

Tipo de manuscrito: artículo científico, artículo de revisión, ensayo o nota científica.

ANÁLISIS ESPACIAL DEL DAÑO POR ARAÑA ROJA (*Oligonychus punicae*) EN AGUACATE; ESTADO DE MÉXICO, UTILIZANDO EL METODO DEL SADIE

Lizbeth González-Dávila¹, Fidel Lara-Vázquez¹, José Francisco Ramírez-Dávila^{1*}, Dulce Karen Figueroa-Figueroa¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas s/n, carretera Toluca-Ixtlahuaca km 15, entronque al Cerrillo, Toluca, Estado de México, México. C. P. 50200

*Autor para correspondencia: jframirez@uaemex.mx

RESUMEN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es un cultivo perene y pertenece a la familia de las Lauráceas. Una de las problemáticas a las que se enfrenta este cultivo es diversas plagas, entre la más sobresaliente es el ácaro identificado como araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst); de modo que este ácaro inicia su daño con puntos rojizos que se distribuyen e incrementan por toda la hoja hasta llegar a un bronceado total ocasionando un follaje seco, en infestaciones altas mancha el fruto negando así su aceptación en el mercado; por lo anterior una indentificación de su distribución espacial, por parte de los productores es la llave para planear y ejecutar de manera idonea programas de manejo integrado de plagas, derivando entre otros beneficios ahorros económicos y ambientales. El presente trabajo tuvo por objetivo determinar la distribución espacial del daño en el cultivo de aguacate, variedad Hass provocado por las poblaciones de *O. punicae* en dos municipios del Estado de México, mediante el uso de índices de SADIE (Análisis Espacial por Índices de Distancia). Dicho comportamiento espacial permite planear medidas de control; ya sean preventivas o correctivas con la utilización de técnicas de agricultura de precisión, con la técnica de la geostatística se elaboraron mapas de distribución espacial por medio de Krigeado Ordinario debido a que son conocidas la media y la varianza de las poblaciones del daño por araña roja. Determinando que el daño en aguacate provocado por *O. punicae*, tuvo una distribución espacial en varios centros de agregación, observándose en los mapas elaborados; así mismo se determinó que el grado de daño no alcanza el 100 % en las parcelas, lo cual resulta interesante para dirigir medidas de control sobre áreas específicas.

Palabras clave: Ácaros, Mapas de densidad, SADIE, Superficie infestada.

Citation: Apellido-Apellido NN, 21
 Apellido-Apellido NN, Apellido-
 Apellido N, Apellido-Apellido N22
 2022. Título del artículo.
 Agrociencia 23
 https://doi.org/10.47163/xxx 24

Editor in Chief: 25
 Dr. Fernando C. Gómez-Merino 26

Received: month, year. 27
 Approved: month, year.
 Published in Agrociencia #: #-#. 28
 2022. 29

This work is licensed under a 30
 Creative Commons Attribution-
 Non- Commercial 4.0 International 31
 license. 32



Los autores no deben realizar 33
 ningún cambio en este apartado. 34

INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es la cuarta fruta tropical más importante en el mundo. México lidera la producción del “oro verde”, el éxito exportador del aguacate mexicano se ha sustentado en su calidad e inocuidad; Michoacán, es el estado con mayor volumen de producción, siendo éste de 1,826,416 toneladas, seguido de Jalisco con una producción de 256,021 toneladas; Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022).

Este cultivo es susceptible a plagas y enfermedades destacando como plaga al ácaro (*Oligonychus punicae* Hirst; *Acari: Tetranychidae*), conocido como araña roja, la cual representa una gran amenaza al cultivo, debido a que se alimenta del follaje, introduce su estilete en los tejidos de la planta provocando manchas de color rojizo, cuando el daño es severo ocasiona el colapso del mesófilo, dando por resultado la defoliación y la pérdida de producción, se presenta todo el año, no obstante cuando el tejido necrótico causado por el ácaro excede el 8 % de la superficie foliar, hay una alta probabilidad de que ocurra una defoliación acelerada conllevando a grandes pérdidas en su producción. Para su control tradicionalmente se utilizan productos químicos, sin embargo, estos han perdido gradualmente su eficiencia (Cerna *et al.*, 2009; Lemus-Soriano *et al.*, 2016).

La creciente demanda de productos libres de sustancias químicas dañinas para el ser humano ha motivado el uso de nuevas tecnologías que reduzcan el uso de dichos productos. El monitoreo de las poblaciones de *O. punicae* es necesario para saber cómo se distribuyen las poblaciones de este ácaro en las parcelas, conociendo el impacto real que tiene sobre el aguacate, ayudando a la elaboración de estrategias de control con una herramienta que nos permite caracterizar el patrón espacial de una variable dada dentro de la zona de estudio. En este contexto la utilización de estadística espacial (SADIE y Geoestadística) en el análisis de plagas y enfermedades tiene un valor significativo, ya que nos da a conocer de manera exacta y en tiempo real la distribución espacial de la plaga dentro del cultivo. Por lo tanto, se conoce su ubicación exacta, con esto nos permite elaborar mapas de distribución espacial de un organismo (Blom y Fleischer, 2001), siendo de gran utilidad para conocer porcentajes de infestación y realizar aplicaciones en áreas específicas del cultivo, ayudando al productor.

El uso del SADIE, es útil para establecer el tipo de distribución que guarda este ácaro y su daño que provoca a las hojas de aguacate y comprender un poco más la dinámica espacial que guarda con respecto a los diferentes factores físicos que se encuentran en su entorno en los diferentes intervalos de tiempo. SADIE, desde el punto de vista metodológico, es una herramienta que nos permite explorar si una variable sigue un patrón espacial determinado, ya sea homogéneo, heterogéneo o aleatorio. Holland *et al.*, (2000) asegura que con el tiempo este método ha manifestado ser de gran utilidad en la determinación de patrones espaciales

1 que reflejan el comportamiento en el campo de dichas poblaciones entomológicas. La base
2 teórica de este tipo de análisis, consiste en la evaluación de objetos o entidades, sobre la
3 base de conocimiento de su situación en el espacio; teniendo ventaja con la estadística
4 clásica, ya que esta no toma en cuenta la localización espacial de la muestra, además de ser
5 más intuitivos y biológicos que los índices no espaciales (Perry, 1995; Dungan *et al.* 2002;
6 Quiero, 2006; Esquivel y Jasso, 2011).

7 Por esta razón, este trabajo tuvo por objetivo determinar la distribución espacial del daño
8 en el cultivo de aguacate, variedad Hass provocado por las poblaciones de araña roja (*O.*
9 *punicae*) en dos localidades del Estado de México, mediante el uso de índices de SADIE.

11 MATERIALES Y MÉTODOS

12 El estudio se llevó a cabo en los municipios de Coatepec Harinas (18°54' N, y 99°43' W) con
13 una altitud media de 2,260 msnm y Donato Guerra (19°18' N, y 100°08' N) con una altitud
14 de media 2,200 msnm, en ocho parcelas, cuatro por municipio de 2 hectáreas cada una; la
15 variedad de aguacate fue Hass, con una edad promedio de 8 años, el manejo agronómico
16 fue similar. El muestreo se realizó mediante la metodología por cuadrantes, el cual consistió
17 en dividir la parcela en 50 cuadrantes de 10 x 10 m, se tomaron 25 cuadrantes al azar por
18 parcela donde se seleccionaron dos árboles, cada árbol por parcela fueron marcados y
19 georreferenciados utilizando un GPSmap60 de la marca Garmin para obtener las
20 coordenadas. Se realizó un muestreo por mes, a partir de octubre 2021 a mayo 2022, en cada
21 árbol se seleccionaron 60 hojas tomando quince divididas en tres estratos (inferior, medio
22 y superior), por cada punto cardinal del árbol (Norte, Este, Oeste y Sur); los datos obtenidos
23 se les aplicó la prueba de Curtosis y coeficiente de variabilidad, determinando que estos
24 fueron normales (Maestre y Quero, 2008).

25 Medición de factores climáticos

26 Se realizó la medición de factores climáticos (Temperatura y precipitación) mediante un
27 sensor climático Datta Loggers HOBO Pro V2. Se colocó en la parte media de un árbol de
28 aguacate situado en la parte media de la parcela, para identificar variaciones micro
29 climáticas que pudieran explicar el comportamiento de la distribución del daño de *O.*
30 *punicae*

31 Análisis espacial por índices de distancia (SADIE)

32 SADIE es una herramienta para el análisis de datos espacialmente explícitos en una o dos
33 dimensiones (ej. transectos y superficies) basada en índices de distancia. Aunque ha sido
34 específicamente diseñada para el análisis de conteos (p. ej. número de insectos por planta),
35 SADIE puede utilizarse además con datos binarios y variables ordinales y continuas

1 previamente categorizadas. Entre las principales virtudes de SADIE se encuentran su
2 simplicidad de uso (Maestre y Quero, 2008).

3 En el presente trabajo se utilizó el índice basado en la distancia para la regularidad Ia y el
4 índice Ja , basado en la distancia del agrupamiento (Perry, 1995) para establecer el modelo
5 de distribución de las poblaciones en cada una de las localidades de estudio. Una muestra
6 es agregada si $Ia > 1$, la muestra es espacialmente aleatoria si $Ia = 1$, y la muestra es regular
7 si $Ia < 1$. Como en el caso del índice Ia , valores de $Ja > 1$ usualmente indican una muestra
8 agregada, $Ja = 1$ representan datos espacialmente aleatorios y $Ja < 1$ muestras regulares. Los
9 valores del índice Ja ayudan para corroborar los resultados obtenidos con el índice Ia . El
10 índice es utilizado para discriminar entre patrones espaciales donde hay un único
11 agrupamiento relevante para el cual sus valores son significativamente mayores que la
12 unidad, en donde hay dos o más agrupamientos para los cuales su valor no es
13 significativamente diferente de la unidad o incluso menor que ella. Para determinar con
14 respecto a la unidad se utiliza su probabilidad respectiva (Qa) (Perry, 1998). El programa
15 utilizado para determinar los valores y las probabilidades de ambos índices fue SADIE 1.22
16 (Perry *et al.*, 1996).

17 Krigeado

18 El Krigeado es una técnica de estimación local que ofrece el mejor estimador lineal
19 insesgado de una característica desconocida que se estudia. Mediante el Krigeado
20 Ordinario se elaboraron mapas de densidad con el programa Surfer 16.0
21 (SurfaceMappingSystem), por lo anterior con la finalidad de determinar la superficie
22 infestada y conocer en donde realmente existía la presencia del daño por *O. punicae* dentro
23 de las parcelas de estudio (Pino-Miranda *et al.*, 2022). Es pertinente mencionar que se utilizó
24 el Krigeado Ordinario debido a que son conocidas la media y la varianza de las poblaciones
25 del daño por araña roja.

26 Superficie infestada

27 Una de las metas de la Agricultura de Precisión es dirigir las medidas de control sobre las
28 zonas específicas de infestación de insectos plaga, ácaros y enfermedades. Lo que determina
29 un posible ahorro económico y una reducción del uso irracional de plaguicidas aplicados.
30 Para lograr este objetivo se estableció la superficie infestada de las estimaciones que se
31 representan en forma de mapas para cada parcela en las diferentes fechas de muestreo
32 mediante el uso del programa Surfer 16.

33 El conocimiento de la distribución del daño de *O. punicae* es indispensable para la
34 elaboración de programas de manejo integrado, debido a la importancia de esta plaga, por
35 ello el objetivo del presente trabajo fue determinar la distribución espacial del daño
36 ocasionado por las poblaciones de araña roja en el cultivo de aguacate, variedad Hass, en

dos municipios del Estado de México, mediante el uso de técnicas de SADIE y geoestadística (Maldonado *et al.*, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los datos registrados en los sensores bioclimáticos, para el caso del municipio de Coatepec Harinas (Figura 1); mayo de 2022 fue el mes con mayor precipitación (103.42 mm), con respecto a la temperatura los meses más calurosos fueron abril y mayo con 25.43 °C y 26.98 °C, respectivamente.

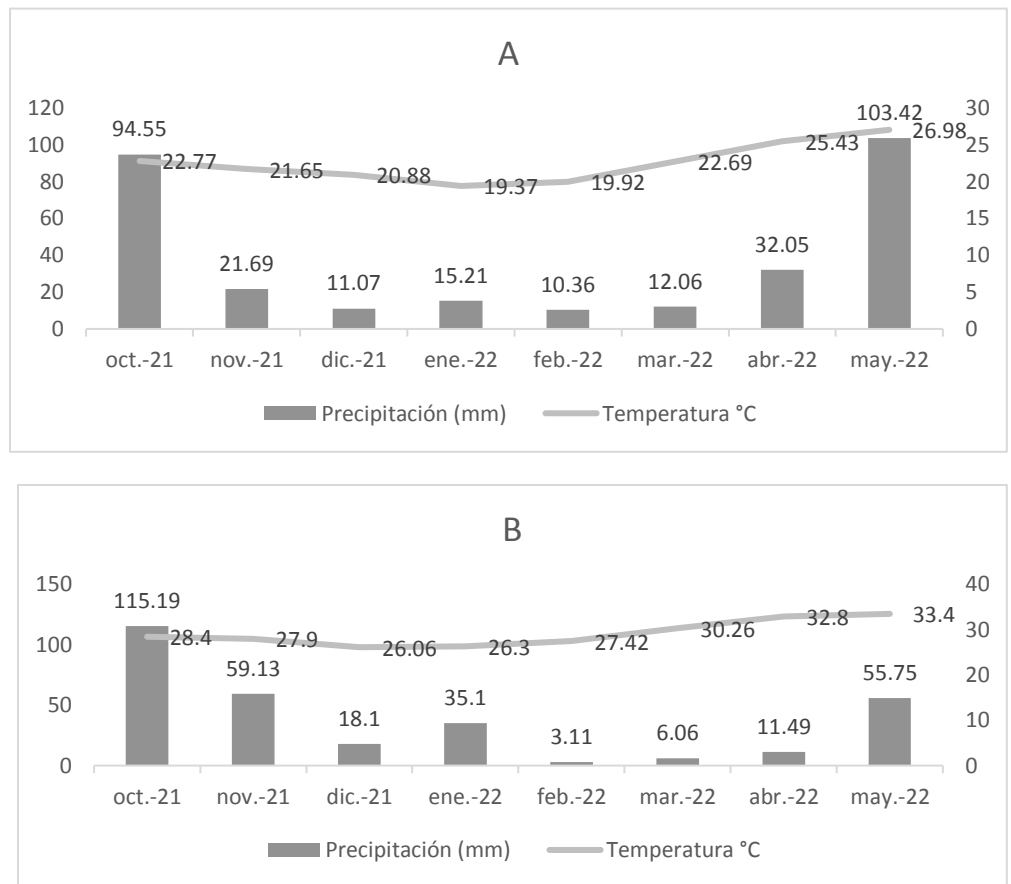


Fig. 1. Precipitación y temperatura, A: municipio Coatepec Harinas y B: Donato Guerra.

Es necesario analizar los factores climáticos medidos en el presente trabajo, partiendo desde la importancia que estos tienen que ver de manera directa para la presencia *O. punicae*, dado que al igual que las enfermedades en el triángulo epidemiológico según Mora *et al.*, (2021), deben coexistir tres factores, uno es el hospedante susceptible, que en este caso es la planta de aguacate, dos es el patógeno agresivo que en este caso es el ácaro y como número tres

1 están las condiciones favorables que son todos los factores abióticos que favorecen el
2 desarrollo de la plaga (suelo, manejo, variedad, clima). Para el caso del ácaro *O. punicae* se
3 le puede encontrar durante todo el año, pero con mayor incidencia en los meses secos y
4 calurosos del año (febrero – mayo), esto también fue observado por Coria y Ayala (2010),
5 indicando que si no se cuidan las huertas se les puede encontrar durante todo el año, pero
6 con mayor incidencia en los meses calurosos y secos, bajando su incidencia en los meses de
7 lluvias no obstante vuelve a ver un incremento en la temporada de estiaje. Al respecto, Porras
8 (2000) dice que es importante analizar la incidencia y severidad según las fluctuaciones del
9 clima durante el ciclo de cultivo, de esta forma se pueden identificar las etapas críticas,
10 pronosticar su comportamiento mediante alertas o detección temprana y planear un manejo
11 fitosanitario adecuado para la prevención de daños potenciales y combate de focos de
12 infección.

13 Con los datos obtenidos fue posible generar la modelización espacial y el mapeo del daño
14 en hojas de aguacate generado por el ácaro *O. punicae*. Los datos obtenidos con la aplicación
15 de los índices de SADIE (Cuadro 1), permitieron conocer los distintos valores de los índices
16 (*Ia* y *Ja*). Para el caso del índice *Ia* el valor más bajo que se registró en el municipio de
17 Coatepec Harinas, correspondió a la parcela uno en el mes de abril (1.26); para el caso del
18 municipio de Donato Guerra el valor más bajo que se registró, correspondió a la parcela
19 ocho en el mes de enero (1.29). Con respecto al municipio de Coatepec Harinas el valor más
20 alto se registró en la parcela tres correspondiente al mes de abril (1.78). Cabe señalar que en
21 todos los casos el índice *Ia* fue significativamente superior a uno; esto nos indica según
22 Perry (1998) que la distribución espacial se da de manera agregada, siendo este el
23 comportamiento del daño en hojas causado por el ácaro, en las diferentes parcelas de
24 estudio; esto también fue observado por Rivera *et al.*, (2022) con respecto al comportamiento
25 espacial del barrenador de la rama en aguacate, en el cual señala que los índices de *Ia*,
26 mostraron los valores comprendidos entre 1.30 el más bajo y 1.77 el más alto, teniendo en
27 todos sus muestreos índices *Ia* significativamente mayor a uno; por otra parte Ramírez-
28 Dávila *et al.*, (2008) asegura que las larvas de mosquito verde en vid, se distribuyen de forma
29 agregada, toda vez que los índices de *Ia* en todos sus muestreos fueron superior a uno
30 registrando valores entre 1.87 y 1.53; esto según Rong *et al.* (2006), señala que el
31 comportamiento espacial cuando se da en forma agregada, permite sugerir que se puede
32 hacer métodos de manejo y por lo tanto, reducir al aplicar medidas de control hacia los
33 centros de agregación o puntos específicos en los que se encuentra la plaga y con ello evitar
34 aplicaciones generalizadas o de cobertura total, lo cual lleva a un ahorro en los insumos,
35 visualizando los focos de infestación a través de los mapas generados. Por otra parte,
36 García-Angel *et al.*, (2017) muestra que la utilización de depredadores como *Phytoseiulus*
37 *persimilis* resulta una alternativa de control biológico al uso de acaricidas químicos
38 sintéticos.

Para el caso del índice *Ja*, el valor más bajo que se registró en el municipio de Coatepec Harinas, correspondió a la parcela uno, en el mes de diciembre (1.06) y el valor más alto en la parcela tres, en el mes de febrero (1.24); para el municipio de Donato Guerra, el valor más bajo se registró en la parcela siete en el mes diciembre (1.05) y el valor más alto en la parcela cinco, en el mes de octubre (1.24), tal y como se detalla en el (Cuadro 1). Para el presente estudio el índice *Ja* también registró valores por encima de la unidad, lo que permite corroborar que la agregación hallada con el índice *Ia* es de forma agregada (Perry, 1998); así mismo Rivera *et al.*, (2022) indican que los valores obtenidos en los muestreos en cuanto al índice *Ja*, va entre los rangos (1.07) y (1.25), teniendo en todos los muestreos valores significativamente mayor a uno; de igual forma Ramírez y Porcayo (2009) encontraron valores del índice *Ja* significativamente mayor a uno; esto nos indica que la distribución del daño a las hojas de aguacate ocasionado por *O. punicea*, al igual que los trabajos citados se presentan en las parcelas de estudio en varios centros de agregación. Concretizando el índice *Ja* también indica si la estructura espacial agregada se encuentra dispuesta en uno o varios centros de agregación (Quero, 2006). En nuestro estudio, basándonos en el índice *Ja* encontramos la existencia de varios centros de agregación.

Cuadro 1. Valor de los Índices *Ia* y *Ja* y sus respectivas probabilidades *Pa* y *Qa*, en el daño causado por el ácaro (*Oligonychus punicae* Hirst), en los municipios Coatepec Harinas (Parcela 1, 2, 3, y 4) y Donato Guerra (Parcela 5, 6, 7, y 8).

No.	Fecha	Varianza	Densidad promedio	Mín	Máx	<i>Ia</i>	<i>Pa</i>	<i>Ja</i>	<i>Qa</i>
1	Octubre 2021	.015	1.37	1.1	1.56	1.27	0.017s	1.11	0.137ns
	Noviembre 2021	.027	1.60	1.2	1.95	1.45	0.009s	1.20	0.211ns
	Diciembre 2021	.021	1.38	1.0	1.72	1.36	0.014s	1.06	0.238ns
	Enero 2022	.044	1.02	0.5	1.58	1.58	0.006s	1.15	0.267ns
	Febrero 2022	.047	1.26	.68	1.8	1.42	0.015s	1.18	0.149ns
	Marzo 2022	.064	1.67	.97	2.13	1.66	0.008s	1.23	0.249ns
	Abril 2022	.063	2.14	1.53	2.67	1.26	0.002s	1.20	0.195ns
Mayo 2022	.062	2.44	1.77	2.96	1.53	0.004s	1.09	0.230ns	
2	Octubre 2021	.037	1.11	.80	1.42	1.64	0.005s	1.16	0.161ns
	Noviembre 2021	.042	1.30	.94	1.6	1.32	0.012s	1.17	0.280ns
	Diciembre 2021	.045	1.45	1.09	1.8	1.57	0.003s	1.13	0.257ns
	Enero 2022	.054	1.18	1.92	.79	1.48	0.010s	1.22	0.182ns
	Febrero 2022	.063	1.53	1.17	2.33	1.71	0.013s	1.08	0.296ns
	Marzo 2022	.065	1.86	2.33	1.47	1.69	0.011s	1.11	0.289ns
	Abril 2022	.085	2.21	1.68	2.97	1.28	0.016s	1.15	0.223ns
Mayo 2022	.082	2.4	1.93	2.97	1.39	0.006s	1.19	0.139ns	
3	Octubre 2022	.010	1.63	1.42	1.85	1.73	0.003s	1.07	0.185ns

No.	Fecha	Varianza	Densidad promedio	Mín	Máx	I_a	P_a	J_a	Q_a
	Noviembre 2022	.016	1.75	1.47	2.03	1.31	0.012s	1.12	0.290ns
	Diciembre 2022	.022	1.22	.97	1.8	1.75	0.013s	1.21	0.201ns
	Enero 2022	.056	0.88	0.50	1.45	1.51	.015s	1.15	0.172ns
	Febrero 2022	.064	1.14	0.65	1.73	1.62	0.010s	1.24	0.150ns
	Marzo 2022	.073	1.62	1.12	2.21	1.70	0.009s	1.11	0.273ns
	Abril 2022	.090	2.17	1.63	2.85	1.78	0.007s	1.21	0.179ns
	Mayo 2022	.103	2.50	1.73	2.97	1.68	0.011s	1.09	0.244ns
	Octubre 2022	.024	1.08	.80	1.32	1.47	0.004s	1.16	0.144ns
	Noviembre 2022	.013	1.73	1.47	2.0	1.35	0.014s	1.10	0.293ns
	Diciembre 2022	.043	1.31	1.03	1.8	1.40	0.004s	1.13	0.188ns
4	Enero 2022	.054	1.12	0.75	1.72	1.55	0.011s	1.22	0.252ns
	Febrero 2022	.073	1.43	1.00	2.22	1.29	0.011s	1.07	0.262ns
	Marzo 2022	.080	1.85	1.33	2.57	1.49	0.007s	1.14	0.283ns
	Abril 2022	.087	2.18	1.5	2.63	1.44	0.005s	1.17	0.225ns
	Mayo 2022	.097	2.35	1.73	2.98	1.38	0.008s	1.10	0.153ns
	Octubre 2021	.029	.96	.64	1.29	1.51	0.004s	1.24	0.216ns
	Noviembre 2021	.088	1.17	.70	1.84	1.30	0.008s	1.14	0.292ns
	Diciembre 2021	.064	.72	.41	1.3	1.64	0.011s	1.10	0.183ns
5	Enero 2022	.08	.78	.49	1.58	1.59	0.014s	1.16	0.248ns
	Febrero 2022	.10	1.21	.73	2.12	1.32	0.003s	1.07	0.233ns
	Marzo 2022	.097	1.59	.90	2.39	1.71	0.007s	1.13	0.173ns
	Abril 2022	.084	2.07	1.13	2.66	1.78	0.012s	1.20	0.259ns
	Mayo 2022	.078	2.29	1.52	2.87	1.62	0.010s	1.12	0.196ns
	Octubre 2021	.05	1.3	.92	1.77	1.40	0.002s	1.18	0.273ns
	Noviembre 2021	.075	1.45	.93	1.97	1.37	0.017s	1.11	0.180ns
	Diciembre 2021	.15	1.29	.52	1.85	1.68	0.016s	1.13	0.284ns
6	Enero 2022	.09	1.01	.54	1.55	1.46	0.015s	1.09	0.266ns
	Febrero 2022	.108	1.29	0.73	1.97	1.74	0.013	1.19	0.208ns
	Marzo 2022	.099	1.61	.89	2.28	1.35	0.012s	1.17	0.290ns
	Abril 2022	.130	1.91	1.19	2.68	1.49	0.007s	1.11	0.281ns
	Mayo 2022	.128	2.27	1.40	2.94	1.43	0.009s	1.15	0.190ns
	Octubre 2021	.045	1.2	.98	1.62	1.51	0.010s	1.19	0.295ns
	Noviembre 2021	.051	1.4	1.05	1.80	1.70	0.004s	1.20	0.270ns
7	Diciembre 2021	.048	1.2	.85	1.6	1.56	0.015s	1.05	0.211ns
	Enero 2022	.050	0.81	0.40	1.2	1.50	0.013s	1.08	0.175ns
	Febrero 2022	.080	1.25	0.65	1.83	1.75	0.016s	1.21	0.204ns

No.	Fecha	Varianza	Densidad promedio	Mín	Máy	I_a	P_a	J_a	Q_a
8	Marzo 2022	.103	2.06	1.39	2.86	1.67	0.010s	1.14	0.225ns
	Abril 2022	.120	2.38	1.69	3.18	1.34	0.005s	1.11	0.292ns
	Mayo 2022	.086	2.68	1.97	3.07	1.73	0.015s	1.18	0.240ns
	Octubre 2021	.012	1.47	1.22	1.65	1.61	0.011s	1.10	0.200ns
	Noviembre 2021	.024	1.67	1.36	2.16	1.41	0.003s	1.07	0.286ns
	Diciembre 2021	.016	1.38	1.07	1.87	1.55	0.009s	1.16	0.251ns
	Enero 2022	.030	1.58	1.18	2.04	1.29	0.014s	1.06	0.185ns
	Febrero 2022	.031	1.35	1.01	1.78	1.69	0.008s	1.17	0.277ns
	Marzo 2022	.035	1.66	1.22	2.14	1.31	0.012s	1.09	0.227ns
	Abril 2022	.045	2.11	1.60	2.63	1.44	0.006s	1.12	0.177ns
	Mayo 2022	.043	2.20	1.69	2.71	1.38	0.010s	1.07	0.262ns

ns: no significativo al 5%, s: significativo al 5%.

Mediante la metodología del SADIE, se ha podido determinar el comportamiento espacial de organismo biológicos tal y como lo cita (klick *et al.*, 2016) en su estudio de la Distribución espacial y actividad de *Drosophila suzukii* en frambuesa cultivada en Oregón. Por otra parte la distribución espacial del daño a las hojas causado por el ácaro *O. punicae*, dentro de las huertas de aguacatero en los municipios en cita, indica que *O. punicae* se distribuye espacialmente en forma de centros de agregación en puntos geográficos específicos al interior de las parcelas; dichos resultados concuerdan con lo determinado por Baek y lee (2021) quienes encontraron que las poblaciones de *Ricania shantungensis* en castañares en cada etapa de desarrollo es decir (huevo de primavera, ninfa, adulto y huevo de otoño), sus distribuciones espaciales son en agregados excepto en su estadio ninfal; así mismo esta técnica ha sido utilizada en otros trabajos con problemas fitosanitarios tal es el caso del estudio de Nita *et al.*, (2012) con el patrón espacial de los síntomas de las manchas foliares y de la caña por *Phomopsis* en viñedos de Ohio, en el cual se establecieron, los patrones espaciales de incidencia del daño de la caña de la vid con *Phomopsis* sp., determinando que el índice de agregación fue significativamente >1 en el 78 % y el 98 % de los casos de hojas y entrenudos enfermos, respectivamente. Los resultados indicaron una agregación de la enfermedad a una escala de vid individual para la mayoría de los viñedos basándose en el Análisis Espacial por Índices de Distancia (SADIE).

Elaboración de mapas; la elaboración de los mapas de la distribución espacial del daño a las hojas causado por el ácaro (*O. punicae*), de los municipios de Coatepec Harinas y Donato Guerrero que se muestran en el presente estudio se visualizan en la Figura 2 y 3 respectivamente; en estos se puede ver el comportamiento en agregados, ya que se puede

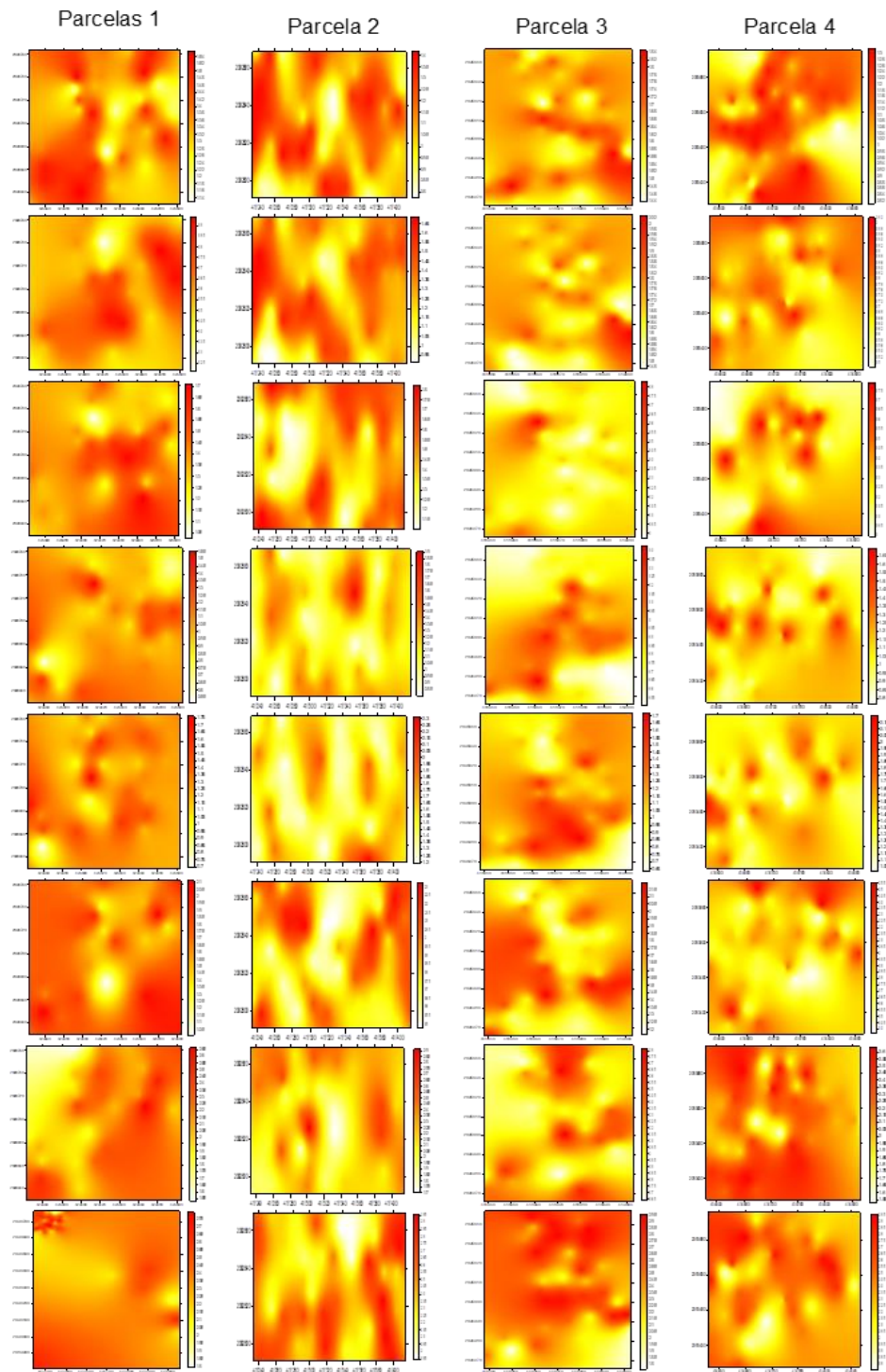
1 distinguir con claridad de modo visual cómo se distribuye de manera espacial el daño de
2 este ácaro en las parcelas de aguacate al momento del muestreo. La elaboración de los
3 mapas se realizó con diferentes colores con la intención de ver el comportamiento espacial
4 del daño; el color rojo indica el mayor porcentaje de daño causado por *O. punicae* en cada
5 caso, por el contrario, el color blanco indica ausencia del daño, cabe señalar que también se
6 utilizaron los colores naranja y amarillo, los cuales nos indica la transición de manera
7 gradual del color blanco al rojo.

8 Para el caso de la parcela uno en los mapas obtenidos de la superficie con daño por *O.*
9 *punicae*, (Figura 2) se puede apreciar que existe una tendencia similar en los meses de
10 octubre, noviembre y diciembre, ya que la distribución de los centros de agregación o focos
11 de daño se distribuyen en la parte central de la parcela con una tendencia hacia las orillas
12 (izquierdo y derecho); para los meses de enero, febrero, marzo y abril los centros de
13 agregación se concentran en la parte central con una tendencia hacia las orillas en los cuatro
14 puntos cardinales, por último para el mes de mayo la tendencia de la distribución espacial
15 es más homogénea con una tendencia hacia el lado superior izquierdo. Este tipo de
16 comportamiento también fue observado con el ácaro *Tetranychus* sp., en cultivo de algodón,
17 donde la distribución espacial se da según las condiciones del tiempo y las etapas de
18 desarrollo de la planta (Wilson *et al.*, 1983). Así mismo Rijal *et al.*, (2015) indica en la
19 caracterización de la distribución espacial del ácaro *T. urticae* en menta, se concentró en
20 ciertas áreas durante la mayor parte de la temporada de crecimiento, dado que el patrón de
21 distribución de agregación se vuelve más o menos estable; así mismo se ha realizado el
22 análisis de la variación espacial a través del método del Krigeado ordinario en otros trabajos
23 con problemas fitosanitarios tal es el caso del estudio de la representación de la intensidad
24 y distribución de las cepas con síntomas de EMV (Enfermedades de madera de la vid)
25 mediante la utilización de técnicas geoestadísticas y de análisis espacial, en un viñedo de la
26 comarca de "Tierra de Barros", donde se obtuvo un mapa con el patrón de evolución del
27 síndrome, así como su intensidad, comprobando que existían zonas con más del 8 % de
28 cepas afectadas (Rebollo y Del Moral, 2015).

29 Por otra parte con el uso de los mapas de infestación se puede visualizar el comportamiento
30 espacial que guarda el daño causado por *O. punicae* con respecto al espacio físico en la
31 parcela, con lo cual se podría sugerir a los productores llevar a cabo un manejo integrado
32 de la plaga, con acciones tanto correctivas como preventivas, según en nivel de infestación
33 en tiempo real; los mapas de densidad generados a través de la técnica de Krigeado, son
34 utilizados en la agricultura de precisión, dado que estos determinan áreas con necesidad de
35 manejo; por ello al momento del muestre para la obtención de datos es importante conocer
36 las áreas dañadas y el porcentaje que representan del total de la superficie. Las
37 características de los cultivos varían en el espacio y en el tiempo, este tipo de mapas ayudan
38 a la agricultura de precisión a orientado y optimizar el uso de los insumos agrícolas en

1 función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola.
2 Esta optimización se logra con la distribución de la cantidad correcta de esos insumos,
3 dependiendo del potencial y de la necesidad de cada punto de las áreas de manejo o
4 buscando otra alternativa de control como lo es biológico. Es crucial para dilucidar la
5 densidad de la población, el tipo y el daño actual y potencial antes de elegir e implementar
6 una práctica de manejo factible. El conocimiento de la distribución espacial, la ecología y la
7 genética de cualquier población de patógenos puede aumentar nuestra comprensión de la
8 dinámica de las especies y acelerar el manejo de las poblaciones de patógenos en el campo
9 al mejorar las estrategias de despliegue de resistencia de cultivos (Bongiovanni *et al.*, 2006;
10 Kabir *et al.*, 2018).

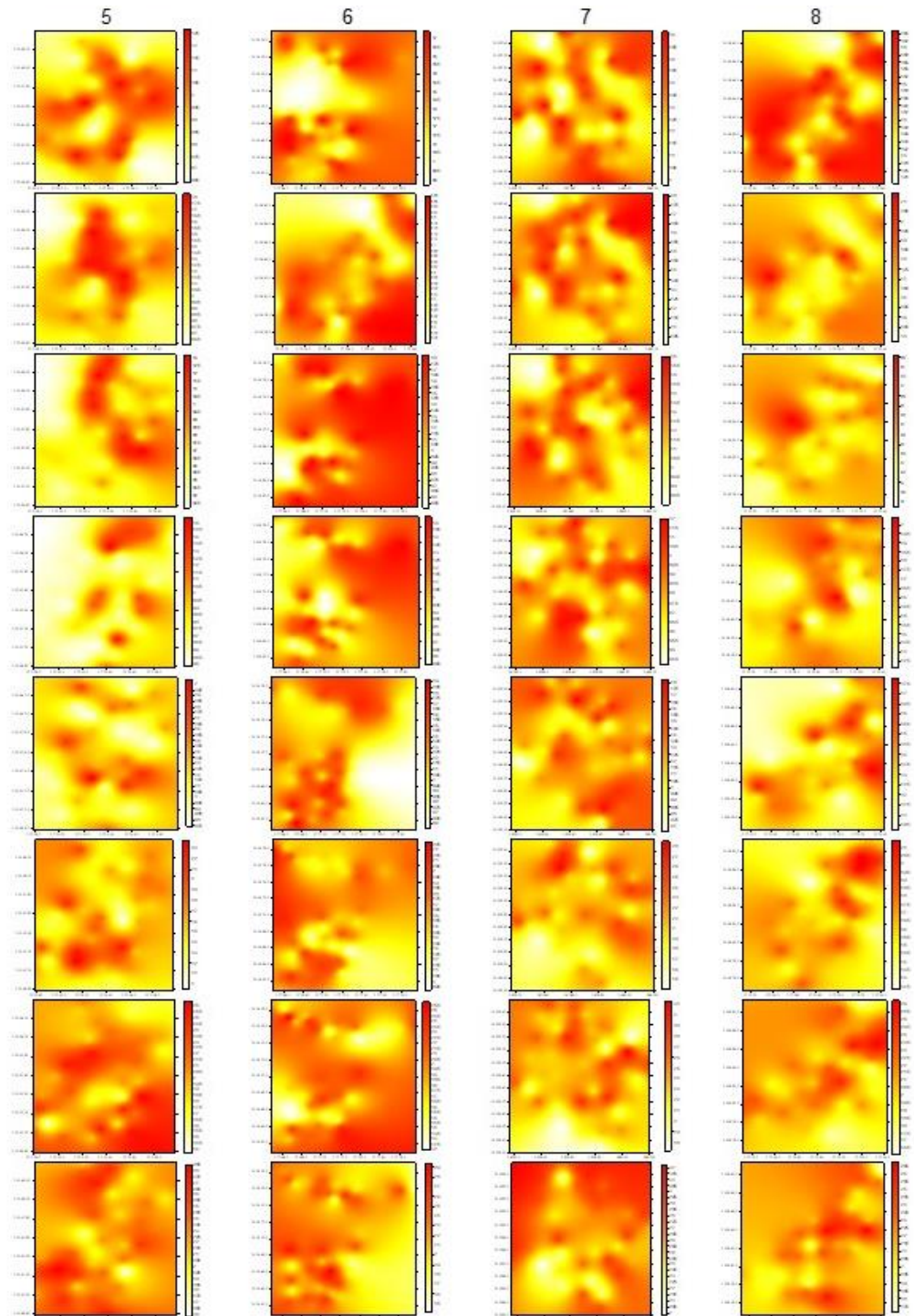
11
12
13
14



1
2
3
4

Fig. 2. Mapas de daño de *Oligonychus punicae* Hirst, en el cultivo del aguacate, por fecha Octubre 2021 a Mayo 22 de muestreo en parcelas del municipio de Coatepec Harinas.

1



2

3

4

Fig. 3. Mapas de daño de *Oligonychus punicae* Hirst, en el cultivo del aguacate, por fecha de Octubre 2021 a Mayo 22 de muestreo en parcelas del municipio de Donato Guerra.

Los mapas obtenidos en el presente estudio demuestran que el daño a las hojas causado por el ácaro *O. punicae*, no se distribuyó en el 100 % en las parcelas de estudio, es decir, la distribución no es uniforme, esto se puede ver en los porcentajes de daño por *O. punicae*, ya que cada parcela varía según las condiciones abióticas y bióticas con las que cuenta en el momento de realizar la toma de datos. Para el caso del municipio de Coatepec Harinas, el muestreo que tuvo más porcentaje de daño fue cuando se realizó la toma de datos de la parcela tres en el mes de abril (96 %) y la de menor daño fue la parcela dos en la toma de datos del mes de febrero (67 %); tal y como se puede apreciar en Cuadro 2. Este comportamiento de tipo agregado del daño causado por *O. punicae* en el cultivo aguacate permite sugerir que la reducción de sus infestaciones se puede lograr al focalizar las estrategias de manejo hacia puntos específicos o focos de infestación en donde se ubica los puntos de agregación los cuales se visualizan a través de los mapas generados toda vez que la distribución espacial no se comporta de manera homogénea al interior de las parcelas. Estos resultados concuerdan con los de Solano *et al.*, (2008) en su estudio Distribución espacial del ácaro *Brevipalpus phoenicis*, vector de la leprosis de los cítricos en el cultivo de naranja Valencia (*Citrus sinensis*), en el cual se indica que derivado del análisis de los mapas generados concluye que la plagas en las parcelas experimentales cuentan con una distribución no uniforme; por otra parte Duarte *et al.* (2015) indica que las poblaciones de insectos al igual que de ácaros se distribuyen heterogéneamente en el espacio y tiempo presentándose en focos de altas y bajas poblaciones, ya que el estudio de la variabilidad espacial de las poblaciones de artrópodos y sus fluctuaciones proporciona información, mejorando su eficiencia y reduciendo el impacto por la aplicación de medidas de control innecesarias en las áreas problemáticas.

Cuadro 2. Superficie con daño (%), de *Oligonychus punicae* Hirst en las parcelas de Estudio en los municipios Coatepec Harinas (Parcela 1, 2, 3, y 4) y Donato Guerra (Parcela 5, 6, 7, y 8).

Fecha	Coatepec Harinas				Donato Guerrero			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Octubre 2021	80	81	79	88	77	77	87	86
Noviembre 2021	94	77	90	92	81	81	88	91
Diciembre 2021	92	72	82	81	88	88	86	92
Enero 2022	87	78	76	90	86	82	89	90
Febrero 2022	95	67	89	88	75	74	90	84
Marzo 2022	91	70	92	86	95	95	87	93
Abril 2022	90	80	96	91	79	86	81	96
Mayo 2022	89	82	91	89	94	94	88	97

CONCLUSIONES

1. Con los índices de SADIE, podemos inferir que el patrón espacial del daño en hojas generado por *O. punicea* se distribuye en varios centros de agregación, esto se puede visualizar en los mapas de densidad generados a través de la técnica de Krigeado.
2. Al contar con la identificación de áreas con menor presencia de daño, se puede planear las medidas de control ya sean preventivas o correctivas con la utilización de técnicas de agricultura de precisión.
3. Contando con la distribución espacial del daño generado por *O. punicea*, se puede planear el combate de este ácaro de manera dirigida, con lo cual se podría contar con ahorros económicos, así como la mitigación del impacto ambiental, derivado de la utilización de productos químicos.

REFERENCIAS

- Baek S. y Lee JH. 2021. Spatio-temporal distribution of *Ricania shantungensis* (Hemiptera: Ricaniidae) in chestnut fields: Implications for site-specific management. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 24(1): 409-414.
- Blom E. y Fleisher S. 2001. Dynamics in the spatial structure of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology* 30 (2): 350-364. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.2.350>
- Coria A. y A. Ayala. 2010. Manejo de ácaros del aguacate en México SAGARPA. Folleto Técnico Núm. 20. Uruapan Michoacán, México. 19.
- Duarte F., M.V. Calvo., A. Borges, y I.B. Scatoni, 2015. Geostatistics applied to the study of the spatial distribution of insects and its use in integrated pest management. *Revista Agronómica del Noreste Argentina* 35: 9-20.
- Dungan J.L., Perry J.N., Citron-Pousty S., Fortin M-J., Jakomulska A., Miriti M y Rosenberg M. 2002. *A balanced view of scale in spatial statistical analysis. Ecography* 25, 626-640. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2002.250510.x>
- E. Badii M-Ochoa., Aguirre L. y Landeros U. 2009. Tabla de vida de *Oligonychus punicea* Hirst (Acari: Tetranychidae) en hojas de aguacate (*Persea americana* Mill) variedad Hass, Fuerte y Criollo. *Universidad y Ciencia* (25)133-140.

1 [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792009000200003&script=sci_abstract)
2 [29792009000200003&script=sci_abstract](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792009000200003&script=sci_abstract) (Recuperado: diciembre 2022).

3 Esquivel, V. y Y. Jasso. 2011. Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis
4 localidades del Estado de México, en el año 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*
5 5, 923-935. DOI:[10.29312/remexca.v5i6.879](https://doi.org/10.29312/remexca.v5i6.879)

6 García-Angel O., Cerna-Chávez E., Aguirre-Uribe LA., Ochoa-Fuentes Y., M, Chacón-
7 Hernández J.C, y Landeros-Flores J. 2017. Respuesta funcional de *Phytoseiulus*
8 *persimilis* sobre *Oligonychus punicae* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) en hojas
9 de aguacate. *Acta zoológica mexicana*, 33(3), 503-507.

10 Holland, M. Winder., L, Perry J. 2000. The impact of dimethoate on spatial distribution of
11 beneficial arthropods in winter wheat. *Ann. Appl. Biol.* 136, 93-105

12 Klick J., Yang W.Q., Walton V.M., Dalton D.T., Hagler J.R., Dreves A.J y Bruck D.J. 2016.
13 Distribution and activity of *Drosophila suzukii* in cultivated raspberry and
14 surrounding vegetation. *Journal of applied entomology*, 140(1-2), 37-46.

15 Lara V.F., Ramírez J.F., Rubí A.M., Morales R.J, Figueroa-Figueroa, D.K, Acosta-
16 Guadarrama A.D y Rivera-Martínez R. 2018. Distribución Espacial de Araña Roja
17 *Oligonychus punicae* Hirst1 en el Cultivo del Aguacate, en dos Municipios del Estado
18 de México. *Southwestern Entomologist*, 43(3), 743-759.
19 <https://doi.org/10.3958/059.043.0320>

20 Lemus-Soriano B.A, y Pérez-Aguilar D.A. 2016. Control químico del ácaro café del aguacate
21 *Oligonychus punicae* (Hirst, 1926)(Acari: Tetranychidae). *Entomología*
22 *mexicana*, 3,349-
23 [353.file:///C:/Users/hecto_000/Downloads/CONTROL%20QUÍMICO%20DEL%20ÁCARO%20CAFÉ%20DEL%20AGUACATE%20Oligonychus%20punicae%20\(Hirst,%201926\)%20\(ACARI%20TETRANYCHIDAE\).pdf](https://www.researchgate.net/publication/353111111/figure/fig/1/figure-pdf?input=353111111/figure-pdf-file:///C:/Users/hecto_000/Downloads/CONTROL%20QUÍMICO%20DEL%20ÁCARO%20CAFÉ%20DEL%20AGUACATE%20Oligonychus%20punicae%20(Hirst,%201926)%20(ACARI%20TETRANYCHIDAE).pdf) (Recuperado: Febrero, 2023).

24 Maestre F.T. y Quero J.L. 2008. Análisis espacial mediante índices de distancia
25 (SADIE). *Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones, AEET-CAM.* (Recuperado:
26 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54012158015>)

27 Maestre F.T., F. Rodríguez, S. Bautista, y J. Cortina. 2003. Análisis del patrón espacial de la
28 vegetación en un espartal semiárido (Alicante, SE España) utilizando distintos
29 métodos de análisis espacial y mallas de muestreo. I. Patrones individuales. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección biológica.* 98(1):159-172.
30 <https://maestrelab.com/wp-content/uploads/2015/10/brsehn2003b.pdf> (Recuperado:
31 Febrero, 2023).
32
33
34
35

- 1 Maldonado F.I., Ramírez, J.F., Rubí, M.; Xanat, N. y Lara, V. 2016. Distribución
2 espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Rev Mex De*
3 *Cienc Agric*7, 845-856.
- 4 Maldonado-Zamora F.I., Ramírez-Dávila J.F., Lara-Díaz A.V., Rivera-Martínez, R., Acosta-
5 Guadarrama., AD Figueroa-Figueroa., DK, Rubí-Arriaga, M Tapia-Rodríguez, A.
6 2017. Estabilidad Espacial y Temporal de la Distribución de Trips 1 en el Cultivo de
7 Aguacate en el Estado de México. *Southwest Entomol.* 42(2), 446-462.
8 <https://doi.org/10.3958/059.042.0215>
- 9 Mora A., Sánchez G., Guzmán, HE, Flores, C.O., Coria, C. J., Mendoza, R., Coral M. B.V.,
10 López, B. A, González, G. R., Javier, LM. 2021. Sistemas de vigilancia epidemiológicos
11 para interfaz web y aplicaciones en roya del café. *Revista mexicana de fitopatología*
12 39(3): 452-492. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2104-6>
- 13 Nita, M., Ellis, M. A., & Madden, L. V. 2012. Spatial pattern of Phomopsis cane and leaf spot
14 symptoms in commercial vineyards in Ohio. *Journal of Phytopathology*, 160(1), 26-
15 36.
- 16 Perry, J. 1995. Spatial Analysis by distance indices. *J Anim Ecol.* 64(3), 303-314.
- 17 Perry, J. 1998. Measures of Spatial Pattern for Counts. *Ecology*.79(3),1008-1017.
- 18 Perry, J.; Bell, E.; Smith, R.; Woiwod, I. 1996. SADIE Software to measure and model
19 spatial pattern. *Asp Appl Biol.* 46, 95-102.
- 20 Pino-Miranda, E., Ramírez-Dávila, J.F, Serrato-Cuevas, R., Mejía-Carranza, J., y Tapia-
21 Rodríguez, A. 2022. Distribución espacial y temporal del ojo de gallo (*Mycena*
22 *citricolor*) en cafetales del Estado de México. *Revista mexicana de fitopatología*, 40 (3),
23 433-446. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2204-2>
- 24 Porras, A. 2000. Evaluación de la actividad in vitro del género *Hypocrea* contra 2 hongos
25 fitopatógenos de importancia agrícola (*Fusarium* sp. y *Mycena citricolor*). Tesis Bach.
26 Cartago, CR. ITCR. 97p.
- 27 Quero, J.L. 2006. SADIE como herramienta de cuantificación de la heterogeneidad espacial:
28 casos prácticos en el Parque Nacional de Sierra Nevada (Granada, España).
29 *Ecosistemas.* 15, 40-47. <https://www.redalyc.org/pdf/540/54015304.pdf> (Recuperado:
30 enero 2023).
- 31 Ramírez-Dávila J.F., Jiménez-Carrillo R.A., Sánchez-Pale J.R., Rubí-Arriaga M, y Figueroa-
32 Figueroa D.K 2014. Distribución espacial de *Asclepias curassavica* L., en el Estado de
33 México, México. *Phyton (Buenos Aires)*, 83(1), 193-202.
34 [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-
35 56572014000100025](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572014000100025) (Recuperado: Febrero, 2023)

- 1 Ramírez-Dávila, J. F., y Porcayo-Camargo, E. L. V. I. A. 2009. Estudio de la distribución
2 espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en el Nevado de Toluca, México,
3 utilizando el Método del SADIE. *Madera y bosques*, 15(2), 93-112.
4 <https://doi.org/10.21829/myb.2009.1521193>
- 5 Rebollo, F. J., y Del Moral, F. 2015. Representación de la intensidad y distribución de las
6 cepas con síntomas de EMV, mediante la utilización de técnicas geoestadísticas y de
7 análisis espacial, en un viñedo de la comarca de “Tierra de Barros”(Badajoz).
8 Phytoma-España. 260: 18-24. DOI: 10.1007/s00484-014-0814-8.
- 9 Rijal, J.P, Wilson, R. & Godfrey, L.D Caracterización de la distribución espacial
10 de *Tetranychus urticae* en menta en California e implicación para mejorar el plan de
11 muestreo. *Exp Appl Acarol* 68 , 155–171 (2016). [https://doi.org/10.1007/s10493-015-](https://doi.org/10.1007/s10493-015-0006-1)
12 [0006-1](https://doi.org/10.1007/s10493-015-0006-1)
- 13 Rong, J.; Dian, M. L.; Bao, Y. X.; Zhe, L. y Dong, L. 2006. Spatial distribution of oriental
14 migratory locust (*Orthoptera: Acrididae*) egg pod populations: implications for site-
15 specific pest management. *Environ. Entomol.* 35(5, 1244-1248.
16 <https://doi.org/10.1093/ee/35.5.1244>
- 17 SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Panorama agroalimentario
18 2022. <https://www.gob.mx/siap> (Recuperado: Febrero, 2023).
- 19