

## CARACTERIZACIÓN DEL USO DE PLAGUICIDAS EN EL CULTIVO DE AGUACATE EN TEMASCALTEPEC, MÉXICO

Characterization of the use of pesticides in the avocado crop in Temascaltepec, México

Sherezada ESPARZA-JIMÉNEZ<sup>1</sup>, Anastacio GARCÍA-MARTÍNEZ<sup>1</sup>, Jorge Javier RAMÍREZ-GARCÍA<sup>2</sup>,  
José Fernando VÁZQUEZ-ARMIJO<sup>1</sup> y Juan Carlos SÁNCHEZ-MEZA<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Centro Universitario UAEM Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México. Kilómetro 67.5 Carretera Federal Toluca-Tejupilco sin número, Barrio de Santiago, 51300, Temascaltepec, México.

<sup>2</sup> Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México. Paseo Colón sin número, Residencial Colón y Colonia Ciprés, 50120, Toluca de Lerdo, México.

\*Autor para correspondencia: jcsanchezm@uaemex.mx

(Recibido: marzo 2023; aceptado: diciembre 2023)

Palabras clave: *Persea americana*, acaricida, fungicida, insecticida, manejo de agroquímicos, riesgo humano y ambiental.

### RESUMEN

La producción de aguacate en el municipio de Temascaltepec, Estado de México, se encuentra en constante crecimiento, lo cual supone un incremento en el uso de agroquímicos para el control de plagas. Sin embargo, la información respecto al tipo de plaguicidas empleados es limitada. En este trabajo se caracterizaron y tipificaron los plaguicidas utilizados en el cultivo de aguacate, realizando agrupamientos, con el fin de evaluar semejanzas, conocer la diversidad de ingredientes activos y el posible riesgo a la salud y al ambiente de 22 comunidades de Temascaltepec. Para lo anterior, se aplicó una encuesta en 96 huertas de aguacate (121 preguntas) y los datos se analizaron mediante componentes principales y análisis de conglomerados. Se obtuvieron cuatro grupos de productores, cuyas semejanzas se basan principalmente en la variedad cultivada, el tamaño del huerto, el tiempo en la actividad, la altitud y el tipo de suelo. Como resultado, se encontró el uso de 32 ingredientes activos, de los cuales 26 son catalogados como altamente peligrosos en México. Los plaguicidas que se utilizan con mayor frecuencia son malatión, abamectina y lambda-cialotrina. Los plaguicidas de mayor toxicidad utilizados son metomilo, glifosato, metamidofos, paraquat, dimetoato y terbufos. Cabe mencionar que la mayoría de los agricultores no atienden los protocolos de aplicación y dosificación de los plaguicidas y, aunque tienen conocimiento sobre el etiquetado y almacenamiento de los productos, no lo realizan correctamente. La información obtenida del presente estudio permitirá orientar sobre el uso de estas sustancias para mejorar las alternativas de producción, mercados y reducción de riesgos a la salud.

Key words: *Persea americana*, acaricide, fungicide, insecticide, agrochemicals handling, human and environmental risk.

## ABSTRACT

Avocado production in the municipality of Temascaltepec, State of Mexico, is in constant growth, which implies an increase in the use of agrochemicals for pest control, but information on the type of pesticides used is limited. This work characterized and typified the pesticides used in avocado crops, grouping them to evaluate similarities, to know the diversity of active ingredients and the possible risk to human health and the environment in 22 communities of Temascaltepec. A survey was applied in 96 avocado orchards (121 questions). Data were analyzed using principal components and cluster analysis. Four groups of producers were obtained, whose similarities are based mainly on the variety grown, orchard size, time in the activity, altitude, and soil type. The use of 32 active ingredients was found, of which 26 are classified as highly hazardous in Mexico. The most frequently used pesticides are malathion, abamectin and lambda-cyhalothrin. The most toxic pesticides used are methomyl, glyphosate, methamidophos, paraquat, dimethoate and terbufos. Most farmers do not follow the protocols for pesticide application and dosage, and although they are aware of the labeling and storage of the products, they do not do it correctly. The information obtained from this study will provide guidance on the use of these substances to improve production alternatives, expand markets and reduce health risks, both for avocado producers and consumers.

## INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana*) es uno de los productos agrícolas con mayor demanda en el mercado internacional agroalimentario, del cual México es el principal abastecedor con un aporte del 47.5 % (con ventas por 3008 millones de dólares a Estados Unidos de América), seguido por Perú, Chile, Colombia, Brasil y República Dominicana (SIAP 2023).

En 2022 el volumen de producción de aguacate en México fue de 2.6 millones de t, lo que representa un incremento de más de 100 000 t, en comparación con la cantidad reportada en 2021 (SIAP 2023). En 2017 la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) estimó que para el año 2030 la demanda mundial aumente de 2.84 a 4.24 millones de t (crecimiento acumulado de 48.98 %), mientras que la producción nacional de aguacate tiene la capacidad de incrementarse de 1.89 a 3.16 millones de t, lo que representará un crecimiento acumulado de 67.28 % (SIAP 2023).

Las principales entidades federativas productoras de aguacate en México son Michoacán y Jalisco con 70.6 % y 10.48 % de la superficie sembrada en el país, respectivamente, las cuales cuentan con autorización de exportación a Estados Unidos de América, seguidas por el Estado de México (5.1 %), que produjo 127 732.16 t del fruto en 2022 (SIAP 2023).

En el Estado de México la producción de aguacate se realiza principalmente en el llamado Cinturón Aguacatero, conformado por los municipios donde se tiene registrada la mayor producción: Coatepec

Harinas, Donato Guerra, Temascaltepec, Valle de Bravo, Tenancingo y Villa de Allende con una producción de 92 095.27 t (SIAP 2023). El municipio de Temascaltepec es reconocido por su contribución a la producción de aguacate, la cual aumentó de 2210.84 a 14 809.36 t en la última década, ocupando el tercer lugar a nivel estatal (SIAP 2022).

Lo anterior supone un incremento en el uso de ingredientes activos en las huertas, ya que la protección fitosanitaria tiene gran importancia en la producción de aguacate, por lo que el uso de ingredientes activos para el control de enfermedades y plagas es intenso (Rubí-Arriaga et al. 2013). Algunos plaguicidas que se encuentran aprobados para su utilización por la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México, A. C. son: cyproniidil, folpet, fosetyl, metalaxil, piraclostrobina, tiabendazol, abamectina, thiamethoxam, bifenazate, buprofezin, clorantraniliprol, lambda-cialotrina, gamma-cialotrina, imidacloprid, malatón, permefrina y cipermetrina (APEAM 2023).

Recientemente, determinados plaguicidas han adquirido relevancia para su control, y en algunos casos para su eliminación, por ser catalogados como plaguicidas altamente peligrosos (PAP), ya que producen toxicidad aguda y/o crónica. Además, se encuentran los plaguicidas considerados en acuerdos ambientales internacionales vinculantes con alta incidencia de efectos adversos irreversibles o severos, sobre la salud humana o el ambiente, p.ej., glifosato, cipermetrina, metamidofos, entre otros (FAO/WHO 2022).

En México están autorizados 183 ingredientes activos de plaguicidas altamente peligrosos para diferentes usos: agrícola, doméstico, jardinería e industrial (Bejarano 2017). Estas sustancias pueden causar, de acuerdo con sus características, daños a la salud humana, produciendo toxicidad aguda o crónica, cáncer y disrupción endocrina. Por otra parte, con base en los criterios del Sistema Globalmente Armonizado (SGA 2023), los daños que pueden causar son de tipo tóxico, teratogénicos y mutagénicos, por lo que su uso repercute directamente en la salud pública y la contaminación ambiental (Zuñiga et al. 2012, Rocha y Grisolia 2019).

Los estudios que se han publicado con respecto a los plaguicidas usados en el cultivo de aguacate en México son escasos (Herrera-Gozález et al. 2020, Rojas-Pérez et al. 2022). En particular en el municipio de Temascaltepec no se ha realizado un estudio sobre el uso de plaguicidas altamente peligrosos en el cultivo de aguacate o sobre el uso de plaguicidas restringidos o prohibidos. Dicha información resulta de gran importancia para ampliar las expectativas de mercado del aguacate en esta región productora del Estado de México. Por ejemplo, la ampliación del mercado hacia Estados Unidos de América o Europa, donde se requieren procesos de certificación de las áreas de cultivo, implica la reducción o eliminación del uso de plaguicidas que representen un riesgo para la salud y el ambiente.

En otras entidades federativas, donde predominan diferentes tipos de cultivos, se ha observado que el uso de estas sustancias se realiza principalmente sin el conocimiento adecuado y sin medidas de seguridad (Ponce-Caballero et al. 2022). Las sustancias químicas empleadas no están sujetas a regulación ni monitoreo y se manejan sin el equipo de protección necesario para evitar su toxicidad.

Existen más de 30 plaguicidas autorizados para su comercialización, aunque están prohibidos en otros países debido a sus efectos nocivos. Entre ellos se incluyen herbicidas como las triazinas, acetanilidas, ácidos fenoxi-carboxílicos, ureas y difenil éter. Además, se utilizan insecticidas como los organofosforados, carbamatos, organoclorados y piretrinas, así como fungicidas tales como las carboxamidas, ditiocarbamatos y morfolinas (PAN 2022).

En México se requiere reforzar la información respecto al manejo y uso de los plaguicidas altamente peligrosos, ya que las regulaciones y restricciones aplicadas en ese sentido se deben a los tratados, convenios y acuerdos internacionales como el Protocolo de Montreal, el Convenio de Estocolmo y el Convenio de Róterdam. Estos documentos alertan y en su

caso prohíben el uso de algunas sustancias químicas, sin embargo, no se ha podido evitar que plaguicidas como los organoclorados sigan siendo utilizados y, por tanto, no existan sanciones aplicables a quien importe dichas sustancias de alta peligrosidad, sin considerar los efectos a la salud o al ambiente (Ponce-Caballero 2022).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar y tipificar el uso de plaguicidas en el cultivo de aguacate, con el fin de evaluar las semejanzas entre ellos, conocer la diversidad de ingredientes activos que se utilizan y el posible riesgo a la salud y al ambiente que representan en el municipio de Temascaltepec, Estado de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción de la zona de estudio

El municipio de Temascaltepec tiene una extensión territorial de 568.3 km<sup>2</sup>, lo que representa el 2.5 % del territorio estatal (INEGI 2020). La información se obtuvo de 22 comunidades pertenecientes al municipio: Barrio de San José, Barrio de Santiago, Barrio el Potrero, Carboneras, El Chilar, El Guajero, El Polvorín, Granja de Cieneguillas, Jesús del Monte, La Albarrada, La Huerta, Las Joyas, Mesas de Real de Arriba, Pueblo Nuevo, Real de Arriba, San Andrés de los Gama, San Antonio Albarranes, San Lucas del Pulque, San Martín Tequesquipan, San Pedro Tenayac, San Sebastián Carboneras, Tequesquipan (Fig. 1).

La zona de estudio, a causa de la extensión territorial, la morfología orográfica y el gradiente altitudinal (1200-3600 m), presenta diversidad climática (Reyes-Alemán et al. 2021). En el este y norte (54 % de la superficie = 306.882 km<sup>2</sup>) predomina el clima templado subhúmedo C(w2). El clima tropical lluvioso semicálido AC(w2) o subhúmedo semicálido es característico del sur del municipio y abarca el 28 % (159.124 km<sup>2</sup>) de la superficie de estudio. Otros climas presentes en algunas zonas son: i) subhúmedo semifrío con lluvias estivales C(E)(w2), 14 % = 79.562 km<sup>2</sup> del área y, ii) subhúmedo tropical lluvioso o cálido con lluvias estivales A(w1) en el suroeste del territorio (4 % = 22.732 km<sup>2</sup> del área restante). Las temperaturas más bajas (al este del territorio en zonas de mayor altitud) se registran en diciembre y enero, y las más altas en mayo y julio (al oeste del municipio en zonas de menor altitud). La temperatura media anual oscila entre 16 y 20 °C. La precipitación total anual (las lluvias son más frecuentes de julio a septiembre) oscilan entre 1100 y 1300 mm.

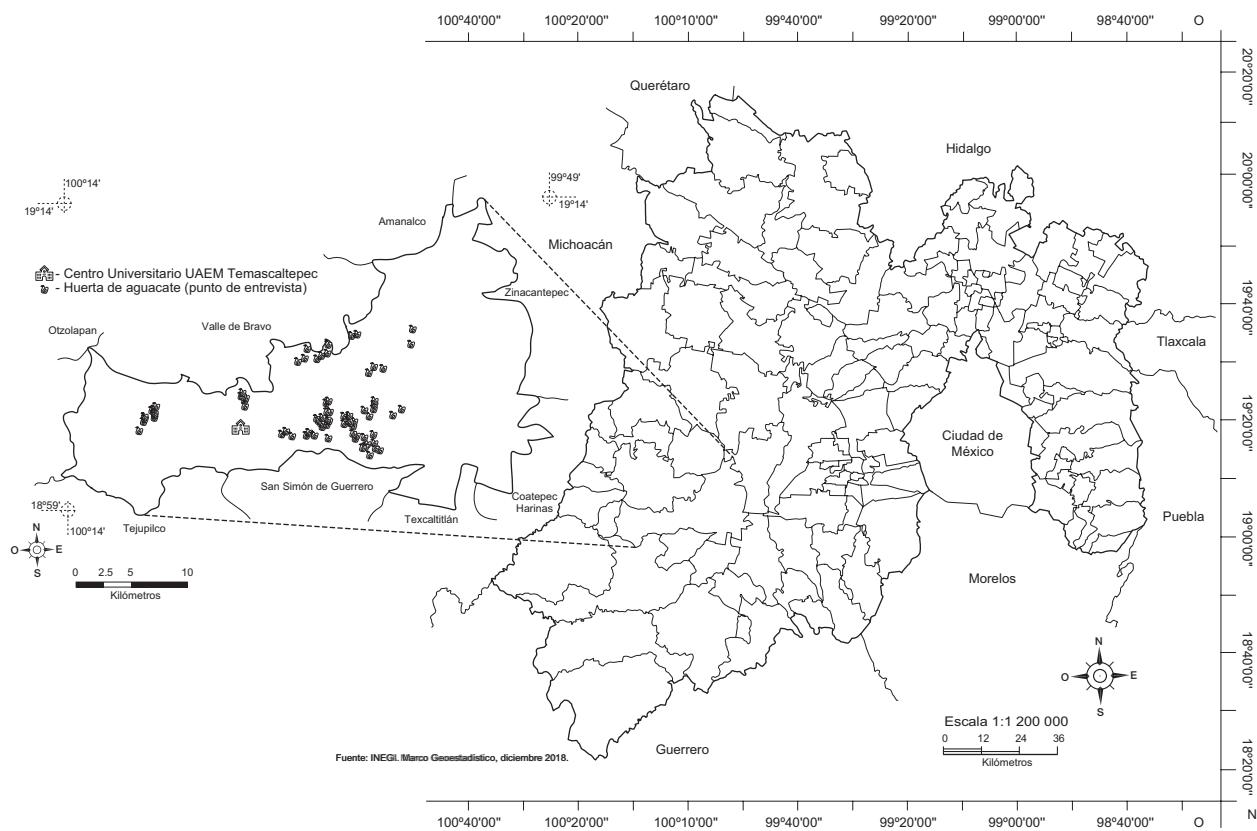


Fig. 1. Ubicación espacial de la zona y localidades de estudio, en el municipio de Temascaltepec, Estado de México.

### Tamaño de la muestra

La muestra se obtuvo del padrón de productores de aguacate del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México, que contó con 2496 registros. El tamaño de la muestra fue de 96 productores, obtenida con la ecuación descrita por Hernández et al. (2014):

$$n = \frac{N}{1 + (N \times 0.1^2)}$$

donde:  $n$  = tamaño de la muestra,  $N$  = tamaño de la población y  $0.1$  = es el error estándar de la muestra.

### Herramienta para la recolección de la información

En el año 2022 se aplicó una encuesta estructurada de 121 preguntas, mediante entrevista directa a cada productor de la muestra, de acuerdo con la metodología descrita por García-Martínez et al. (2011). El instrumento se organizó en tres aspectos: i) características estructurales de la huerta (área, edad de la plantación, número de árboles plantados) con 58 preguntas, ii) características agronómicas de la huerta (altitud, tipo de suelo, variedad cultivada) con 19 preguntas, y iii) uso de plaguicidas (presencia

de plagas en el cultivo, tipo de plaguicida, períodos de aplicación, disposición de residuos) con 44 preguntas.

### Análisis de la información

Para el análisis de la información las localidades se identificaron en función de la altitud de la huerta. Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con 25 variables cuantitativas y cualitativas: área de la plantación (ha), edad de la plantación (años), total de árboles plantados, variedad de aguacate, presencia de plagas, ingredientes activos utilizados, sitio de compra de los plaguicidas, recibe información sobre peligrosidad del producto, lugar de almacén de los plaguicidas, conoce el tipo de coloración de etiqueta de los productos, almacena los productos de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015 (STPS 2015), relación con malestares de salud, realiza tratamiento a los envases de plaguicidas, afiliación a un programa de manejo de envases de plaguicidas, cambio de tamaño de la huerta, cambio de la superficie base, cambio de variedad del aguacate, aumento en la utilización

de plaguicidas, número de parcelas con que cuenta, tipo de suelo, producción (t/ha), precio (\$/kg), años en la actividad, exporta aguacate y capacitación técnica.

A las variables cualitativas se les asignó un valor numérico en función de la respuesta (Ramírez y Sánchez 2010): altitud de la localidad: San Antonio Albarranes = 22, Jesús del Monte = 21, Granjas de Cieneguillas = 20, San Martín Tequesquipan = 19, Las Joyas = 18, Tequesquipan = 17, La Albarada = 16, Pueblo Nuevo = 15, San Lucas del Pulque = 14, San Andrés de los Gama = 13, San Sebastián Carboneras = 12, La Huerta = 11, Carboneras = 10, El Guajero = 9, Barrio de San José = 8, Mesas de Real de Arriba = 7, Real de Arriba = 6, San Pedro Tenayac = 5, Barrio el Potrero = 4, Barrio de Santiago = 3, El Polvorín = 2, El Chilar = 1. Tipo de suelo: Andosol = 8, Cambisol = 7, Leptosol = 6, Luvisol = 5, Phaeozem = 4, Regosol = 3, Vertisol = 2, Zona urbana = 1. Cambio en el tamaño de la huerta: Aumentó = 1, Disminuyó = 2, Se mantiene igual = 3. Cambio en la superficie base: Aumentó = 1, Disminuyó = 2, Se mantiene igual = 3. Variedades que cultivan: Hass = 5, Méndez = 4, Criollo = 3, Fuerte = 2, Tres Marías = 1. Cambio en la variedad de aguacate: No = 2, Sí = 1. Exporta: No = 2, Sí = 1. Se ajustó el siguiente modelo:

$$KMO = \frac{\sum_j \sum_{h \neq j} r_{jh}^2}{\sum_j \sum_{h \neq j} r_{jh}^2 + \sum_j \sum_{h \neq j} r_{jh}^2}$$

Donde:

$r_{jh}$  son los coeficientes de correlación observados entre las variables  $X_j$  y  $X_h$

$a_{jh}$  son los coeficientes de correlación parcial entre las variables  $X_j$  y  $X_h$

Posteriormente se realizó un análisis de conglomerados (AC), para agrupar unidades de producción (UP) con características internas similares y externas diferentes (Hair et al. 2006), a través del programa SPSS 15 y Statistica.

Para la tipificación de las huertas se consideró un AC jerárquico ascendente aglomerado (Pérez 2005, Guisande et al. 2006) con la finalidad de evaluar las similitudes entre los grupos y conocer la diversidad de ingredientes activos que se utilizan. Para este análisis se utilizaron las correlaciones de los productores en los primeros factores o ejes obtenidos en el ACP previo, los cuales explican el mayor porcentaje de la varianza total. De acuerdo con Hair et al. (2006) esta actividad es fundamental para estandarizar los datos numéricos y unificar las unidades de medida para formar grupos homogéneos.

## RESULTADOS

El ACP y el AC mostraron que las variables seleccionadas están estrechamente correlacionadas. La prueba Kaiser-Meyer-Olkin (Hair et al. 2006) de adecuación del muestreo fue de 0.653, que indica que el análisis factorial es adecuado, ya que el valor resultante coincide mejor con un mayor número de muestras. La prueba de esfericidad de Bartlett y chi-cuadrado aproximado fueron altamente significativos ( $P < 0.0001$ ), lo que garantizó el ajuste del modelo con las 25 variables utilizadas.

El **cuadro I** muestra los valores de extracción superiores a 0.5, el valor propio superior a 1 y el porcentaje de la varianza total explicada superior al 70 %, que garantizaron el ajuste del modelo multivariado, del cual se obtuvieron nueve factores que se describen a continuación:

Factor 1. Relación positiva del sitio de compra, el lugar de almacenamiento y el tratamiento de los envases de plaguicidas. Es decir, los plaguicidas se compran en otras comunidades, se almacenan en la misma casa y los envases se desechan de manera adecuada.

Factor 2. Relación positiva del tamaño de la huerta y el mantenimiento de la superficie base, y negativa con el aumento del uso de plaguicidas. Es decir, la superficie disponible es la misma y se reduce el uso de plaguicidas.

Factor 3. Relación positiva del total de terreno disponible (ha) y el número de árboles sembrados. Es decir, se dispone de mucho terreno y una gran cantidad de árboles sembrados.

Factor 4. Relación negativa entre el almacenaje de los productos, según la Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015 (STPS 2015), y la exportación, con la producción (t/ha). Es decir, los plaguicidas son almacenados sin ninguna restricción y no exportan, sin embargo, la producción de aguacate/ha es alta.

Factor 5. Relación positiva de advertencia sobre la peligrosidad del producto, el conocimiento sobre el tipo de color de la etiqueta del producto y el precio del fruto (\$/kg), y negativa con capacitación técnica. Es decir, se observa mejor precio (\$14.34 pesos/kg) de aguacate en productores que reportan recibir capacitación técnica, en comparación con los que cuentan con capacitación técnica limitada (\$10.23 pesos/kg de aguacate).

Factor 6. Relación negativa de variedades que cultivan con el cambio de variedad. Es decir, no existe interés de introducir nuevas variedades.

Factor 7. Relación positiva de la edad de la huerta y el tiempo que tiene el productor en la actividad. Es

**CUADRO I.** MATRIZ DE COMPONENTES ROTADOS DEL ANÁLISIS MULTIVARIADO DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS VARIABLES QUE DESCRIBEN LAS HUERTAS DE AGUACATE EN TEMASCALTEPEC, MÉXICO.

Variable	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	Extracción
Total de terreno (ha)	0.06	0.07	0.95	0.09	0.10	0.01	0.02	0.09	-0.06	0.94
Edad de la plantación (años)	0.06	0.34	0.14	0.25	0.24	0.38	0.60	0.03	-0.02	0.77
Total de árboles sembrados	0.06	0.03	0.95	0.06	0.10	0.02	0.04	0.05	0.05	0.93
Variedades que cultiva	-0.04	-0.03	0.05	0.06	0.08	0.80	0.18	0.18	0.22	0.77
Presencia de plagas	0.35	0.08	-0.10	0.33	0.13	0.40	0.29	0.56	0.13	0.83
Ingredientes activos utilizados	0.32	-0.06	-0.12	0.24	0.17	0.25	0.26	0.69	0.06	0.82
Sitio donde compra los plaguicidas	0.70	0.14	0.04	-0.12	0.07	0.18	-0.10	0.24	-0.13	0.64
Recibe advertencias sobre peligrosidad del producto	0.44	-0.17	-0.02	0.09	0.53	0.12	-0.19	0.17	0.07	0.59
Sitio donde almacena los plaguicidas	0.80	-0.08	0.03	0.21	0.05	0.02	0.10	-0.02	0.08	0.71
Conoce el tipo de coloración de etiqueta de los productos	0.42	-0.16	0.11	0.08	0.52	0.18	0.12	0.14	0.07	0.55
Almacena los productos según la Norma Oficial Mexicana 018-STPS-2015	-0.24	-0.25	-0.24	-0.68	-0.13	-0.24	0.06	0.07	0.01	0.73
Relación con malestares de salud	-0.01	0.17	-0.26	0.12	-0.05	0.09	0.12	-0.79	0.03	0.76
Tratamiento de envases de plaguicidas	0.80	-0.10	0.06	0.01	0.08	-0.14	0.17	0.03	0.05	0.71
Afiliación a un programa de manejo de envases de plaguicidas	-0.25	-0.14	-0.10	-0.43	-0.11	-0.23	0.16	0.23	-0.53	0.69
Cambio en el tamaño de la huerta	-0.06	0.86	0.05	-0.07	-0.12	-0.09	0.14	-0.04	-0.05	0.79
Cambio en la superficie base	0.02	0.85	0.00	0.02	0.13	-0.15	0.14	-0.10	-0.13	0.81
Cambio en la variedad de aguacate	-0.10	0.37	0.00	0.05	0.09	-0.74	-0.06	0.10	0.21	0.77
Aumento en la utilización de plaguicidas	0.20	-0.50	-0.16	-0.12	0.32	-0.05	0.34	0.10	-0.06	0.57
Número de parcelas con que cuenta	0.01	-0.30	0.32	0.13	0.05	0.17	0.21	-0.05	0.66	0.71
Tipo de suelo	-0.03	-0.04	-0.36	-0.15	-0.13	-0.17	-0.06	0.19	0.72	0.75
Producción (t/ha)	-0.02	0.04	0.17	0.56	0.33	0.03	0.28	0.15	0.25	0.62
Precio (\$/kg)	0.04	-0.03	0.09	0.18	0.69	-0.04	0.28	-0.06	-0.02	0.61
Años en la actividad	0.11	0.09	0.02	0.09	-0.02	0.12	0.85	0.04	0.04	0.77
Exportación	0.02	0.19	0.04	-0.85	-0.05	0.13	-0.14	-0.07	0.06	0.81
Capacitación técnica	0.00	-0.08	-0.10	-0.04	-0.79	0.02	0.09	-0.09	0.05	0.66
Autovalor	2.56	2.33	2.31	2.13	2.10	1.89	1.82	1.72	1.47	
Porcentaje de la varianza total	10.24	9.31	9.26	8.53	8.38	7.56	7.26	6.88	5.87	
Varianza acumulada (%)	10.24	19.54	28.80	37.33	45.71	53.27	60.54	67.41	73.28	

F = Factor 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.

decir, a mayor tiempo del titular de la huerta en la actividad, mayor longevidad de la huerta.

Factor 8. Relación positiva de la presencia de plagas y el número de ingredientes activos utilizados, y negativa entre estas y la presencia de malestares de salud. Es decir, a mayor presencia de especies de plagas, mayor diversidad en el uso de sustancias activas, sin que se manifiesten malestares de salud.

Factor 9. Relación negativa de la afiliación a un programa de manejo de envases, el número de parcelas y tipo de suelo. Es decir, a mayor número de parcelas con suelo de tipo andosol (negros o volcánicos), cambisol (sin capa de arcilla, humus o sales solubles) y leptosol (delgados y jóvenes), menor es la importancia de que el productor esté afiliado a algún grupo para el manejo y reciclaje de envases de plaguicidas.

Como resultado del análisis de conglomerados se obtuvieron cuatro grupos considerando el punto de corte en una distancia de ligamiento entre 15 y 20 (Fig. 2a-b). Las principales características de las huertas, según el grupo, se muestran en el cuadro II.

En el cuadro III se observan las variedades de aguacate empleadas en las huertas y su relación con las principales plagas observadas. La producción de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Temascaltepec se basa en el cultivo de cinco variedades, predominando la Hass, que se produce en huertas de productores de G2, G3 y G4. La incidencia de plagas se relaciona con la variedad que se utiliza, como se observa con las variedades Hass y Méndez, que son

las que tienen mayor presencia y están afectadas principalmente por araña roja (*Oligonychus punicae* (Hirst)), trípidos (*Frankliniella* sp. y *Scirtothrips* sp.), barrenador de la rama del aguacate (*Copturus aguacatae*), antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*), gallina ciega (*Phyllophaga* spp) y araña cristalina (*Oligonychus perseae*).

En el cuadro IV se observan los 32 ingredientes activos que se utilizan para el control fitosanitario. Los grupos G2 y G3 mostraron un mayor uso de plaguicidas. G2, G3 y el grupo G4 adquieren los ingredientes activos en tiendas especializadas cercanas a la localidad y en ciudades, lo que garantiza recibir advertencias sobre la peligrosidad del producto (Cuadro V).

Se observó que en primavera más del 60 % de los productores utilizaron plaguicidas, principalmente en abril, mientras que durante el otoño disminuyó considerablemente y sustancialmente en noviembre (Fig. 3). Lo anterior permitió identificar que la incidencia de plagas se mantiene durante todo el año, aunque existen períodos de aparición y mayor incidencia en épocas específicas (Fig. 3).

La frecuencia de uso de las materias activas identificadas es variable, desde la aplicación semanal como en el caso del diclorvos, hasta la aplicación anual como en el caso del methomyl, el calcio o el paraquat. Cabe señalar que la mayoría de los plaguicidas son utilizados mensualmente (Fig. 4). La combinación de azufre + cobre, glifosato y profenofos fueron los plaguicidas utilizados en mayor concentración (Fig. 5).

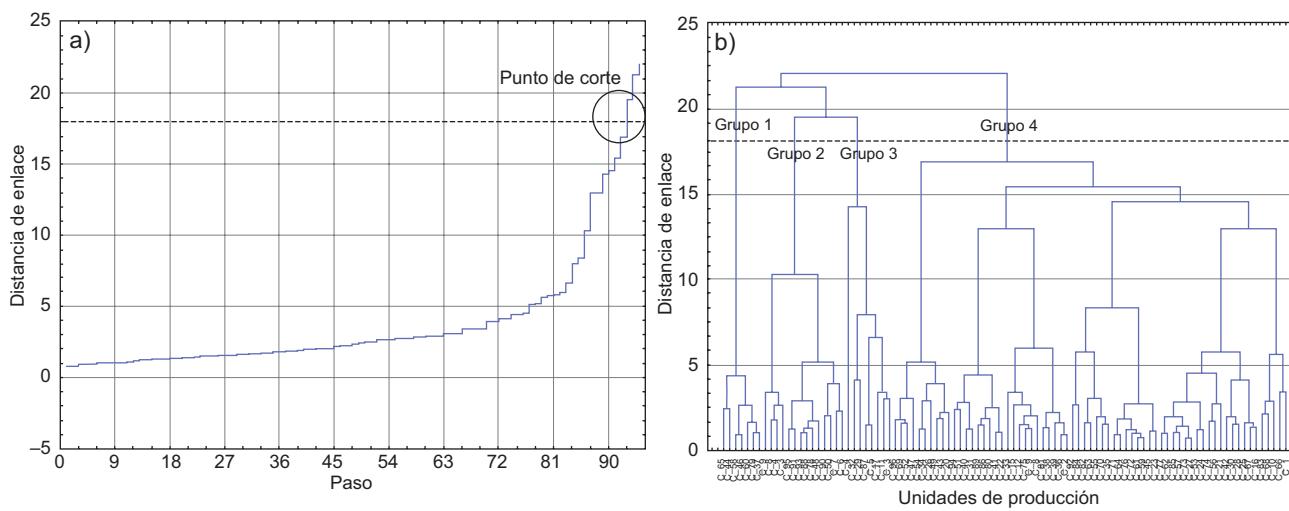


Fig. 2. a) Distancias de ligamiento entre escalones y distancias euclidianas derivadas del análisis de conglomerados de huertas de aguacate en Temascaltepec, México. b) Diagrama de árbol para 96 casos para el método de Ward y distancias euclidianas.

**CUADRO II. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y AGRONÓMICAS DE HUERTAS DE AGUACATE, POR CONGLOMERADO, EN TEMASCALTEPEC, MÉXICO.**

Variables	G1	G2	G3	G4	Total	EEM
<b>Estructurales</b>						
Número de observaciones	7.00	14.00	8.00	67.00	96.00	
Porcentaje (%)	7.3	14.58	8.33	69.79	100.00	
Superficie (ha)	0.63	1.61	9.81	1.68	2.27	0.64
Número de árboles sembrados/ha	147.86	304.43	1996.69	399.00	500.04	140.70
Número de parcelas con que cuenta	1.29	1.14	2.00	1.48	1.46	0.10
Edad de la plantación (años)	6.29	14.43	14.75	8.21	9.52	0.70
Años en la actividad	6.43	11.93	14.75	10.42	10.71	0.91
Producción (t/ha)	0.72	2.54	9.34	2.54	2.97	0.42
Precio (\$/kg)	4.86	10.39	17.25	9.90	10.22	0.89
<b>Agronómicas</b>						
Altitud de la localidad	14.14	8.93	8.50	12.70	11.91	0.52
Tipo de suelo	6.57	5.29	5.63	7.04	6.64	0.15
Cambio en el tamaño de la huerta	2.43	1.93	1.50	1.87	1.89	0.10
Cambio en la superficie base	2.43	2.14	2.00	2.19	2.19	0.10
Variedades que cultivan	6.86	9.07	6.75	6.01	6.58	0.24
Cambio en la variedad de aguacate	1.86	1.14	1.88	1.90	1.78	0.04
Presencia de plagas	0.43	2.93	2.50	1.75	1.89	0.12
Ingredientes activos utilizados	0.29	2.43	2.38	1.64	1.72	0.12
Exporta	2.00	2.00	1.25	2.00	1.94	0.02

G = Grupo 1, 2, 3 y 4.

EEM = Error estándar de la media.

**CUADRO III. VARIEDADES DE AGUACATE Y PLAGAS DE HUERTAS AGUACATERAS, POR CONGLOMERADO, EN TEMASCALTEPEC, MÉXICO.**

Variable	G1	G2	G3	G4	Total	EEM
<b>Variedad</b>						
Hass	3.57	5.00	5.00	4.40	4.48	0.16
Méndez	2.86	3.43	1.50	1.55	1.92	0.21
Criollo	0.43	0.21	0.00	0.04	0.09	0.05
Fuerte	0.00	0.43	0.25	0.00	0.08	0.04
Tres Marías	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
<b>Plagas</b>						
Araña roja ( <i>Oligonychus punicae</i> Hirst)	0.14	0.71	0.88	0.67	0.66	0.05
Trípidos ( <i>Heliothrips haemorrhoidalis</i> )	0.14	0.36	0.63	0.32	0.34	0.05
Barrenador de rama ( <i>Copturus aguacatae</i> )	0.00	0.64	0.50	0.37	0.33	0.05
Antracnosis ( <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> )	0.00	0.29	0.00	0.01	0.05	0.02
Gallina ciega ( <i>Phyllophaga</i> spp.)	0.14	0.07	0.13	0.07	0.08	0.03
Araña cristalina ( <i>Oligonychus perseae</i> )	0.00	0.29	0.13	0.07	0.10	0.03
Hongos ( <i>Phytophthora cinnamomi</i> )	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.02
Mosquita polvorienta ( <i>Paraleyrodes</i> sp.)	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.02
Botritis ( <i>Botrytis cinerea</i> )	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Moyote verde ( <i>Cotinis mutabilis</i> )	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01

G = Grupo 1, 2, 3 y 4.

EEM = Error estándar de la media.

## DISCUSIÓN

En el presente trabajo se identificaron cuatro grupos de productores, en los cuales la superficie cultivada, el volumen de producción y el nivel de

comercialización fueron las principales variables que causaron las diferencias entre los grupos, como se reporta también en otros estudios que trabajan en zonas aledañas o cercanas al sitio del presente estudio (Sangerman-Jarquín et al. 2014, Rubí-Arriaga et al.

**CUADRO IV. INGREDIENTES UTILIZADOS EN HUERTAS DE AGUACATE, POR CONGLOMERADO, EN TEMASCALTEPEC, MÉXICO.**

Ingrediente	G1	G2	G3	G4	Total	EEM
Abamectina	0.14	0.21	0.38	0.28	0.27	0.05
Aceite parafínico	0.00	0.07	0.00	0.00	0.01	0.01
Alfacipermetrina + D-tetrametrina	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Azufre	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01
Azufre + Cal	0.00	0.07	0.25	0.03	0.05	0.02
Azufre + Cobre	0.00	0.21	0.00	0.01	0.04	0.02
Benomilo	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Calcio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbofuran	0.14	0.00	0.00	0.06	0.05	0.02
Cipermetrina	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.02
Clorpirifos etil	0.00	0.21	0.13	0.03	0.06	0.02
Deltametrina	0.00	0.07	0.13	0.01	0.03	0.02
Diclorvos	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.02
Dimetoato	0.00	0.29	0.00	0.07	0.09	0.03
Fluazinam	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Gamma cialotrina	0.00	0.00	0.13	0.00	0.01	0.01
Glifosato	0.00	0.00	0.00	0.09	0.06	0.02
Imidacloprid	0.00	0.00	0.13	0.03	0.03	0.02
Lambda cialotrina	0.00	0.07	0.25	0.19	0.17	0.04
Metamidofos	0.00	0.07	0.00	0.03	0.03	0.02
Metomilo	0.00	0.36	0.13	0.16	0.18	0.04
Monocotrofos	0.00	0.07	0.13	0.01	0.03	0.02
Ometoato	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Organotiofosfato alifático	0.00	0.29	0.38	0.13	0.17	0.04
Oxicloruro de cobre	0.00	0.21	0.00	0.04	0.06	0.02
Paraquat	0.00	0.14	0.13	0.03	0.05	0.02
Permetrina	0.00	0.07	0.00	0.00	0.01	0.01
Profenofos	0.00	0.00	0.13	0.00	0.01	0.01
Se desconoce	0.00	0.00	0.00	0.07	0.05	0.02
Spinosyn A + spinosyn D	0.00	0.00	0.13	0.06	0.05	0.02
Sulfoxaflor + lambda cialotrina	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01
Terbufos	0.00	0.00	0.00	0.06	0.04	0.02
Total	1.64	2.38	2.43	0.29	1.72	0.12

G = Grupo 1, 2, 3 y 4.

EEM = Error estándar de la media.

**CUADRO V. MANEJO NORMATIVO DE PLAGUICIDAS EN HUERTAS DE AGUACATE, POR CONGLOMERADO, EN TEMASCALTEPEC, MÉXICO.**

Variables	G1	G2	G3	G4	Total	EEM
Sitio donde compra los plaguicidas	2.00	5.93	4.75	5.15	5.00	0.15
Sitio donde almacena los plaguicidas	1.00	4.07	4.50	3.99	3.82	0.11
Almacena los productos según la Norma Oficial Mexicana 018-STPS-2015**	2.00	1.71	1.25	1.94	1.85	0.04
Afiliación a un programa de manejo de envases de plaguicidas**	2.00	1.93	1.63	1.93	1.91	0.03
Recibe advertencias sobre peligrosidad del producto*	1.00	1.93	2.00	1.81	1.78	0.04
Conoce el tipo de coloración de la etiqueta*	1.00	1.93	2.00	1.72	1.72	0.05
Tratamiento de envases de plaguicidas*	1.00	1.93	2.00	1.93	1.86	0.04
Aumento en la utilización de plaguicidas*	1.14	1.64	1.50	1.63	1.58	0.05

G = Grupo 1, 2, 3 y 4.

EEM = Error estándar de la media.

Sitio donde compra de plaguicidas: Almacén cercano a la localidad = 6, Almacenes de centros más poblados = 5, Con otro productor = 4, Se traslada a otro municipio = 3, Se traslada a otro estado = 2, No utiliza plaguicidas = 1.

Sitio donde almacena los plaguicidas: Espacio anexo a la vivienda (cerrado) = 7, Fuera de la vivienda (alejado de la vivienda) = 6, Dentro de la vivienda = 5, Espacio cercano a la vivienda (libre) = 4, Compra el producto preparado (tambo) = 3, No utiliza plaguicidas = 2, Lo regresa al vendedor = 1.

\*\*Sí = 1, No = 2.

\*Sí = 2, No = 1.

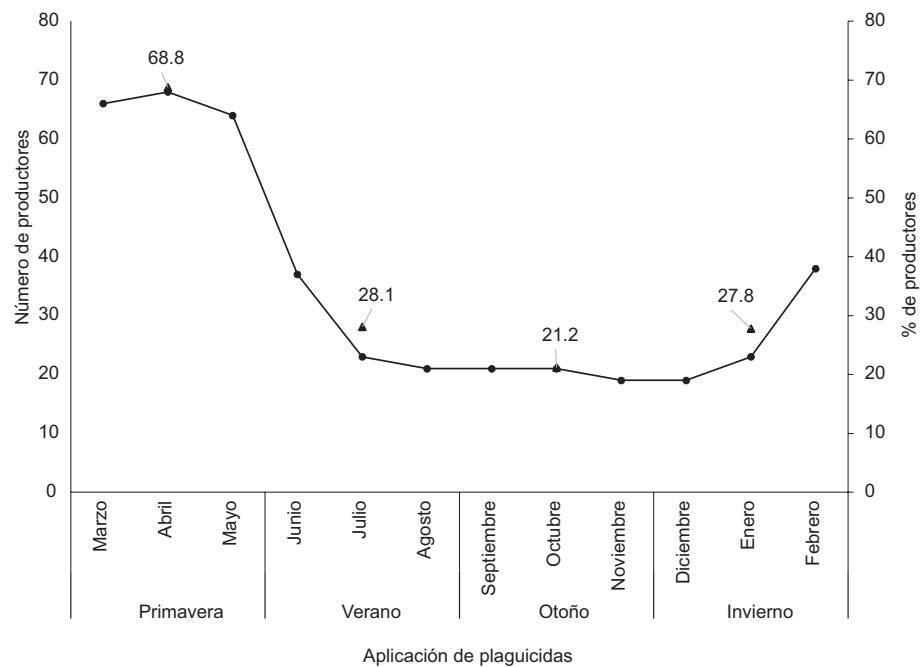


Fig. 3. Uso anual de plaguicidas en huertas de aguacate en Temascaltepec, México.

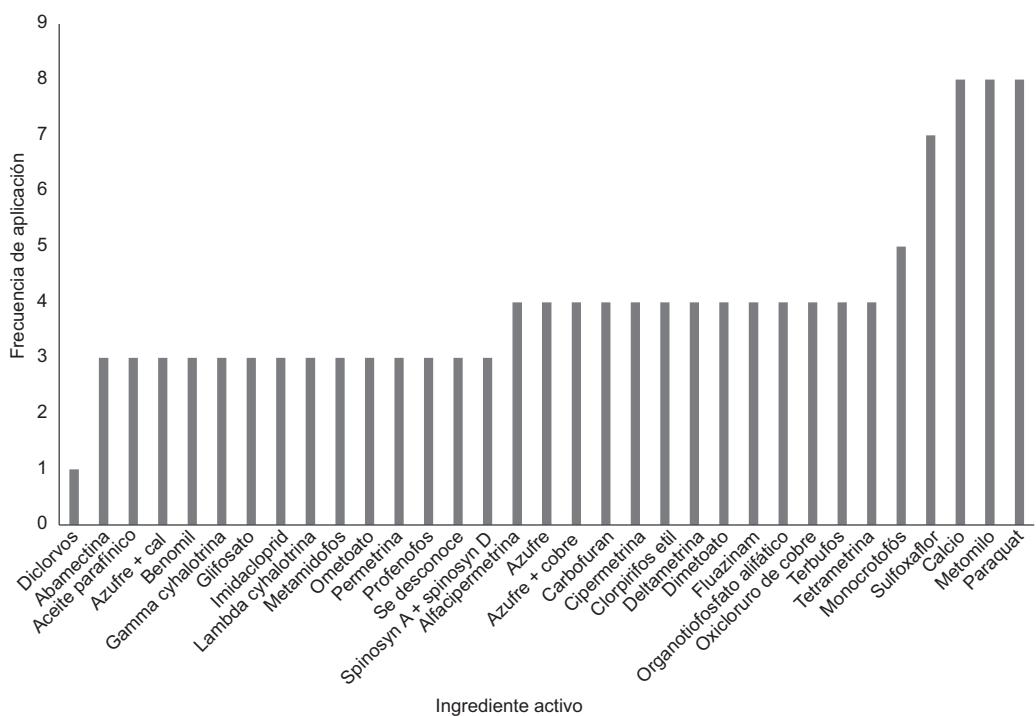
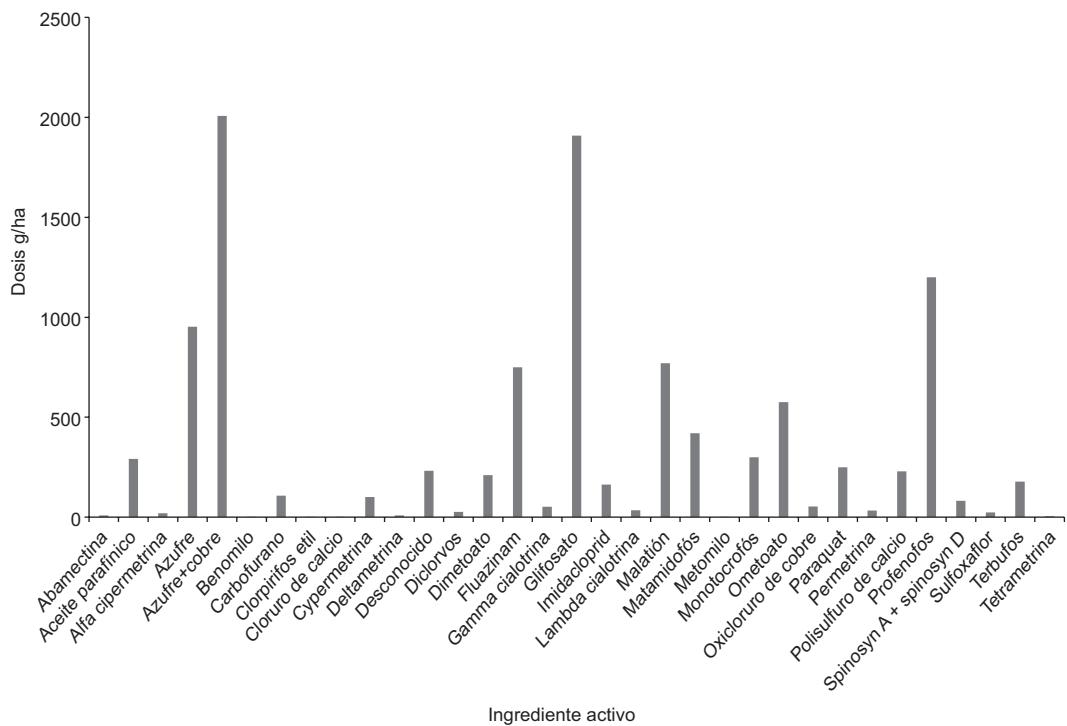


Fig. 4. Frecuencia de aplicación de plaguicidas en huertas de aguacate en Temascaltepec, México (1: semanal, 2: quincenal, 3: mensual, 4: bimestral, 5: trimestral, 6: cuatrimestral, 7: semestral, 8: anual).



**Fig. 5.** Dosis de ingrediente activo utilizado para el control de plagas en huertas de aguacate en Temascaltepec, México.

2019). Se destaca que el área disponible de la huerta marca el desarrollo de la unidad de producción, la cantidad, calidad del producto obtenido y el tipo de mercado al que se tiene acceso. Las huertas del G4 tienen más tiempo en la actividad, por lo que son más antiguas, característica que concuerda con los datos de Nájera-Garduño et al. (2016) y Rubí-Arriaga et al. (2019), a diferencia del grupo G1, que es de creación más reciente.

Los grupos G2 y G3 presentan un número reducido de productores, pero con mayor superficie, número de parcelas y mayor número de árboles plantados por huerta. Por otra parte, la mayor producción (t/ha) y el precio de venta están directamente relacionados con la superficie de la huerta (ha), como se observa para G3 (**Cuadro II**). Los grupos G1 y G4 se localizan a mayor altitud y se caracterizan por la presencia de suelos andosol, cambisol y leptosol, que son de tipo volcánico y están asociados a sitios de orografía compleja (IUSS 2015). La altitud a la que se ubican las huertas de G1 y G4 puede estar directamente relacionada con la menor presencia de plagas, manejo y uso de plaguicidas, debido a que las zonas donde se ubican estas huertas tienen temperaturas más bajas, lo cual pudiera limitar su potencial agrícola. En contraparte, los grupos G2 y G3, que se ubican

a menor altitud, muestran una mayor presencia de plagas y enfermedades y, por tanto, mayor utilización de productos químicos para su control. Lo anterior puede ser a causa de mayor presencia de lluvia, humedad y temperatura, tal como lo reportan Torres et al. (2015), quienes determinaron que el *M. vellezangeli* es afectado por la temperatura y la humedad relativa en cultivos de aguacate. En general, en las huertas se cultivan diversas variedades de aguacate, especialmente en el grupo G2, estas variedades se han adaptado a las condiciones de producción. Las huertas del G3 participan activamente en el proceso de exportación a Canadá y Japón, a diferencia de los grupos G1, G2 y G4 que no realizan esta actividad. Las huertas de G2 y G4 tienen alta productividad, que podrían vender en el mercado internacional y optar por un mayor precio por tonelada de aguacate vendida. Por el contrario, las huertas del grupo G1 venden el aguacate en el mercado local y obtienen el precio más bajo por tonelada.

La presencia de plagas en los cultivos de aguacate requiere del uso de sustancias para su control y exterminio, por lo que en el **cuadro III** se muestran las principales especies encontradas, observándose mayor presencia de araña roja (*Oligonychus punicae* Hirst), barrenador de la rama del aguacate

(*Copturus aguacatae*) y trípidos (*Heliothrips haemorrhoidalis*).

La menor presencia de plagas en G1 y G4 se atribuye a factores como la altitud y el tipo de suelo. El aguacate puede cultivarse en altitudes que oscilan entre 800 y 2500 m (INTAGRI 2019). Además, la temperatura y la precipitación son factores que impactan significativamente el desarrollo del cultivo y su influencia varía según la variedad de aguacate utilizada (Larios et al., 2008). Aunque se han observado plagas a lo largo de todo el año en las huertas, el clima tiene una marcada influencia en su presencia, siendo la primavera y el invierno los períodos de mayor incidencia en G2 y G3. Esta tendencia es a causa de la mayor o menor temperatura y disponibilidad de agua (Torres et al. 2015).

La producción de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Temascaltepec se basa en el cultivo de cinco variedades, predominando la Hass, que se produce en las huertas de los productores de G2, G3 y G4; seguida de la variedad Méndez (G2 y G3), Criollo (G1 y G2), Fuerte (G2 y G3) y Tres Marias (G4).

El aguacate de las variedades Criollo, Fuerte y Tres Marias se produce en menor proporción, pero son más resistentes a la mayoría de las plagas, excepto araña cristalina (*Oligonychus perseae*) y hongos (*Phytophthora cinnamomi*), lo cual se puede deber a su rusticidad y capacidad de adaptación a diferentes zonas geográficas y climas (Sánchez-Flores et al. 2015).

Como se ha señalado, la zona de estudio se caracteriza por diferentes gradientes de altura y tipos de suelo, siendo los más recomendables los de textura ligera, profundos, con un pH de 5.5 a 7 y con buen drenaje, ya que el exceso de humedad proporciona un ambiente adecuado para el desarrollo de enfermedades radiculares, como la asfixia radicular, y fúngicas, como las producidas por *Phytophthora* spp. (Torres et al. 2015).

Para el control de plagas se identificaron 32 ingredientes activos, de los cuales 26 están en la lista de plaguicidas altamente peligrosos según la Red Internacional de Acción en Plaguicidas (PAN-Internacional, Lista consolidada de prohibiciones, mayo 2022), 21 están en la lista de plaguicidas prohibidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (USEPA 2022) y 17 de ellos no están autorizados para su uso por la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México (APEAM 2023).

Los plaguicidas más comunes fueron: malatió (35 casos), clasificado por la EPA en el Grupo 2, con

efectos a largo plazo como probable carcinógeno para seres humanos; abamectina (27 casos), con alta toxicidad aguda, altamente peligroso (Clase 1b) según la OMS y mortal si se inhala, con clasificación de peligro según el Sistema Global Armonizado SGA de la UE o Japón; lambda cialotrina (20 casos), siendo los tres ingredientes activos altamente tóxicos en abejas (PAN 2022). Además de algunos otros ingredientes también muy peligrosos como metomilo, glifosato, metamidofos, paraquat, dimetoato y terbufos, entre otros.

El mayor uso de plaguicidas en los grupos G2 y G3 (Cuadro IV) provoca la dispersión de trazas de los ingredientes activos en el ambiente, convirtiéndose en potenciales contaminantes y alteradores bióticos (animales y plantas) y abióticos (aire, agua y suelo), además de representar una amenaza para la salud humana por exposición directa e indirecta (Mahmood et al. 2016). Algunos de los ingredientes ampliamente utilizados son las combinaciones de azufre + cal y azufre + cobre en los grupos G3 y G2, respectivamente; mientras que clorpirifos etil, dimetoato, metomilo y oxicloruro de cobre se utilizan principalmente en el grupo G2. El grupo G3 utiliza deltometrina, imidacloprid, monocrotofos, paraquat, profenofos, spinosad A y spinosad D. En este sentido, de acuerdo con la USEPA (2022), sustancias altamente peligrosas, como la lambda cialotrina, actúan como disruptores endocrinos en humanos y son altamente tóxicos para las abejas; además la abamectina que puede causar la muerte de humanos por inhalación, el malatió que está catalogado como probable causante de cáncer, así como el dimetoato y el glifosato, entre otros. Cabe destacar que todos son plaguicidas bioacumulables, persistentes en agua y suelo, tóxicos en organismos acuáticos y en abejas. El metomilo es un compuesto utilizado por los productores de los grupos G2, G3 y G4 y está catalogado como altamente peligroso por su toxicidad en agua y para polinizadores como las abejas (PAN 2022). Compuestos similares se encuentran prohibidos en diferentes países: benomilo (39 países), carbofurán (87 países), diclorvós (38 países), metamidofos (109 países), monocrotofos (129 países), ometoato (35 países), paraquat (58 países), permetrina y profenofos (33 países) y terbufos (35 países). El benomilo, el clorpirifos-etil y la deltometrina son inhibidores enzimáticos, mutágenos, disruptores endocrinos y probables carcinógenos (PAN 2022).

Por otro lado, ingredientes como el azufre, la cal y el cobre no se consideran altamente peligrosos, sin embargo, se clasifican como restringidos (Burtscher-Schaden et al. 2022). Para el caso del

presente trabajo la combinación de azufre + cobre representa la dosis de aplicación más alta (2007 g/ha; **Fig. 5**), lo anterior puede ser a causa de que uno de los principales factores del uso excesivo de plaguicidas es el desconocimiento de la dosis recomendada (García-Hernández et al. 2017).

Los productores del G1 dependen de otros productores para la compra de ingredientes, para evitar trasladarse a otro municipio o incluso a otros estados, y con esta acción pierden la oportunidad de recibir información valiosa sobre el manejo y la peligrosidad de los productos que obtienen. Sin embargo, los productores de este grupo son los que devuelven los envases vacíos a los proveedores. El resto de los productores almacenan tanto los envases como los residuos de plaguicidas en un espacio dentro de la casa o afuera en espacios cercanos a la casa (**Cuadro V**).

Los productores del G2 y del G3 conocen el tipo de coloración de las etiquetas y realizan el almacenamiento y disposición de los envases de los productos de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015 (STPS 2015).

Por el contrario, los productores del G1 tienen poco o nulo conocimiento sobre la coloración de las etiquetas y su relación con la peligrosidad de la sustancia activa, por lo que dependen de la información proporcionada por otros productores o intermediarios, situación que ha sido ampliamente analizada por Matich et al. (2021) y Alizadeh et al. (2022). De esta manera, no almacenan sustancias bajo este sistema de identificación, no tratan los envases de plaguicidas, ni están afiliados a un programa de manejo que garantice el uso adecuado de las sustancias peligrosas, en comparación con el resto de los grupos. Entre las observaciones se destaca que para G2, G3 y G4 el uso de plaguicidas ha aumentado y que el conocimiento sobre el manejo y peligrosidad de los plaguicidas obedece al alcance de los productores, por lo que quienes tienen relación con dependencias y asesoría técnica externa, reciben información y estrategias de manejo seguro que evitan problemas de salud pública (Ordoñez et al. 2019, Matich et al. 2021, Alizadeh et al. 2022).

En las huertas de reciente creación los productores no almacenan los productos adecuadamente, no están afiliados a programas de gestión de envases y no reciben advertencias sobre los peligros de los productos (Agrawal et al. 2010), por lo anterior son más propensos a desarrollar graves problemas de salud (Palacios-Nava et al. 2009) y de contaminación de suelos y aguas subterráneas (Zuñiga et al. 2012). Todas las sustancias químicas utilizadas contienen etiquetas con la información necesaria para su uso seguro, pero se han empleado a discreción y como

ejemplo podemos mencionar el diclorvos, un organofosforado que es un probable carcinógeno humano (USEPA 2022). La Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR 2003) destacó que esta sustancia es capaz de reaccionar químicamente con la enzima acetilcolinesterasa y afectar el funcionamiento del sistema nervioso central. En la zona de Temascaltepec, en un ciclo de producción, este plaguicida se utiliza cada semana, por lo que es importante resaltar su peligrosidad para el personal de la huerta que lo manipula y aplica, así como para la salud pública.

## CONCLUSIONES

Se encontró un total de 32 plaguicidas utilizados como insecticidas, acaricidas y fungicidas en los cuatro grupos de unidades de producción. Los ingredientes activos identificados fueron piretroides, carbamatos y organofosforados, clasificados como altamente peligrosos.

El uso y grado de aplicación de estos ingredientes activos fue diferente en cada grupo por la variedad de aguacate cultivado, tamaño y edad del huerto, tiempo en la actividad, altitud y tipo de suelo.

Para atender las observaciones de todo el párrafo cambiar el texto: La información obtenida puede funcionar como antecedente para realizar análisis posteriores sobre biodisponibilidad y en la generación de la reglamentación nacional para el uso seguro de plaguicidas, el Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas (OMS-FAO 2015), las Directrices sobre Plaguicidas Altamente Peligrosos (FAO-OMS 2019) y la Estrategia Nacional para Evitar Riesgos al Ambiente por los Plaguicidas en México (INECC 2020). Con dicha información, el productor puede tener un mejor manejo y uso de los plaguicidas en el cultivo de aguacate, lo que le permitiría incursionar en otros mercados que requieren estándares más rigurosos y de mayor calidad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero del Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca recibida por Sherezada Esparza Jiménez. Los autores agradecen a Edson Carbajal Medina y José Bonifacio Gutiérrez García por su asistencia técnica. La mención de nombres o productos comerciales es únicamente para proporcionar información específica.

## REFERENCIAS

- Agrawal A., Pandey R.S. y Sharma B. (2010). Water pollution with special reference to pesticide contamination in India. *Journal of Water Resource and Protection* 2 (5), 432-448. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2010.25050>
- Alizadeh S., Anani-Sarab G., Amiri H. y Hashemi M. (2022). Paraquat induced oxidative stress, DNA damage, and cytotoxicity in lymphocytes. *Heliyon* 8 (7), e09895. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09895>
- APEAM (2023). Buscador de plaguicidas recomendados por APEAM para uso en cultivo de aguacate. Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México Asociación Civil [en línea]. <https://plaguicidas.apeamac.com> 02/marzo/2023
- ATSDR (2003). Resumen de salud pública: piretrinas y piretroides. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades [en línea]. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phss155.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phss155.pdf) 12/julio/2022
- Bejarano G.F. (2017). Los plaguicidas altamente peligrosos: nuevo tema normativo internacional y su perfil nacional en México. En: Los plaguicidas altamente peligrosos en México. (G.F. Bejarano, Ed.). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Texcoco, México, pp. 13-137.
- Burtscher-Schaden H., Durstberger T. y Zaller J.G. (2022). Toxicological comparison of pesticide active substances approved for conventional vs. organic agriculture in Europe. *Toxics* 10 (12), 753. <https://doi.org/10.3390/toxics10120753>
- FAO/OMS (2019). Código internacional de conducta para la gestión de plaguicidas - Directrices sobre los plaguicidas altamente peligrosos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organización Mundial de la Salud. Roma, Italia, 46 pp.
- FAO/WHO (2022). Report 2021 - Pesticide residues in food - Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, Rome [en línea]. <https://www.fao.org/3/cb8313en/cb8313en.pdf> 02/marzo/2023
- García-Hernández J., Leyva-García G. y Aguilera-Márquez D. (2017). Los plaguicidas altamente peligrosos en el Valle del Yaqui, Sonora. En: Los plaguicidas altamente peligrosos en México. (G.F. Bejarano, Ed.). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Texcoco, Estado de México, México, pp. 209-220.
- García-Martínez A., Bernués A. y Olaizola A. (2011). Simulation of mountain cattle farming system changes under diverse agricultural policies and off-farm labour scenarios. *Livestock Science* 137, 73-86. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.10.002>
- Guisande C., Barreiro F.A., Maneiro E.I., Riveiro A.I., Vergara C.A.R. y Vaamonde L.A. (2006). Tratamiento de datos. Díaz de Santos, España, 356 pp.
- Hair J.F., Black W.C., Babin B.J., Anderson R.E. y Tatham R.L. (2006). Multivariate data analysis. International Edition. 6a. ed. Prentice Hall International. Nueva Jersey, EUA, 897 pp.
- Hernández S.R., Fernández C.C. y Baptista L.M.P. (2014). Metodología de la investigación. 6a ed, McGraw-Hill / Interamericana Editores, Ciudad de México, México, 600 pp.
- Herrera-González J.A., Bautista-Baños S., Salazar-García S. y Gutiérrez-Martínez P. (2020). Situación actual del manejo poscosecha y de enfermedades fungosas del aguacate 'Hass' para exportación en Michoacán. *Rivista Mexicana Ciencias Agrícolas* 11 (7), 1647-1660. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2402>
- INECC (2020). Estrategia nacional para evitar los riesgos al ambiente por los plaguicidas en México. Martínez Arroyo A., Ruiz Suárez L.G., Gavilán García A. y Mendoza Cantú A. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. CDMX, México, 44 pp.
- INTAGRI (2019). Requerimientos de clima y suelo en el cultivo de aguacate. Serie Frutales No. 56. Artículos técnicos de INTAGRI [en línea]. [https://www.intagri.com/public\\_files/56.-Requerimientos-de-Suelo-y-Clima-del-Cultivo-de-Aguacate.pdf](https://www.intagri.com/public_files/56.-Requerimientos-de-Suelo-y-Clima-del-Cultivo-de-Aguacate.pdf) 02/marzo/2023
- IUSS (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia, 206 pp. [en línea]. <https://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf> 02/marzo/2023
- Larios A., Tapia V.L.M. y Vidales F.I. (2008). Establecimiento de huertos. Tecnología para la producción de aguacate en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Uruapan, México, 43 pp.
- Mahmood I., Imadi S.R., Shazadi K., Gul A. y Hakeem K.R. (2016). Effects of pesticides on environment. En: Plant, soil and microbes. (K. Hakeem, M. Akhtar y S. Abdullah, Eds.). Springer, Cham, pp. 253-269. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-27455-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-27455-3_13)
- Matich E.K., Laryea J.A., Seely K.A., Stahr S., Su L.J. y Hsu P.C. (2021). Association between pesticide exposure and colorectal cancer risk and incidence: A systematic review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 219, 112327. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112327>

- Nájera-Garduño A.L., Piedra-Matias R., Albarrán-Portillo B. y García-Martínez A. (2016). Cambios en la ganadería doble propósito en el trópico seco del Estado de México. *Agrociencia* 50, 701-710.
- OMS/FAO (2015). Código internacional de conducta para la gestión de plaguicidas. Organización Mundial de la Salud y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Ginebra, Suiza, 41 pp.
- Ordoñez-Beltrán V., Frías-Moreno M.N., Parra-Acosta H. y Martínez-Tapia M.E. (2019). Estudio sobre el uso de plaguicidas y su posible relación con daños a la salud. *Revista de Toxicología* 36 (2), 148-153.
- Palacios-Nava M.E., García de la Torre G.S. y Paz-Román M.P. (2009). Determinación de niveles basales de colinesterasa en jornaleros agrícolas. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM* 52 (2), 63-68.
- PAN (2022). PAN International Consolidated List of Banned Pesticides. 6a ed. PAN International. Pesticide Action Network International, Malasia, 20 pp. [en línea]. <https://files.panap.net/resources/Consolidated-List-of-Bans-Explanatory.pdf> 02/marzo/2023
- Pérez C. (2005). Técnicas estadísticas con SPSS 12, aplicaciones al análisis de datos. Pearson Educación, Madrid, España, 824 pp.
- Ponce-Caballero C., Cardeña-Echalaz F., Giácomo-Vallejos G., Vega M. y Góngora-Echeverría V.R. (2022). Pesticide management and farmers perception of environmental and health issues due to pesticide use in the state of Yucatán, Mexico: a study case. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 38, 289-300. <https://doi.org/10.20937/RICA.54134>
- Ramírez L. y Sánchez F. (2010). Análisis factorial de datos cualitativos: un experimento con datos artificiales. *Anales de la Universidad de Murcia (Ciencias)* 33 (1-2-3-4), 117-135.
- Reyes-Alemán J.C., Mejía-Carranza J., Monteagudo-Rodríguez O.R., Valdez-Pérez M.E., González-Díaz J.G. y Espíndola-Barquera M.C. (2021). Phenology of the 'Hass' avocado in the State of Mexico, Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 27 (2), 113-134. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2020.09.020>
- Rocha G.M. y Grisolia C.K. (2019). Why pesticide with mutagenic, carcinogenic and reproductive risks are registered in Brazil. *Developing World Bioethics* 19 (3), 148-154. <https://doi.org/10.1111/dewb.12211>
- Rojas-Pérez L., Cruz- Castillo J.G., Monterroso-Rivas A.I. y Flores-Magdaleno H. (2022). Avocado (*Persea americana* Mill.) production in Huatusco, Veracruz, Mexico. *Agro Productividad* 15 (12), 127-136. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i12.2358>
- Rubí-Arriaga M., Franco-Malvaíz A.L., Rebollar-Rebollar S., Bobadilla-Soto E.E., Martínez-De la Cruz I. y Siles-Hernández Y. (2013). Situación actual del cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) en el Estado de México, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16, 93-101.
- Rubí-Arriaga M., Lozano-Keymolen D. y Maldonado F.I. (2019). Población y producción alimentaria en México: el caso del aguacate. *Papeles de Población* 25 (101), 212-231. <https://doi.org/10.22185/24487147.2019.101.28>
- SAGARPA (2017). Planeación agrícola nacional, aguacate mexicano. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Ciudad de México, México. 11 pp. [en línea]. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf> 02/marzo/2023
- Sánchez-Flores Ó.Á., Myartseva-Svetlana N., García-Martínez O., Ruiz-Cancino E., Carapia-Ruiz V. (2015). Parasitismo natural de Aphelinidae (Hymenoptera) sobre *Aleuropleurocelus* aff. *acaudatus* Drews & Sampson (Aleyrodidae), en aguacates criollos del sur de Coahuila, México. *Acta Zoológica Mexicana* 31 (2), 173-177. <https://doi.org/10.21829/azm.2015.312537>
- Sangerman-Jarquín D.M., Larqué-Saavedra B.S., Omaña-Silvestre J.M., Shwenstesius de Rinderman R. y Navarro-Bravo A. (2014). Tipología del productor de aguacate en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5 (6), 1081-1095. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i6.892>
- SGA (2023). Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos. Centro Coordinador del Convenio de Basilea, Centro Regional del Convenio de Estocolmo para América Latina y el Caribe [en línea]. <http://ghs-sga.com> 03/marzo/2023
- SIAP (2022). Anuario estadístico de la producción agrícola, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [en línea]. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> 14/agosto/23
- SIAP (2023). Anuario estadístico de la producción agrícola, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [en línea]. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> 28/octubre/2023
- STPS (2015). NOM-018-STPS-2015. Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México. 9 de octubre de 2015.
- Torres J.L.F., Cartagena V.J.R., Correa L.G.A., Monsalve G.D.A. y Londoño Z.M.E. (2015). Relationship between the presence and damage of *Monalonion vellezangeli* Carvalho & Costa and some climatic factors in avocado cv. Hass crops. *Corpoica Ciencia y Tecnología*

Agropecuaria 16 (1), 79-85. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol16\\_num1\\_art:381](https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num1_art:381)  
USEPA (2022). ProUCL Software v5.2, United States Environmental Protection Agency [en línea]. <https://www.epa.gov/land-research/proucl-software> 03/marzo/2023

Zúñiga V.E., Arellano G.E., Camarena O.L., Daesslé H.W., Von-Glascoe C., Leyva A.J.C. y Ruiz R.B. (2012). Daño genético y exposición a plaguicidas en trabajadores agrícolas del Valle de San Quintín, Baja California, México. Revista de Salud Ambiental 12 (2), 93-101.