número de hojas por árbol

S^2_w : varianza dentro del árbol

S^2_a : varianza entre árboles

Una situación frecuente es que la varianza sea más grande que la media, de tal forma que la distribución binomial negativa, con parámetros μ (media) y k (grado de contagio, forma de la curva), puede describir la frecuencia de las observaciones. Sin embargo, se ha demostrado que el valor del parámetro k , no es constante y varía según la media, por lo que la estimación de ésta se hace más difícil. Por su parte, Southwood (1978) indica que la relación entre media y varianza del conteo de insectos por unidad de muestra es más confiable, es decir, la utilización de la Ley de la Potencia de Taylor. Esta ley ha sido utilizada en estudios ecológicos de diversas especies, entre las cuales están: *Tetranychus urticae* Koch en manzana, *Hypothenemus hampei* Ferrari en café y *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead) en naranja (Hall *et al.*, 2007; Pringle y Giliomee, 1992; Ruiz y Uribe, 2000).

En la planeación de un sistema de muestreo, para estimar el número de ácaros por hoja de aguacate en huertos comerciales, el tamaño de muestra en términos del número de árboles por huerto y el número de hojas tomadas de cada árbol seleccionado, debe de ser determinado para obtener un grado de precisión deseado. El efecto aleatorio de un modelo en un análisis de varianza de una vía, puede ser utilizado para estimar la varianza dentro y entre árboles en la media del número de ácaros por hoja y dentro del error estándar de toda la media muestral para alguno de los dos tamaños de muestra.

Los dos componentes de la varianza S^2_a y S^2_w y la media de la muestra, $\bar{X}..$ pueden ser estimados usando un modelo de efecto aleatorio en un análisis de varianza de una vía. Este modelo supone la homogeneidad de varianzas, sin embargo, si se considera el teorema de límite central, sólo basta con que los tamaños de muestra sean grandes para que las medias de los datos se distribuyan normalmente.

Las constantes a y b , son estimadas mediante regresión lineal, para lo cual se transforman los valores al logaritmo base 10.

$$\log (S^2) = \log(a) + b \log (\bar{x})$$

En el sistema de muestreo en dos etapas, las varianzas dentro y entre unidades primarias, son asumidas por la Ley de la Potencia de Taylor, de tal forma que:

$$S_B^2 = a_B \bar{X}^{b_B} \text{ y } S_W^2 = a_W \bar{X}^{b_W}, \text{ en las que:}$$

S_B^2 : La varianza dentro de los árboles

S_W^2 : La varianza entre árboles

1.5. MATERIALES Y MÉTODOS

1.5.1. Huerto experimental

Las muestras se obtuvieron de noviembre de 2001 a diciembre de 2002, de un huerto de aguacate *Persea americana* cv. Hass, de 8 años de edad, dentro del Campo Experimental del Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Aguacate del Estado de México (CICTAMEX), de la Fundación Salvador Sánchez Colín, S.C., en Coatepec Harinas, Estado de México (18°55', 99°44', 2278 msnm).

1.5.2. Muestreo y colecta de datos

Los muestreos se realizaron durante un año a intervalos de dos semanas. En cada muestreo, se seleccionaron al azar 11 árboles y de cada uno de éstos, se recolectaron 10 hojas (en total 110 hojas por muestreo) al azar, las cuales se conservaban en bolsas de papel. En el laboratorio, se determinó el número de estados móviles (adultos y ninfas) de ambas especies de ácaros, bajo un diseño de muestreo por estratos, considerando como unidades primarias a los árboles y secundarias a las hojas.

1.5.3. Análisis de datos

Para cada fecha de muestreo, con los datos de ácaros en cada hoja (unidad secundaria), se realizó un análisis de varianza considerando como variable aleatoria el número de estados móviles (inmaduros y adultos) y como independiente, los árboles (unidades primarias). La varianza dentro

del árbol δ_w^2 se estima por el cuadrado medio del error, mientras que la varianza entre árboles δ_a^2 se calculó con la formula siguiente:

$$\delta_a^2 = (\text{CMm}-\text{CMe}/\text{M})$$

Donde, CMm es el cuadrado medio del modelo; CMe es el cuadrado medio del error y M es el número de unidades primarias muestreadas.

Para estimar los parámetros a y b del modelo de Taylor, se realizó una regresión lineal simple con los datos transformados a \log_{10} , de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$\log S^2 = \log(a) + b \log(\bar{Y}..)$$

Donde, $\bar{Y}..$ es la media. Los valores del intercepto se transformaron al antilogaritmo, obteniéndose de esta forma los parámetros a_a y a_w del modelo de Taylor. El cálculo de los parámetros de cada muestra y las regresiones lineales se realizaron con el programa Biostat (ver. 1.08, J. López-Collado, 2003).

1.5.4. Disposición espacial

Mediante la Ley de la potencia de Taylor se estableció la relación entre la media y varianza, los parámetros a y b se calcularon por regresión; se utilizó el valor de b para definir el tipo de disposición espacial entre y dentro de árboles (Southwood, 1978).

1.5.5. Tamaño de muestra

El tamaño de muestra (n) se obtuvo en términos de la precisión relativa de 0.25 y confiabilidad de 90%, mediante la fórmula siguiente:

$$n = \left(\frac{t_{\alpha/2, n-1}}{D \bar{Y}..} \right)^2 \left[\frac{S_w^2}{m} + S_a^2 \right]$$

Donde:

D : precisión relativa.

$\bar{Y}..$: media muestral

n : número de árboles muestreados

m : número de hojas por árbol

S^2_w : varianza dentro del árbol

S^2_a : varianza entre árboles

1.5.6. Validación del plan de muestreo

Adicionalmente a los muestreos para diseñar el plan de muestreo, se realizarán cinco muestreos en el año siguiente (2002), mediante los cuales se determinará la precisión como una fracción de la media, en cada uno se considerará el tamaño de muestra estimado para cada especie. La precisión se obtiene con la fórmula propuesta por López (2004):

$$D = \frac{\sqrt{\frac{S^2_w}{nm} + \frac{S^2_a}{n}}}{\bar{Y}..}$$

Donde:

D : precisión relativa

$\bar{Y}..$: media muestral

n : número de árboles muestreados

m : número de hojas por árbol

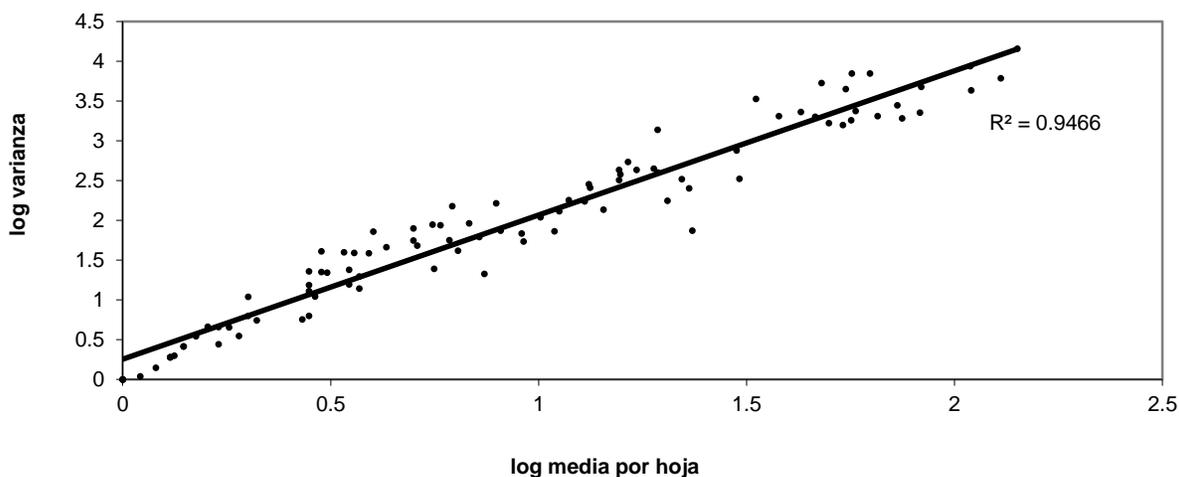
S^2_w : varianza dentro de árboles

S^2_a : varianza entre árboles

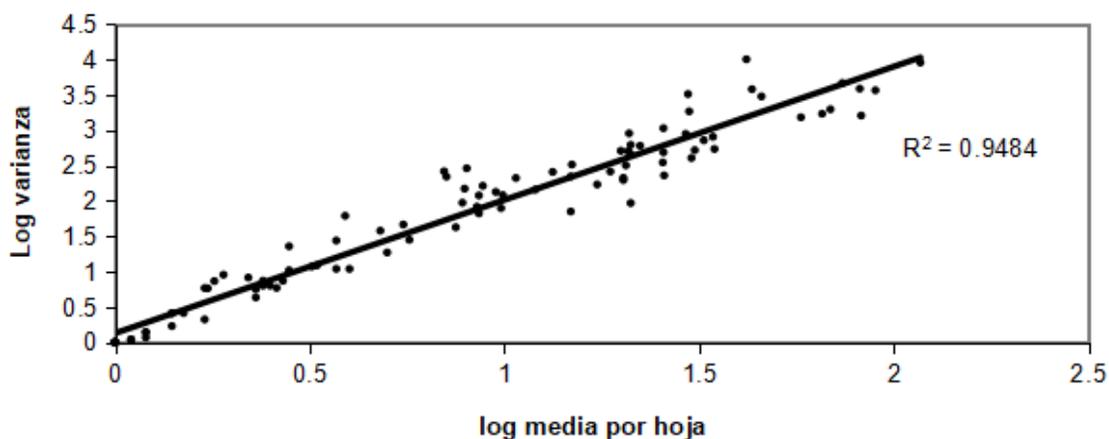
1.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.6.1. Disposición espacial

Mediante los muestreos del 2002, se determinó que para los registros de los estados móviles se obtuvo un buen ajuste del modelo de Taylor: $r^2=0.95$ para *O. punicae* y $r^2=0.95$ para *O. perseae* (Figura 1.1, a y b).



a



b

Figura 1.1. Ajuste de la ley de la potencia de Taylor para los registros de estados móviles de ácaros en aguacate cv. Hass. a) *Oligonychus punicae*, b) *Oligonychus perseae*.

Dentro y entre árboles, para ambas especies de ácaros, se observó una disposición en agregados, siendo mayor el contagio entre árboles que dentro del mismo árbol, lo cual denota una mayor variación entre árboles que dentro de los mismos (Cuadro 1.1), lo cual es común en tetraníquidos, debido a su limitada capacidad de dispersión (Sabelis, 1985). En otras especies, como el arador de los cítricos *Phyllocoptruta oleivora* Ashmead, se presenta una mayor agregación dentro de los árboles que entre árboles, lo cual es atribuido a la temperatura e incidencia de rayos solares (Albrigo y McCoy, 1974).

Cuadro 1.1. Índices de agregación para *Oligonychus punicae* y *Oligonychus perseae* en aguacate c.v. Hass, de acuerdo a un muestreo por etapas.

Especie	Estrato	Valor de <i>b</i>	Disposición	P-value
<i>Oligonychus punicae</i>	Entre árboles	2.234	Agregados	P<0.01
	Dentro de árboles	1.405	Agregados	P< 0.01
<i>Oligonychus perseae</i>	Entre árboles	2.222	Agregados	P< 0.01
	Dentro de árboles	1.745	Agregados	P< 0.01

1.6.2. Tamaño de muestra

Con los parámetros estimados de la LPT y la ecuación del apartado 2.4.5 se calculó el tamaño de muestra, resultando que, para estimar la media, con una confiabilidad de 80% y precisión de 0.25, es necesario tomar 120 hojas en 12 árboles para el caso de *O. punicae*. En el caso de *O. perseae* es necesario examinar 170 hojas en 17 árboles. El valor 0.25 de precisión, debe de leerse o interpretarse como el valor máximo de sesgo (como una fracción), entre la media real y la estimada.

1.6.3. Validación del plan de muestreo

En la mayoría de los muestreos, el estimador de precisión (D) estuvo por debajo o muy cerca del nivel establecido (0.25), salvo en los muestreos del 4 de enero y 15 de marzo de 2003 para *O. perseae*, donde los valores fueron mayores (Cuadro 1.2). Con fundamento en lo anterior, el plan de muestreo presentado, se puede utilizar para el monitoreo de las poblaciones de ácaros, pues en términos generales, su precisión para ambas especies es cercano a 0.25, lo cual según Southwood (1978), puede considerarse aceptable para la mayoría de los programas de muestreo.

Por otra parte, la varianza entre árboles fue menor que la observada dentro de éstos (Cuadro 1.2), lo cual contrasta con lo reportado por Croft *et al.* (1976), quienes indican que, en el caso de ácaros, por lo general se observa una mayor variabilidad entre árboles que dentro del mismo árbol, lo que se atribuye a la limitada dispersión de los ácaros entre árboles. La situación anterior se puede deber a las características del cultivo de aguacate, en esa zona el follaje se presenta durante todo el año, lo cual origina un medio más estable, comparado con frutales caducifolios.

Cuadro 1.2. Precisión relativa y parámetros de seis muestreos para el monitoreo de *Oligonychus punicae* y *Oligonychus perseae* en aguacate cv. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México.

Fecha	Parámetros	<i>O. punicae</i>	<i>O. perseae</i>
21-12-02	S ² entre árboles	0.458	0.114
	S ² dentro del árbol	19.54	10.640
	Media	1.59	1.2
	Precisión relativa (D)	0.28	0.22
04-01-03	S ² entre árboles	0.0657	2.248
	S ² dentro del árbol	15.516	17.362
	Media	1.245	1.327
	Precisión relativa (D)	0.29	0.36
15-03-03	S ² entre árboles	0.96	0.345
	S ² dentro del árbol	20.29	10.368
	Media	2.29	0.780
	Precisión relativa (D)	0.22	0.36
13-04-03	S ² entre árboles	39.29	256.45
	S ² dentro del árbol	344.22	633.37
	Media	8.12	18.55
	Precisión relativa (D)	0.30	0.234
27-04-03	S ² entre árboles	34.12	268.72
	S ² dentro del árbol	130.31	734.96
	Media	11.854	26.173
	Precisión relativa (D)	0.1672	0.1714

Para un valor fijo de confiabilidad, el valor de la precisión se relaciona directamente con la media, de tal forma que ambas se incrementan o disminuyen conjuntamente (Figura 1.2). Lo anterior, se debe a que la precisión se definió en términos de una fracción de la media (Buntin, 1994). Por lo cual, se espera que cuando las densidades de las poblaciones sean más altas, se tenga una mayor precisión en la estimación de la media poblacional.

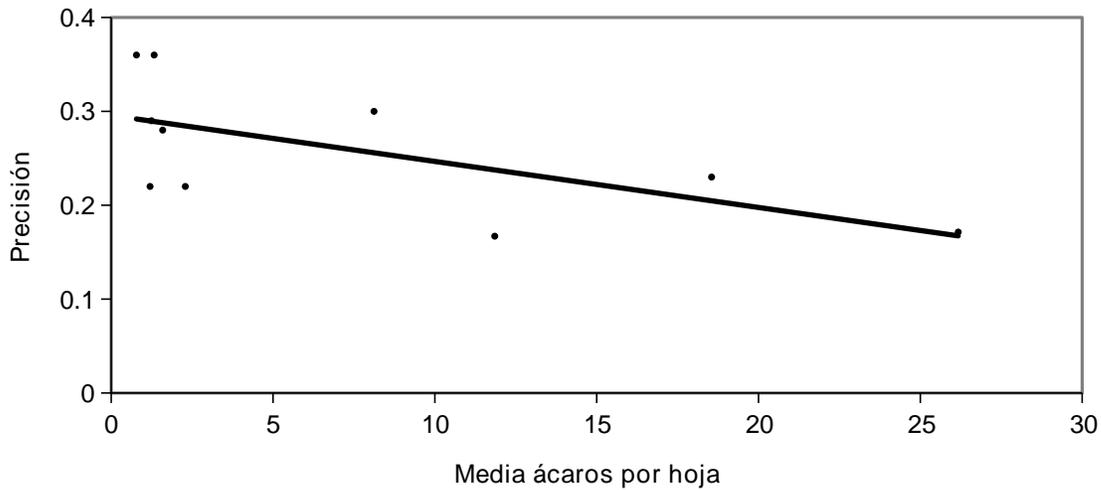


Figura 1.2. Relación entre las medias de ácaros por hoja y la precisión de la estimación de la media poblacional (D).

1.7. CONCLUSIONES

La Ley de la potencia de Taylor representó adecuadamente la relación varianza/media de los conteos de las dos especies de ácaros del aguacate.

Las poblaciones de *O. punicae* y *O. perseae* en árboles de aguacate cv. Hass, presentan una disposición en agregados, siendo la aglomeración más fuerte entre árboles que dentro del mismo árbol.

Los tamaños de muestra obtenidos mediante la metodología anteriormente citada, permiten su uso práctico para la estimación de la densidad de estas especies en campo, como umbrales de acción o nivel de daño económico.

El muestreo por etapas o en agregados propuesto, permite hacer estimaciones de la media de ácaros/hoja con un grado de precisión del 0.25 y confiabilidad del 80%.

1.8. LITERATURA CITADA

- Albrigo, L. G. y McCoy, C. W. (1974). Characteristic injury by citrus rust mite to orange leaves and fruit. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* 87:48-55.
- Aponte, O. y Mc Murtry A. J. (1997). Damage on 'Hass' avocado leaves, webbing and nesting behaviour of *Oligonychus perseae* (Tetranychidae). *Exp. Appl. Acar.* 21: 265 - 272.
- Badii, M. H., Flores, A.E. y Ponce, G. (2000). *Fundamentos y perspectivas del control biológico*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Editores Badii, M. H., Flores E. A. y Galán W. L. 255-278.
- Buntin, G. D. (1994). Developing a primary sampling program. pp. 99-115. *In: Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture*. L. P. Pedigo (edit). CRC Press.
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques*. 3ª edición. John Wiley & Sons ed. 89 -114.
- Cochran W. G. (1980). *Técnicas de muestreo*. 2ª edición. Editorial CECSA. México.
- Croft, S., Welch, M. y Dover, M. J. (1976). Dispersion statistics and sample size estimates for populations of the mite species *Panonychus ulmi* and *Amblyseius fallacis* on apple. *Environ. Entomol.* 5: 227-234.
- Davis, M. P. (1994). Statistics for describing populations. pp. 33-53. *In: Handbook of Sampling Methods for Arthropods en Agriculture*. Pedigo p. L. and Buntin G. D. (Eds). CRC Press, Inc.
- Hall, G. D., Carl, J C. C. y Joseph, E. E. (2007). Sampling to Estimate Rust Mite (Acari: Eriophyidae) Densities on Orange Fruit. *Journal of Economic Entomology*. 100 (1): 233-40.
- Lara, R. J. y Hoddle, M. S. (2015). Comparison and Field Validation of Binomial Sampling Plans for *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae) on Hass Avocado in Southern California. *J. Econ. Entomol.* 108(4): 2074–2089.
- López-Collado, J. (2004). *Entomología Estadística*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 142 p.
- Pringle, K. L. y Giliomee, J. H. (1992). Dispersion statistics and sample size estimates for monitoring mite population in commercial apple orchards. *Journal of Applied Ecology*. 29:143-149.
- Rojas, B. A. (1964). La binomial negativa y la estimación de intensidad de plagas en el suelo. *Fit. Lat.* 1: 27-36.

- Ruiz, R. y Uribe, T. P. (2000). The effect of sample size and spatial scale on Taylor's power law parameters for the coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae). *Trop. Agric.* 77 (4): 249-261.
- Sabelis, M. W. (1985). Sampling Techniques. pp. 337-350. *In: Spider Mites. Their Biology, Natural Enemies and Control.* Vol. 1B. W. Helle and M. W. Sabelis (eds.). Elsevier. The Netherlands.
- Sances, F. V., Toscano, N. C., Hoffmann, M. P., Lapré, L. F., Johnson, M. W., y Bailey, J. B. (1982). Physiological responses of avocado brown mite feeding injury. *Environ. Entomol.* 11: 516-518.
- Southwood, T. R. E. (1978). *Ecological Methods.* With particular reference to the study of insect populations. Chapman and Hall. London.
- Taylor, L. R. (1961). Aggregation, variance and mean. *Nature* 18: 732-735.

CAPITULO II. MUESTREO BINOMIAL DE ÁCAROS PLAGA DEL AGUACATE EN COATEPEC HARINAS, ESTADO DE MÉXICO

2.1 RESUMEN

En el 2002 se realizaron muestreos en árboles de aguacate cv. Hass, en cada muestreo se seleccionaron al azar 11 árboles y de cada uno de estos se tomaban 10 hojas. Para cada conjunto de datos se determinó el número total de estados móviles de *Oligonychus punicae* y *O. perseae*, el número de huevecillos de esta última especie y la proporción de hojas infestadas por cada una de las especies. Con estos valores, se procedió a conocer y medir el grado de asociación entre la proporción de hojas de aguacate infestadas y la media de ácaros/hoja de ambas especies. De esta forma, el mayor grado de asociación se observó con la especie *Oligonychus punicae* ($r=0.75$), mientras que en el caso de *Oligonychus perseae* la asociación fue menor ($r=0.63$). Con esta información, se propuso un esquema de muestreo binomial, a través de los parámetros media μ e índice de agregación k , este último puede ser estimado “por momentos” también por el método de Bliss y Owen (1958) o mediante la ecuación propuesta por Wilson y Room (1983). Las tres expresiones que se presentan permiten estimar la media con base en la proporción de hojas infestadas y el método de Wilson y Room (1963), es el que presentó el mayor ajuste entre datos observados y predichos.

En este capítulo, se presenta información relativa al desarrollo y evaluación de un plan de muestreo binomial, para estimar la densidad media de *O. punicae* y *O. perseae* a partir de la proporción de hojas infestadas, como una alternativa que facilite la estimación de la abundancia de la población de estos ácaros, en términos de la media.

Palabra clave: muestreo binomial, *Oligonychus punicae*, *Oligonychus perseae*, aguacate y ácaros.

2.2 SUMMARY

During 2002, sampling of avocado trees were carried out 10 times. At each sampling 110 leaves were collected, 10 leaves in each of 11 trees were randomly selected, the total number of motile forms of both *Oligonychus punicae* and *O. perseae*, number of eggs of this last species and the proportion of infested leaves for each species were recorded. With these values, the degree of association between the proportion of infested leaves and the mite/ leaf average of both species were determined. The highest degree of association was observed with *Oligonychus punicae* ($r = 0.754$), while in the case of *Oligonychus perseae* the association was lower ($r = 0.634$). With this information, a binomial sampling scheme was proposed, using the mean and the aggregation index k , the latter can be estimated by moments or by the Bliss and Owen method (1958) or by the equation proposed by Wilson and Room (1983). We present three expressions that allowed us to estimate the mean based on the proportion of infested leaves. The Wilson and Room method presented the highest fit between observed and predicted data. This chapter presents information related to the development and evaluation of a binomial sampling plan, to estimate the average density of *Oligonychus punicae* and *O. perseae* from the proportion of infested leaves, as an alternative that may facilitate the estimation of the abundance of the mite population, in terms of the average.

Key word: sampling, *Oligonychus punicae*, *Oligonychus punicae*, avocado mites

2.3 INTRODUCCIÓN

Pedigo y Buntin (1994), indican que la estimación de los parámetros poblaciones es indispensable para un adecuado manejo de plagas, por lo que es necesario el uso de técnicas de muestreo validadas, que permitan hacer inferencias con una precisión y exactitud determinada. En ese sentido, mencionan que, entre mayor es el tamaño de muestra, la inferencia de los parámetros poblacionales tendrá mayor confiabilidad, sin embargo, el costo del muestreo también se incrementa sustancialmente.

Por lo anterior, Binns y Nyrop (1992) señalan que es necesario diseñar y contar con esquemas de muestreo económicamente útiles, que permitan realizar estimaciones con un grado de precisión y confiabilidad determinado, tal es el caso del muestreo binomial, que se basa en la proporción de hojas infestadas con ácaros para estimar la media poblacional. Estos autores, indican además que, este tipo de muestreo es una alternativa cuando se trabaja con organismos pequeños, de difícil conteo y que forman agregados en el sustrato.

El muestro binomial, consiste en clasificar las unidades de muestra en infestadas (>0 individuos) y no infestadas (0 individuos) y posteriormente relacionarlas con una densidad estimada y previamente establecida (Davis, 1994). Este tipo de muestreo se ha utilizado principalmente en estudios con ácaros, trips, mosquitas blancas y escamas, organismos cuyas poblaciones tienden a distribuirse en altas densidades y en agregados, por lo que el utilizar la técnica de conteo total, requiere de una inversión alta de recursos y de mucho tiempo.

En este capítulo, se presenta información relativa al desarrollo y evaluación de un plan de muestreo binomial, para estimar la densidad media de *Oligonychus punicae* y *O. perseae* en follaje de aguacate cv. Hass, a partir de la proporción de hojas infestadas, como una alternativa que facilite la estimación de la abundancia de la población, medida en términos de la media.

2.4 REVISIÓN DE LITERATURA

2.4.1 Técnica de muestreo

Las técnicas de muestreo (sacudido de planta, recolecta mediante red entomológica, inspección directa, extracción de muestras de suelo, trampas de luz o con feromona) dependen del hábito de la plaga con la cual se trabaja. De tal forma, que su elección depende de los recursos con que se cuenta, el objetivo del muestreo, biología y hábitos de la plaga. Tollerup *et al.* (2013) indican que las técnicas de muestreo pueden basarse en estimaciones absolutas o relativas.

Estimaciones absolutas. Los conteos se basan en unidades de área o volumen, que por lo general requieren de una gran inversión de tiempo.

Estimaciones relativas. Los conteos se basan en el empleo de unidades arbitrarias, como es el número de redazos, insectos por trampa, o proporción de unidades infestadas, con lo cual se obtienen valores que requieren una transformación mediante regresión, para obtener un valor absoluto.

2.4.2 El muestreo Binomial o de presencia- ausencia

El muestreo de presencia o ausencia, también conocido como binomial, se basa en clasificar a la unidad de la muestra como infestada (> 0) o no infestada (0), y posteriormente relacionarla con una densidad estimada (Bliss, 1953; Wilson, 1994).

Jones (1994) indica que los planes de muestreo binomial son principalmente utilizados en los casos donde el investigador está interesado en conocer la proporción de unidades de muestra infestadas y a partir de esa información, se puede estimar la media, aunque con un mayor sesgo, comparado con la estimación a partir de un plan de muestreo enumerativo, en el cual se cuentan todos los individuos presentes en una unidad de muestra. Lo anterior se debe a que el muestro binomial sólo considera la información relativa a la proporción de unidades infestadas con respecto a las unidades no infestadas y adiciona la varianza correspondiente al ajuste del modelo. Por lo anterior, en

determinadas situaciones, la precisión obtenida mediante el muestreo binomial no puede ser equiparable con la que se obtiene con muestreos enumerativos, de tal forma que, en algunos casos, el muestro binomial podría no ser apropiado. No obstante, Davis (1994) y Jones (1994) señalan que, en sistemas agrícolas, dicha variación en la estimación de la media puede ser irrelevante, comparado con las ventajas de este método de muestreo, en particular ahorro de tiempo.

La utilidad del muestro binomial aumenta conforme se estrecha la relación entre proporción de unidades de muestreo infestadas y la media poblacional (Binns y Nyrop, 1992; Tolleroup, 2013). Por su parte, Wilson *et al.* (1981) indican que, de manera natural, los ácaros presentan una estrecha relación entre la densidad y la proporción de unidades de muestra infestadas (hojas), de tal forma que, a altas densidades, la proporción de hojas infestadas se incrementa.

Esta técnica de muestreo se ha empleado en estudios con el complejo de araña roja *Tetranychus*, *Phyllocoptruta oleivora*, *Tetranychus urticae* Koch (Nachman, 1984; Binns y Bostanian 1990), *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Nachman, 1984), *Panonychus ulmi* (Koch) (Binns y Bostanian, 1990) y *Euseius tularensis* (Congdon) (Grout, 1985) y para algunas especies de insectos, como es el caso de *Diuraphis noxia* (Mordvilko) (Schaalje *et al.*, 1991), *Diabrotica longicornis* Say y *D. virgifera* Le Conte (Gerrard y Chiang, 1970).

2.4.3 Estimación de parámetros de la distribución binomial negativa

Los parámetros de la distribución binomial negativa son la media μ y el parámetro de agregación K ($K > 0$), este último se acerca a cero, a medida que el grado de contagio aumenta y tiende a infinito, a medida que los individuos presentan una disposición aleatoria (Bliss, 1953; Waters, 1959; Zalom *et al.*, 1986; López-Collado, 2004).

La media muestral se puede estimar por el método conocido como “momentos” mientras que, el índice de agregación o contagio, se puede estimar por momentos, clase cero y máxima verosimilitud, o alguna modificación de éstas (López-Collado, 2004).

2.4.4 Método de momentos para estimar k

Es uno de los métodos más simples, que implica equiparar los momentos de una muestra a sus momentos teóricos, mediante el uso de la media (\bar{x}) y la varianza muestral (s^2) y resolver la ecuación siguiente para estimar k (Bliss y Fisher, 1958; Legg y Moon, 1994; López-Collado, 2004).

$$\hat{k} = \frac{\bar{x}^2}{s^2 - \bar{x}}$$

2.4.5 Método de Bliss y Owen (1958) para determinar una k común

Para un grupo de datos que provienen de varios campos o sitios que tienen un parámetro K independiente, se requiere obtener una k común, la cual se puede calcular con las ecuaciones que incorporan el valor de media (\bar{x}), varianza (s^2) y número de elementos utilizados en calcular la media (N), estos son obtenidos del grupo de datos.

$$\frac{1}{\hat{k}_c} = \frac{\sum y'}{\sum x'} \quad \text{con} \quad x' = \bar{x}^2 - \frac{s^2}{N} \quad \text{y} \quad y' = s^2 - \bar{x}$$

De lo anterior, se obtiene el parámetro k , común para un conjunto de datos, el cual permite despejar la ecuación siguiente, en términos de la media para su estimación, además de considerar que, en campo se determina la proporción de hojas no infestadas $p(0)$ y el valor de k es conocido, entonces se puede inferir el valor de la media poblacional con la ecuación siguiente:

$$p(0) = \left(1 + \frac{\bar{x}}{k}\right)^{-k}$$

La relación entre la proporción de unidades infestadas $p(1)$ y la media se establece con la expresión siguiente:

$$p(1) = 1 - p(0) = 1 - \left(1 + \frac{\bar{x}}{k}\right)^{-k}$$

2.4.6 Modelo de Wilson y Room (1983) para estimar k

Estos autores proponen la ecuación de la distribución binomial negativa para estimar k y utiliza la Ley de la Potencia de Taylor para establecer la igualdad siguiente: $s^2 = am^b$, por lo que la ecuación para estimar el parámetro k se define como:

$$k = \frac{\bar{x}}{\left(a\bar{x}^{(b-1)} - 1\right)}$$

y al sustituirse en (1), que es la ecuación para estimar la k común, se tienen:

$$P(0) = \exp\left[\frac{-\bar{x} \ln\left(a\bar{x}^{(b-1)}\right)}{\left(a\bar{x}^{(b-1)} - 1\right)}\right] \quad \text{es decir,} \quad P(1) = 1 - \exp\left[\frac{-\bar{x} \ln\left(a\bar{x}^{(b-1)}\right)}{\left(a\bar{x}^{(b-1)} - 1\right)}\right]$$

2.4.7 Estimación de la media a partir de $P(1)$

La densidad media de la población (ácaros por hoja), puede ser estimada a partir de la proporción de unidades de muestra infestadas (o no infestadas) con ácaros; este método para inferir la media poblacional es útil cuando existe una relación estrecha y constante, entre la proporción de unidades infestadas $p(1)$ y la media de ácaros por unidad de muestra m (Nachman, 1984).

Kono y Sugino (1958), y Martínez *et al.* (2006), indican que la media se relaciona con la infestación mediante la fórmula empírica siguiente:

$$\ln(m) = a' + b' \ln(-\ln[1 - p(1)])$$

Esta ecuación también se puede expresar de la forma siguiente:

$$m = \exp^{a'} \left(-\ln(1 - P(1)) \right)^{b'} = \exp^{a'} \left(-\ln(P(0)) \right)^{b'}$$

En los cuales a y b son constantes, obtenidas mediante regresión lineal simple, de tal forma que, las medias pueden ser estimadas al sustituir a y b en la ecuación.

2.4.8 Tamaño de muestra

Para estimar el tamaño de muestra se utiliza la siguiente ecuación propuesta por Karandinos (1976):

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2}}{D} \right) \frac{\delta^2}{\mu^2}$$

Donde:

$Z_{\alpha/2}$ = Es el cuantil $\alpha/2$ de una distribución normal estándar.

2.4.9 Validación de los modelos

En la evaluación de la capacidad de los modelos para estimar un parámetro, se puede utilizar el ajuste entre valores predichos y observados, buscando minimizar las diferencias entre ambos conjuntos de valores, es decir, se busca la menor suma de residuales. En este caso, la proporción de unidades infestadas $P(1)$ con al menos un ácaro, depende de la densidad media de la plaga, de tal forma que se busca que el modelo que presente la mejor estimación de la media o cualquier otro parámetro.

2.5 MATERIALES Y MÉTODOS

2.5.1 Muestreo preliminar

Los datos para desarrollar el plan de muestreo de presencia-ausencia, se obtuvieron durante el año 2002, en un huerto de aguacate cv. Hass de 9 años, ubicado en Coatepec Harinas, estado de México.

En este estudio se realizaron 10 muestreos (durante el 2002), en cada uno de los cuales se recolectaron 10 hojas en cada uno de 11 árboles, 110 hojas en cada fecha de muestreo, distribuidas en el huerto experimental. En cada hoja, se contabilizaron los estados móviles de *O. punicae* y *O. perseae* y se registró la proporción de hojas infestadas. En total, se colectaron y contabilizaron 1,100 unidades de muestras durante toda la investigación.

Los datos se registraron por fecha de muestreo en hojas de cálculo de Excel, en la que se calcularon los parámetros básicos poblacionales, que incluían la frecuencia de hojas infestadas, media y varianza.

2.5.2 Estimación de los parámetros poblacionales

Modelo de Bliss y Owen

Para estimar la k común, se emplearon las sumas de cuadrados de la media (x') y suma de cuadrados del error (y'), estos valores se sustituyeron en la ecuación siguiente, propuesta por Bliss y Owen (1958), también conocida como “estimación de k común por momentos”.

$$\frac{1}{\hat{k}_c} = \frac{\sum y'}{\sum x'}$$

Los valores más altos de la suma de cuadrados de la media corresponden a los estados móviles de *O. punicae* y huevecillos de *O. perseae*, de igual forma, estas variables presentaron la suma de cuadrados de la varianza más alta (Cuadro 2.1). Así también, el índice de agregación (k) más alto se observó en la población del ácaro café.

Cuadro 2.1. Estimación de la k común por el método de Bliss y Owen (1958) para ácaros del aguacate cv. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México.

Especie	x'	y'	$1 / \hat{k}_c$	\hat{k}_c
<i>O. punicae</i>	115065	96106	0.8352	1.1973
<i>O. perseae</i>	67704	58003	0.8567	1.1673
Huevos de <i>O. perseae</i>	182062	176561	0.9697	1.0312

Los valores de k se sustituyeron en la ecuación propuesta por Bliss y Owen (1958), donde se asocia a la media m y a la proporción de hojas infestadas $\hat{p}(I)$, obteniéndose la siguiente expresión:

Cuadro 2.2. Resumen de modelos por el método de Bliss y Owen (1958) para ácaros del aguacate cv. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México.

Especie	Modelos de Bliss y Owen
<i>O. punicae</i>	$\hat{p}(I)_i = 1 - \left(1 + \frac{\hat{m}_i}{1.1973} \right)^{-1.1973}$
<i>O. perseae</i>	$\hat{p}(I)_i = 1 - \left(1 + \frac{\hat{m}_i}{1.1673} \right)^{-1.1673}$
Huevecillos <i>O. perseae</i>	$\hat{p}(I)_i = 1 - \left(1 + \frac{\hat{m}_i}{1.0312} \right)^{-1.0312}$

Modelo de Wilson y Room

Este es un método alternativo al modelo de Bliss y Owen (1958), que permite estimar el valor de una k común o índice de agregación, correspondiente a cada una de las fechas de muestreo, e incorpora los parámetros a y b de la Ley de la Potencia de Taylor. Para estimar la k común, se utilizó la media general y los parámetros a y b , que representan la ordenada al origen y la pendiente de la recta.

$$k = \frac{\bar{x}}{(a\bar{x}^{(b-1)} - 1)}$$

Para ambas especies, el valor del parámetro b corresponde a un arreglo en agregados, lo mismo sucede con el parámetro asociado al número de huevos (Cuadro 2.3), lo cual corresponde a la distribución reportada para otras especies como en los casos de *Aculus cornutus* y *Tetranychus* spp., en almendro, así como, ácaros de la familia Phytoseiidae (Wilson *et al.*, 1984).

Cuadro 2.3. Parámetros poblacionales estimados para las dos especies de ácaros plaga del aguacatero cv. Hass en Coatepec Harinas, estado de México.

Especie	$\log(a)$	a	b	\bar{x}	k
<i>O. punicae</i>	0.569	1.7679	1.8228	18.168	0.9975
<i>O. perseae</i>	0.364	1.4398	1.8699	14.808	1.0566
Huevecillos <i>O. perseae</i>	0.475	1.609	1.9172	21.773	0.8328

Los parámetros poblacionales estimados en cada muestreo se utilizaron para realizar regresiones lineales simples, que asocian la varianza con la media y los parámetros a y b del modelo de Taylor (Cuadro 2.4). para las tres variables (estados móviles de *O. punicae*, *O. perseae* y huevecillos), se observa que los coeficientes de correlación fueron altos, de tal forma que el modelo es capaz de explicar el 94% de la varianza (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Modelos de regresión lineal simple ($S^2 = am^b$) para ácaros plaga del aguacate cv. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México.

Especie	Modelos	R^2
<i>O. punicae</i>	$\ln(S^2) = 0.5968 + 1.8228 \ln(\mu)$	0.94
<i>O. perseae</i>	$\ln(S^2) = 0.3645 + 1.8699 \ln(\mu)$	0.94
Huevecillos <i>O. perseae</i>	$\ln(S^2) = 0.4756 + 1.9172 \ln(\mu)$	0.94

2.5.3 Validación

La validación consistió en comparar los valores pronosticados del modelo, con los valores observados en campo, para lo cual se realizó una regresión lineal simple en el programa estadístico SAS ver. 9 (2002). El criterio para determinar el mejor modelo fue el aquel que presentase la menor suma de residuales, es decir, las menores diferencias entre datos observados y datos predichos.

2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

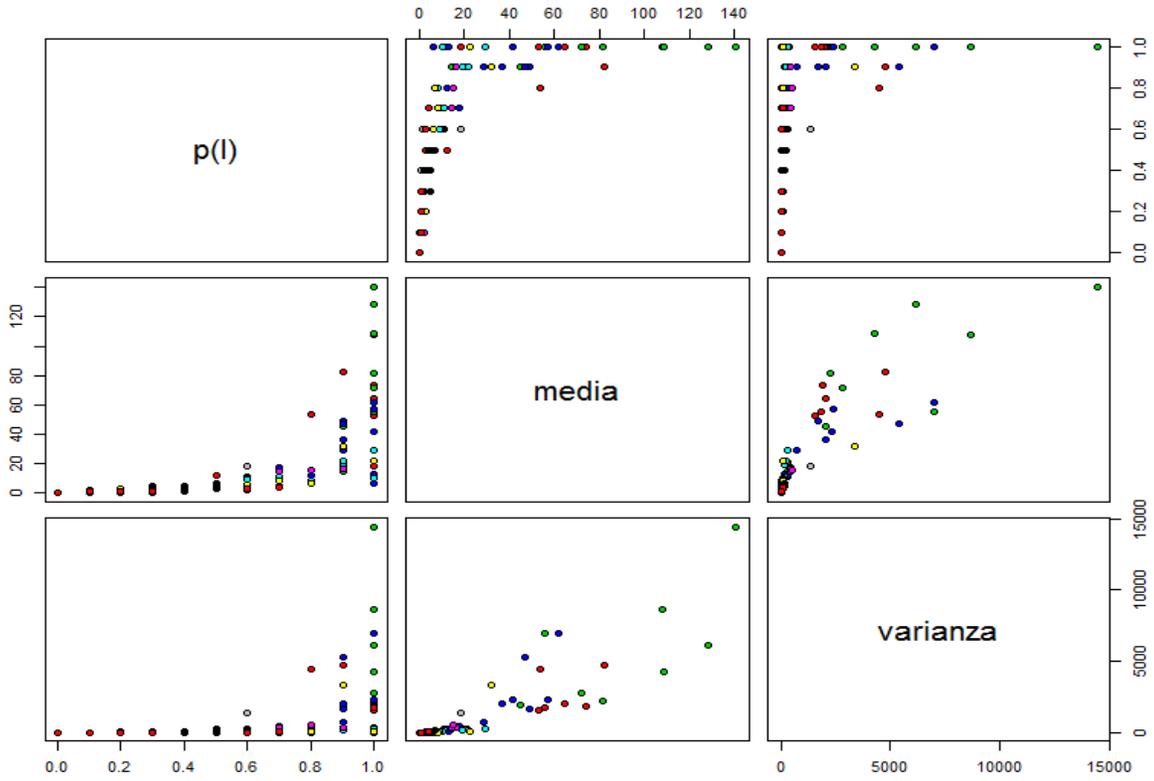
2.6.1 Relación entre la media y hojas infestadas

Para ambas especies de ácaros se observó una estrecha relación entre la media de ácaros por hoja y la proporción de hojas infestadas P (1), en términos del coeficiente de correlación. En ambos casos, los valores fueron positivos, lo que implica que a medida que se incrementa la abundancia de ácaros, también incrementa la proporción de hojas infestadas. La correlación más alta se observó en el ácaro café *O. punicae*, con un coeficiente de 0.75, mientras que, para el ácaro cristalino *O. perseae* el valor fue de 0.63.

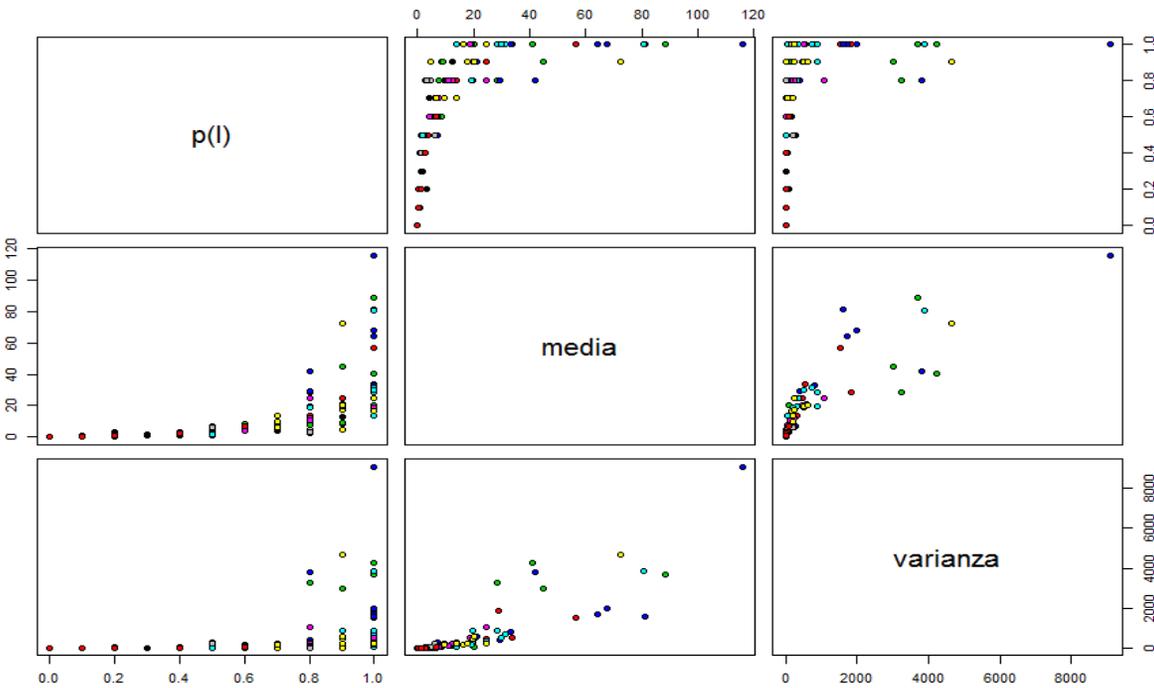
Conforme se incrementa la abundancia de ácaros, también se incrementa la varianza (Fig. 2.1. a y b). Este comportamiento es representativo de organismos que se distribuyen en agregados y puede ser representado con la Ley de la Potencia de Taylor

$$s^2 = am^b$$

Donde la varianza se incrementa en términos de la media y es afectada por el coeficiente a , valor de escala relacionado al tamaño de muestra; mientras que, b es el índice de agregación característico de cada especie. Cuando $b=1$ la disposición es aleatoria, $b>1$ agregado, $b<1$ el arreglo es uniforme.



A



B

Figura 2.1. Matriz de diagramas de dispersión para las variables, proporción de hojas infestadas de aguacate cv. Hass infestadas, media y varianza. A) *O. punicae*, B) *O. perseae*. Coatepec Harinas, Estado de México.

La población de *O. punicae* presentó las medias y varianzas más altas; mientras que, en el caso de *O. perseae*, la media y la varianza fueron menores (Fig. 2.2).

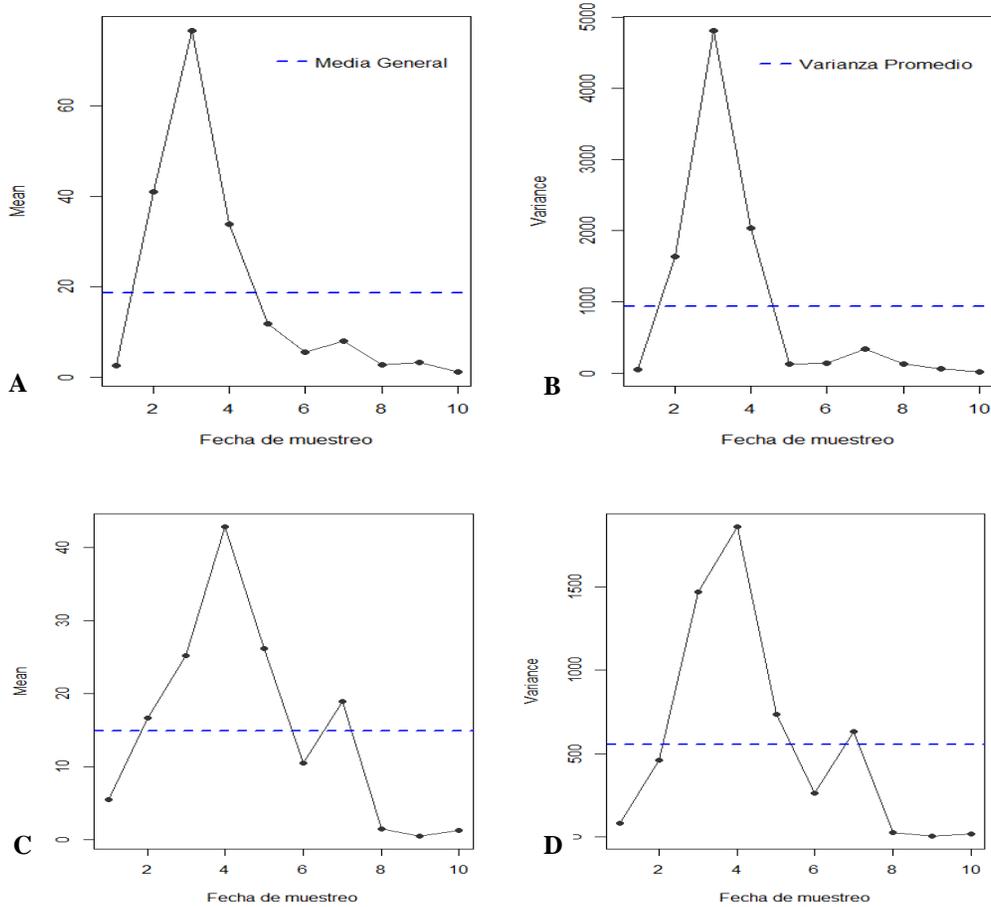


Figura 2.2. Densidad muestral para cada fecha de muestreo para las variables, media y varianza de *O. punicae* (A y B) y *O. perseae* (C y D) en aguacate cv. Hass. Coatepec Harinas, Estado de México.

Por otra parte, con relación a los parámetros poblacionales del número de huevos de *O. perseae*, se observa que, a medida que se incrementa la abundancia de huevos, también se incrementa la frecuencia de hojas infestadas con huevos del ácaro cristalino (Figura 2.3).

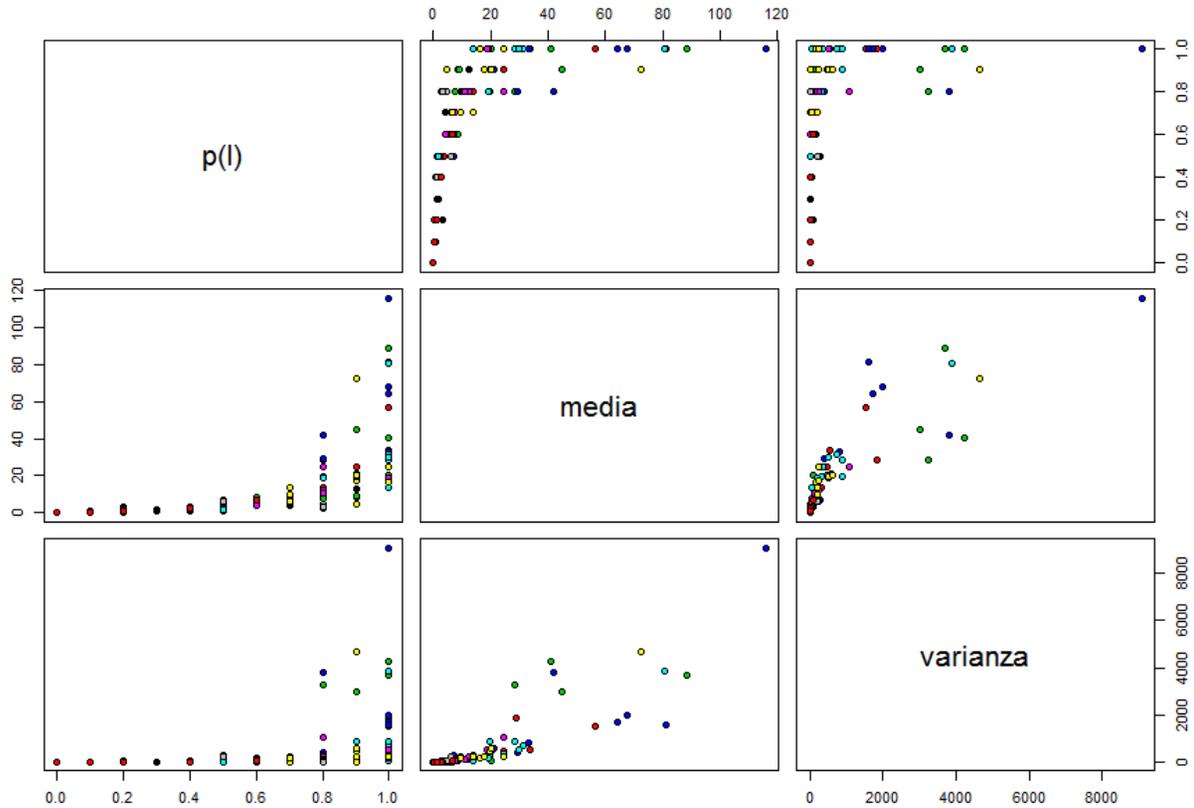


Figura 2.3. Matriz de diagramas de dispersión para las variables, proporción de hojas infestadas de aguacate cv. Hass, media y varianza de huevos del ácaro cristalino *O. perseae*. Coatepec Harinas, Estado de México.

En la cuarta evaluación se alcanza el valor máximo de huevos de *O. perseae*, con una medida de alrededor de 70 huevos/hoja, disminuyendo este parámetro hacia la quinta evaluación, donde se observó una media de poco más de 10 individuos/hoja (Figura 3.4). También se observa un comportamiento similar entre la media y la varianza, donde a medida que se incrementa la media, también aumenta la varianza (Figura 2.4).

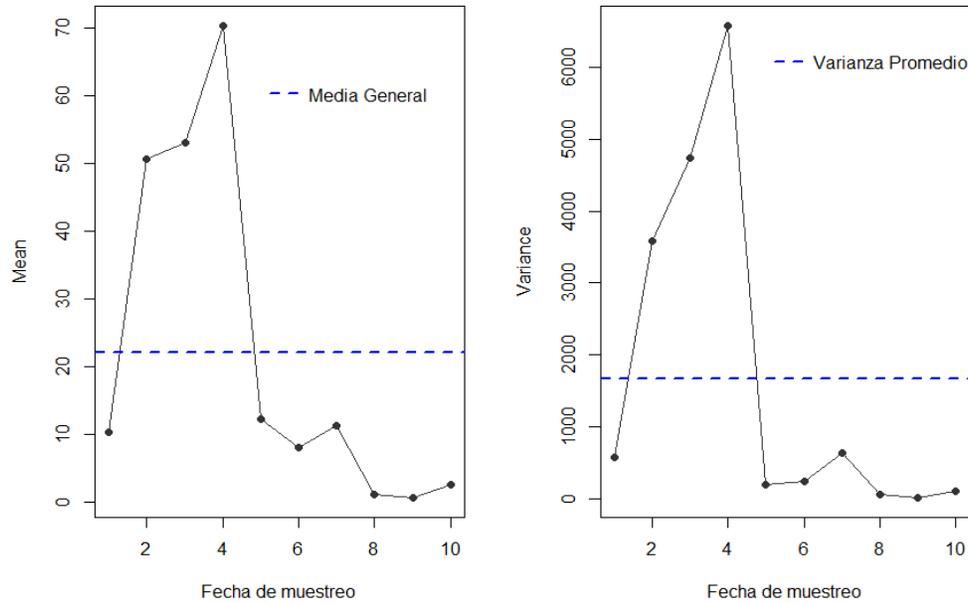


Figura 2.4. Densidad muestral para cada fecha de muestreo para las variables, media y varianza de huevecillos del ácaro cristalino *O. perseae*. Coatepec Harinas, Estado de México.

2.6.2 Modelo de Bliss y Owen

La varianza asociada a los estados móviles de *O. punicae*, es proporcional a su abundancia, representada como media de ácaros por hoja, de tal forma que la línea que representa a los valores pronosticados por el sistema tiene un comportamiento similar al de los valores observados (Figura 2.5). Así también, es importante indicar que, a partir de una media de 60 ácaros/hoja, el 100% de las hojas están infestadas, de tal forma que se pierde la correlación entre media y proporción de hojas infestadas $p(I)$.

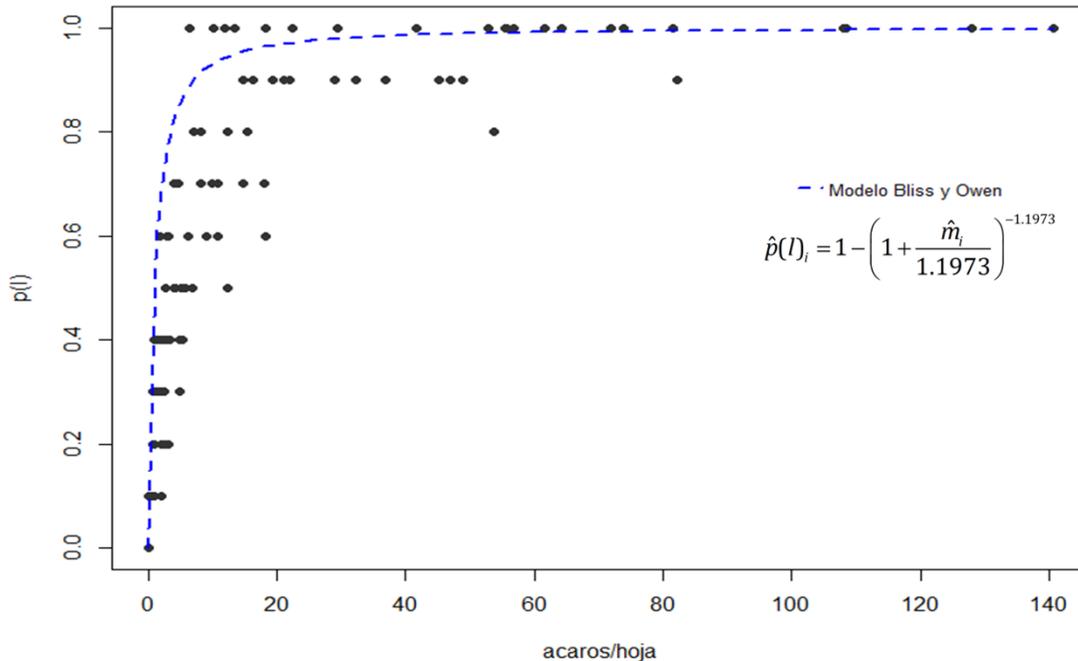


Figura 2.5. Ajuste del Modelo de Bliss y Owen (1958) para la relación entre la proporción de hojas infestadas de aguacate cv. Hass y ácaros/hoja de *Oligonychus punicae*. Coatepec Harinas, Estado de México.

En el caso del modelo de Bliss y Owen (1958) para estimar las medias del ácaro cristalino *O. perseae*, de igual forma, sigue el patrón de los valores observados. En este caso, se aprecia que a partir de una media de 40 ácaros/hoja, se presenta una asíntota, lo que implica que el 100% de las hojas se encuentran infestadas, por lo que a partir de este valor $p(I)$ y la media, no presentan una estrecha correlación, dado que el incremento en la media es independiente de la proporción de hojas infestadas (Figura 2.6).

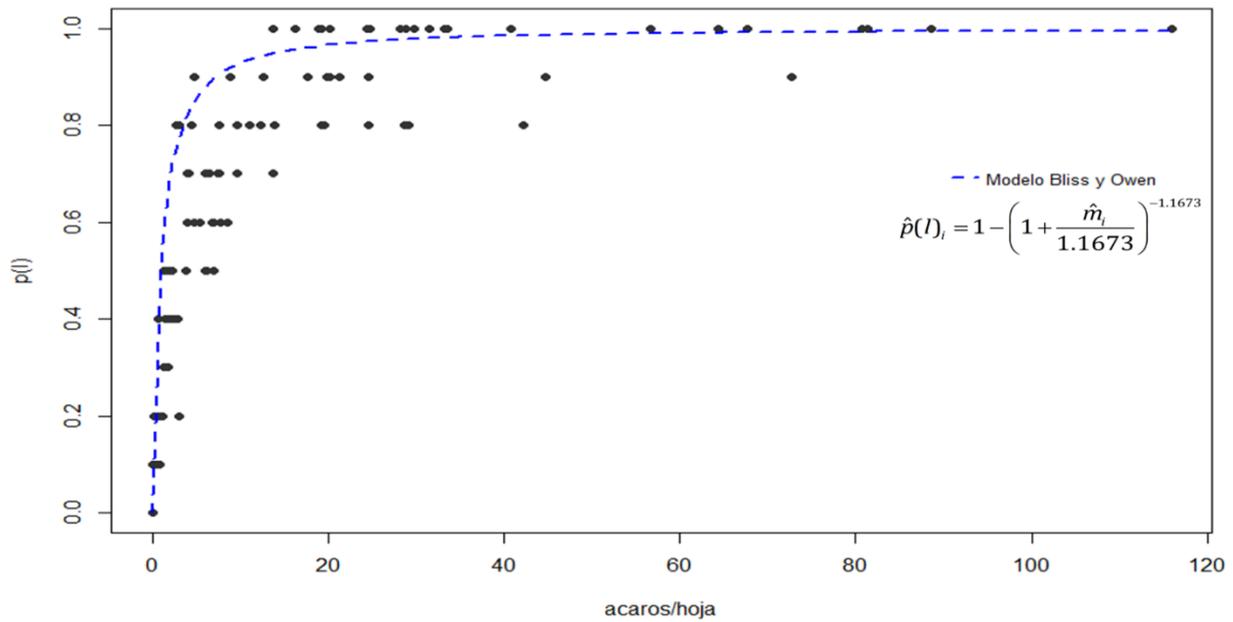


Figura 2.6. Ajuste del Modelo de Bliss y Owen para la relación entre la proporción de hojas infestadas de aguacate cv. Hass y ácaros/hoja de *O. perseae*. Coatepec Harinas, Estado de México.

En el caso de los huevos del ácaro cristalino, la asíntota se presenta cuando existen alrededor de 90 huevecillos/hoja, de tal forma que, a partir de este punto, el 100% de las hojas se encuentran infestadas, por lo que el modelo a partir de este punto, la media se vuelve independiente de la proporción de hojas infestadas (Figura 2.7).

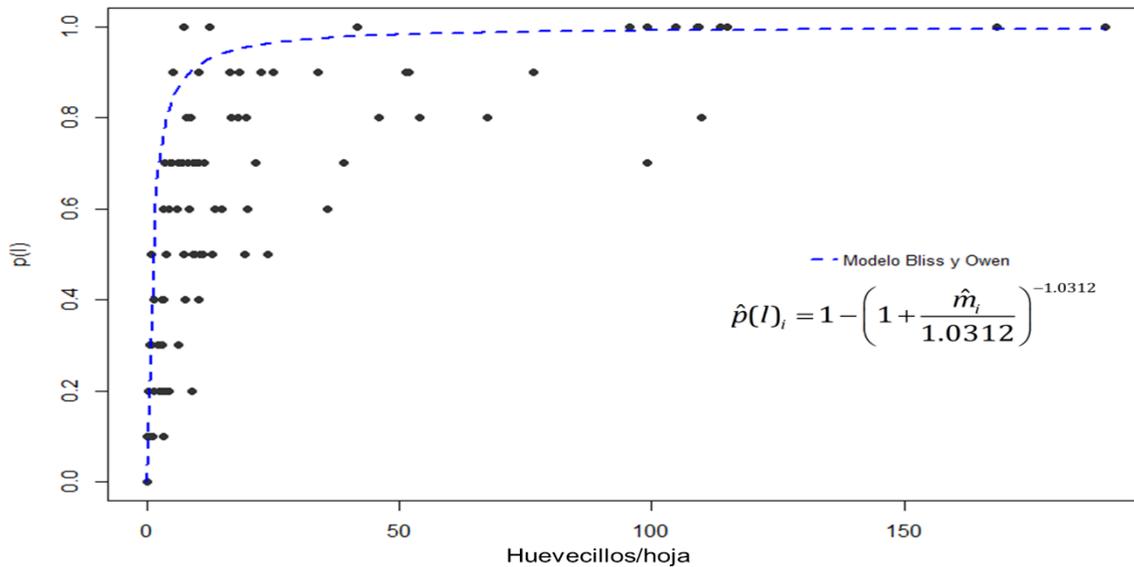


Figura 2.7. Ajuste del Modelo de Bliss y Owen para la relación entre la proporción de hojas infestadas de aguacate cv. Hass y media de huevos de *Oligonychus perseae*. Coatepec Harinas, Estado de México.

2.6.3 Modelo de Wilson y Room (1983)

En el caso de los estados móviles de *O. punicae*, *O. perseae* y huevos de *O. perseae*, se observa que existe una correlación positiva entre la media y la varianza, de tal forma que, a medida que se incrementa el número de ácaros por hoja, la varianza se incrementa exponencialmente (Fig. 2.8).

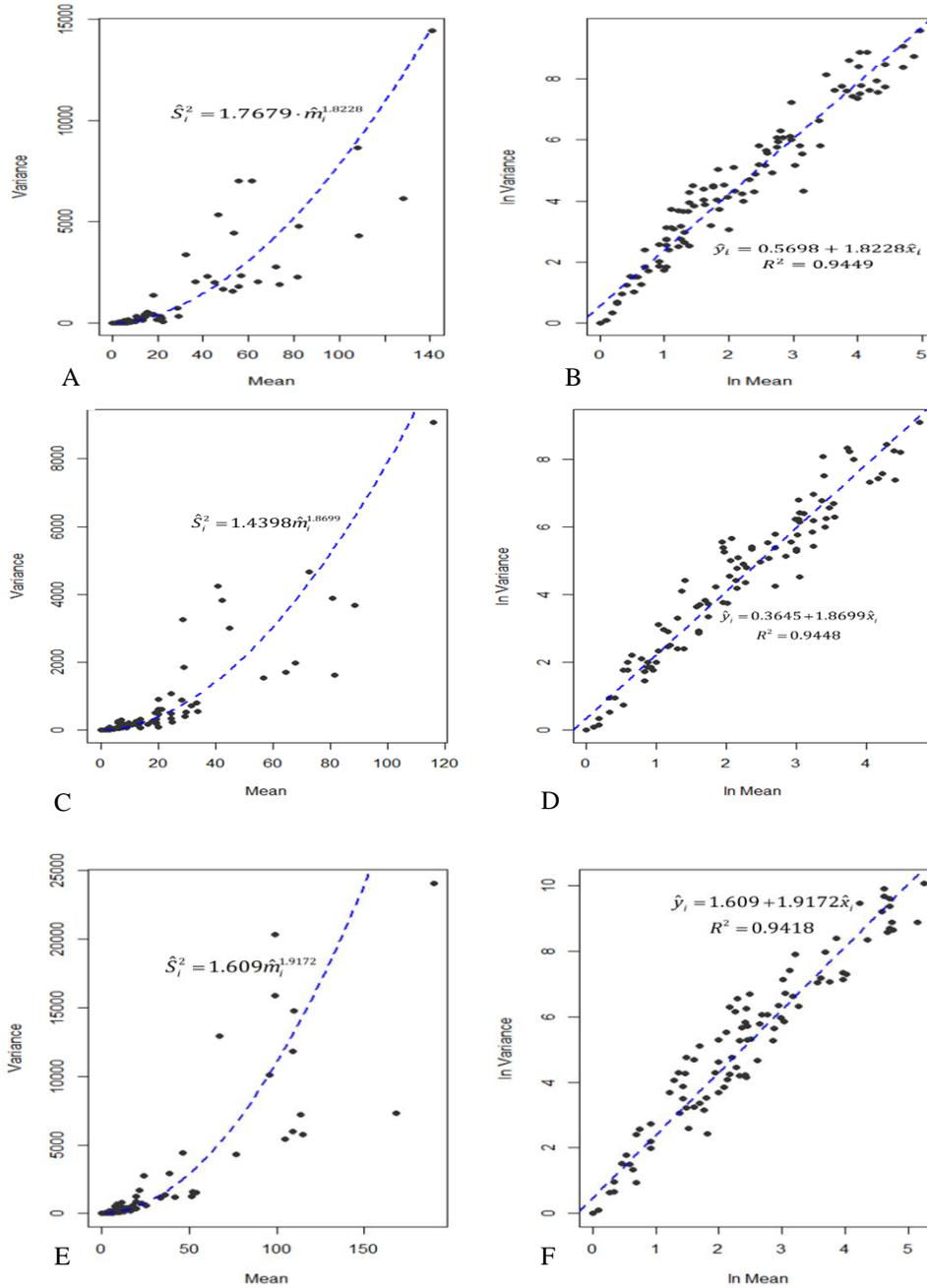


Figura 2.8. Estimación de regresión por cuadrados mínimos para ácaros en aguacate cv. Hass, cálculo de k conforme a la Ley de la Potencia de Taylor. A y B) *O. punicae*, C y D) *O. perseae*, E y F) huevos de *O. perseae*. Coatepec Harinas, Estado de México.

Los valores de b o índice de agregación fueron 1.8228 para el ácaro café, 1.8699 para el ácaro cristalino y 1.9172 para los huevos del ácaro cristalino (Fig. 2.9), es decir el mayor índice de agregación se presentó para esta última variable, considerando que el ácaro cristalino se agrupa en colonias y oviposita en grupos.

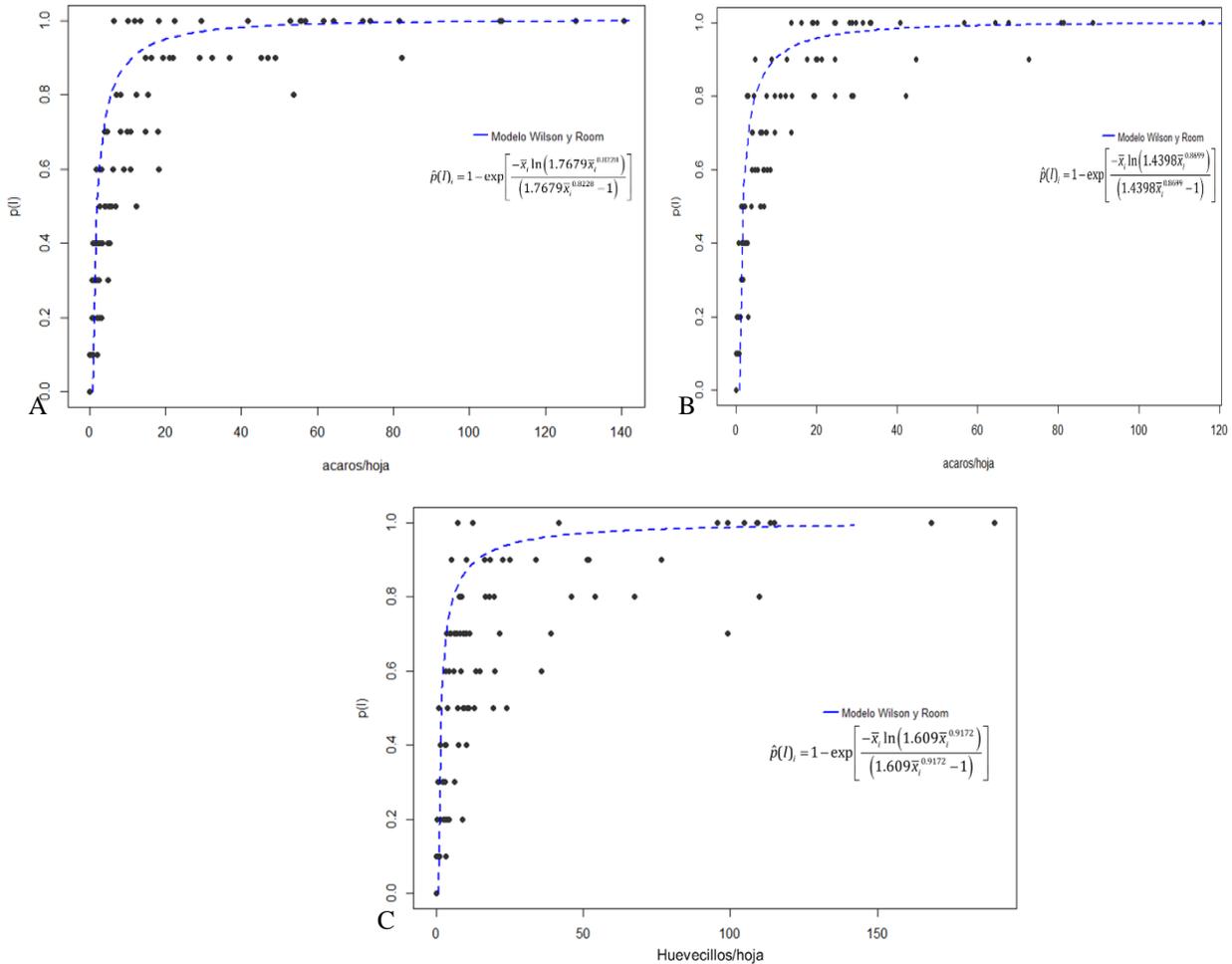


Figura 2.9. Ajuste del Modelo de Wilson y Room (1983) para la relación entre la proporción de hojas infestadas de aguacate cv. Hass y ácaros fitófagos. Coatepec Harinas, Estado de México. A. *O. perseae*, B. *O. perseae*, C. huevos de *O. perseae*.

Los parámetros estimados por la ecuación propuesta por Wilson y Room, misma que se presenta en términos de la proporción de hojas infestadas $\hat{p}(I)$ y de la media \hat{x} (Cuadro 2.5). Es importante hacer notar que, con estas ecuaciones, es posible estimar o inferir la densidad de estados móviles a partir de la proporción de hojas infestadas, dentro de un intervalo y con una determinada confiabilidad.

Cuadro 2.5. Relación entre hojas infestadas y media de ácaros plaga del aguacate, con base en el método de Wilson y Room, expresado en términos de la proporción de hojas infestadas y de la media. Coatepec Harinas, Estado de México.

Especie	Proporción de hojas infestadas	Ácaros por hoja
<i>O. punicae</i>	$\hat{p}(I)_i = 1 - \exp \left[\frac{-\bar{x}_i \ln(1.7679\bar{x}_i^{0.8228})}{(1.7679\bar{x}_i^{0.8228} - 1)} \right]$	$\hat{x} = \exp^{1.7679} (-\ln(1 - p(I)))^{0.8228}$
<i>O. perseae</i>	$\hat{p}(I)_i = 1 - \exp \left[\frac{-\bar{x}_i \ln(1.4398\bar{x}_i^{0.8699})}{(1.4398\bar{x}_i^{0.8699} - 1)} \right]$	$\hat{x} = \exp^{1.4398} (-\ln(1 - p(I)))^{0.8699}$
Huevecillos	$\hat{p}(I)_i = 1 - \exp \left[\frac{-\bar{x}_i \ln(1.609\bar{x}_i^{0.9172})}{(1.609\bar{x}_i^{0.9172} - 1)} \right]$	$\hat{x} = \exp^{1.609} (-\ln(1 - p(I)))^{0.9172}$

2.6.4 Comparación de los modelos de Bliss y Owen y Wilson y Room

De manera gráfica, se aprecia que ambos modelos se ajustan a los datos observados, sin embargo, el modelo de Wilson y Room presentó un mejor ajuste al comportamiento de los datos observados (Fig. 2.10).

2.6.5 Validación de los modelos para estimar la media a partir de la proporción de hojas infestadas

La menor suma de residuales (diferencias entre valores predichos y observados) se presentó con el modelo de Wilson y Room, mientras que el modelo de Bliss y Owen presentó la suma de residuales más alta, es decir el primer modelo presentó el mejor ajuste entre valores predichos y observados, por lo tanto nos permite estimar de manera más precisa la media a partir de una proporción de hojas infestadas, de tal forma que en campo a partir de del conteo de hojas con al menos una forma móvil con respecto al total de hojas muestreadas podríamos calcular una media de estados móviles (ninfas y adultos) por hoja (Cuadro 2.6).

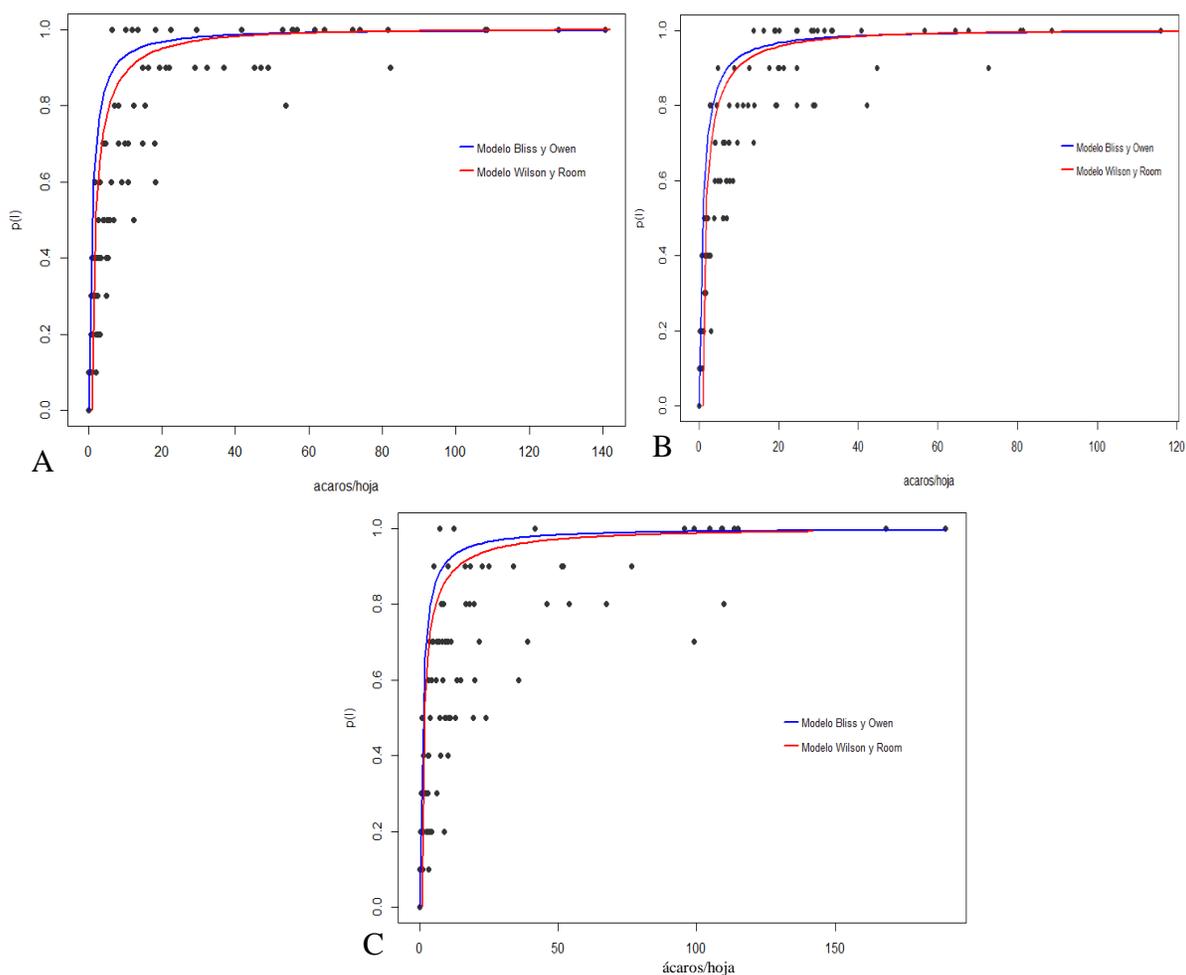


Figura 2.10. Comparación de los modelos de Bliss y Owen y Wilson y Room para la relación entre la proporción de hojas infestadas en aguacate cv. Hass y ácaros/hoja. Coatepec Harinas, Estado de México. A) *O. perseae*, B) *O. perseae*, C) huevecillos de *O. perseae*.

De manera gráfica, también se puede apreciar que los residuales en el modelo de Wilson y Room presentaron un patrón de dispersión aleatorio, mientras que, en el caso del modelo de Bliss y Owen, el patrón de dispersión fue lineal, es decir, el modelo de Wilson y Room presentó el mejor ajuste (Fig. 2.11, 2.12 y 2.13).

Cuadro 2.6. Suma de residuales de los Modelos empleados para relacionar la proporción de hojas infestadas de cv. Hass de aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México.

Especie	Modelo de Bliss y Owen	Modelo de Wilson y Room
<i>O. punicae</i>	69.33632	5.960067
<i>O. perseae</i>	68.41525	4.313689
Huevecillos	67.23237	8.056437

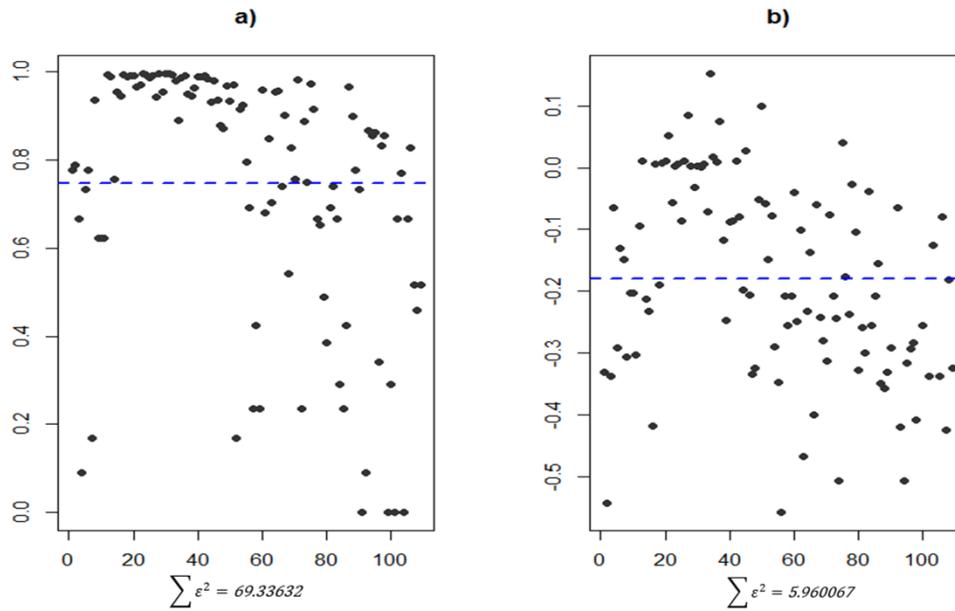


Figura 2.11. Suma de residuales de los Modelos de Bliss y Owen (a) y Wilson y Room (b) para la relación entre la proporción de hojas infestadas en aguacate cv. Hass y ácaros/hoja de *O. punicae*. Coatepec Harinas, Estado de México.

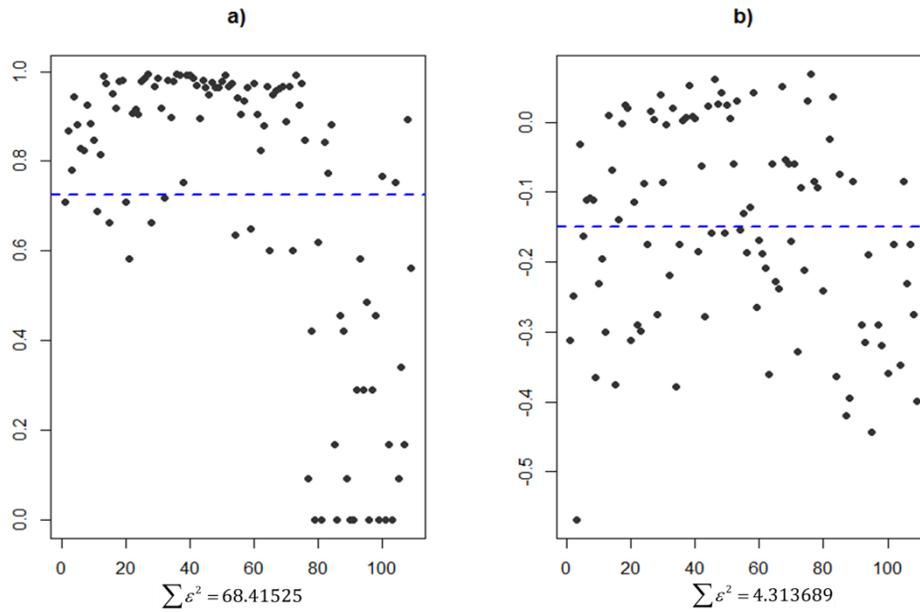


Figura 2.12. Suma de residuales de los Modelos de a) Bliss y Owen y b) Wilson y Room para la relación entre la proporción de hojas infestadas en aguacate cv. Hass y ácaros/hoja de *O. perseae*. Coatepec Harinas, Estado de México.

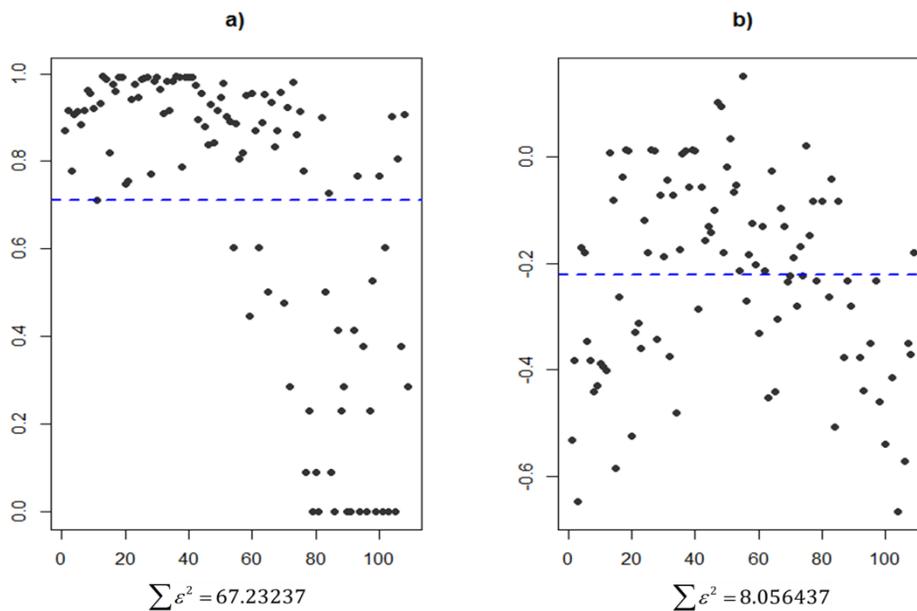


Figura 2.13. Suma de residuales de los Modelos de Bliss y Owen (a) y Wilson y Room (b) para la relación entre la proporción de hojas infestadas en aguacate cv. Hass y huevos/hoja de *O. perseae*. Coatepec Harinas, Estado de México.

2.7 CONCLUSIONES

Existe una alta correlación entre el número de ácaros por hoja y la proporción de hojas de aguacate cv. Hass infestadas con ácaros, de tal forma que, a medida que se incrementan las poblaciones de los ácaros café y cristalino en aguacate, se incrementa la proporción de hojas infestadas. Este tipo de comportamiento entre la media y la varianza permite que el muestreo binomial se pueda emplear para estimar la densidad de estados móviles de los ácaros café *O. punicae*, cristalino *O. perseae* y los huevecillos de esta última especie en follaje de aguacate cv. Hass, a través de la relación entre proporción de hojas infestadas y abundancia de ácaros del presente estudio, donde la correlación más alta se observó en *O. punicae* ($r=0.75$), mientras que, para el caso de *O. perseae*, la relación fue menor ($r=0.63$). Sin embargo, en ambos casos, la correlación es positiva entre la media y la varianza, de tal forma que, a medida que se incrementa el número de ácaros por hoja, la varianza se incrementa exponencialmente.

El mayor índice de agregación o contagio se presentó en el ácaro cristalino *O. perseae*, tanto estados móviles como huevecillos, con valores de 1.87 y 1.92, respectivamente, debido a su comportamiento de formar colonias en las depresiones del envés de las hojas, mismas que cubre con seda, mientras que, el caso del ácaro café *O. punicae*, el valor de $b= 1.82$, dado que tiende a formar colonias por el haz y a dispersarse con la ayuda del viento.

Por otra parte, el cálculo del parámetro k , mediante el modelo de Wilson y Room, permitió estimar de forma más precisa a la media, a partir de una proporción de hojas infestadas. Lo anterior, permite que, a partir de examinar 110 hojas distribuidas en 11 árboles, se pueda determinar la proporción de hojas infestadas y con base en este valor, estimar la media de estados móviles del ácaro café y ácaro cristalino por hoja; así como el número de huevos de esta último.

2.8 LITERATURA CITADA

- Binns, M. R., y Bostanian, N. J. (1990). Robustness in empirically based binomial decision rules for integrated pest management. *J. Econ. Entomol.* 83: 420-427.
- Binns, M. R., y Nyrop, J. P. (1992). Sampling insect populations for the purpose of IPM decision making. *Annu. Rev. Entomol.* 37: 427-453.
- Bliss, C. I. y Owen, A. R. G. (1958). Negative binomial distributions with a common K, *Biometrika*, 45 (1/2): 37-58.
- Davis, P. M. (1994). Statistics for describing populations. pp 33-54. In: Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture, L.P. Pedigo and G.D. Buntin (Eds); CRC Press, Boca Raton.
- Jones, V. P. (1994). Sequential Estimation and Classification Procedures for Binomial Counts. pp 176-204. In: Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture, L.P. Pedigo and G.D. Buntin (Eds); CRC Press, Boca Raton.
- Gerrard, D. J., y Chiang, H. C. (1970). Density estimation of corn rootworm egg populations based upon frequency of occurrence. *Ecology* 51: 237-245.
- Grout, T. G. (1985). Binomial and sequential sampling of *Euseius tularensis* (Acari: Phytoseiidae), a predator of citrus red mite (Acari: Tetranychidae) and citrus thrips (Thysanoptera: Thripidae). *J. Econ. Entomol.* 78: 567-570.
- Grabovska, S. L., Mykolaiko, I.I., y Mykolaiko, V. P. (2017). Structure patterns of phytoseiid mite communities in urban plant associations. *Ukrainian Journal of Ecology.* 7(4): 179-186.
- Ingram, W. R. y Green, S. H. (1972). Sequential sampling for bollworm on rain grow cotton in Botswana. *Cotton Grow. Rev.* 40:265-277.
- Karandinos, G. M. (1976). Optimum Sample Size and Comments on Some Published Formulae. *Bulletin of the Entomological Society of America.* 22 (4): 417-421.
- Kono, T., y Sugino, T. (1958). On the estimation of the density of rice stems infested by the rice stem borer. *L Appl. Entom. Zool* 2 (3): 184-188.
- Legg, D. E. y Moon, R. D. (1994). Bias and Variability in Statistical Estimates. Pp. 55-69. In: Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture, L.P. Pedigo and G.D. Buntin (Eds); CRC Press, Boca Raton.
- López, C. J. (2004). Introducción a la Estadística Entomológica. Colegio de Postgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Veracruz, México. 137 p.

- Martínez, F. M., Ripollés, J. L., García, F. M. (2006). Enumerative and Binomial Sampling Plans for Citrus Mealybug (Homoptera: Pseudococcidae) in Citrus Groves. *Journal of Economic Entomology*. 99 (3): 993–1001.
- Nachman, G. (1984). Estimates of mean population density and spatial distribution of *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acarina: Phytoseiidae) based on the proportion of empty sampling units. *J. Appl. Ecol.* 21: 903-913.
- Pedigo, L. P., y Buntin, G. D. (1994). Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture. CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida. 715 p.
- SAS Institute Inc. (2002). Statistical analysis system. Release 9. CD Computer Software. Cary, NC. USA.
- Schaalje, F. B., Butts, R. A., y Lysyk, T. J. (1991). Simulation studies of binomial sampling: a new variance estimator and density predictor, with special reference to the Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). *J. Econ. Entomol.* 84: 140-147.
- Tollerup, K. E., Marcum, D., Wilson, R., y Godfrey, L. (2013). Binomial and Enumerative Sampling of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on Peppermint in California. *J. Econ. Entomol.* 106 (4): 1707-1715.
- Waters, W. E. (1959). A quantitative measure of aggregation in insects. *J. Econ. Entomol.* 52: 1180-1184.
- Wilson, L. T., Thomas, L. F., y Maggi, V. (1981). Presence – absence sampling of spider mite densities on cotton. *California Agriculture. July- August*. P: 10.
- Wilson, L. T. y Room, P. M. (1983). Crumpling pattern and arthropods in cotton, with implications for binomial sampling. *Environmental Entomology*. 12 (1): 50-54.
- Wilson, L. T., Hoy, M. A., Zalom, F. G., y Smilanick, J. M. (1984). Sampling mites in almonds. I. The within-tree distribution and clumping pattern of mites with comments on predator-prey interactions. *Hilgardia*. 52(7): 1-13.
- Wilson, L. T. (1994). Estimating abundance, impact, and interactions among arthropods in cotton agroecosystems. *In: Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture*. Pedigo L. P and Buntin G. D. eds. pp. 475-514.
- Zalom, F. G., Wilson, L. T., Kennett, C. E., Connel, N. V. O., Flaherty, D. L. y Morse, J. G. (1986). Presence – absence sampling of citrus red mite, the speed and simplicity of the system make it highly practical. *California Agriculture. March – Abril*. Pp. 15-16.

CAPITULO III. EFECTOS DE ELEMENTOS CLIMÁTICOS EN LAS DENSIDADES DE *Oligonychus punicae* Hirst Y *O. perseae* (Tuttle, Baker y Abbatiello) EN AGUACATE cv. Hass, EN COATEPEC HARINAS, ESTADO DE MÉXICO

3.1 RESUMEN

En 2002 se cuantificó la densidad poblacional de *O. punicae* y *O. perseae* en follaje de árboles de aguacate cv. Hass, en Coatepec Harinas, estado de México. Las mayores densidades de *O. punicae* se observaron a inicios de febrero de 2002, con una media de 76 estados móviles por hoja. Mientras que, *O. perseae* fue más abundante a finales de dicho mes, con 42 estados móviles por hoja. Las menores densidades de ambas especies se presentaron a partir de la segunda semana de enero a mediados de mayo, 2002. Mediante el coeficiente de Pearson se determinó que la lluvia es el principal factor que afecta las poblaciones de *O. punicae* ($r=-0.77$, $P=0.0001$) y *O. perseae* ($r=-0.74$, $P=0.0001$) y a los huevecillos de esta última ($r=-0.71$, $P=0.0001$). La temperatura y humedad relativa no tuvieron una relación directa con la densidad.

Palabra clave: ácaros, aguacate, plaga, lluvia, temperatura, humedad relativa.

3.2 SUMMARY

Population abundance of *Oligonychus punicae* and *O. perseae* was studied in 2002 on avocado trees cv. Hass in Coatepec Harinas, Estado de México. The highest *O. punicae* population density was observed at the beginning of February, with 76 mites/ leaf. While *O. perseae* was more abundant at the end of that month, with 42 mites/ leaf. The smallest densities in both avocado mite species were observed starting from the second week of January up to half of May 2002. The rainfall is the main factor that affects the populations of *O. punicae* ($r=-0.77$, $P=0.0001$) and *O. perseae* ($r=-0.74$, $P=0.0001$) and the eggs of this last one ($r=-0.71$, $P=0.0001$). The temperature and relative humidity did not have a direct relationship with the avocado mite density.

Key word: mites, avocado, pests, rainfall, temperature, relative humidity.

3.3 INTRODUCCIÓN

El cultivo de aguacate se distribuye principalmente a lo largo del eje neovolcánico, incluyendo los estados de Michoacán y México; dentro de éste último, las principales zonas productoras son: Coatepec Harinas (2,036 ha), Tenancingo (830 ha), Donato Guerra (564 ha), Almoloya de Alquisiras (503 ha), Temascaltepec (420 ha) y Villa de Allende (399 ha), las cuales representan el 71.2% de la superficie estatal dedicada a este cultivo, correspondiente a 4,652 ha (SIAP, 2015).

Asociados con el aguacate se reportan 10 especies plaga importantes, dentro de las cuales, destacan los picudos barrenadores de la semilla *Conotroachelus perseae* (Barber), *C. aguacatae* (Barber) y *Heilipus lauri* Boheman, el picudo barrenador de ramas *Copturus aguacatae* Kissinger, la palomilla barrenadora del fruto *Stenoma catenifer* Walsingham, así como los ácaros, *O. punicae* Hirst y *O. perseae* Tuttle, Baker & Abbatiello. Las especies barrenadoras son también de importancia cuarentenaria, debido a las restricciones comerciales que representa su presencia para la exportación de frutos (García *et al.*, 1976; González *et al.*, 2000).

A los ácaros se les ha prestado poca importancia, sin embargo, se considera que *O. punicae* a densidades de 300 individuos por hoja, ocasiona un bronceado de hojas y defoliación parcial (Badii *et al.*, 2000). Algunos autores mencionan que, la defoliación puede ocurrir a densidades menores, por ejemplo, cuando se presentan 70 hembras adultas por hoja durante cortos periodos o 50 hembras por hoja durante varias semanas (Landeros y Cerna, 2010). Los valores anteriores, son utilizados en algunas zonas como un criterio para decidir el momento oportuno para iniciar medidas de control. Así también, cuando el porcentaje de daño foliar excede el 8%, la probabilidad de que ocurra una defoliación es muy alta (Hoddle, *et al.*, 2000).

El ácaro cristalino *O. perseae* ocasiona puntos necróticos por el envés, originados por la alimentación de los estados móviles (ninfas y adultos). Estas lesiones, pueden ser visibles por el haz y corresponden a los sitios en que se ubican las colonias. Cuando se presentan altas densidades en campo, las lesiones pueden llegar a cubrir hasta el 90 % de la superficie de la hoja (Aponte y McMurtry, 1997).

3.4 REVISIÓN DE LITERATURA

Las poblaciones de ácaros, al igual que otros organismos, son influidos por los elementos y condiciones del medio como son: temperatura, humedad, disponibilidad de hospederos y enemigos naturales; de tal forma que la tasa de desarrollo de una población depende en gran parte de su capacidad para adaptarse a las condiciones cambiantes del medio, así como de sus preferencias de alimentación y capacidad reproductiva (Jeppson *et al.*, 1975). Al respecto, Roy *et al.* (2014), observaron que las poblaciones de *O. coffeae* Nietner en el cultivo de té *Camellia sinensis* (L.) Kuntze se incrementan conforme la temperatura aumenta y decrecen marcadamente, una vez que el periodo de lluvias se establece. Así también, encontraron que la temperatura, humedad relativa y clon de té donde se desarrolla esta especie, influye en la capacidad reproductiva, periodo de incubación y eclosión de los huevecillos.

El tamaño pequeño de los ácaros les provee poca protección contra los cambios estacionales del medio, por lo que diversas especies de ácaros han desarrollado estrategias para enfrentar esta situación, de tal forma que pueden presentar diapausa, migración hacia sitios de protección o forman agallas, mediante la inyección de reguladores de crecimiento a los tejidos vegetales, mismas que protegen a los ácaros. Otros mecanismos de protección consisten en producir huevecillos resistentes al clima o protección de éstos, mediante la producción de telaraña (Badii *et al.*, 2000; Jeppson *et al.*, 1975).

Por otra parte, cuando se presentan altas densidades de una población, la competencia intraespecífica también aumenta y limita a dicha población; tal es el caso de *O. punicae* en aguacate. Este fenómeno se debe, en gran parte, a que los ácaros al alimentarse ocasionan el necrosamiento de las hojas, lo que resulta desfavorable para el desarrollo de los ácaros (Mc Murtry, 1970).

En esta investigación, se estimó la densidad del ácaro café *O. punicae* y cristalino *O. perseae*, a través del año y el efecto de los elementos del medio como temperatura, precipitación y humedad relativa, en sus poblaciones.

3.5 MATERIALES Y MÉTODOS

3.5.1. Parcela experimental y condiciones ambientales

El estudio se estableció en una parcela de aguacate cv. Hass de ocho años de edad, con una superficie de 0.75 ha, localizada dentro del campo experimental La Cruz, en el Municipio de Coatepec Harinas, estado de México (18°55', 99°44', 2278 msnm) a la cual se le realizaba un manejo agronómico regional con respecto a labores culturales y fertilización, excepto que no se aplicaron plaguicidas, para evitar que interfirieran con el experimento. A este huerto se le daba riego por gravedad, el cual se hace uso solo en los periodos secos del año (diciembre, febrero y abril). La fertilización incluía la aplicación de gallinaza a dosis de 34 kg árbol⁻¹ año⁻¹, al inicio de las primeras lluvias.

3.5.2. Registro de datos climáticos

La temperatura y humedad relativa se registraron mediante un sensor electrónico Datalogger HOBO® Pro v2, U23-001 (Onset Computer Co. Burne, MA. USA), de enero a diciembre del 2002; mismo que se colocó en el centro del huerto experimental, a una altura de 1.5 m. El instrumento se programó para registrar dichas variables a intervalos de 1 h. El registro de la precipitación pluvial en milímetros de lluvia por día, se realizó cada 24 h mediante un pluviómetro tipo Taylor tipo ClearVu con 6" de capacidad (Taylor Estado de México, México) ubicado a una altura de 1.5 m, ubicado al centro del huerto. Con esta información, se calcularon los valores diarios de humedad relativa, temperatura máxima, mínima y media; mientras que, la precipitación se consideró por día y por acumulación durante el periodo previo a cada muestreo.

3.5.3. Registro de la densidad de ácaros plaga

Los muestreos de ácaros se realizaron a intervalos de dos semanas; en cada ocasión, se tomaban 100 hojas al azar en diez árboles (10 por árbol) elegidos al azar. Este material se conservó refrigerado a 4°C en bolsas de plástico herméticas (Ziploc) y posteriormente en laboratorio se determinó el número de formas móviles de ambas especies por hoja. La separación de especies de

ácaros se realizó con base en la coloración y tamaño; caracteres que son muy contrastantes entre ambas especies. Adicionalmente, se realizaron montajes de los ácaros para corroborar su identificación. Los recuentos de ácaros se realizaron con un microscopio estereoscópico y para evitar errores en los mismos, se procuraba mantenerlos inmóviles al colocarlos dentro de un refrigerador a 4 °C, por 2 a 3 minutos antes de ser registrados. Cabe señalar que *O. punicae* fue más activo sobre las hojas examinadas, comparado con *O. perseae*, debido a que los individuos de ésta última especie se ubican dentro de colonias protegidas por seda.

3.5.4. Análisis para determinar el efecto de elementos climáticos en la densidad poblacional

Los registros de la temperatura, humedad y precipitación se correlacionaron con las densidades promedio de estados móviles (larvas, protoninfas, deuteroninfas y adultos) y huevecillos por fecha de muestreo. En el caso de la precipitación, la correlación se hizo con el valor acumulado durante el periodo anterior a cada fecha de muestreo.

En estos análisis de correlación se utilizó el coeficiente de Pearson, que oscila entre -1 y $+1$. Un valor igual a 1 indica una relación lineal perfecta, en tanto que próximo a cero, indica que no hay relación lineal entre las dos variables y el análisis estadístico se realizó con el programa SAS ver. 9 (SAS, 2002).

3.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.6.1 Fluctuación poblacional

El periodo de mayor densidad para *O. punicae* fue del 25 de enero de 2002 al 23 de febrero de 2002, tiempo durante el cual se observó una media de 50.3 ácaros/hoja, con un pico poblacional el 2 de febrero de 2002, donde se alcanzaron 76.2 ácaros/hoja (Figura 3.1), por lo que *O. punicae* fue la especie más abundante en aguacate, y con un comportamiento poblacional unimodal. Esta especie comenzó a incrementarse a partir de la primera semana de enero, alcanzando su valor máximo a inicios de febrero, disminuyendo a valores de 11.9 hasta 1.2 ácaros/hoja el 2 de agosto y 26 de octubre de 2002 (Figura 3.1). Este nivel de infestación de principios de año ocasionó cierto grado de defoliación, lo que puede provocar quemaduras en los frutos expuestos a los rayos

solares, con lo que estos frutos pierden valor comercial. Con base en las observaciones y en el umbral (70 individuos) propuesto por Sances *et al.* (1982), se considera que, en Coatepec Harinas, estado de México, se presentan periodos donde la densidad de *O. punicae* se eleva lo suficiente, justificando la aplicación de medidas de control. Lo anterior, contrasta con lo reportado por Coria y Ayala (2010), quienes dieron seguimiento a la población de *Oligonychus punicae* en Uruapan, Michoacán durante el 2009 y observaron que la población del ácaro café comienza a incrementarse desde la segunda semana de abril hasta la segunda semana de junio, y que el pico poblacional se presentó en la última semana de mayo, donde se presentaron cerca de 280 ácaros/ hoja, densidad cuatro veces más alta a lo observado en Coatepec Harinas, estado de México.

En el caso de *O. perseae*, el pico de mayor densidad se registró el 23 de febrero de 2002, con densidades de 43 estados móviles/ hoja y 70.4 huevecillos/ hoja, lo que correspondió al periodo en el que los árboles se encontraban en pleno desarrollo vegetativo (Figura 3.1). Mientras que, las densidades más bajas se observaron a partir de mediados de mayo, lo que corresponde a la etapa de cuajado o amarre de frutos (Figura 3.1). Lo anterior concuerda con lo reportado por Coria y Ayala (2010) quienes indican que, en Uruapan, Michoacán el ácaro cristalino se presenta durante todo el año, pero con mayor severidad en primavera, siguiendo un comportamiento unimodal.

Con base en las densidades registradas, se observa que únicamente a finales de febrero se podría justificar la aplicación de alguna medida de control, tomando en consideración que el umbral de acción empleado en Israel es de 50 formas móviles/ hoja (Maoz *et al.* 2011).

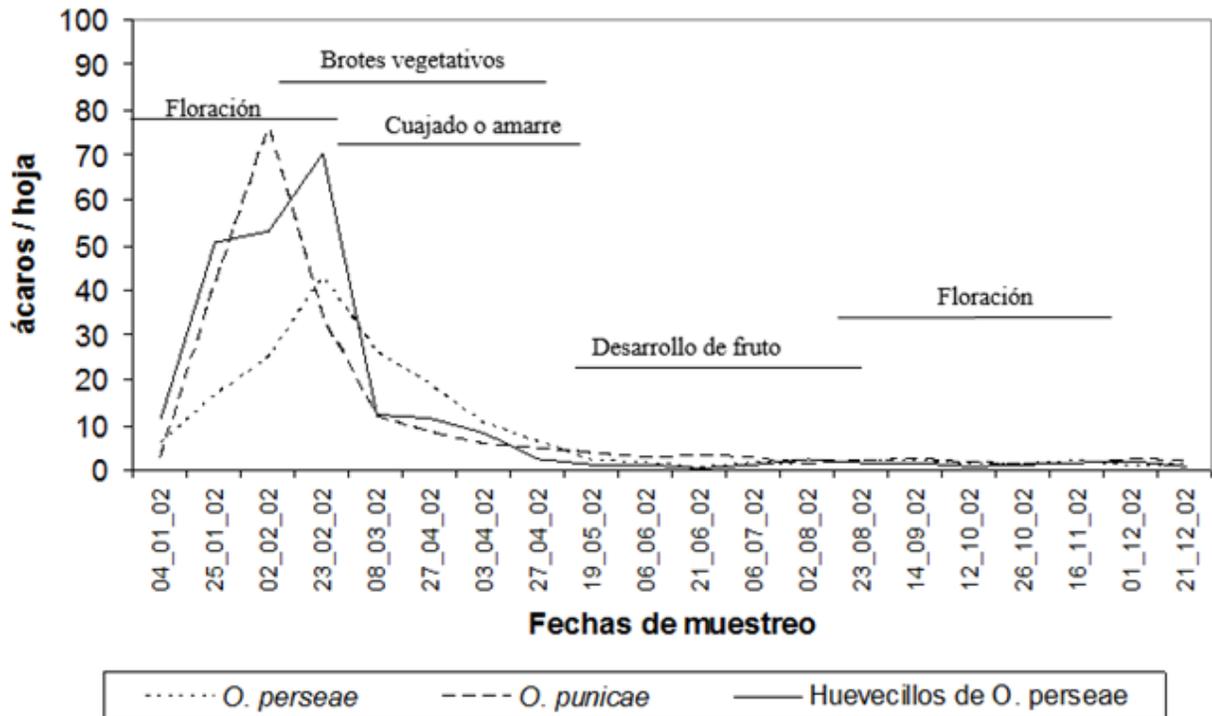


Figura 3.1. Fluctuación de la densidad poblacional de *O. punicae* y *O. perseae*, y fenología del aguacate cv. Hass. Coatepec Harinas, Estado de México. 2002.

Por otra parte, se observó que cuando se presentaron las primeras precipitaciones durante la tercera semana de mayo, comenzaron a reducirse drásticamente las poblaciones de ambas especies de ácaros, lo cual coincide con parte del periodo de brotación vegetativa y amarre de frutos (Figura 3.1 y 3.2). Por otro lado, *O. perseae* se observó que prefiere hojas jóvenes, donde forma colonias compactas, junto a las nervaduras, lo que correspondió al periodo de brotación que se presenta hacia finales de febrero.

Por otra parte, se observa que la precipitación presentó un comportamiento bimodal, con dos picos de precipitación que se presentó hacia la segunda semana de mayo y última semana de agosto (Figura 3.2).

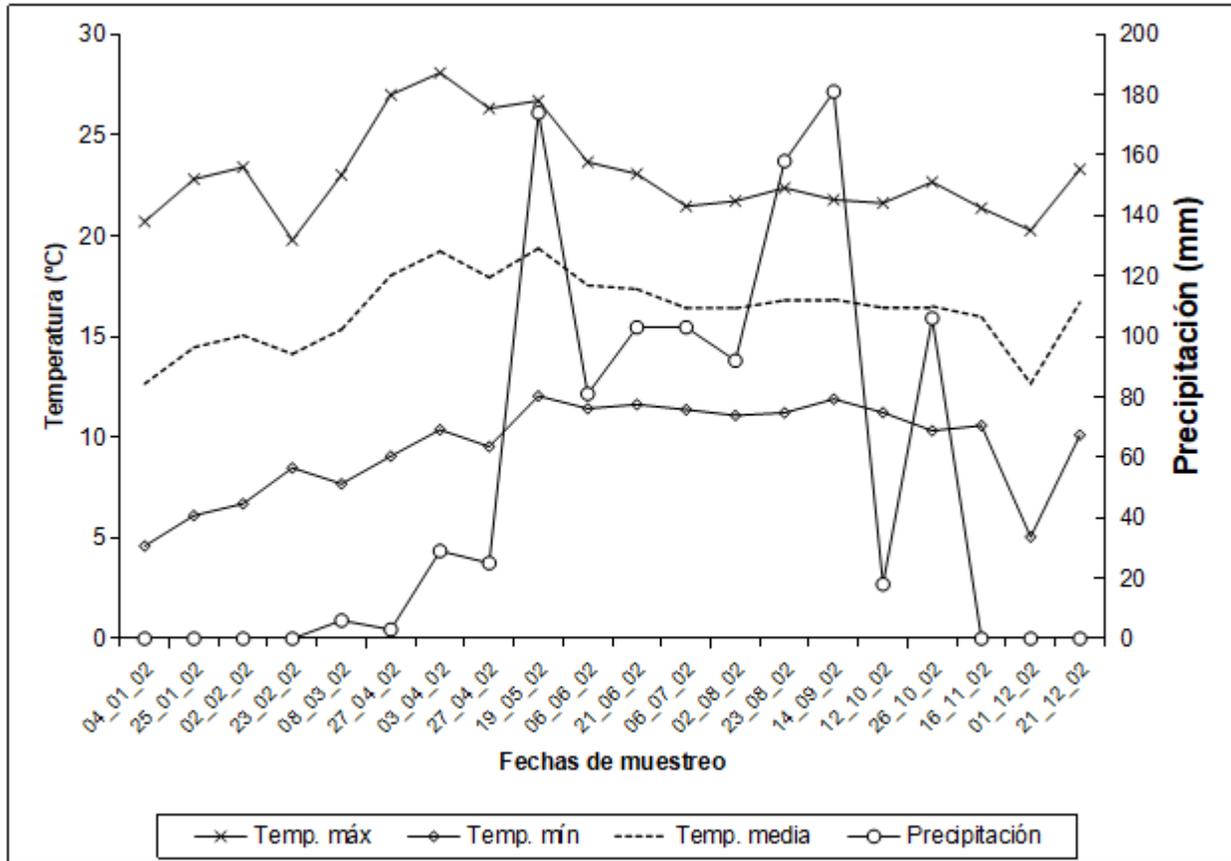


Figura 3.2. Temperatura y precipitación pluvial registradas en el huerto La Cruz de aguacate cv. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México. 2002.

3.6.2 Efecto de los factores del clima en la densidad de ácaros

De manera general, a medida que se incrementa la temperatura máxima, se incrementan las poblaciones de formas móviles tanto de *O. punicae* como de *O. perseae* en los meses de enero y febrero, dado que, para ambas especies, se detectó una correlación positiva entre ambas variables (*O. punicae* $r=0.21$, $P=0.37$; *O. perseae* $r=0.13$, $P=0.58$). Lo anterior, corresponde con lo señalado con Lemus y Pérez (2016) quienes indican que *O. punicae* y *O. punicae* se pueden encontrar durante todo el año, pero la mayor incidencia se presenta en los meses secos y calurosos del año (febrero a mayo), y que la lluvia es el principal elemento que abate las poblaciones de *O. punicae*, afectando en menor medida a *O. perseae*.

Sin embargo, el principal elemento del clima que afecta la abundancia de ácaros es la precipitación pluvial, dado que, a mayor precipitación, se reducen las densidades de ácaros, de tal forma que, el coeficiente de correlación fue de $r = -0.77$ ($P = 0.0001$) para el ácaro café y $r = -0.74$ ($P = 0.0001$) para el cristalino. Así también, se observó una relación inversa entre la precipitación pluvial y el número de huevecillos de *O. perseae* ($r = 0.70$, $P = 0.0005$) (Cuadro 3.1).

El principal efecto de la precipitación pluvial ocurre por el lavado o derribo del sustrato de los individuos, resultando con un mayor impacto en la población del ácaro café *O. punicae*, mismo que se ubica en el haz de las hojas, desprovisto de áreas de refugio. Este efecto de la precipitación en la abundancia de ácaros, ha sido documentado para otras especies, como es el caso de *O. coffeae*, donde se ha observado que su densidad depende de las condiciones agroclimáticas prevalecientes (temperatura máxima y mínima, así como precipitación), de tal forma que, en el sur de la India, se ha observado que el incremento en las poblaciones de *O. coffeae* inicia entre febrero y marzo, alcanzando el pico poblacional entre abril y mayo, cuando se tienen escasas precipitaciones y altas temperaturas. Posteriormente, la densidad de población se reduce una vez que se establecen las precipitaciones, lo cual ocurre entre julio y octubre. Así también, indican que las lluvias esporádicas y ligeras, tienen poco efecto sobre las poblaciones de la plaga (Gotoh y Nagata, 2001).

Por su parte Goolsby *et al.* (2005), observaron que las lluvias son el principal factor que afecta las densidades del ácaro *Floracarus perrepae* Knihinicki & Boczek (Eriophyidae), especie plaga del helecho trepador del viejo mundo *Lygodium microphyllum* (Cav.).

Otro factor que influye negativamente en la abundancia de *O. punicae* y *O. perseae*, es la humedad relativa ($r = -0.565$ para *O. punicae*, $r = -0.409$ para *O. perseae* y $r = -0.41826$ para huevecillos de *O. perseae*) dado que, al incrementarse la humedad relativa, los estados móviles y huevecillos de *O. perseae* se reducen, debido a la deshidratación de los ácaros y sus huevecillos, lo que concuerda con lo reportado por Roy *et al.* 2014, quienes observaron que la humedad relativa influye negativamente en la capacidad de producción, periodo de incubación y eclosión de los huevos de *O. coffeae*.

Cuadro 3.1. Coeficientes de correlación (r) entre elementos del clima y la densidad de ácaros en aguacate. Coatepec Harinas, Estado de México. 2002.

Elemento / especie	<i>O. punicae</i>	<i>O. perseae</i> (estados móviles)	<i>O. perseae</i> (huevecillos)
T° máxima	0.21317 (P=0.3669)	0.13154 (P=0.5804)	-0.01295 (P=0.95)
T° mínima	-0.49783 (P=0.0255)	-0.51185 (P=0.0211)	-0.67776 (P<0.01)
T° media	-0.18109 (P=0.4448)	-0.24071 (P=0.3066)	-0.43627 (P=0.05)
Humedad relativa	-0.56530 (P=0.0094)	-0.40910 (P=0.0733)	-0.41826 (P=0.06)
Precipitación acumulada	-0.77040 (P=0.0001)	-0.74115 (P=0.0002)	-0.70633 (P<0.01)

Al correlacionar los parámetros climáticos y la densidad de los ácaros, solamente hubo coeficientes superiores a -0.7 en el caso de precipitación acumulada (Cuadro 3.1). También algunos factores bióticos y abióticos se pueden presentar de manera diversa regulando a una población, además de otros como son: hospedero (disponibilidad de recurso, etapa fenológica, condición nutricional), manejo del hospedero o cultivo (aplicación de plaguicidas, fertilización, podas, variedad) y enemigos naturales (depredadores y patógenos), entre otros, los cuales interactúan de manera compleja. Por ejemplo, la humedad relativa se relaciona con la precipitación y, por lo tanto, se espera que la densidad de los ácaros disminuya conforme la humedad relativa aumenta.

3.7 CONCLUSIONES

Las densidades más altas de *O. punicae* ocurren hacia la floración de primavera, antes de que ocurra la brotación plena, mientras que en el caso de *O. perseae* las poblaciones más altas se observan durante la brotación vegetativa y amarre de frutos. En el huerto experimental de aguacate, en Coatepec Harinas, estado de México, el ácaro más importante como plaga fue *O. punicae*, el cual puede presentarse a densidades de 70 ácaros/ hoja, lo que hace necesario aplicar medidas de manejo, para reducir su incidencia y daños en el cultivo.

Existe una relación positiva entre la temperatura y la abundancia de *O. punicae* y *O. perseae*, al incrementarse la temperatura se incrementa la densidad de ambas especies, sin embargo, los principales factores que reducen sus poblaciones es la precipitación y la humedad relativa, las cuales inciden negativamente en mayor grado sobre *O. punicae*, mientras que en el caso de *O. perseae* el efecto es menor.

3.8 LITERATURA CITADA

- Aponte, O. y Mc Murtry, A. J. (1997). Damage on 'Hass' avocado leaves, webbing and nesting behaviour of *Oligonychus perseae* (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acar.* 21: 265 - 272.
- Badii, M. H., Flores, A.E. y Ponce, G. (2000). *Fundamentos y perspectivas del control biológico*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Editores Badii, M. H., Flores E. A. y Galán W. L. 255-278.
- González, H. H., Johansen N. R., Gasca C. L., Equihua M. A., Salinas C. A., Estrada V. E., Duran A F. y Valle A. R. (2000). El Aguacate y su Manejo Integrado. Editorial Mundi-Prensa. pp.117-136.
- Goolsby, J. A., Alexander J. R. W., Jourdan H., Muthuraj B., Bourne A. S., and Pemberton, R. W. (2005). Continental comparisons of the interaction between climate and the herbivorous mite, *Floracarus perrepa* (Acari: Eriophyidae). *Florida Entomologist.* 88(2):129-134.
- Gotoh, T. y Nagata, T. (2001). Development and reproduction of *Oligonychus coffeae* (Acari: Tetranychidae) on tea, *International Journal of Acarology*, 27(4) 293-298.
- Hoddle, M. S. y Morse, J. G. (2013). The perseae mite invasion into California; history, biology, management and current status. *Calif. Avocado. Soc. Yearbook.* 95: 106 -136.
- Jeppson, L. R., Keifer, H. H., Baker, E. W. (1975). Mites injurious to economic plants. University of California Press. Berkeley, California. pp. 17-41.
- MacMurtry, J. A. (1970). Some factors of foliage Condition limiting population growth of *Oligonychus punicae* (Acarina: Tetranychidae). *Annals of the Entomological Society of America.* 63 (2): 406 - 412.
- MacMurtry, J. A., Huffaker, C. B. y Van de Vrie, M. (1970). Tetranychid enemies: Their biological characters and the impact of spray practices. *Hilgardia.* 40 (11): 331-385.
- Maoz, Y., Gal, S., Argov, Y., Coll, M., y Palevsky, E. (2011). Biocontrol of perseae mite, *Oligonychus perseae*, with an exotic spider mite predator and an indigenous pollen feeder. *Biol. Control.* 59:147-157.

- Roy, S., Muraleedharan, N., Mukhopadhyay, A. (2014). The red spider mite, *Oligonychus coffeae* (Acari: Tetranychidae): its status, biology, ecology and management in tea plantations. *Exp Appl Acarol.* 63: 431–463.
- Sances, F. V., Toscano, N.C., Hoffmann, M.P., Lapré, L.F., Johnson, M.W. y Bailey, J.B. (1982). Physiological responses of avocado leaves to avocado brown mite feeding injury. *Entomological Society of America.* 11(2): 516-518.
- SAS Institute Inc. (2002). Statistical analysis system. Release 9. CD Computer Software. Cary, NC. USA.
- SIAP. (2010). Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la Producción agrícola por cultivo <http://www.siap.gob.mx> (Consulta el 29 de junio del 2015).

CONCLUSIONES GENERALES

Las poblaciones de *Oligonychus punicae* y *O. perseae* en árboles de aguacate cv. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México presentan una disposición espacial en agregados, la aglomeración más fuerte ocurre entre árboles que dentro del mismo árbol. Esta disposición espacial puede ser representada adecuadamente por la Ley de la Potencia de Taylor, dado que existe una alta correlación entre la proporción de hojas infestadas y la media de ácaros por hoja. Los mayores índices de agregación los presenta el ácaro cristalino *O. perseae*, tanto estados móviles como huevecillos, debido a su hábito de formar colonias en el envés de las hojas.

El muestreo binomial permite estimar la densidad de ácaros café y cristalino por hoja, al establecer una relación entre hojas infestadas y media de formas móviles por hoja, por lo que al estimar la proporción de hojas infestadas se puede inferir el número de ácaros por hoja. Lo anterior permite el ahorro de tiempo, en comparación con un muestreo total, sacrificando precisión y confiabilidad. Los tamaños de muestra obtenidos mediante la metodología anteriormente citada, permiten su uso práctico para la estimación de la densidad de estas especies en campo. Otra opción, es el muestro por etapas o en agregados propuesto en el presente estudio, mediante el cual se pueden hacer estimaciones de la media de ácaros/hoja con un grado de precisión del 0.25 y confiabilidad del 80%.

Las densidades más altas de *O. punicae* ocurren hacia la floración de primavera, antes de que ocurra la brotación plena, mientras que en el caso de *O. perseae* las poblaciones más altas se observan durante la brotación vegetativa y amarre de frutos. En el huerto experimental de aguacate, en Coatepec Harinas, México, el ácaro más importante como plaga fue *O. punicae*, el cual puede presentarse a densidades de 70 ácaros/ hoja, lo que hace necesario aplicar medidas de manejo, para reducir su incidencia y daños en el cultivo. Existe una relación positiva entre la temperatura y la abundancia de *O. punicae* y *O. perseae*, al incrementarse la temperatura se incrementa la densidad de ambas especies, sin embargo, los principales factores que reducen sus poblaciones es la precipitación y la humedad relativa, las cuales inciden negativamente en mayor grado sobre *O. punicae*, mientras que en el caso de *O. perseae* el efecto es menor.