

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA LLUVIA POR EFECTO DE UN SISTEMA ANTIGRANIZO EN LA FRANJA AGUACATERA DE MICHOACÁN

SPATIAL VARIABILITY OF RAINFALL DUE TO AN ANTI-HAIL SYSTEM IN MICHOACÁN AVOCADO BELT

Mario Tapia-Vargas^{1*}, Martha E. Pedraza Santos², Antonio Larios-Guzmán¹, Ignacio Vidales-Fernández¹, Héctor Guillén-Andrade² y Víctor L. Barradas-Vázquez³

¹Campo Experimental Uruapan, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Av. Latinoamericana 1101. 60080, Uruapan, Mich. Tel. 452-523-7392 ext. 101. ²Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez", Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Paseo de la Revolución esq. Niza. 60160, Uruapan, Mich. ³Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria. 04510, México, D.F.

*Autor para correspondencia (tapia.luismario@inifap.gob.mx; mariotv60@hotmail.com)

RESUMEN

La formación de granizo ha ocasionado pérdidas hasta de 100% de la producción en huertas de aguacate (*Persea americana*) en el Estado de Michoacán, México. La prevención del granizo con tecnología electrónica que se usa en la región, como el cañón antigranizo puede traer cambios en este meteoro. El objetivo de este trabajo fue evaluar la variabilidad espacial de la lluvia por efecto del cañón antigranizo (CAA) en la franja aguacatera de Michoacán. Este trabajo experimental se realizó en Tacámbaro, Cheranguerán y Peribán, durante el verano del 2011. Las dos primeras localidades cuentan con CAA funcionando, pero en la última no fue activado. Se colocaron pluviómetros (P), a 0, 500, 1000, 1500 y 2000 m de distancia a ambos lados del CAA, en un transecto con dirección este-oeste, el predominante de las lluvias en esta zona. Las variables evaluadas fueron número de eventos y cantidad de lluvia. Se efectuó análisis de varianza de la lluvia de cada P, bajo diseño completamente al azar en el que cada evento de lluvia se consideró una repetición, la comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). La variabilidad espacial de la lluvia se analizó con prueba de χ^2 . Los resultados indicaron diferencia estadística entre PP en Cheranguerán y en Peribán, pero no en Tacámbaro, sin embargo, el efecto no puede ser atribuido al CAA debido que en Cheranguerán y Tacámbaro; la mayor cantidad de lluvia ocurrió en el pluviómetro situado junto al CAA y en Peribán el CAA no fue activado en todo el ciclo de lluvias. El carácter espacial de la lluvia en todos los PP no mostró diferencias estadísticas que conduzcan a un efecto del CAA a disminuir la lluvia en las tres localidades, más bien hay un efecto significativo contrario.

Palabras clave: Granizo, precipitación, precisión de medición.

SUMMARY

Hail formation has caused important losses, up to 100% of fruit yield in avocado (*Persea americana*) orchards of the state of Michoacán, México. Hail avoidance with currently utilized electronic technology, may generate changes in this climatic factor. The aim of this paper was

to evaluate the spatial variability of rainfall due to an anti-hail system (CAA) in the avocado strip of Michoacán. This experimental trial was carried out in Tacámbaro, Cheranguerán y Peribán, during the Summer of 2011. First two sites have a working CAA, but in the last site it was out of service. Rainfall pluviometers (P) were set to 0, 500, 1000, 1500 y 2000 m of distance on both sides of the CAA intersecting an East-West line, the main incoming path of the rainfalls in this region. Evaluated variables were rainfall amount and number of events. Analyses of variance of measured rainfall in each pluviometer were performed under a completely randomized design taking each rainfall event as a replication, followed by means comparisons with a Tukey ($\alpha = 0.05$) test. Spatial variability of rainfall was analyzed with a χ^2 test. Results indicated significant difference among P in Cheranguerán y Peribán, but not in Tacámbaro. However, this effect is not caused by CAA since in Cheranguerán and Tacámbaro the highest rainfall amount occurred in the pluviometer placed along the CAA, and in Peribán the CAA was out of service the whole rainfall season. Rainfall spatial variability in all P did not show statistical differences caused by the CAA usage to decrease rainfall in any of the three sites, instead there is an inverse significant effect.

Index words: Hail, precipitation, accuracy measurement.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill), en Michoacán representa la principal actividad agroindustrial del estado con 27.8 % del Producto interno bruto primario estatal. Sin embargo, los huertos están sujetos a una amplia variedad de climas y condiciones de lluvia que afectan su productividad y rendimiento de fruto (Tapia *et al.*, 2009a). En la franja aguacatera de Michoacán, con poco más de un millón de hectáreas de cuenca hidrográfica, los agrosistemas dominantes son cultivos básicos y huertos de aguacate, que abarcan 26 y 10 % de la superficie, respectivamente; los ecosistemas forestales (selva baja caducifolia, y bosques de coníferas y latifoliadas), representan alrededor de 40 % de la superficie total (Tapia *et al.*, 2009b).

La escasa disponibilidad actual de áreas ecológicamente óptimas para el cultivo del aguacate en Michoacán (Ruiz *et al.*, 1999), ha propiciado incursionar en climas en donde se desconoce el comportamiento del cultivo, así como su producción y calidad del fruto (Stanford, 2002). El cambio climático en la zona montañosa de Michoacán ya ha ocasionado un incremento de 0.4 °C en la temperatura media y un cambio en el patrón de lluvias intensas en este siglo, caracterizado ahora por chubascos de corta duración y alta intensidad, propiciados por nubes convectivas principalmente (Tapia *et al.*, 2011).

El incremento ligero de la temperatura puede propiciar mayor cantidad de lluvia en regiones húmedas (Olmstead y Rhode, 2011), pero una mayor cantidad de lluvia está estrechamente relacionada con la formación de granizo (Lang y Rutledge, 2002). La formación de granizo se asocia principalmente a un enfriamiento homogéneo de nubes convectivas (Rosenfield y Woodley, 2010). Sin

embargo, los cambios en la formación física y química de la nube conducen a cambios en el tamaño del granizo en nubes convectivas (Van den Heever y Cotton, 2004).

La formación de granizo ocasiona pérdidas importantes en la región aguacatera de Michoacán, pues puede llegar a defoliar por completo al árbol o causar daños al fruto cuando está en plena madurez, además de propiciar la entrada de hongos fitopatógenos al fruto (Tapia *et al.*, 2009a). Tan sólo en 2010 el daño por granizo alcanzó más de 10 000 ha que perdieron hasta 100 % de la producción y ocasionaron defoliaciones de hasta 100 % del árbol.

La operación de sistemas acústico-electrónicos antigranizo han probado efectividad en evitar el meteoro, no obstante su uso ha sido considerado como causa de abatimiento de la lluvia en una región o un área cercana al dispositivo (Fariás, 2006). La utilización de cañones antigranizo es una alternativa para evitar la precipitación de granizo de nubes convectivas principalmente (Souto, 2008), porque pueden contrarrestar el granizo sin afectar la cantidad de lluvia en una región dada (González, 2002).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la variabilidad espacial de la lluvia por efecto del cañón antigranizo (CAA) en la franja aguacatera de Michoacán

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se hizo en tres huertas de aguacate ubicadas en las regiones productoras de Tacámbaro (1950 msnm), Cheranguerán (1740 msnm) y Peribán (1550 msnm), cuyos climas según Salazar *et al.* (2011) son: en Tacámbaro (A)C(w_1), semicálido subhúmedo con lluvias de verano, y representa 57 % de la superficie total con aguacate; en Cheranguerán es (A)C(m)(w_2), semicálido húmedo, el más húmedo de la franja aguacatera, que representa 11 % de la superficie aguacatera; en Peribán, según Contreras *et al.* (2010) el clima es $Aw_1(w)$, cálido subhúmedo, el más cálido de la zona a aguacatera, con 20 % de la superficie sembrada. Por estos tres tipos de clima este trabajo podría representar hasta 88 % de la superficie aguacatera de Michoacán.

Cada huerta cuenta con instalaciones de cañón antigranizo con gas acetileno (CAA), sistema que funciona por el método de ionización de la atmósfera (Sistema Francés), con una cobertura de 1.0 km de diámetro; el equipo automatizado consiste de un difusor de 6 m de altura, en cuya base se encuentran dos reguladores móviles de entrada de aire (clapetas), un inyector, un mezclador de gas acetileno y electrodos de encendido, que emite ondas de choque ionizantes de 2000 kg cada 6 s (Van Praet, 2011). En las tres localidades se instalaron pluviómetros (P) en la misma

huerta o bien en huertas vecinas, situados a 0, 500, 1000, 1500 y 2000 m de distancia del CAA en línea recta hacia ambos lados en la dirección este-oeste, que es el frente de lluvia predominante de la franja aguacatera de Michoacán. De acuerdo con el funcionamiento del CAA, los P instalados a 1500 y 2000 m estarían colocados fuera del área de influencia del CAA. La posición geográfica de cada pluviómetro (P) se muestra en el Cuadro 1.

Los datos de precipitación fueron registrados diariamente durante toda la temporada de lluvias de junio a octubre de 2011, en las tres localidades. Los P son de acrílico de lectura directa marca TFA Dostmann®, modelo 47.1 (Wertheim, Alemania), colocados a 1.0 m de altura, a las distancias antes descritas. Debido a la inaccesibilidad del terreno y a problemas de inseguridad y delincuencia de la región en las localidades de Cheranguerán y Peribán, sólo fue posible colocar 6 y 8 pluviómetros, respectivamente, mientras que en Tacámbaro se pudo cumplir con la meta de 9 instalados.

Los datos registrados en cada P instalado fueron el número de eventos de lluvia y la cantidad de lluvia registrada. El análisis estadístico de la información consistió en análisis de varianza de la variable cantidad de lluvia por pluviómetro bajo un diseño completamente al azar, en el que cada evento de lluvia se consideró como una repetición y cada pluviómetro como un tratamiento; luego se aplicó la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para efectuar la separación de medias de lluvia.

Finalmente, la variabilidad espacial de la precipitación se analizó mediante χ^2 para comparar los datos de lluvia total contra la lluvia promedio en cada P; este análisis evalúa si los pluviómetros dentro de cada punto registran cantidades iguales o diferentes entre sí. Se construyeron tablas de contingencia para obtener el estadístico χ^2 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de lluvia mensual y número de días con lluvia (N) por localidad experimental en la zona aguacatera de Michoacán (Cuadro 2), muestran que todos los meses fueron relativamente lluviosos con 820 a 1191 mm en las tres localidades. En contraste, en 2011 apenas hubo cerca de 400 mm en el mismo periodo, en la región denominada “Bajío Michoacano” (INIFAP, 2011), lo que ocasionó pérdidas agrícolas en cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.); en esta región montañosa, las precipitaciones fueron abundantes, similares a los 970 mm registrados en Milpillas, pero menores a los 1300 mm registrados en El Rosario, ambos dentro del municipio aguacatero de Nuevo San Juan P., Mich. (Fieldclimate, 2011). Esta variabilidad es normal en la franja aguacatera, como puede observarse en los reportes de clima de APEAM

Cuadro 1. Posición geográfica de los pluviómetros colocada 05 en cada localidad experimental de la franja aguacatera de Michoacán, todos en la dirección Este-Oeste.

| Número de pluviómetro | Distancia del equipo antigranizo (m) | Cheranguerán | Peribán | Tacámbaro |
|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 2000 | 19° 29' 43.7" N 102° 3' 44.6" O | 19° 32' 34.8" N 102° 26' 20.5" O | 19° 18' 20.3" N 101° 25' 3.4" O |
| 2 | 1500 | 19° 29' 33.4" N 102° 4' 0.9" O | 19° 32' 36.7" N 102° 26' 15.6" O | 19° 18' 25.1" N 101° 24' 58.8" O |
| 3 | 1000 | 19° 29' 33.8" N 102° 4' 21.6" O | 19° 32' 28.8" N 102° 26' 3.3" O | 19° 18' 40.3" N 101° 24' 44.3" O |
| 4 | 500 | 19° 29' 34.2" N 102° 4' 34.5" O | 19° 32' 27.1" N 102° 25' 56.3" O | 19° 18' 40.6" N 101° 24' 48.9" O |
| 5 (testigo) | 0 | 19° 29' 34.6" N 102° 4' 40.7" O | 19° 32' 22.9" N 102° 25' 47.1" O | 19° 18' 32.3" N 101° 24' 25.4" O |
| 6 | 500 | 19° 29' 21.5" N 102° 5' 1.8" O | 19° 32' 17.9" N 102° 25' 40.3" O | 19° 18' 32.2" N 101° 24' 15.6" O |
| 7 | 1000 | | 19° 32' 11.0" N 102° 25' 33.6" O | 19° 18' 40.9" N 101° 24' 6.7" O |
| 8 | 1500 | | 19° 32' 0.9" N 102° 25' 21.8" O | 19° 18' 41.4" N 101° 23' 56.0" O |
| 9 | 2000 | | | 19° 18' 45.2" N 101° 23' 38.7" O |

Cuadro 2. Cantidad y número de días con lluvia (N) mensual registrada en 2011 en tres localidades de la franja aguacatera de Michoacán.

| Mes | Localidad | | | | | |
|------------|---------------|----|---------------|----|---------------|----|
| | Cheranguerán | | Peribán | | Tacámbaro | |
| | Cantidad (mm) | N | Cantidad (mm) | N | Cantidad (mm) | N |
| Junio | 141 | 3 | 125 | 3 | 202 | 4 |
| Julio | 336 | 14 | 225 | 11 | 295 | 11 |
| Agosto | 290 | 12 | 212 | 12 | 239 | 10 |
| Septiembre | 295 | 13 | 155 | 9 | 197 | 7 |
| Octubre | 129 | 7 | 103 | 4 | 102 | 5 |
| Total | 1191 | 49 | 820 | 39 | 1035 | 37 |

(2011), aún en años lluviosos como el 2010.

Peribán fue la única localidad donde no se utilizó el cañón antigranizo (CAA), debido a protestas locales que atribuyendo la escasez de lluvia al funcionamiento del CAA, mientras que en Tacámbaro y en Cheranguerán fue utilizado con regularidad en más de 30 eventos y con varias emisiones sónicas de baja frecuencia por evento. Peribán fue el sitio donde llovió menos (820 mm). Estos resultados preliminares indican que la lluvia se distribuye en forma diferente entre localidades, y que aparentemente no hay influencia del CAA en la cantidad de lluvia registrada en cada localidad (Cuadro 2), ya que de acuerdo

con lo postulado habría de esperar menos lluvia donde el CAA es activado (Farías, 2006).

El análisis de varianza efectuado a las precipitaciones de las tres localidades reveló diferencias estadísticas entre P en las localidades de Cheranguerán ($F_c = 3.0^{**}$; $P = 0.01$), y Peribán ($F_c = 8.4^{**}$; $P = 0.0001$), pero no en Tacámbaro ($F_c = 94.3^{**}$; $P \leq 0.0001$). Las precipitaciones medias de cada P (Cuadro 3) muestran que en las tres localidades, el P testigo colocado en el lugar donde está el dispositivo antigranizo registró estadísticamente la misma cantidad de lluvia que el P colocado al extremo oriente (1), en teoría debería registrar más lluvia en el caso de que el CAA

abatiera la precipitación de zonas aledañas, ya que está colocado a barlovento de la dirección predominante de la lluvia y fuera del área de influencia del equipo (2000 m de distancia).

En Peribán la diferencia estadística detectada entre P no pudo ser ocasionada por el CAA porque el cañon no fue activado; por tanto la diferencia aquí se atribuye a la distribución irregular de la lluvia que de forma natural ocurre en toda la franja aguacatera, al igual que en Tacámbaro y Cheranguerán (APEAM, 2011). Según Yuter y Parker (2000), el viento es un factor que incide en la distribución espacial de la lluvia y en los registros de diferentes pluviómetros cuando la velocidad del viento es alta; esto pudo haber sucedido en Peribán y Cheranguerán, las localidades con topografía más plana, mientras que en Tacámbaro cuya topografía es accidentada e impide el desarrollo de vientos de alta velocidad. Sin embargo, en ambientes montañosos la lluvia también puede ser extremadamente variable en espacio y tiempo, como lo señala con Buytaert *et al.* (2006).

Por la uniformidad registrada en Tacámbaro, el sitio más montañoso, permite afirmar que la colocación de los P fue adecuada y que al igual que en Cheranguerán y Peribán, el frente de lluvia se distribuye de manera uniforme y principalmente de oriente a poniente, distribución en la que el CAA no tuvo efecto significativo.

La no afectación de la lluvia por el funcionamiento del CAA presentó similar respuesta en la distribución de la precipitación en Cheranguerán, Tacámbaro y Peribán, a pesar que en esta última el CAA no fue activado (Cuadro 3). En Cheranguerán, el P6 colocado al extremo oriente,

tuvo lluvia igual que el P1 ubicado a 2500 m de distancia, con 23.7 y 21.7 mm de lluvia media, respectivamente. En Tacámbaro no hubo diferencias estadísticas entre P, pues el colocado junto al CAA registró 27.9 mm, igual cantidad que todos los demás pluviómetros, a pesar de que en esta localidad el CAA se activó de manera intensa. En Peribán el P5 presentó similar precipitación (21.2 mm) que el P1 (20.4 mm) colocado a 2000 m de distancia en el frente de la lluvia. Estos resultados de Cheranguerán y Tacámbaro, principalmente, demuestran que el CAA tiene como función principal evitar el granizo sin afectar la cantidad de precipitación (González, 2002).

La variabilidad espacial de la precipitación en las tres localidades de la Sierra Purépecha de Michoacán fue evaluada mediante una prueba de χ^2 (Cuadro 4). Los resultados muestran que no hubo diferencia espacial entre los P de las tres localidades, ni en las cantidades medias ni en las cantidades totales de lluvia, pues todos los P tuvieron similar registro, y ninguno mostró reducción de lluvia por efecto del funcionamiento del CAA en Cheranguerán como en Tacámbaro. En Cheranguerán hubo una ligera reducción de la lluvia de 20, 44 y 8 mm, conforme los P avanzaban de oriente a occidente, pero al llegar al P5 (testigo) colocado junto al CAA, la lluvia se incrementó a 1191 mm y en P6 se mantuvo igual (1162 mm). Es decir, estos resultados evidencian de manera clara que la activación sistemática del CAA no tiene efecto en la variabilidad espacial de la lluvia.

En Peribán el avance hacia el oeste de la línea de pluviómetros muestra un incremento ligero en la lluvia registrada (Cuadro 4). Como en este sitio la variabilidad no se puede explicar por el uso del CAA, entonces se debe a

Cuadro 3. Promedios de precipitación (mm d⁻¹ de lluvia) por pluviómetro (P) en tres localidades de la franja aguacatera de Michoacán.

| P | Cheranguerán | P | Peribán | P | Tacámbaro |
|-------------|--------------|----------|---------|----------|-----------|
| 5 (testigo) | 24.3 a | 8 | 24.4 a | 4 | 28.8 a |
| 6 | 23.7 ba | 6 | 23.1 ba | 9 | 28.6 a |
| 1 | 21.7 ba | 7 | 21.9 ba | 6 | 28.2 a |
| 4 | 21.6 ba | 5 (tes.) | 21.2 bc | 3 | 27.9 a |
| 2 | 21.3 ba | 4 | 20.7 bc | 5 (tes.) | 27.9 a |
| 3 | 20.4 ba | 1 | 20.4 bc | 1 | 27.4 a |
| | | 3 | 18.7 c | 2 | 27.2 a |
| | | 2 | 18.6 c | 7 | 27.1 a |
| | | | | 8 | 26.0 a |
| N | 49 | | 39 | | 37 |

Cuadro 4. Evaluación de la distribución espacial de la precipitación total (PT) y media (PM) en pluviómetros de tres localidades de la franja aguacatera de Michoacán.

| Factor | Pluviómetro | | | | | | | | | Total χ^2 | |
|---------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|----------------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | |
| Cheranguerán | | | | | | | | | | | |
| PT (mm) | 1066 | 1043 | 1002 | 1058 | 1191 | 1162 | | | | | 6522 |
| PM (mm) | 21 | 21 | 21 | 21 | 24 | 23 | | | | | 134 |
| Peribán | | | | | | | | | | | |
| PT (mm) | 789 | 723 | 725 | 804 | 819 | 894 | 848 | 930 | | | 6533 |
| PM (mm) | 20 | 18 | 18 | 20 | 21 | 22 | 21 | 23 | | | 167 |
| Tacámbaro | | | | | | | | | | | |
| PT (mm) | 1015 | 1006 | 1035 | 1065 | 1035 | 1042 | 1001 | 963 | 1057 | | 9219 |
| PM (mm) | 27 | 27 | 28 | 28 | 27 | 28 | 27 | 20 | 28 | | 243 |

factores externos. En Tacámbaro donde el CAA fue activado, se puede observar un ligero descenso en la lluvia en la lluvia del P8 con 963 mm en comparación con los 1035 mm registrados en el testigo (P5), con una distancia entre ambos P es de 1500 m. En los registros de lluvia hacia el este a 500, 1000, 1500 y 2000 m de distancia, fueron 1093.7, 1063.4, 1033.1 y 1042.4 mm, respectivamente, sin diferencia con el testigo ($Xc^2 = 1.097$), y hacia el oeste no hubo un gradiente bien definido ya que hay altibajos en las cantidades de lluvia registradas, pero en los pluviómetros P6, P7 y P9 la lluvia fue semejante al testigo.

El carácter espacial de la lluvia es difícil de modelar y parametrizar estadísticamente, porque necesita contar con un gran número de pluviómetros preferentemente en dirección del frente de lluvia (Baigorria *et al.*, 2006). En este trabajo la colocación de los pluviómetros en la dirección frontal al avance de lluvia, logró registrar la variabilidad espacial de la lluvia aún en esta zona montañosa (Cuadro 5). La lluvia de un solo pluviómetro causa incertidumbre del comportamiento de la precipitación, mientras que un mayor número de pluviómetros proporciona mayor certeza en la evaluación de la lluvia (Chaubey *et al.*, 1999). Por ellos, los resultados aquí obtenidos en las tres localidades son confiables e indican cómo la precipitación se distribuye en espacio y tiempo en la franja aguacatera de Michoacán y demuestran que la lluvia se distribuye de manera uniforme en cada una de las tres localidades, aún cuando llueva diferente entre localidades.

CONCLUSIONES

La cantidad de lluvia registrada en pluviómetros ubicados a lo largo de un transecto de 4 km en dirección este-oeste en tres sitios montañosos de la franja aguacatera del Estado de Michoacán, reveló que solamente en la loca-

lidad de Cheranguerán hubo variación de la lluvia, pero con mayor cantidad junto al cañón antigranizo. En general, no hay evidencia suficiente para afirmar que el cañón antigranizo cause variabilidad espacial de la lluvia en la franja aguacatera de Michoacán. En Peribán la variación espacial registrada de la lluvia se debió a otros factores ya que el cañón antigranizo no se activó en este sitio, y en Tacámbaro tampoco hubo variación de la lluvia aunque el cañón ahí ubicado se activó.

BIBLIOGRAFÍA

- APEAM, Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de Michoacán (2011) Sistema de Información Meteorológica. Disponible en: www.apeamclima.org (Febrero 2012).
- Baigorria G A, J W Jones, J J Brien (2006) Understanding rainfall spatial variability in southeast USA at different timescales. *Internet. J. Climatol.* 27:749-760.
- Buytaert W, R Celleri, P Willems, B D Bievre, G Wyseure (2006) Spatial and temporal variability in mountainous areas: a case study from the south Ecuadorian Andes. *J. Hydrology* 239:413-421.
- Chaubey I, C T Haan, S. Grunwald, J M Salisbury (1999) Uncertainty in the model parameters due to spatial variability of rainfall. *J. Hydrol* 220:48-61.
- Contreras M, B N Lara, H Guillén, A T Chávez (2010) Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia* 35:647-653.
- Field climate (2011) Pessl Instruments. Disponible en: www.fieldclimate.com/index_newphp (Febrero 2012).
- González V (2002) Los sistemas sónicos antigranizo. *UG- Gaceta Universitaria* 5:11.
- INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (2011) Disponible en: www.inifap.clima.inifap.gob.mx/redclima/est.aspx?numest=35896 (Febrero 2012).
- Fariás F R (2006) Cañón antigranizo no altera el clima. Disponible en: http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://difusion.cucei.udg.mx/images/ocho_columnas_canon_anti.jpg&imgrefurl= (Mayo 2012).
- Lang T J, S A Routeledge (2002) Relation between convective storms kinematic, precipitation and lightning. *Monthly Weather Rev.* 130:2492-2506.
- Rosenfield D, W L Woodley (2010) Deep convective clouds with sustained supercooled liquid water down to -37.5 °C. *Nature* 405:440-442.

- Ruiz C A, G Medina, C Ortiz, R Martínez, I J González, H E Flores, K F Byerly (1999)** Requerimientos Agroecológicos de los Cultivos. Ed. INIFAP. Guadalajara, Jal. 324 p.
- Olmstead A L, P W Rhode (2011)** Adapting North American wheat production to climatic changes 1839-2009. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 108:480-485.
- Ott L (1988)** An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis. PWS-Kent Pub. Boston MA, USA. 321 p.
- Salazar G S, J L González, L M Tapia (2011)** Influencia del clima, humedad del suelo y época de floración sobre la biomasa y composición nutricional de frutos de aguacate 'Hass' en Michoacán, México. Rev. Chapingo. S. Hort. 17:183-194.
- Souto J E (2008)** Cañones antigranizo. El Aguacatero 11:1-4.
- Stanford L (2002)** Constructing "quality": The political economy of standards in Mexico's avocado industry. Agric. Human Values 19: 293-310.
- Tapia V L M, A Larios, J Anguiano (2009a)** Ambiente y fenología del aguacate. In: Tecnología para la Producción de Aguacate en México. 2a ed. INIFAP. Uruapan, Mich. pp:36-53.
- Tapia V L M, I Vidales, A Larios (2009b)** El agua como recurso natural renovable y la cubierta vegetal en la zona aguacatera de Michoacán. El Aguacatero 12:15-19.
- Tapia V L M, A Larios, I Vidales, M E Pedraza, V L Barradas (2011)** El cambio climático en la zona aguacatera de Michoacán: Análisis de la precipitación y la temperatura a largo plazo. Rev. Mex. C. Agríc. Vol. Esp. 2:35-42.
- Van Praet L (2011)** Sistema antigranizo. Inopower. Disponible en: www.inopower. (Junio 2012).
- Van de Heever S, W R Cotton (2004)** The impact of hail size on simulated supercell storms. J. Atmosph. Sci. 61:1596-1609.
- Yuter S, W S Parker (2000)** Rainfall measurement on ship revisited. The 1997 PACS TEPPS cruise. J. Appl. Meteorol. 40:1003-1018.