

Sección Agrícola

Artículo de investigación

## **Análisis espacial de las poblaciones del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal en el Estado de México**

Spatial analysis of populations agave weevil *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal in the State of Mexico

MELISA GONZÁLEZ-DÁVILA<sup>1</sup>; JOSÉ FRANCISCO RAMÍREZ-DÁVILA<sup>2</sup>; AGUSTÍN DAVID ACOSTA-GUADARRAMA<sup>3</sup>; DULCE KAREN FIGUEROA-FIGUEROA<sup>4</sup>

### **Resumen**

Los agaves son uno de los grupos vegetales más representativos de México. Su importancia va desde su valor ecológico y económico, hasta su aspecto cultural. Una de las plagas más importantes que afecta a este cultivo es el “picudo del agave” (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal), el cual ha adquirido gran importancia debido a que barrena las pencas llegando al interior de la planta, al hacer esto provoca lesiones que posteriormente son infectadas por hongos y/o bacterias lo cual conlleva a que la planta muera. El objetivo del presente estudio fue determinar la distribución espacial de las poblaciones del picudo del agave en dos localidades del municipio de Malinalco utilizando el análisis espacial mediante índice de distancia, SADIE. Los resultados mostraron que los índices de  $I_a$  y  $J_a$  de las poblaciones de picudo del agave presentan una distribución espacial tipo agregada para las dos parcelas de estudio. Se determinó la estabilidad espacial y temporal a corto plazo con el índice  $I_m$ . Se obtuvieron mapas de densidad para cada muestreo en las dos parcelas, con los mapas obtenidos se calculó la superficie infestada en cada parcela, los resultados muestran la distribución de la plaga y se proponen alternativas sustentables para su control.

**Palabras claves:** Agave, distribución espacial, SADIE, *Scyphophorus acupunctatus*, krigado.

### **Abstract**

Agave is one of the most representative plant groups in Mexico. Their importance ranges from their ecological and economic value to their cultural aspect. One of the most important pests is the agave weevil (*Scyphophorus acupunctatus*), which has acquired importance because it bores the stalks reaching the interior of the plant, causing lesions that are subsequently infected by fungi and/or bacteria, which leads to the rotting of the agave until it dies. The objective was to determine the spatial distribution of the agave weevil populations in two localities of the

municipality of Malinalco with the application of spatial analysis using the distance index, SADIE and the elaboration of infestation maps with the kriging technique. The results showed that the Ia and Ja indices of the agave weevil populations present an aggregate type distribution for the two plots studied, as well as the spatial and temporal stability in the short term with the Im index. Density maps were obtained for each sampling in the two plots, with the maps obtained the infested area in each plot was calculated, the results show the distribution of the pest and sustainable alternatives for its control are also proposed.

**Keywords:** Agave, SADIE, spatial distribution, *Scyphophorus acupunctatus*, krigeado.

## Introducción

México es el área de mayor diversidad de plantas de Agave spp. De un total de 206 especies especies en todo el mundo, en México se cultivan 159, de las cuales 119 son endémicas. El agave producido en México es de gran importancia económica, debido a la gran variedad de productos y subproductos que se pueden elaborar con las diferentes especies (SENASICA-DGSV. 2016). Los productos más comercializados en el mercado internacional son el tequila y el mezcal; destaca la producción de este último debido entre otros factores a la amplia difusión y comercialización del primero. El mezcal, se considera una bebida ancestral, de gran importancia en la economía de poblaciones rurales de México, y el incremento de su producción se debe a las características distintivas que se logran mediante procesos artesanales (Olvera-Vargas *et al.*, 2022). Según el Consejo Regulador del Mezcal (CRM), en los últimos diez años la producción ha aumentado más del 100% para el mercado de exportación.

Una de las plagas más importantes que afectan a esta cultivo es el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus*), el cual recientemente ha adquirido gran importancia (Barragán *et al.*, 2022). Para su control se ha recurrido al uso de insecticidas comerciales, sin embargo, su control no ha sido exitoso debido a que las larvas e insectos adultos se alojan en tejidos profundos, siendo poca o casi nula la cantidad de insecticida que penetra hasta el sitio en que se alojan.

Valdés *et al.* (2004), plantean la posibilidad de controlar esta plaga con el uso de atrayentes naturales, en combinación con insecticidas comerciales, ya que se encontró que las hojas ejercían un importante efecto atrayente sobre este insecto. Se sabe que el color de las trampas tiene un impacto sobre la efectividad de éstas en combinación con feromonas para diferentes especies de picudos (Ruiz-Montiel *et al.*, 2017).

Recientemente, el agave se ha utilizado para obtención de productos industriales, bioenergéticos y nutracéuticos de alto valor económico, lo que ha llevado a un incremento en la superficie sembrada en varios regiones del país; tal es el caso del Estado de México, que ha aumentado la producción de agave o maguey (Arista, 2022).-El monitoreo del picudo del agave es necesario para conocer cómo se distribuyen las poblaciones de este insecto plaga en las parcelas,

conociendo el impacto real que tiene sobre el agave, para definir mejores estrategias de control. Una técnica de uso reciente es el análisis espacial por índices de distancia (SADIE) que mide la distancia a la cual pueden desplazarse los individuos de una muestra observada (Perry, 1998). Por lo tanto, el presente trabajo tuvo por objetivo determinar la distribución espacial de las poblaciones de *Scyphophorus acupunctatus* en agave mediante el uso de técnicas índices de SADIE.

Con respecto a los métodos de estadística espacial, estos proporcionan una medida más directa de la dependencia entre individuos, debido a que tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su localización, además, permiten elaborar mapas de gran utilidad para conocer la distribución espacial de los insectos, permiten establecer grados de infestación que requieran un control inmediato tomando decisiones sanitarias, como también detectar posibles preferencias en su estructura de agregación y zonas que no presenten infestación (Esquivel & Jasso, 2014).}

En cualquier trabajo geoestadístico, el principal objetivo del mismo es la caracterización de la variable investigada en todas las localizaciones partiendo de la información suministrada por los puntos muestrales (Moral, 2004). Un método utilizado es el Krigeado el cual se basa en la intuición de que las variables espaciales de una determinada población se encuentran correlacionadas en el espacio, es decir, mientras más cercanos estén dos puntos sobre la superficie terrestre menor será la variación de los atributos medidos (Deraisme y De Fouquet, 1996).

## **Materiales y métodos**

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Malinalco, México; entre los paralelos 18° 46' y 19° 01' de latitud norte; los meridianos 99° 26' y 99° 34' de longitud oeste; altitud entre 1 000 y 2 600 msnm, se eligieron dos zonas, una en el centro (Parcela 1) y otra en la localidad de Puente Caporal (Parcela 2), en cada zona se eligió una parcela de 1 hectárea, las parcelas son manejadas agronómicamente de manera similar (sin aplicación de agroquímicos) y tienen una antigüedad aproximada de 3 años de trasplante. El muestreo se realizó mediante la metodología de transectos, el cual consiste en la ubicación de líneas de muestreo (Cortés, 2018). Las líneas fueron de 10 x 10 m y se seleccionaron un total de 121 plantas. Cada planta fue marcada con un distintivo rojo y se geo-referenció utilizando un GPS de la marca Garmin 66 sr para obtener sus coordenadas geográficas, dichas plantas se inspeccionaron por las mañanas y cada 15 días durante el mes de junio de 2022 hasta febrero de 2023. De cada planta se contó el número de insectos plaga de manera visual. Se colectaron algunos individuos los cuales fueron identificados con claves especializadas en el Laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. En cada parcela se instaló un sistema de monitoreo de temperatura y precipitación, se descargaron los datos de cada muestreo y se calculó la media mensual de cada factor mencionado. Antes de proceder al análisis espacial por índices

de distancia (SADIE) los datos obtenidos se analizaron mediante la prueba de curtosis presentando todos los datos una distribución normal.

### **Análisis espacial por índices de distancia (SADIE)**

Esta herramienta identificó el modelo espacial para datos bidimensionales, con un índice asociado de la agregación y de una prueba para la desviación de la aleatoriedad basada en un algoritmo de atracción, el cual incorporó un modelo biológico para la dispersión de individuos de un origen en el que a cada individuo se le asignó un territorio dinámico (Perry, 1995).

Se determinó el patrón espacial para las capturas de adultos en cada fecha de muestreo mediante el cálculo de los índices de agregación ( $I_a$ ). Para la incidencia de daño en cada uno de las parcelas, SADIE determinó el patrón espacial de la variable objetivo, calculó la distancia mínima en el espacio ( $D$ ) requerida para obtener la regularidad o valor promedio de la variable en todas las posiciones del área experimental (Perry, 1995).

### **Estimación de los índices $I_a$ y $J_a$**

Los datos obtenidos en los muestreos fueron ubicados en una cuadrícula prediseñada (conformada por unidades de muestreo), se tomó como un sistema de conteo de individuos, donde  $i = 1 \dots, n$  unidades de muestreo. Además se acepta por el ser conocidas la posición bidimensional  $(x_i, y_i)$  de cada unidad de muestreo y su conteo asociado,  $N_i$ . El intervalo para la regularidad,  $D$ , es el valor mínimo del intervalo total que los individuos en la muestra pueden haberse movido, de una unidad de muestreo a otra, por ello es que todas las unidades de muestreo contuvieran un número idéntico de individuos. Si la distancia media aritmética para la regularidad de las muestras aleatorias se denota como  $E_a$ , entonces el índice de agregación, llamado  $I_a$ , está definido como  $I_a = D/E_a$ . Comúnmente, se dice que una muestra es agregada si  $I_a > 1$ , la muestra es espacialmente aleatoria si  $I_a = 1$ , y la muestra es regular si  $I_a < 1$ . Un número total de 2000 aleatorizaciones son aptas para derivar los valores de los índices correspondientes.

$C$  denota la distancia para el agrupamiento, que es el valor mínimo de la distancia total que los individuos de la muestra deberán moverse para congregarse en una unidad. Si la distancia media para el agrupamiento para muestras aleatorias se denota como  $F_a$ , entonces el índice de agregación  $J_a$ , se define como  $J_a = F_a/C$ . Como en el caso del índice  $I_a$ , valores de  $J_a > 1$  usualmente indican una muestra agregada,  $J_a = 1$  representarán datos espacialmente aleatorios y  $J_a < 1$  muestras regulares. De este modo, los valores del índice  $J_a$  sirven para corroborar los resultados obtenidos con el índice  $I_a$ . También, este índice se utiliza para discriminar entre patrones espaciales donde hay un único agrupamiento importante para el cual sus valores son significativamente mayores que la unidad, y en donde hay dos o más agrupamientos para los cuales su valor no es significativamente diferente de la unidad o incluso menor que ella (Perry, 1998 y Perry & Dixon, 2002).

Al establecer la significación con respecto a la unidad se adaptó su probabilidad respectiva ( $Q_a$ ). Los valores de  $I_a$  y  $J_a$  para conteos aleatorios no están correlacionados, por lo que se pueden utilizar también 2000 aleatorizaciones en el software empleado para obtener sus respectivos valores, (Perry *et al*, 1996; Perry, 1998).

Las estimaciones obtenidas mediante los índices del SADIE se mostraron en forma de mapa, mediante el programa Surfer 16.0. El programa que se utilizó en este trabajo para determinar los valores y las probabilidades de ambos índices fue el SADIE 1.22.

## **Krigeado**

El Krigeado tiene muchas variantes según los grados de estacionalidad de la función aleatoria que representa el fenómeno regionalizado. Sin embargo, la variante más utilizada es el Krigeado Ordinario, a la cual está dirigida la presente investigación. El Krigeado Ordinario asume que la función aleatoria es estacionaria de segundo orden con media desconocida, lo cual indica la homogeneidad de las muestras en el área en la que se distribuye la variable, y además manifiesta que la correlación entre dos variables aleatorias depende únicamente de la distancia espacial que les separa y es independiente de su ubicación (Fernández, 2016).

El método se basó en el conocimiento del comportamiento de la variable en el espacio, la covarianza entre cualquier punto a muestrear y un punto cuyo valor se predijo. El método evitó muestreo innecesario, ponderando de formas distintas las muestras que estén muy cerca entre sí y procedió de la misma forma en muestras que estuvieron en lados opuestos al punto que se quiera asignar un valor.

Se utilizó el método del Krigeado Ordinario para elaborar mapas de densidad de las poblaciones del picudo del agave. Se empleó esta metodología, debido a que se conoce la media y la varianza.

## **Superficie infestada**

En la Agricultura de Precisión uno de sus propósitos es direccionar las medidas de control sobre las áreas específicas de infestación ya sea de enfermedades o insectos plaga, por lo tanto, busco la respuesta y medición a la variabilidad inter e intracampo. Lo cual determinó una reducción de la cantidad del volumen de plaguicidas para su control y un probable ahorro económico. Para llegar a este objetivo se ubicó la superficie infestada de los mapas elaborados, obtenidos del programa Surfer 16.0.

Teniendo el porcentaje de superficie infestada de las plagas y enfermedades en cada uno de los mapas, se llevó a cabo el cálculo del costo de una aplicación normal, así como los productores de dichas zonas. Finalmente, la diferencia entre ambos valores nos indicó el ahorro económico obtenido con la metodología de precisión.

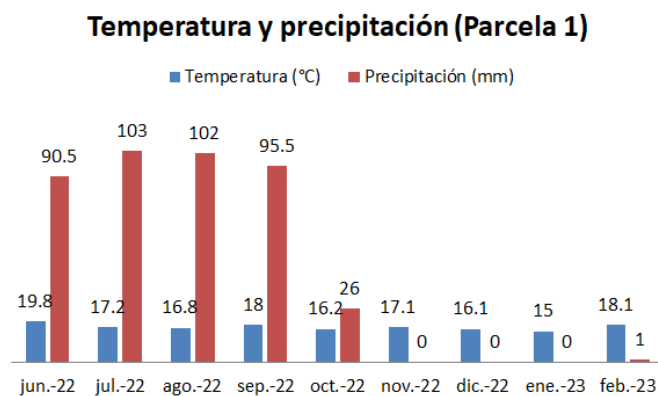
## **Estabilidad espacial y temporal**

En este trabajo se analizó la presencia de estabilidad espacio-temporal a corto plazo (9 meses). Para tal efecto se comparó los mapas obtenidos con el método de interpolación llamado Krigado, para ello se usó el Programa Surfer 16.0.

En el caso de los mapas elaborados mediante el método del SADIE, la comparación para establecer la estabilidad espacio-temporal de los mismos, se realizó con el índice de asociación del SADIE llamado  $I_m$ , con tal índice se consiguió realizar un contraste entre muestras tomadas al azar, para determinar una localización espacial. Las comparaciones se ejecutaron dentro de los 9 meses marcados. Si  $I_m > 0$ , expresa que existe una estabilidad espacio-temporal o una asociación entre los mapas, si existe un nivel de significación de  $P_m < 0.025$ . La determinación de esta estabilidad se realizó con el programa SADIE 1.22 (Perry *et al.*, 1996).

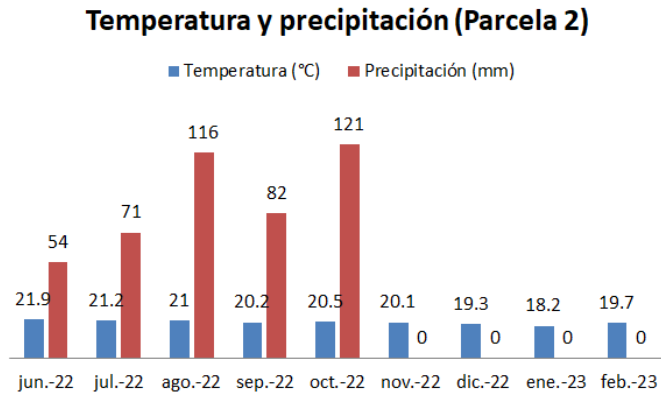
## Resultados y discusión

Se obtuvieron datos de temperatura y precipitación media mensual para las dos parcelas de estudio (Figura 1 y 2), en la parcela 1 se registró la temperatura más alta en el mes de junio con 19.8°C, mientras que la temperatura media mensual más baja se registró en el mes de enero con 15°C, la precipitación se presentó solo en los meses de junio a octubre con lluvias aisladas en febrero de 2023, la precipitación más alta se registró en julio con 103 mm mensuales, mientras que en los meses de noviembre de 2022 a enero de 2023 no se registró lluvia en la parcela de estudio.



**Figura 1. Temperatura y precipitación media mensual en la parcela 1, de Junio de 2022 a Febrero de 2023**

En la parcela 2 (figura 2) se registraron en promedio temperaturas más altas al igual que precipitaciones, la temperatura más alta fue al igual que en la parcela 1 en junio, registrando 21.9°C, mientras que la temperatura más baja también se presentó en enero de 2023 con 18.2°C, el mes con mayor lluvia fue el mes de octubre con 121 mm mensual, los meses de noviembre de 2022 a febrero de 2023 no se presentaron lluvias.



**Figura 2. Temperatura y precipitación media mensual en la parcela 2, de Junio de 2022 a Febrero de 2023**

Se registró presencia de “picudo del agave” en las dos parcelas en los 18 muestreos realizados, para la Parcela 1 la incidencia mayor se presentó en el mes de octubre en el primer muestreo con 1.39 insectos plaga por planta, contrario a esto en el mes de diciembre en su segundo muestreo fue donde se registró menor presencia con 0.35 insecto plaga en promedio por planta (Tabla 1). Por otro lado, para la Parcela 2 la incidencia mayor se presentó en el mes de febrero en el primer muestreo con 1.96 insectos plaga por planta, en el mes de noviembre en su segundo muestro fue menor la presencia con 0.43 insecto plaga por planta (Tabla 2). **Las lluvias no influyeron directamente en la presencia del insecto plaga ya que se registró su presencia durante todos los meses de muestreo, como se menciona estos insectos colonizan en cogollo de la planta, es por ello que las precipitaciones no afectan su desarrollo** Con respecto a la temperatura, como se pudo observar en las figuras 1 y 2 no existe una variabilidad importante de temperatura durante los meses de muestreo, es por ello que no se modifican los ciclos del picudo, mismos datos los reporta Arista *et al.* (2023) quienes registraron presencia del picudo del agave todo el año. Con los resultados de los muestreos fue posible estimar la modelización espacial y el mapeo de la distribución del picudo a través de la herramienta de SADIE. Estos análisis mostraron diferentes valores de  $I_a$  y  $J_a$  en las dos localidades de estudio. Con respecto a el índice  $I_a$  en la Parcela 1 se encontró el índice más bajo en el mes de octubre primer muestreo con 1.30 (Tabla 1); siguiendo con la Parcela 2 el índice encontrado de  $I_a$  más bajo fue en el mes de agosto segundo muestreo con 1.41 (Tabla 2). Con relación al índice más alto mostrado en la Parcela 1 este ocurrió en el mes de diciembre segundo muestreo con 1.73 (Tabla 1); por otro lado, en la Parcela 2 el valor más alto se mostró en el mes de febrero primer muestreo con 1.74 (Tabla 2). Se sabe que una muestra es agregada si  $I_a > 1$ , lo que permite inferir que en las dos parcelas los insectos mostraron comportamiento agregado.

Para el índice  $J_a$  en las dos localidades también fue superior a la unidad, por lo que se confirma la agregación de picudo. Los datos obtenidos con la aplicación del índice de distancia SADIE indicaron que el índice  $I_a$  fue significativamente superior a 1, lo cual señala que la distribución del picudo es de tipo agregada.

Para la Parcela 1 el índice *Ja* el valor mayor se dio en el mes de octubre primer muestreo con 1.18 y el menor valor en los meses de junio primer muestreo y noviembre segundo muestreo con 1.07, como se muestra (Tabla 1). Con respecto a la Parcela 2 el índice *Ja* el valor mayor se presentó en los meses de noviembre primer muestreo y enero primer muestreo con 1.17 y el valor menor en los meses de julio, diciembre y febrero todos en el primer muestreo con 1.10, como se muestra (Tabla 2).

La distribución agregada de las poblaciones del picudo se manifiesta en cada uno de los mapas obtenidos (Figura 1 y 2), lo que corrobora lo establecido por los índices *Ia* y *Ja*.

Estos comportamientos también fueron observados por Esquivel y Jasso (2014), cuando estudiaron el comportamiento de gusano soldado en maíz con índices mayores a 1, concluyendo que este insecto también muestra distribución agregada. Por otro lado, Reay-Jones (2012), observó que el escarabajo de la hoja en trigo fue de forma agregada en campos específicos con índices como (*Ia*-1.596 y *Ia*-1.569). Gireesh *et al.* (2021), mencionan que la distribución espacial de un insecto es un rasgo heredado, pero puede verse influenciado por el comportamiento y varios factores ambientales como lo es la temperatura y precipitación.

**Tabla 1. Media muestral, índice *Ia* y *Ja* con sus respectivas probabilidades para la parcela 1 en el municipio de Malinalco 2022-2023**

<b>Muestreo</b>	<b>X</b>  (Insectos por planta)	<b>I<sub>a</sub></b>	<b>P<sub>a</sub></b>	<b>J<sub>a</sub></b>	<b>Q<sub>a</sub></b>
Junio 1	1.01	1.41	0.010s	1.07	0.153ns
Junio 2	1.16	1.49	0.013s	1.12	0.195ns
Julio 1	1.23	1.32	0.009s	1.09	0.241ns
Julio 2	1.04	1.41	0.006s	1.14	0.170ns
Agosto 1	1.09	1.64	0.011s	1.16	0.225ns
Agosto 2	0.86	1.52	0.007s	1.11	0.211ns



Septiembre 1	1.08	1.57	0.015s	1.08	0.256ns
Septiembre 2	0.99	1.66	0.013s	1.15	0.273ns
Octubre 1	1.39	1.30	0.012s	1.18	0.145ns
Octubre 2	0.82	1.60	0.011s	1.13	0.284ns
Noviembre 1	0.90	1.72	0.016s	1.15	0.228ns
Noviembre 2	0.45	1.43	0.008s	1.07	0.267ns
Diciembre 1	0.41	1.54	0.006s	1.12	0.166ns
Diciembre 2	0.35	1.73	0.011s	1.10	0.206ns
Enero 1	0.57	1.35	0.010s	1.09	0.249ns
Enero 2	0.51	1.45	0.012s	1.11	0.237ns
Febrero 1	0.89	1.63	0.008s	1.10	0.183ns
Febrero 2	0.82	1.38	0.014s	1.13	0.219ns

**Tabla 2. Media muestral, índice I<sub>a</sub> y J<sub>a</sub> con sus respectivas probabilidades para la parcela 2 en el municipio de Malinalco 2022-2023**

<b>Muestreo</b>	<b>X</b>  (Insectos por planta)	<b>I<sub>a</sub></b>	<b>P<sub>a</sub></b>	<b>J<sub>a</sub></b>	<b>Q<sub>a</sub></b>
Junio 1	1.16	1.42	1.007s	1.11	0.163ns

Junio 2	1.15	1.62	1.011s	1.16	0.211ns
Julio 1	1.13	1.53	1.010s	1.10	0.177ns
Julio 2	1.17	1.71	1.014s	1.13	0.150ns
Agosto 1	1.0	1.48	1.008s	1.12	0.204ns
Agosto 2	0.69	1.41	1.014s	1.11	0.190ns
Septiembre 1	0.90	1.45	1.012s	1.14	0.233ns
Septiembre 2	0.80	1.72	1.015s	1.12	0.251ns
Octubre 1	0.65	1.55	1.009s	1.15	0.223ns
Octubre 2	0.77	1.49	1.013s	1.14	0.247ns
Noviembre 1	0.55	1.60	1.013s	1.17	0.277ns
Noviembre 2	0.43	1.66	1.010s	1.13	0.172ns
Diciembre 1	0.57	1.69	1.011s	1.10	0.262ns
Diciembre 2	1.37	1.51	1.008s	1.11	0.228ns
Enero 1	1.37	1.57	1.016s	1.17	0.185ns
Enero 2	1.37	1.55	1.007s	1.13	0.241ns
Febrero 1	1.96	1.74	1.012s	1.10	0.199ns
Febrero 2	1.23	1.60	1.015s	1.15	0.217ns

s: significativo  
ns: no significativo

Se determinó que si existe estabilidad espacial y temporal a corto plazo con la ayuda del índice  $I_m$ . En la tabla 3 se concentraron los resultados de la comparación entre los mapas de la distribución espacial de las poblaciones del insecto plaga, en la parcela 1. Para llevar a cabo la comparación entre los diferentes mapas se utilizó el índice  $I_m$  del SADIE; si los valores de este índice eran mayores que 0, esto indicaba que no existía diferencia significativa entre los mapas comparados.

Una vez realizadas las 17 comparaciones posibles entre los mapas elaborados de la parcela 1 (tabla 3), se muestra que en el mes de junio y el primer muestreo de julio existió una estabilidad o una asociación, siguiendo con el segundo muestreo del mes de julio y agosto no se encontró una estabilidad, pero en el mes de septiembre volvió a existir una estabilidad, sin embargo a partir del mes de octubre segundo muestreo hasta febrero ya no se halló ninguna asociación espacial alguna entre las comparaciones realizadas. De acuerdo con el índice  $I_m$  esto indica que no fue posible detectar una estabilidad espacio-temporal estable de las poblaciones de la plaga. En estudios realizados por Aquino *et al.* (2007) reportaron la mayor cantidad de adultos del picudo del agave en época de lluvias (junio a septiembre), en muestreos realizados en Tlacolula, Santa del Valle y Matatlán ubicados en valles del estado de Oaxaca, contrario a esto (Maldonado *et al.*, 2017) reportan estabilidad espacial y temporal para trips en el cultivo de aguacate para todas las especies.

**Tabla 3. Índice  $I_m$  para la Parcela 1 en Malinalco**

<b>Muestreos Comparados</b>	<b><math>I_m</math></b>	<b>Muestreos Comparados</b>	<b><math>I_m</math></b>
Junio 1 vs Junio 2	0.672	Octubre 2 vs Noviembre 1	-0.519
Junio 2 vs Julio 1	0.321	Noviembre 1 vs Noviembre 2	-0.277
Julio 1 vs Julio 2	-0.839	Noviembre 2 vs Diciembre 1	-1.429
Julio 2 vs Agosto 1	-1.566	Diciembre 1 vs Diciembre 2	-1.988
Agosto 1 vs Agosto 2	-1.371	Diciembre 2 vs Enero 1	-0.635
Agosto 2 vs Septiembre 1	0.507	Enero 1 vs Enero 2	-0.840

Septiembre 1 vs Septiembre 2	1.369	Enero 2 vs Febrero 1	-1.627
Septiembre 2 vs Octubre 1	-0.616	Febrero 1 vs Febrero 2	-0.401
Octubre 1 vs Octubre 2	0.593		
Valores de $I_m > 0$ indican asociación espacial			

Para la parcela 2 se calculó el índice  $I_m$  después que se realizaron las 17 comparaciones posibles entre los mapas elaborados (tabla 4), se encontró que solo en el mes de junio la plaga se mantuvo estable, sin embargo a partir del mes de julio hasta febrero ya no se halló ninguna asociación espacial entre las comparaciones realizadas. De acuerdo con el índice  $I_m$  esto indica que no fue posible detectar una estabilidad espacio-temporal estable de las poblaciones de la plaga. En el trabajo realizado por Mejía (2022), en *Scirtothrips perseae* Nakahara en el cultivo de aguacate en el municipio de Temascaltepec el índice  $I_m$  indicó que en la mayoría de las comparaciones no hubo estabilidad espacial y temporal, sin embargo, trabajos como el de (Rivera *et al.*, 2017) reportan estabilidad espacial y temporal a corto plazo en *Bactericera cockerelli* en tomate de cascara.

**Tabla 4. Índice  $I_m$  para la parcela 2 en Malinalco**

<b>Muestreos Comparados</b>	<b><math>I_m</math></b>	<b>Muestreos Comparados</b>	<b><math>I_m</math></b>
Junio 1 vs Junio 2	0.35	Octubre 2 vs Noviembre 1	-0.69
Junio 2 vs Julio 1	-0.21	Noviembre 1 vs Noviembre 2	-0.52
Julio 1 vs Julio 2	-0.64	Noviembre 2 vs Diciembre 1	-0.19
Julio 2 vs Agosto 1	-1.15	Diciembre 1 vs Diciembre 2	-0.51
Agosto 1 vs Agosto 2	-1.76	Diciembre 2 vs Enero 1	-1.42
Agosto 2 vs Septiembre 1	-0.77	Enero 1 vs Enero 2	-2.27

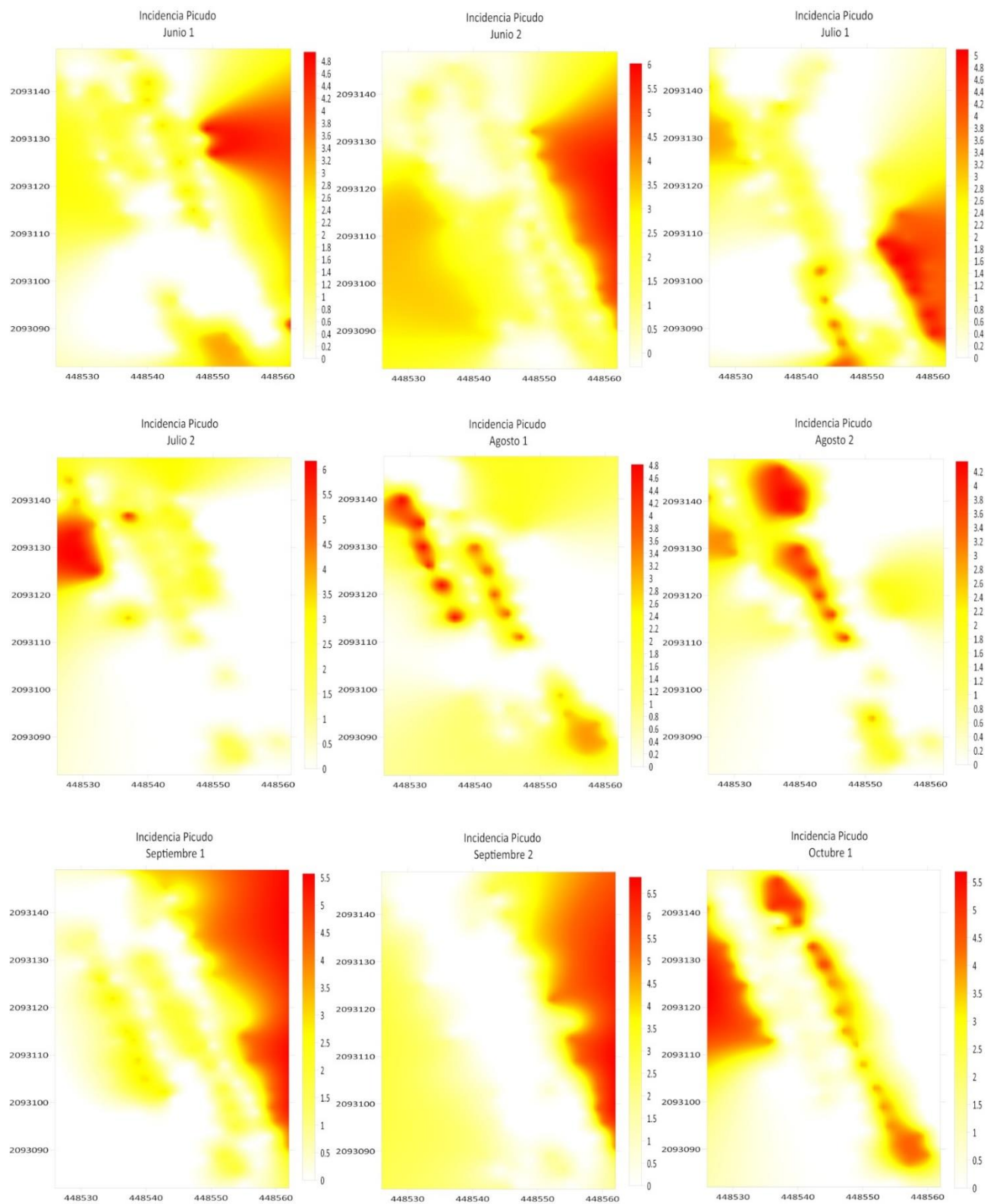
Septiembre 1 vs Septiembre 2	-1.65	Enero 2 vs Febrero 1	-0.39
Septiembre 2 vs Octubre 1	-2.05	Febrero 1 vs Febrero 2	-1.63
Octubre 1 vs Octubre 2	-2.74		
Valores de $I_m > 0$ indican asociación espacial			

Los índices SADIE se corroboran con precisión en los mapas de densidad elaborados con el método del Krigeado Ordinario, se detallan los datos obtenidos de los muestreos de las dos localidades de superficie infestada, donde las poblaciones de picudo se ubicaron en centros de agregación, es decir su distribución se localiza en puntos específicos o focos de incidencia distribuidos en la zona de estudio.

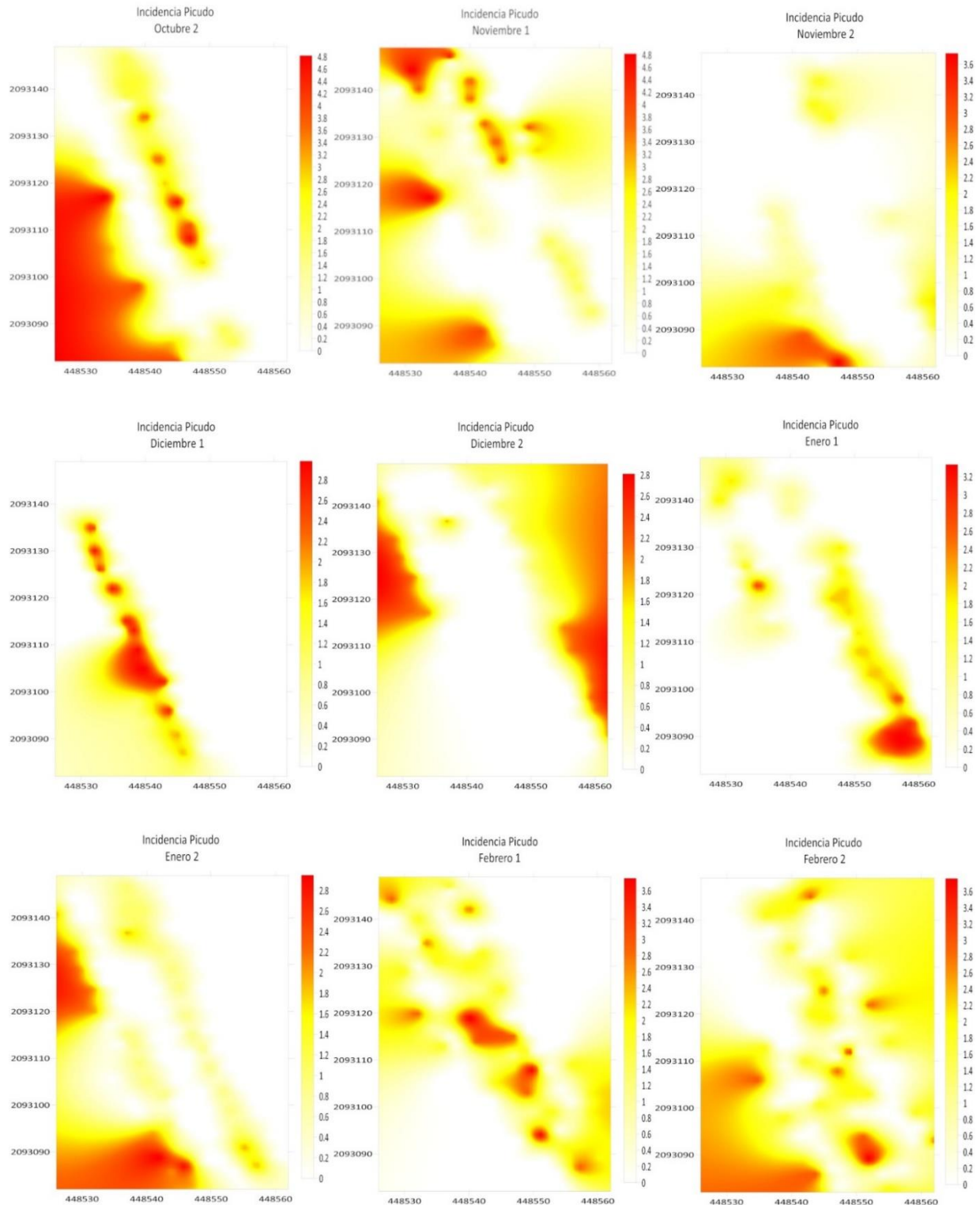
En los mapas realizados se alcanzan a apreciar los diferentes focos de agregación o de agrupamiento de las poblaciones del insecto en dos las parcelas estudiadas. Se distingue de forma general cierta relación entre el número de centros de agregación existentes y el promedio de picudos detectados en cada caso.

En lo que se refiere a la parcela 1 dentro de los primeros cuatro meses de muestreo (Figura 3) se encontraron más centros de agregación del insecto plaga en la región norte de los mapas con tendencias hacia las orillas del lado derecho del mapa, para el caso de los meses restantes (Figura 4) se observan más centros de agregación del insecto plaga en la región sur de los mapas con tendencias al centro y otras hacia las orillas del lado izquierdo del mapa. Los mapas ayudan a identificar de manera visual donde es que se localizan los centros de agregación, así mismo el productor podrá realizar medidas de control específicas las cuales obtendrá ahorros económicos y ecológicos.

Diversos trabajos han demostrado que los mapas de infestación ayudan para poder realizar programas de manejo integrado para plagas como lo muestra Rivera *et al.*, (2017) quienes realizaron mapas de infestación de trips pero de todo el conjunto de especies, Lasmar *et al.*, (2012) demostraron que los mapas que obtenidos con esta técnica son de gran utilidad a la hora de tomar decisiones para el control de hormiga en cultivo de eucalipto.



**Figura 3. Mapas de infestación de *Scyphophorus acupunctatus* correspondiente a la parcela 1 de junio a octubre 1 del año 2022 en Malinalco**



**Figura 4.** Mapas de infestación de *Scyphophorus acupunctatus* correspondiente a la parcela 1 de octubre 2022 a febrero 2023 en Malinalco

En los mapas obtenidos de los muestreos de la parcela 2 se muestra la superficie donde las poblaciones de picudo se ubicaron en centros de agregación, es decir su distribución se localiza en puntos específicos de incidencia distribuidos en la zona de estudio. En el caso de la parcela 2 los primeros dos meses (Figura 5) muestran centros de agregación en la región sur y norte de los mapas con tendencias al lado izquierdo del mismo, para el resto de los meses no se muestra una gran presencia, hasta los meses de diciembre a febrero (Figura 6) se muestran centros de agregación en la región norte con tendencia en el centro. Estos datos son de gran ayuda para el productor ya que con esta técnica conoce el comportamiento espacial de dicha plaga y si esta tiene cierta estabilidad en tiempo y espacio. Estos datos se pueden aprovechar por el productor ya que le permitirá tomar acciones para prevenir o regular la plaga dentro del cultivo del agave y establecer programas de manejo integrado. Enríquez (2019), menciona que actualmente, para reducir las poblaciones de larvas y adultos de los picudos se aplican insecticidas de diferentes ingredientes activos sobre las plantas. Sin embargo, la eficacia de los insecticidas sobre los picudos ha sido variable, en parte porque muchos de los insecticidas no llegan al interior de las plantas donde se encuentran las larvas.

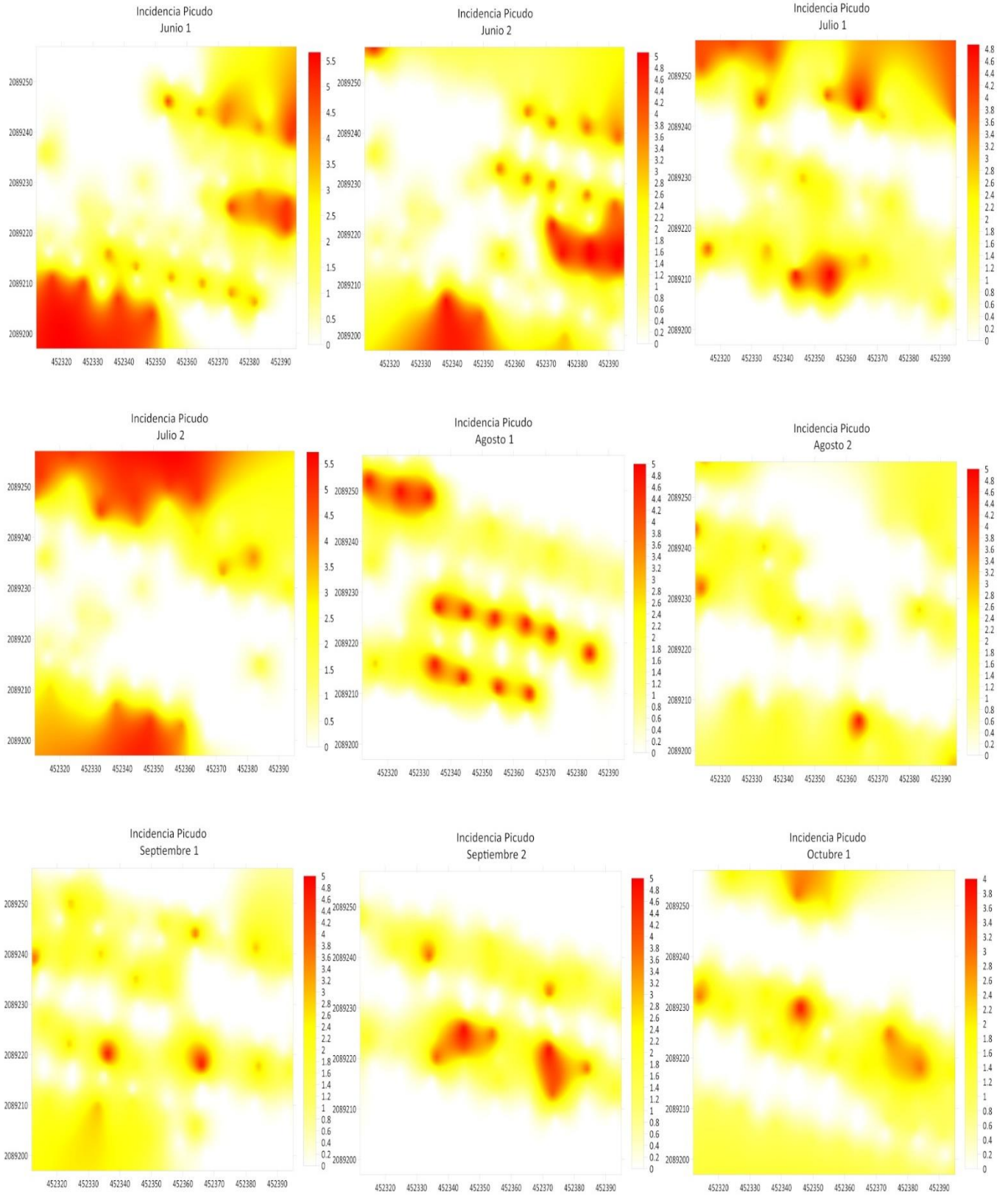
De manera general en los mapas elaborados con el método del Krigado Ordinario se observó que la superficie libre de infestación disminuyó conforme la densidad media era mayor, estos mapas ayudan al productor a visualizar de manera práctica en donde debe dirigir sus aplicaciones de control, trabajos como (Esquivel y Jasso, 2014) reportaron cómo se realizó el mapeo de gusano soldado en maíz, el cual se comporta de manera agregada, por su parte, Ferguson *et al.*, (2003) mostraron a partir de los mapas de infestación cómo se comportan diferentes plagas en el cultivo de colza.

Retomando lo anterior, el uso de insecticidas como único método de control ha provocado impactos negativos al ambiente y a la salud de los trabajadores agrícolas, sobre todo por los residuos que se generan durante y posteriormente de la aplicación de los insecticidas. Existen otras alternativas de control de los picudos como: el control cultural (derribo y eliminación a tiempo de palmas y agaves infestados por los picudos), control etológico (uso de trampas cebadas con tejido de las plantas impregnadas con insecticidas y feromonas de agregación para capturar a los insectos), así como el control biológico.

Entre algunos organismos benéficos se reportan los hiperidos depredadores de larvas: *Hololeptera* spp., *Placodes ebeninus* Lewis y *L. cacti* Maesul. Para el caso de parasitoides de larvas solo se menciona a *Aliencoclypeus insolitus* Shenefelt. Por último se mencionan como entomopatógenos del picudo a los hongos (*Beauveria bassiana* (Bals) Vuill., *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin, y algunos nematodos como (*Heterorhabditis bacteriophora*) (Macedonio, 2015).

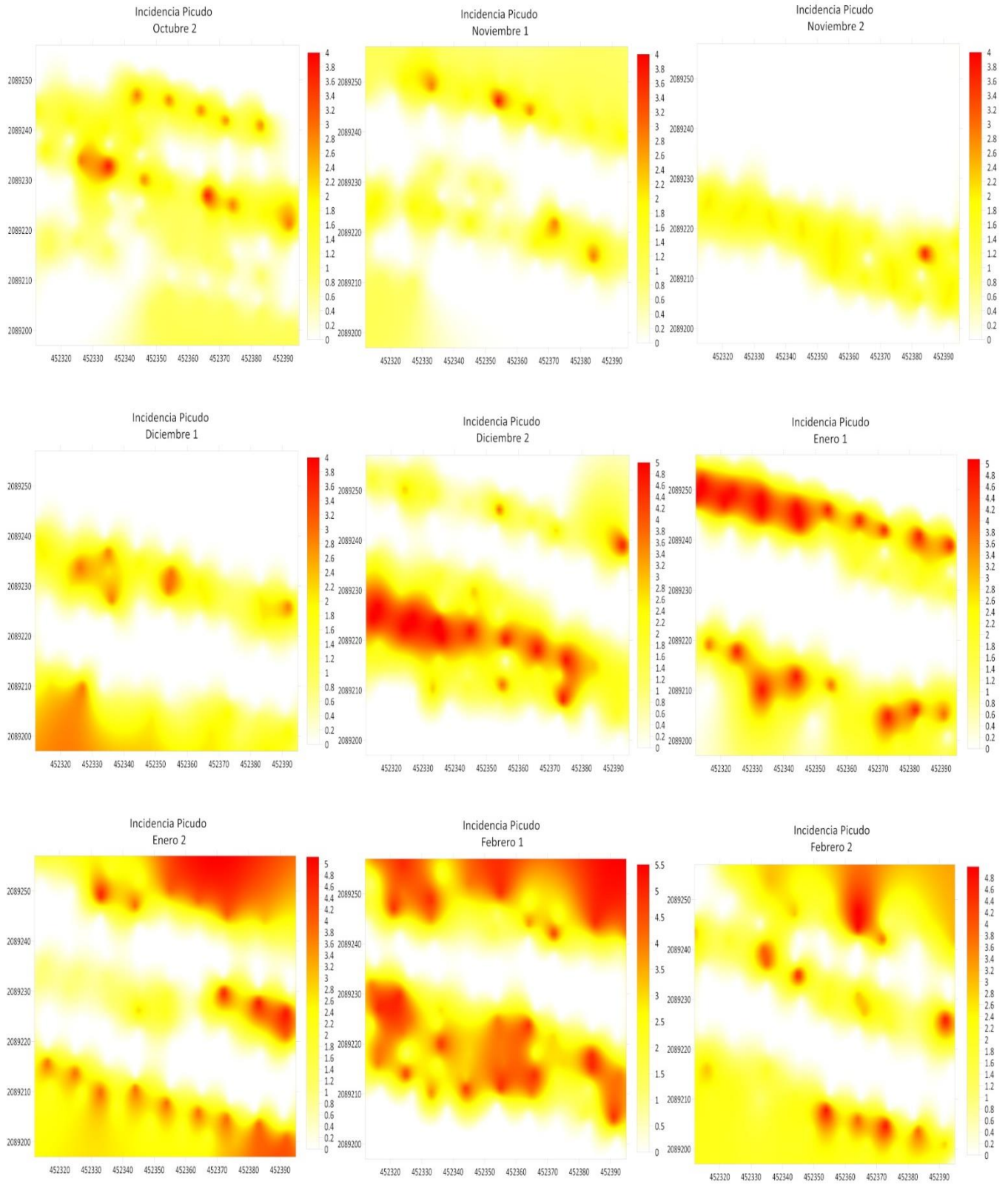


El conocer el comportamiento espacial del picudo dentro de las unidades productivas del agave puede contribuir de manera directa con los productores, ya que puede realizar medidas de control dirigidas, estas acciones ayudan al desarrollo sustentable del agave en la región.



**Figura 5. Mapas de infestación de *Scyphophorus acupunctatus* correspondiente a la parcela 2 de junio a octubre 1 del año 2022 en Malinalco.**





**Figura 6. Mapas de infestación de *Syphophorus acopunctatus* correspondiente a la parcela 2 de Octubre 2022 a Febrero 2023 en Malinalco.**

La superficie infestada también se calculó con la ayuda de los mapas de infestación (Tabla 5 y 6), esta técnica ayuda a conocer en términos de porcentaje el nivel de infestación del insecto plaga dentro de la parcela. Para el caso de la parcela 1 (Tabla 5), en ningún mes muestreado se encontró un 100% de infestación, sin embargo, para el mes de junio segundo muestreo se encontró el porcentaje más alto con un 76% de infestación total de la parcela y el más bajo se encontró en el mes de enero primer muestreo con un 27% de superficie infestada, para el resto de los muestreos los niveles fluctúan entre el 33 y 65% de la superficie infestada.

Para la parcela 2 (Tabla 6), tampoco se encontró en ningún mes un 100% de infestación, solo en el mes de febrero segundo muestreo se presentó en un porcentaje de infestación de 69% de superficie y para el mes de noviembre segundo muestreo fue le mas bajo con un 31% de superficie , para el caso de esta parcela en el resto de los muestreos hay una fluctuación entre 47 y 68% de superficie infestada, cabe resaltar que en la mayor parte de los muestreos se mantiene de 60 a 68% de superficie infestada, solo 6 de los 17 muestreos se mantiene por debajo de 59%. No se debe confundir el porcentaje de infestación con el número de insecto plaga por parcela ya que se puede encontrar niveles de infestación grandes, pero con una fluctuación poblacional baja, el nivel de infestación solo se refiere a si existe o no una presencia dentro de la parcela no al nivel de población.

Mes	Muestreo	% Infestado	%No Infestado
Junio	1	56	44
Junio	2	76	24
Julio	1	61	39
Julio	2	57	43
Agosto	1	55	45
Agosto	2	49	51
Septiembre	1	60	40
Septiembre	2	61	39
Octubre	1	65	35

Octubre	2	33	67
Noviembre	1	48	52
Noviembre	2	44	56
Diciembre	1	33	67
Diciembre	2	47	53
Enero	1	27	73
Enero	2	34	66
Febrero	1	45	55
Febrero	2	59	41

**Tabla 5.** Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de picudo en Malinalco (Parcela1) para el año 2022 y 2023.

Mes	Muestreo	% Infestado	%No Infestado
Junio	1	62	38
Junio	2	65	35
Julio	1	63	37
Julio	2	64	36
Agosto	1	54	46
Agosto	2	60	40
Septiembre	1	66	34
Septiembre	2	53	47
Octubre	1	58	42
Octubre	2	64	36

Noviembre	1	56	44
Noviembre	2	31	69
Diciembre	1	47	53
Diciembre	2	62	38
Enero	1	61	39
Enero	2	67	33
Febrero	1	68	32
Febrero	2	69	31

**Tabla 6.** Superficie infestada y no infestada (%) obtenida en el muestro de picudo en Malinalco (Parcela 2) para el año 2022 y 2023.

El método del SADIE mostró ser eficaz para conocer el tipo de distribución del picudo del agave. Con los mapas obtenidos se puede realizar un manejo más adecuado del insecto plaga ya que al conocer las zonas de infestación se aplican ciertos tipos de control en zonas específicas y con ello disminuir el uso de agroquímicos que dañan el ecosistema y la salud humana, además se obtienen ahorros económicos para el productor. El manejo adecuado de los datos obtenidos nos permitirá dar recomendaciones específicas y oportunas a los productores de agave con ello contribuir a obtener productos más inocuos y mejorar la calidad tanto de productores como de consumidores.

### Conclusiones

De acuerdo con el método SADIE el Picudo (*Syphophorus acupunctatus*) en el cultivo de agave mostró una distribución espacial agregada, con más de un centro de agregación en la mayor parte de los muestreos.

Mediante el krigado se lograron definir mapas de densidad del picudo en las dos localidades estudiadas, donde se observan los centros de agregación y así mejorar el uso de las técnicas de la agricultura de precisión para el control de esta plaga.

Se identificaron áreas con mayor presencia de la plaga, lo que puede permitir dirigir las medidas de control de manera específica hacia zonas realmente infestadas.

Con los mapas obtenidos se pueden realizar planes de manejo integrado del insecto plaga que ayude a los productores a tomar decisiones oportunas y pertinentes en el manejo del picudo.

Al conocer la movilidad del insecto plaga podemos inferir su comportamiento en plantaciones futuras, lo cual ayudara a realizar un control sustentable de dicho problema.

Al conocer los centros de agregación los productores de agave mezcalero pueden realizar acciones de control dirigidas, lo cual se verá en ahorros económicos y medio ambientales.

## Agradecimientos

Se agradece al Laboratorio de Investigaciones Entomológicas y Tecnologías en Agricultura de Precisión de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex , por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo, a través del proyecto: “Análisis espacial de las poblaciones del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal en el Estado de México ”.

## Referencias

- Aquino, B.T., Iparraguirre, C.M.A & Ruiz, V.J. (2007). *Scyphophorus acupunctatus* (=interstitialis) Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae). Plaga del agave mezcalero: Pérdidas y daños en Oaxaca, México. *Revista UDO Agrícola*. 7: 175-180
- Arista-Carmona, E. (2022). *Incidencia del picudo del agave Scyphophorus acupunctatus Gyllenhal en cultivares de maguey pulquero en el noreste del Estado de México* (Doctoral dissertation). [Tesis de maestría, Colegio De Postgraduados]. Repositorio DSpace: [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/4811/1/Arista\\_Carmona\\_E\\_M\\_C\\_F\\_Entomologia\\_Acarologia\\_2022.pdf](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/4811/1/Arista_Carmona_E_M_C_F_Entomologia_Acarologia_2022.pdf)
- Arista-Carmona, E., González-Hernández, H., & Cibrián-Tovar, J. (2023). INCIDENCIA, FLUCTUACIÓN POBLACIONAL Y PORCENTAJE DE SEVERIDAD DE *Scyphophorus acupunctatus* EN MAGUEY PULQUERO EN EL NORESTE DEL ESTADO DE MÉXICO. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(2), 157-157. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/46-2/7a.pdf>
- Barragán, F. E., Aguilar, J. H. A., Galicia, S. B. N., Juárez, R., Atonal, L. J. M. T., & Martínez, M. D. B. (enero-abril, 2022). El Picudo (*Scyphophorus scyphophorus*) un Gran Enemigo del Agave en México. *Revista Frontera Biotecnológica*. Recuperado de <https://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx/volumen/vol21/pdf/vol-21-4.pdf>
- Consejo Regulador del Mezcal. (2022). Informe Estadístico 2020. Recuperado (febrero 2023) de <https://comercam-dom.org.mx/>
- Cortés, J. (2018). Métodos de estudio: transectos lineales. APC Asociación Primatológica Colombiana. Recuperado de <https://www.asoprimatologicacolombiana.org/notas-redprim/metodos-de-estudio-transectos-lineales>



- Deraisme, J., & Ch. De Fouquet. The geostatistical approach for reserves. *Minig Magazine*, 1996.
- Enríquez-Vara J. N., (2019). Control biológico de los Picudos del Agave y Cocotero. El Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Recuperado de <https://www.ciatej.mx/el-ciatej/comunicacion/Noticias/Control-Biologico-de-los-Picudos-del-Agave-y-Cocotero/136>
- Esquivel-Higuera, V., & Jasso-García, Y. (2014). Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(6), 923-935.
- Fernández Díaz, M. (2016). Algoritmo para la Interpolacion Espacial de Krigado Ordinario (Master's thesis, Universidad de las Ciencias Informáticas. Facultad 6.). <https://repositorio.uci.cu/jspui/handle/123456789/8029>
- Ferguson, A. W., Z. Klukowski., B. Walczak., S. J. Clark., M. A. Mugglestone., J. N. Perry. & I. H. Williams. (2003). Spatial distribution of pest insects in oilseed rape: implications for integrated pest management. *Agriculture, ecosystems and environment* 95(2-3): 509-521.
- Gireesh, M.; Rijal, JP; & Joseph, (2021). SV Distribución espacial de los picudos cazadores (Coleoptera: Curculionidae) en Sod Farms *Insects* 2021, 12(5), 402; <https://doi.org/10.3390/insects12050402>
- Lasmar, O., Zanetti, R., os Santos, A., & Fernandes, B. V. (2012). Use of geostatistics to determine the spatial distribution and infestation rate of leaf-cutting ant nests (Hymenoptera: Formicidae) in eucalyptus plantations. *Neotropical Entomology*, 41, 324-332.
- Macedonio-Guevara, A. (2015). Abundancia estacional del picudo del agave en plantaciones de agave mezcalero en Guerrero. Recuperado de <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/2773>
- Maldonado, F. I., J. F. Ramírez., A. V. Lara., R. Rivera., A. D. Acosta., D. K. Figueroa & A. Tapia. (2017). Estabilidad Espacial y Temporal de la Distribución de Trips en el Cultivo de Aguacate en el Estado de México. *Southwestern Entomologist* 42(2): 447-463.
- Mejía Colín, D. I. A. N. A. (2022). Análisis espacial de las poblaciones de Scirtothrips perseae Nakahara en el cultivo de aguacate (Persea americana Mill.) utilizando el método de SADIE en México. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/137160>
- Moral-García, F. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, 13(1). Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/582>
- Olvera-Vargas, L. A., Pardo-Núñez, J., Aguilar-Rivera, N., & ContrerasMedina, D. I. (2022). Detección de Agave angustifolia y Agave cupreata con técnicas geomáticas en Guerrero, México. 23(2), e2241. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol23\\_num2\\_ar t:2241](https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_ar t:2241)

- Perry, J. 1995. Spatial Analysis by distance indices. *J Anim Ecol.* 64(3): 303-314.
- Perry, J.; Bell, E.; Smith, R.; Woiwod, I. 1996. SADIE Software to measure and model spatial pattern. *Asp Appl Biol.* 46: 95-102.
- Perry, J. 1998. Measures of Spatial Pattern for Counts. *Ecology.* 79(3):1008-1017.
- Perry, J. N & P. Dixon. 2002. A new method for measuring spatial association in ecological count data. *Ecoscience* 9: 133-141.
- Reay-Jones, F. P. (2012). Spatial analysis of the cereal leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) in wheat. *Environmental entomology*, 41(6), 1516-1526. <https://doi.org/10.1603/EN12103>
- Rivera, R., A. D. Acosta., J. F. Ramírez., D. K. Figueroa., F. I. Maldonado, & A. V. Lara. (2017). Distribución Espacial de las Poblaciones de Adultos de *Bactericera cockerelli* Sulc. 1 en el Cultivo de Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Southwestern Entomologist* 42(4): 1057-1069
- Ruiz-Montiel, C., Ramón-Domínguez, C. I., Domínguez-Reyes, L., Ainsa-Zarate R & Mendoza-López, M. R. (2017). Efecto de la Trampa y Atrayente sobre *Scyphophorus acupunctatus* en Agave. *Society of Southwestern Entomologists*, 42(1):237-247. DOI: <http://dx.doi.org/10.3958/059.042.0121>
- SENASICA-DGSV. (2016). Picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal 1838) (Coleoptera. Dryophthoridae). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria-Grupo Especialista Fitosanitario. Ficha Técnica. Tecámac, México 13 p
- Valdés-Rodríguez, S., Ramírez-Choza, J. L., Reyes-Lopez, J., & Blanco-Labra, A. (2004). Respuestas del insecto max (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal [Coleoptera: curculionidae]) hacia algunos compuestos atrayentes del henequén. *Acta zoológica mexicana (N.S.)*, 20(3), 157–166. <https://doi.org/10.21829/azm.2004.2031589>

## **Origen y financiamiento**

*El origen del artículo es un trabajo realizado para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo Industrial por la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad del Estado de México, dicho trabajo fue realizado por Melisa González Dávila, quien funge como primer autor del artículo de investigación. El apoyo con los materiales para realizar el trabajo fueron proporcionados por la Universidad Autónoma del Estado de México. Por otro lado, el Laboratorio de Investigaciones Entomológicas y Tecnologías en Agricultura de Precisión de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMex, le proporciono lo necesario para la obtención de los resultados de cada muestreo.*

### **Contribución de los autores**

*Melisa González-Dávila realizó los muestreos respectivos durante todo el trabajo de investigación, elaboró la redacción del artículo y participó en el análisis de datos. Dr. Agustín David Acosta-Guadarrama participó en el análisis de los resultados en todas sus etapas. Dr. José Francisco Ramírez-Dávila participó en parte del proceso de análisis de los resultados obtenidos, la Dra. Dulce Karen Figueroa-Figueroa participó en el análisis de datos de todos los muestreos.*