



**CÁMARA DE
DIPUTADOS**
LXIV LEGISLATURA

Diario de los Debates

ÓRGANO OFICIAL DE LA CÁMARA DE DIPUTADOS
DEL CONGRESO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

Primer Periodo de Sesiones Ordinarias del Segundo Año de Ejercicio

Presidenta

Diputada Laura Angélica Rojas Hernández

Año II

Jueves 28 de noviembre de 2019

Sesión 29 Anexo "B"

Mesa Directiva

Presidenta

Dip. Laura Angélica Rojas Hernández

Vicepresidentes

Dip. María de los Dolores Padierna Luna

Dip. Marco Antonio Adame Castillo

Dip. Dulce María Sauri Riancho

Secretarios

Dip. Karla Yuritzi Almazán Burgos

Dip. Lizbeth Mata Lozano

Dip. María Sara Rocha Medina

Dip. Héctor René Cruz Aparicio

Dip. Maribel Martínez Ruiz

Dip. Julieta Macías Rábago

Dip. Mónica Bautista Rodríguez

Dip. Jesús Carlos Vidal Peniche

Junta de Coordinación Política

Presidente

Dip. Mario Delgado Carrillo
Coordinador del Grupo Parlamentario de
Movimiento de Regeneración Nacional

Coordinadores de los Grupos Parlamentarios

Dip. Juan Carlos Romero Hicks
Coordinador del Grupo Parlamentario del
Partido Acción Nacional

Dip. René Juárez Cisneros
Coordinador del Grupo Parlamentario del
Partido Revolucionario Institucional

Dip. Fernando Luis Manzanilla Prieto
Coordinador del Grupo Parlamentario del
Partido Encuentro Social

Dip. Reginaldo Sandoval Flores
Coordinador del Grupo Parlamentario del
Partido del Trabajo

Dip. Itzcóatl Tonatiuh Bravo Padilla
Coordinador del Grupo Parlamentario de
Movimiento Ciudadano

Dip. José Ricardo Gallardo Cardona
Coordinador del Grupo Parlamentario del
Partido de la Revolución Democrática

Dip. Arturo Escobar y Vega
Coordinador del Grupo Parlamentario del
Partido Verde Ecologista de México



Diario de los Debates

ÓRGANO OFICIAL DE LA CÁMARA DE DIPUTADOS
DEL CONGRESO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

Primer Periodo de Sesiones Ordinarias del Segundo Año de Ejercicio

Director General de Crónica y Gaceta Parlamentaria Gilberto Becerril Olivares	Presidenta Diputada Laura Angélica Rojas Hernández	Directora del Diario de los Debates Eugenia García Gómez
Año II	Ciudad de México, jueves 28 de noviembre de 2019	Sesión 29 Anexo "B"

SUMARIO

Oficio de la Secretaría de Gobernación, con el que remite contestación a un punto de acuerdo aprobado por la Cámara de Diputados, para regular el conflicto entre agricultores por el uso de cañones antigranizo en el estado de Jalisco.

4

Oficio de la Secretaría de Gobernación, con el que remite contestación a un punto de acuerdo aprobado por la Cámara de Diputados, para regular el conflicto entre agricultores por el uso de cañones antigranizo en el estado de Jalisco.



**SUBSECRETARÍA DE GOBIERNO
UNIDAD DE ENLACE**

Oficio No. SG/UE/311/2419/19
Ciudad de México, a 21 de noviembre de 2019

Trátese a la Comisión de Desarrollo y Conservación Rural, Agrícola y Autosuficiencia Alimentaria, para su conocimiento. Noviembre 28 del 2019.

Asunto: Respuesta a Punto de Acuerdo.

CC. INTEGRANTES DE LA MESA DIRECTIVA DE LA CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN

Presentes

En respuesta al oficio No. D.G.P.L. 64-II-6-1077 signado por la Dip. Dulce María Sauri Riancho, Vicepresidenta de la Mesa Directiva de ese Órgano Legislativo, me permito remitir para los fines procedentes, copia del similar No. 112.02.-0640-2019 suscrito por el Lic. Ignacio Gómez Trápala, Director General Adjunto de Enlace con el Congreso de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, así como de sus anexos, mediante los cuales responde el **Punto de Acuerdo relativo a realizar acciones para regular el conflicto entre agricultores por el uso de cañones antigranizo en el Estado de Jalisco a fin de asentar un precedente ante futuros conflictos similares a nivel nacional.**

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterarles la seguridad de mi consideración distinguida.

El Titular de la Unidad

EMILIO DE JESÚS SALDAÑA HERNÁNDEZ

C.c.e.p.- **Lic. Ignacio Gómez Trápala**, Director General Adjunto de Enlace con el Congreso de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.-Presente.

39 → 2419

00001117



COORDINACIÓN GENERAL DE ENLACE
SECTORIAL
Dirección General Adjunta de Enlace con el
Congreso

Nº de Oficio 112.02.-0640-2019

Ciudad de México a 19 de noviembre de 2019

MTRO. EMILIO DE JESÚS SALDAÑA HERNÁNDEZ
TITULAR DE LA UNIDAD DE ENLACE
SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN
P R E S E N T E

En relación al **oficio núm. SG/UE/311/17243/19** de fecha 2 de octubre de 2019, mediante el cual comunica el Punto de Acuerdo aprobado, en sesión ordinaria celebrada el 1 de octubre de 2019, adjunto al presente me permito enviar la respuesta que hizo llegar la Dirección de Evaluación y Seguimiento de la Subsecretaría de Agricultura, con **oficio núm. 300.02.02.-0071/2019** de fecha 13 de noviembre de 2019.

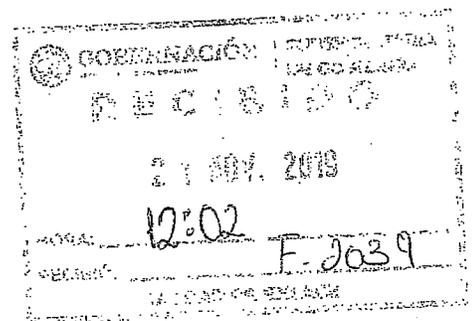
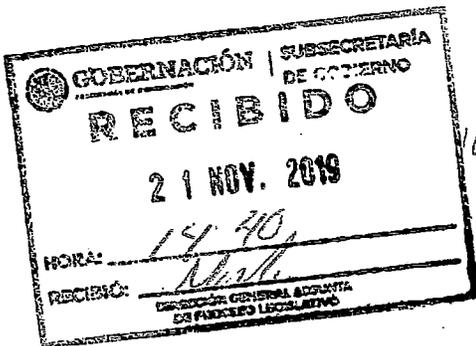
Al respecto, informo a usted que la Dirección General de Atención al Cambio Climático en el Sector Agropecuario de esta Secretaría, en conjunto con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), elaboraron en agosto de 2017, un proyecto de investigación para dar respuesta a esta problemática, concluyendo con dicho estudio en marzo de 2018.

Se adjunta copia del documento: **“Informe Final del Proyecto: Análisis Espacial y Temporal de la presencia de cañones antigranizo y su relación con la precipitación en los estados de San Luis Potosí, Jalisco y Michoacán”**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
EL DIRECTOR GENERAL ADJUNTO

[Handwritten Signature]
LIC. IGNACIO GÓMEZ TRÁPALA



C.c.p. Dr. Víctor Manuel Villalobos Arámbula, Secretario del Ramo.- Presente
Dr. Miguel García Winder, Subsecretario de Agricultura.- Presente
M.C. Víctor Manuel del Ángel González, Coordinador General de Enlace Sectorial.- Presente
Control de gestión: 100/08004/2019



Oficio N° 300.02.02.-0071/2019

Ciudad de México a 13 de noviembre de 2019

LIC. IGNACIO GÓMEZ TRÁPALA
DIRECTOR GENERAL ADJUNTO DE ENLACE CON EL CONGRESO
P R E S E N T E

En atención a su oficio N° 112.02.-0469-2019 de fecha 15 de octubre del presente, mediante el cual solicita emitir comentarios referentes al Punto de Acuerdo presentado por la Dip. María Sauri Riancho, Vicepresidenta de la Mesa Directiva de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, mismo que fue aprobado en sesión celebrada el 1 de octubre de 2019, que a la letra dice:

“ÚNICO.- La Cámara de Diputados exhorta a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, y a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, para que, en el ámbito de sus respectivas atribuciones, realicen acciones conjuntas para regular el conflicto entre agricultores por el uso de cañones antigranizo en el Estado de Jalisco a fin de asentar un precedente para futuros conflictos similares a nivel nacional”

Al respecto, informo a usted que la Dirección General de Atención al Cambio Climático en el Sector Agropecuario de esta Secretaría, en conjunto con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), elaboraron en agosto de 2017, un proyecto de investigación para dar respuesta a esta problemática, concluyendo con dicho estudio en marzo de 2018.

En razón de lo anterior, me permito enviar copia del documento: “Informe Final del Proyecto: Análisis Espacial y Temporal de la presencia de cañones antigranizo y su relación con la precipitación en los estados de San Luis Potosí, Jalisco y Michoacán”, el cual está integrado por una Introducción; un capítulo de Materiales y Métodos; Resultados; Uso de los cañones y su influencia en la disipación de las nubes de lluvia torrencial; Conclusiones; Literatura citada y 3 anexos, con lo cual se concluye que no existe evidencia que sustente la influencia del uso de los cañones antigranizo con la precipitación pluvial, así como en los procesos de formación y acreción de granizo.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
DIRECTORA DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO

ING. MARÍA GABRIELA CAMPOLLO LAGUNES

RECIBIDO
SAGARPA
CGES.

Dirección General Adjunta de
Enlace con el Congreso

FECHA

NOMBRE

MGCL/LSM

C.c.p. Dr. Miguel García Winder, Subsecretario de Agricultura.- Presente
Control de Gestión: SR

INFORME FINAL DEL PROYECTO

Análisis espacial y temporal de la presencia de cañones antigranizo y su relación con la precipitación pluvial en los estados de San Luis Potosí, Jalisco y Michoacán



SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PECUARIA Y ALIMENTACIÓN



inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

SAGARPA

SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL
Y PESCA



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

M.C. José Eduardo Calzada Rovirosa

Secretario

C.P. Jorge Armando Narváez Narváez

Subsecretario de Agricultura

M.C. Mely Romero Celis

Subsecretario de Desarrollo Rural

Lic. Ricardo Aguilar Castillo

Subsecretario de Alimentación y Competitividad

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Rafael Ambríz Cervantes

Encargado del Despacho de los Asuntos Correspondientes a la Dirección General del INIFAP

Dr. Raúl Gerardo Obando Rodríguez

Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M.C. Jorge Fajardo Guel

Coordinador de Planeación y Desarrollo

M.A. Eduardo Francisco Berterame Barquin

Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA EN RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA

Dr. Juan Estrada Ávalos

Director

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE CENTRO

Dr. Arturo Tijerina Chávez

Director

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, PESQUERÍA Y FOMENTO
ESTADO DE INVESTIGACIÓN



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
FORESTALES AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

Avenida Progreso No. 5
Barrios de Santa Catarina
Delegación Coyoacán
Ciudad de México. C.P. 04010,
Teléfono (55) 3871-8700

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
DISCIPLINARIA EN RELACIÓN
AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA
(CENID RASPA)**

Km 6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento
Gómez Palacio, Durango. C.P. 35140.
Teléfono (871) 159-0104, 05 o 06.

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL
NORTE CENTRO
CAMPO EXPERIMENTAL PABELLÓN**

Km. 32.5 Carretera Panamericana Aguascalientes - Zacatecas
Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. C.P. 20670.
Teléfono 01 800 088 22 22 ext. 82536.

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL
PEQUEÑO Y ADMINISTRACIÓN



inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Análisis espacial y temporal de la presencia de cañones antigranizo
y su relación con la precipitación pluvial en los estados de
San Luis Potosí, Jalisco y Michoacán

Dr. Juan Estrada Ávalos

M.C. Gerardo Delgado Ramírez

CENID RASPA

Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica Agua y Suelo

Dr. Víctor Manuel Rodríguez Moreno

CIRNOC

Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensoria Remota

Presentación

El proyecto al que refiere el presente informe surgió de la necesidad de información científica con bases sólidas en relación con la problemática que atañe a los estados de San Luis Potosí, Michoacán y Jalisco debido a la incertidumbre generada por el uso intensivo de cañones antigranizo como estrategia preventiva frente a las pérdidas que han presentado históricamente los productores de estos estados debido a la alta frecuencia de precipitaciones en forma de granizo, las cuales ocasionan daños severos en los cultivos. Esta problemática de índole social se generó debido a la creencia de que la operación de estos cañones estaría derivando en alteraciones a la distribución natural de la precipitación pluvial, en perjuicio de la producción agrícola de temporal.

Por iniciativa de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), se desarrolló este estudio como un esfuerzo conjunto entre el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica Agua y Suelo (SIG Agua y Suelo), del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID RASPA), y el Laboratorio de Modelaje y Sensores Remotos (LNMySM), del Campo Experimental Pabellón (CEPAB;CIRNOC), ambos Laboratorios líderes en el uso de herramientas espaciales para el estudio de fenómenos hidrometeorológicos y su impacto en el sector agropecuario.

El Laboratorio de SIG Agua y Suelo, bajo la dirección del Dr. Juan Estrada Ávalos, ha desarrollado evaluaciones en materia de recursos hídricos en más de 16 cuencas y acuíferos distribuidos en todo el territorio nacional, con gran impacto en el uso del agua en el sector agropecuario. Lo anterior se suma a la gran experiencia que el CENID RASPA ha tenido en otras áreas con énfasis en el recurso hídrico y el clima, tales como la reconstrucción climática que ha realizado a nivel nacional a través de otros de sus Laboratorios, el Laboratorio Nacional de Dendrocronología.

Por otra parte, el Laboratorio de Modelaje y Sensores Remotos (LNMySM), dirigido por el Dr. Víctor Manuel Rodríguez Moreno, es el Laboratorio responsable de emitir los pronósticos de clima para el Sector Agropecuario por parte del INIFAP. Entre las variables del clima destacan las condiciones de humedad y temperatura a través de los datos generados por la Red Nacional de Estaciones Agroclimáticas Automatizadas (RNEAA), a cargo del INIFAP y que cuenta con más de 1,100 estaciones que monitorean variables climáticas relevantes para el sector en todo el territorio mexicano. Este Laboratorio es líder en el desarrollo de tecnologías enfocadas a realizar pronósticos meteorológicos y climáticos oportunos para la toma de decisiones en el sector.

Teniendo como base lo anterior, en este informe se presentan los resultados de un estudio detallado y con bases científicas sólidas, que se llevó a cabo con la finalidad de establecer la posible relación entre la operación de los cañones antigranizo y la afectación de éstos sobre la lluvia o precipitación pluvial que ocurre en tres estados de la República Mexicana: San Luis Potosí, Jalisco y Michoacán. El estudio consideró los últimos cuatro años de observación de clima a través de datos asimilados utilizando diversas fuentes de información, tanto de origen nacional como internacional.

Índice de contenido

Resumen ejecutivo	1
Introducción	6
Materiales y métodos	9
Resultados	19
Uso de los cañones y su influencia en la disipación de las nubes de lluvia torrencial	24
Conclusiones	28
Literatura citada	30
Anexo I	32
Anexo II	38
Anexo III	42

Resumen ejecutivo

El granizo es una forma de precipitación sólida, que se forma esencialmente en nubes de tormenta llamadas *cumulonimbus*, por acreción de agua congelada a temperaturas por debajo de los cero grados Celsius. Es un fenómeno meteorológico de alto impacto en los ecosistemas y un factor de riesgo significativo para los sistemas de producción agrícola.

En México, los eventos de granizo acontecen de forma regular principalmente en las estaciones de primavera y verano, lo que puede significar pérdidas agrícolas por el daño físico que ocasiona los agregados de hielo sobre el follaje, flores y frutos de los cultivos. En la región aguacatera de Michoacán, por ejemplo, este fenómeno ha ocasionado pérdidas importantes al defoliar el árbol y dañar sus frutos maduros, además de favorecer la incidencia de fitopatógenos. En esta entidad, durante el año 2010, se presentaron daños debido a este fenómeno en una superficie de más de 10,000 hectáreas, en las cuales se llegó a perder hasta el 100% de la producción.

En el estado de San Luis Potosí también se han reportado daños debido al granizo, como los ocasionados durante el año 2017, donde se vieron afectadas 550 hectáreas en un solo evento, afectando cultivos de maíz, tomate, pepino y sandía. En Jalisco por su parte, durante 2015 el granizo que se presentó en los municipios de Minatitlán y Coquimatlán, causó afectaciones en más de 240 hectáreas en un solo evento, en el cual se observaron daños importantes en cultivos de maíz, aguacate, zarzamora, y mango.

Frente a las importantes pérdidas económicas que han experimentado los productores debido a los meteoros de este tipo, ha tomado impulso en algunos estados del país el uso de cañones anti-granizo como una posible solución a este tipo de daño. Estos sistemas acústico-electrónicos funcionan emitiendo ondas de choque elípticas y de baja frecuencia a través de explosiones producidas por gas acetileno o gas LP (de acuerdo con el modelo). La onda de choque que produce la inyección del gas se propaga en la atmósfera a la velocidad del sonido, es decir, a 330 m/s. Las especificaciones de estos equipos señalan que se desestabiliza el balance eléctrico de la nube y por tanto el desarrollo del granizo a altos niveles atmosféricos; su operación se basa en la emisión de detonaciones cada 6 segundos, cuyas ondas en conjunto, estarían afectando la micro-estructura de la humedad en la nube con la finalidad de evitar la cristalización de las gotas de agua en suspensión.

Si bien la efectividad de estos cañones ha sido puesta en duda constantemente por la comunidad científica internacional, su uso en México se ha popularizado consecuencia de las pérdidas que

han experimentado los productores de cultivos con gran importancia económica como el aguacate, las llamadas "berries" y algunas hortalizas como el tomate entre otros cultivos. Sin embargo, la operación de los cañones antigranizo también ha desencadenado una serie de cuestionamientos y conflictos entre las comunidades debido a la creencia de que la operación de los cañones disminuye la ocurrencia de la lluvia, lo que supone afectaciones por este supuesto en los estados de San Luis Potosí, Michoacán y Jalisco. Este malestar social se ha manifestado a través de protestas de grupos de productores los cuales demandan la regulación en el uso de los cañones, o incluso su prohibición.

La instalación, puesta en operación y mantenimiento de estos sistemas antigranizo se han convertido en un factor de polarización social, donde cada uno de los sectores manifiesta su aceptación o rechazo al mismo. Algunos productores y sus organizaciones están convencidos de que el uso de los cañones antigranizo afecta el proceso de formación del granizo, pero además tiene efectos disuasivos sobre el patrón de distribución espacial de las lluvias y la frecuencia e intensidad de las mismas. Por otro lado, la postura de las empresas que ofertan y promueven el uso de estos sistemas, defiende su planteamiento y los presentan como la solución para evitar el granizo y por tanto la protección de sus cultivos. A la par, no muestran estudios técnicos que soporten sus aseveraciones. Entre los científicos que han estudiado este cuestionamiento, existe consenso en que no hay evidencia técnica o científica que sustente que la operación de los cañones antigranizo tenga efectos en la disipación del granizo y de la lluvia.



Frente a la incertidumbre existente del impacto de

los cañones antigranizo sobre la afectación de la lluvia en los tres estados señalados, este proyecto se planteó el objetivo de generar información confiable a través de la implementación de una rigurosa metodología geoestadística que permitió evaluar, a través del uso de bases de datos climáticas generadas por diversos sensores remotos, la influencia de los cañones antigranizo sobre

la distribución espacial y temporal de las lluvias ocurridas en los últimos cuatro años en los estados de San Luis Potosí, Jalisco y Michoacán. Para este fin, se ubicaron geográficamente 51 cañones antigranizo dentro de estas entidades (figura 1): 14 en el estado de Jalisco; 22 en el estado de Michoacán y 15 en el estado de San Luis Potosí. Adicionalmente, fueron realizadas entrevistas a los propietarios de algunos de estos equipos, prevaleciendo la opinión favorable respecto a los beneficios que ha representado la adquisición de estos equipos como medida de protección de sus cultivos, asegurando que han disminuido sus daños ocasionados por este hidrometeoro.



Figura 1. Cañones antigranizo en campo.

Para llevar a cabo el estudio de la variabilidad de la lluvia en relación con la ubicación de los cañones, se utilizó la serie histórica de datos que cubre un periodo de los últimos cuatro años, del 1 de enero de 2014 al 1 de enero de 2018. Estos datos incluyen la lluvia determinada a través de la reflectividad de radar de BD-WRF (*Weather Research Forecasting*; Figura 2) y bases de datos BD-GPM (*Global Precipitation Measurement*; Figura 2). La información BD-WRF es una matriz de datos que se actualiza cada hora y es uno de los fundamentos del pronóstico numérico de corto plazo del INIFAP, mientras que la información BD-GPM es un producto de escala global que se actualiza cada 30 minutos.

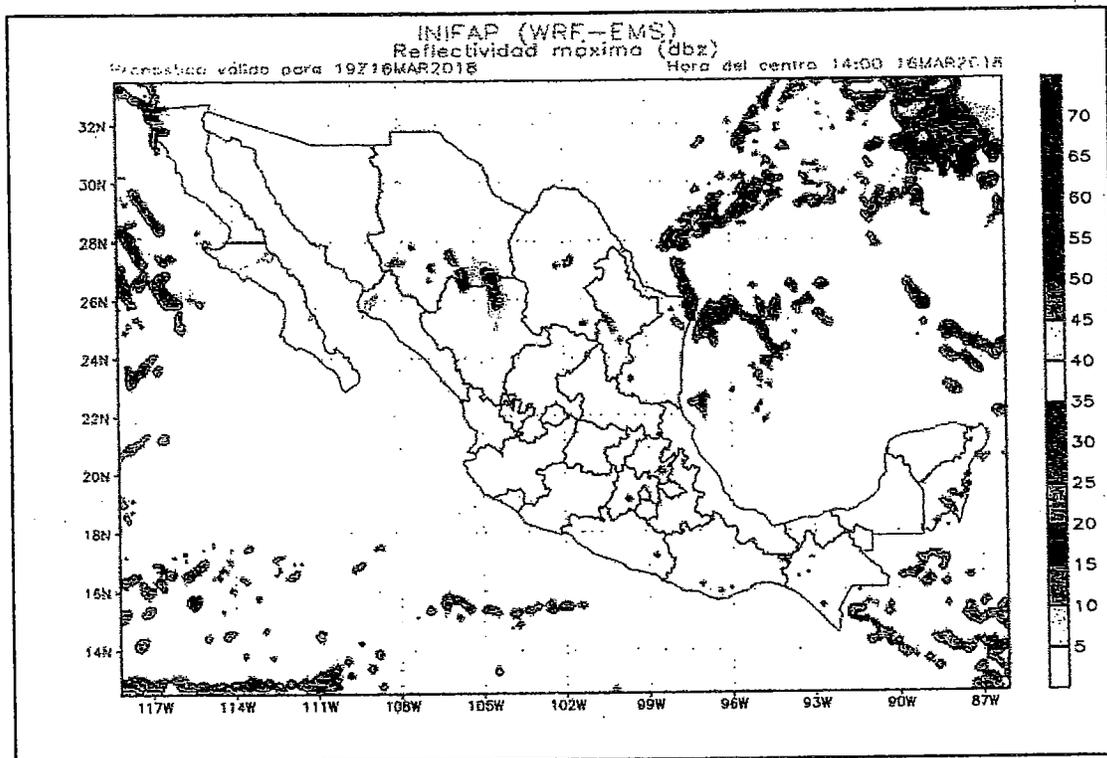


Figura 2. Información BD-WRF Weather Research Forecasting.

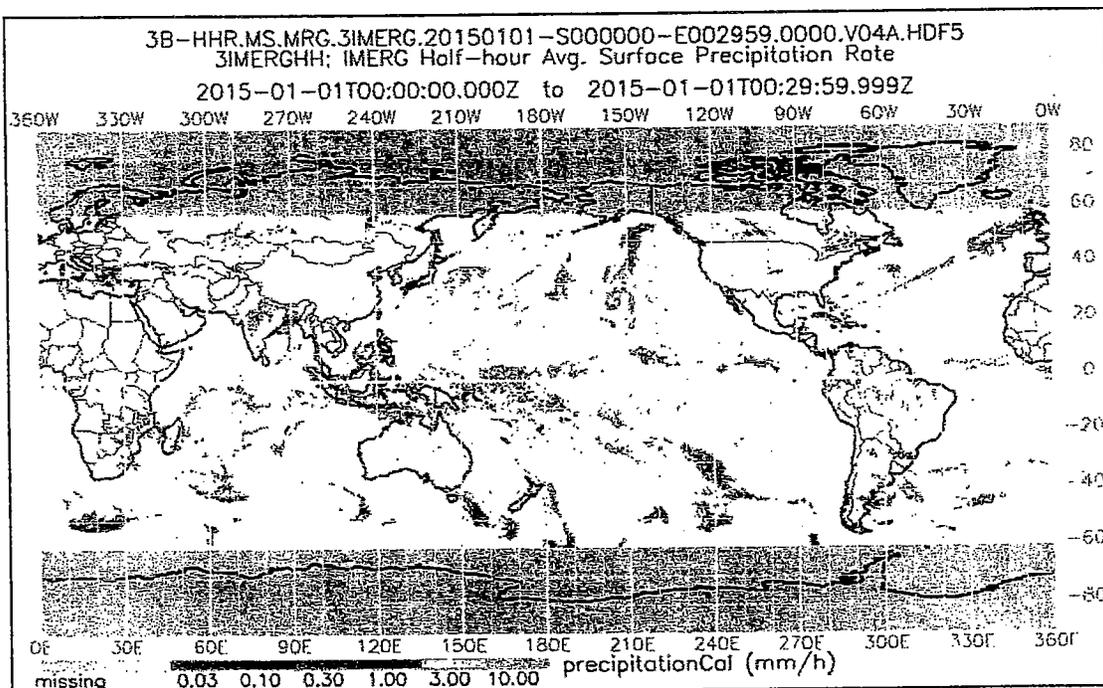


Figura 3. Información BD-GPM Global Precipitation Measurement.

El análisis consistió en la implementación de un ensamble de módulos de programación en la plataforma Python 3.6.2, en la cual se implementaron algoritmos de descarga, procesamiento y ajuste de imágenes de reflectividad proveniente de un modelo de datos asimilados, así como imágenes de lluvia observada por satélite. El objetivo fue implementar un análisis de datos por redes neuronales para identificar puntos de inflexión asociados a la posición geográfica del cañón antigranizo para documentar un probable efecto de dispersión en las nubes de lluvia, principalmente las *cumulonimbus*, cuyas propiedades físicas permiten la formación de granizo en torno a un núcleo de condensación. A este tipo de análisis se le denominó punto a punto, es decir que la información se analizó de manera puntual para la ubicación de cada uno de los cañones donde, de acuerdo a los datos asimilados, se presentaron condiciones de *cumulonimbos*.

En total se identificaron 75 eventos con estas características a lo largo de los cuatro años: 47 en Michoacán, 13 en Jalisco y 15 en San Luis Potosí. La serie de datos histórica analizada incluyó 70,080 registros para cada sitio donde se ubican los 51 cañones antigranizo. En este sentido, al analizar los patrones de lluvia punto a punto y para los diferentes intervalos de la lluvia de cada 30 minutos, no se identificaron alteraciones que pudieran ser consideradas fuera de un patrón de aleatoriedad normal. Es decir que al analizar la ocurrencia de la precipitación en los intervalos anteriores y posteriores a la lluvia máxima registrada, no se presentó algún patrón que indicara alteración en la precipitación pluvial en cada uno de los puntos.

Si bien lo señalado anteriormente se refiere a las lluvias provocadas a partir de condiciones similares a la de *cumulonimbos* y para un punto geográfico en particular (donde se ubican los cañones antigranizo), también se realizó el análisis donde se integraron todos los eventos que provocaron lluvias en los cuatro años de estudio. De esta forma se integró el total de la lluvia ocurrida no solo a lo largo del año, sino para cada estación del año en particular (primavera, verano, otoño e invierno), realizando el análisis de la precipitación ocurrida en las áreas de influencia de los cañones antigranizo en comparación con la precipitación ocurrida en aquellas áreas donde no tuvieron influencia estos equipos. Así, se compararon las series tiempo de cada estación del año en particular, de cada uno de los cuatro años analizados, del área de influencia de los cañones y del área donde se tuvieron influencia los cañones.

Los resultados de este análisis reafirmaron lo observado en los eventos de punto a punto; es decir que no existe una diferencia estadística entre la precipitación total ocurrida para cada uno de las estaciones del año en el área de influencia de los cañones antigranizo, con la ocurrida para el mismo periodo en aquellas áreas donde no tuvieron influencia los cañones antigranizo.

Introducción

La historia del desarrollo de la humanidad ha sido fuertemente influenciada por la dinámica del clima, donde la lluvia sobresale por su gran importancia en el desarrollo de la agricultura. Sin embargo, tanto la lluvia como el resto de los fenómenos denominados hidrometeoros, se encuentran sujetos a las leyes de la física que explican su ocurrencia. La presencia del agua en las nubes ocurre en tres estadios o fases: vapor de agua (fase gaseosa), gotas de agua (fase líquida) y cristales de hielo, granizo duro y granizo blando (fase sólida). La lluvia, nieve, granizo, neblina y rocío, son de entre los fenómenos meteorológicos asociados al contenido de humedad en la atmósfera, los que mayormente influyen en la estabilidad de las comunidades bióticas de los ecosistemas. De entre todos éstos, la lluvia es el de mayor relevancia tanto en los ecosistemas abiertos de cobertura a escala amplia, como en los sistemas de producción (de riego y temporal). La razón es obvia: la lluvia es vital para cualquier forma de vida en el planeta.

El uso de cañones antigranizo se ha conceptualizado, entre los productores, como parte de las estrategias o medidas de protección a sus cultivos ó huertas de alta importancia económica y social en regiones agrícolas compactas, estrategias que van a la par del uso de cohetes utilizados con la creencia de que es posible "desbaratar" o impedir la formación de granizo de tamaño grande.

Sin embargo, en base a las leyes de la física que rigen la metrología, para que se forme el granizo es necesario que en la nube ocurran tres fenómenos:

- 1) Deberá contener partículas súper congeladas (esto implica que la temperatura de la nube este por debajo de 0°C);
- 2) Incluir cristales de hielo ó núcleos de condensación y;
- 3) Deberán prevalecer corrientes ascendentes en la nube por un periodo de tiempo y con la suficiente fuerza de empuje para mantener en forma ascendente y descendente la partícula de hielo.

De esta forma, las partículas de hielo aumentan de tamaño debido al bombeo de vapor de agua de gotas a cristales. Este bombeo es producto de que la presión de saturación del vapor de agua

sobre la superficie de los cristales de hielo es menor a la ejercida sobre las gotas de agua.

De acuerdo con Wieringa y Holleman (2006), la formación de piedras de granizo ocurre en nubes *cumulonimbos*, las cuales se forman si la diferencia de temperatura entre el suelo y el aire en las capas superiores de la atmósfera es considerablemente grande. El diámetro de una nube formadora de granizo es del orden de 10 km desde su base a la parte más alta, y el área concentrada donde se forman los granizos grandes es del orden de 1 km de espesor. Las nubes *cumulonimbus* se desplazan sobre una corriente de aire a » 4 km de altura a una velocidad promedio de 30-60 km/h. En términos simples esto significa que el granizo cae en franjas de » 1 km de ancho y puede cubrir una extensión de varios kilómetros.

Por otra parte, la implementación de sistemas de monitoreo tiene el objetivo el registrar y dar seguimiento a la dinámica del clima. Se puede hacer por métodos directos, lo cual implica el establecimiento de sensores en red, y de modo indirecto a través de imágenes de satélite. Basado en el establecimiento de sensores que registran las variables meteorológicas en tiempo cercano al real, el monitoreo directo es el de mayor valor agregado por precisión en los datos registrados, sin embargo, es el más costoso de implementar y de mantener en operación. El monitoreo indirecto, basado en el registro de observaciones a través de satélites, tiene la ventaja de ser continuo, sin pérdida de datos y estable en el tiempo, aunque de menor precisión que el dato directo además de implicar un mayor volumen de datos.

El manejo de ambos conjuntos requiere de la integración de datos en modo de ensamble o asimilado. La precisión de los datos asimilados es considerablemente mejor de la que tendrían cada serie de datos por separado. Una técnica de apoyo para este esquema de manejo de datos son las técnicas de interpolación para derivar superficies continuas de respuesta. Estas técnicas son de amplio uso en el procesamiento de imágenes de satélite. La limitante en la selección del método de interpolación es la eficiencia con la que el algoritmo es ejecutado, la cual depende de los recursos informáticos disponibles.

La reflectividad de radar es una de las variables multipropósito para la caracterización del ambiente húmedo, por su relación estrecha con todos los fenómenos meteorológicos asociados con

humedad en el aire. En esta se involucra un número de factores topográficos y de las propiedades dieléctricas (capacidades de aislamiento de un material) y de la superficie objeto. La reflectividad de una superficie-objeto depende de:

- 1) número de hidrometeoros que suceden por unidad de volumen; un hidrometeoro es cualquier producto de condensación o deposición de vapor de agua atmosférico (por ej., lluvia, neblina, nube, rocío, nieve, granizo, etc.);
- 2) Su tamaño;
- 3) Su estado físico (líquido, sólido o gas);
- 4) El tamaño o formas de los elementos individuales del grupo y;
- 5) Si es asimétrico su aspecto con respecto al ángulo de emisión.

En el presente estudio se implementó un ensamble de módulos de programación en lenguaje apropiado a la estructura de los dos conjuntos de datos indirectos para descargar, explorar y analizar datos observados y datos derivados de lluvia. Las bases de datos observadas se obtuvieron de imágenes de satélite GPM (*Global Precipitation Measurement*) y el conjunto de datos de reflectividad de radar se obtuvo del modelo numérico WRF (*Weather Research Forecasting*).

El análisis de las series de datos se enfocó en explorar un probable efecto de disipación de las nubes de tormenta de acuerdo con la localización geográfica de los cañones antigranizo, al igual que el posible efecto de la operación de estos equipos sobre una posible alteración de la lluvia total precipitada en el año y para cada una de las estaciones del año.

Materiales y métodos

Weather Research Forecasting (WRF) es producto del esfuerzo conjunto del NCAR (*National Center of Atmospheric Research*) con la división *Mesoscale and Microscale Meteorology* (MMM) del *National Ocean and Atmospheric Administration* (NOAA), con contribuciones de la comunidad científica internacional. De acuerdo con Skamarock *et al.*, (2008), resuelve ecuaciones comprensibles, ecuaciones Eulerianas no hidrostáticas, coordenadas verticales del terreno, malla tipo Arakawa-C (Arakawa y Lamb, 1977), considera la rotación de la Tierra, y realiza anidaciones de una y dos vías (Figura 4). Se puede mencionar que su uso en México es para derivar el pronóstico del clima a corto plazo y se encuentra operacional en el Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos del INIFAP.

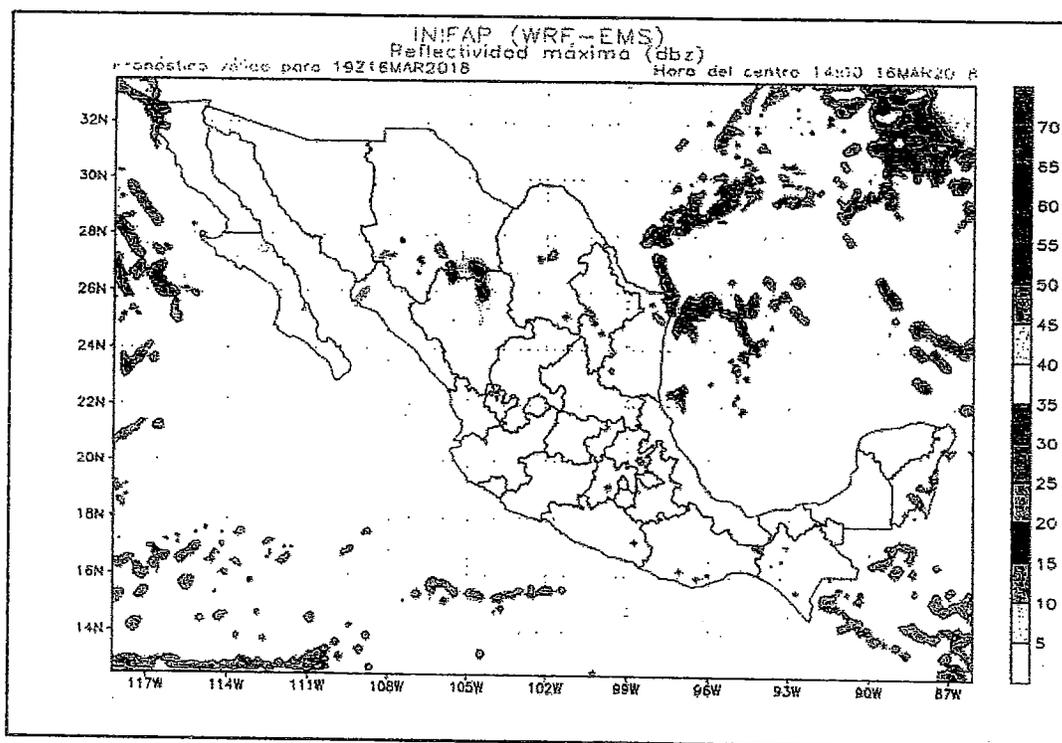


Figura 4. Imagen de máxima reflectividad de radar (dBZ) ajustada a los parámetros de corrida para México. <http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/wrf>

De la Figura 4, la salida de WRF es una superficie continua de todo el territorio nacional que cubre la plataforma continental, las plataformas oceánicas del Pacífico y del Atlántico, el territorio insular, y las zonas fronterizas norte y sur. En la Figura 5 se muestra la matriz de datos que le da origen.

Por otra parte, la matriz representada en la Figura 5 son datos en formato de texto (CSV) que pueden ser manejados en un modelo relacional de datos como SQL (*Structured Query Language*), lo cual constituye una ventaja desde la perspectiva del manejo a distancia e *in situ*. Cada archivo tiene un tamaño de ~58 Mb.

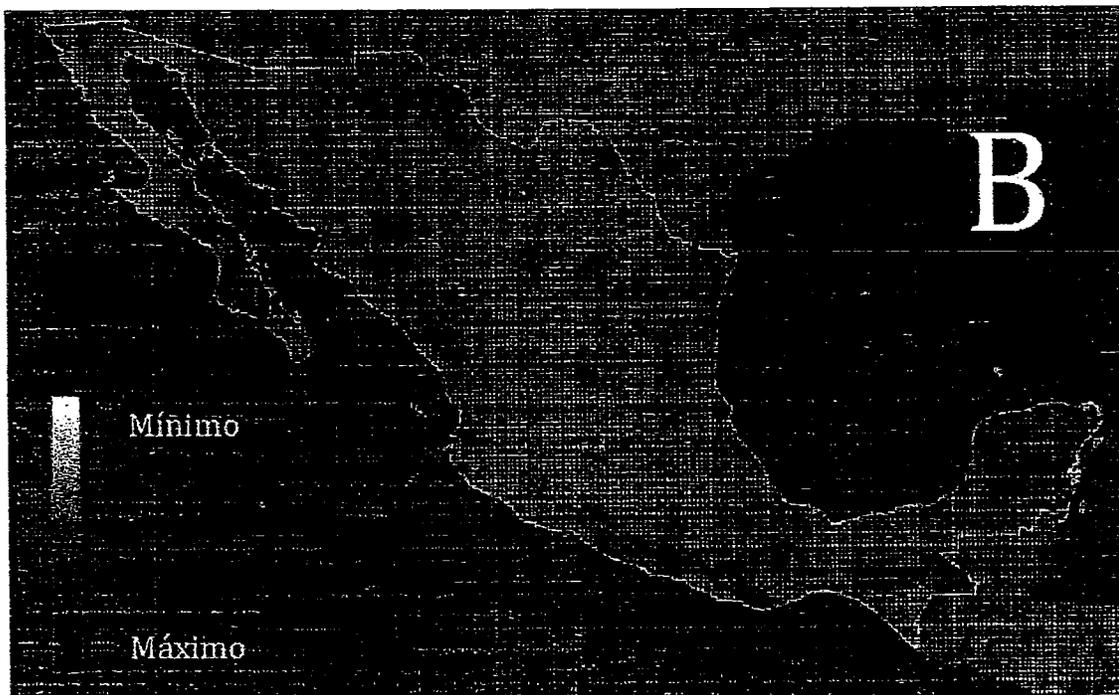


Figura 5. Matriz de salida de WRF. Son 46,299 centroides que cubren ~8.5 millones de km².

Las imágenes de satélite GPM representan la lluvia acumulada (Figura 6). El dato de salida conjunta las observaciones globales de una red internacional de siguiente-generación de lluvia y nieve.

En este caso, se utilizó el producto GPM_3IMERGHH: “GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 grade x 0.1 grade V05” (Huffman G., 2017); IMERG – Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM. El formato del archivo es HDF5, cubren de -180.0, 90.0, 180.0, 90.0, el tamaño de archivo es de 2.8 Mb, con resolución espacial de 0.1 ° x 0.1 ° (~10 km) y resolución temporal de 30 minutos.

En previsión del tamaño de la base de datos a analizar y para hacer más eficiente su almacenamiento y ajuste a un diseño de BD (base de datos) que permitiera su ulterior manejo, se implementaron dos algoritmos en Python.

- ◊ **Algh_depura.py.** De la base de datos global aplica un procedimiento de lectura temporal que genera archivos de lluvia en formato texto (CSV) de cada imagen descargada en línea (a cada 30 minutos). Estos archivos no se escriben a disco, sino que están a disponibilidad de ser llamados por el algoritmo de interpolación.
- ◊ **Algh_corte.py.** Extrae de la base de datos global los conjuntos que corresponden con el número de centroides que dan cobertura al área de estudio. Los archivos de salida se escriben a disco para su posterior interpolación, y al llamado de funciones de análisis de datos.

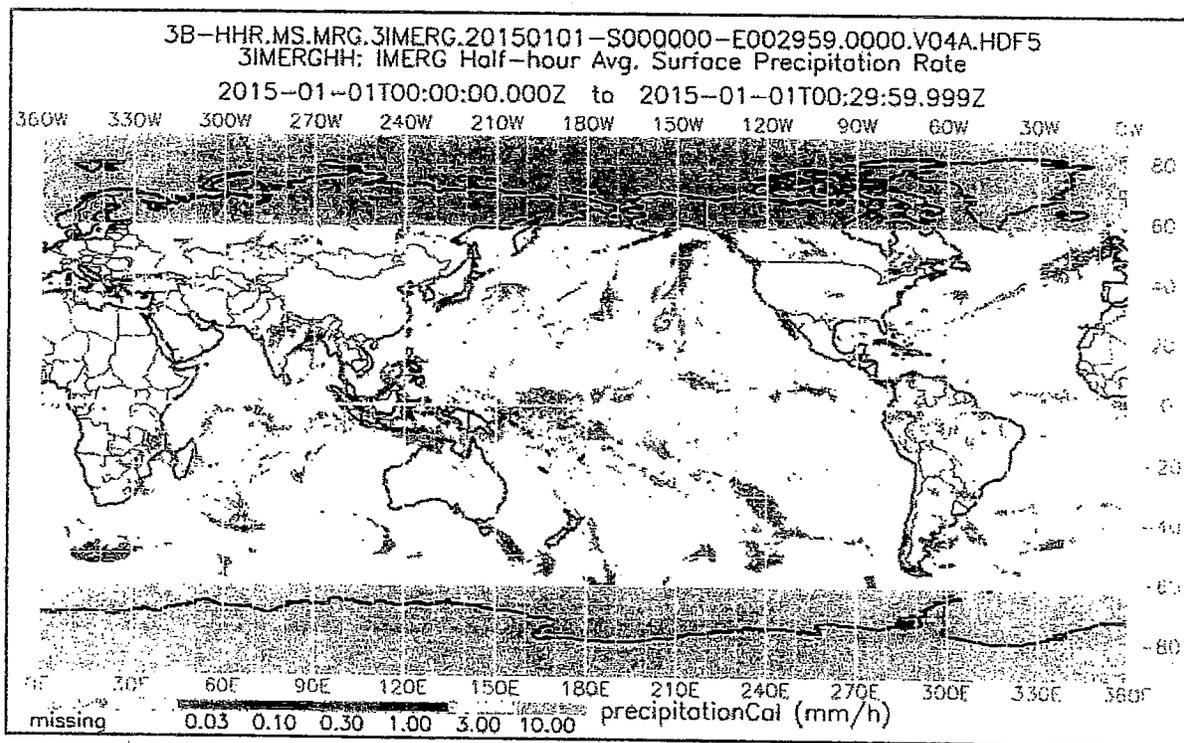


Figura 6. Imagen de lluvia acumulada (mm/h) según el producto 3IMERGHH.

Localización geográfica de cañones antigranizo. Fue conformada una base de datos de 51 cañones antigranizo distribuidos en los tres estados (Tabla 1; Figura 7). Esto se ha conseguido a través de la colaboración con el personal de las gerencias estatales del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y el personal de los distritos de riego en los que se ubican los cañones antigranizo.

Tabla 1. Total de cañones antigranizo utilizados en cada estado para el análisis de su posible efecto sobre la alteración de la lluvia.

	Número de cañones antigranizo georreferenciados
San Luis Potosí	14
Michoacán	22
Jalisco	15
Total	51

Como se observa en el mapa de la Figura 7, los cañones antigranizo en Michoacán y Jalisco muestran poca variación latitudinal y es en el estado de San Luis Potosí donde hay una mayor dispersión espacial. Para fines de análisis por zona se generó un buffer de área de influencia de los cañones antigranizo de 3 km. Durante los recorridos de campo fue posible entrevistar a diversos productores que cuentan con cañones antigranizo dentro de sus parcelas agrícolas, estos manifestaron que hasta la fecha, han sido beneficiados por el funcionamiento de los cañones que dis-

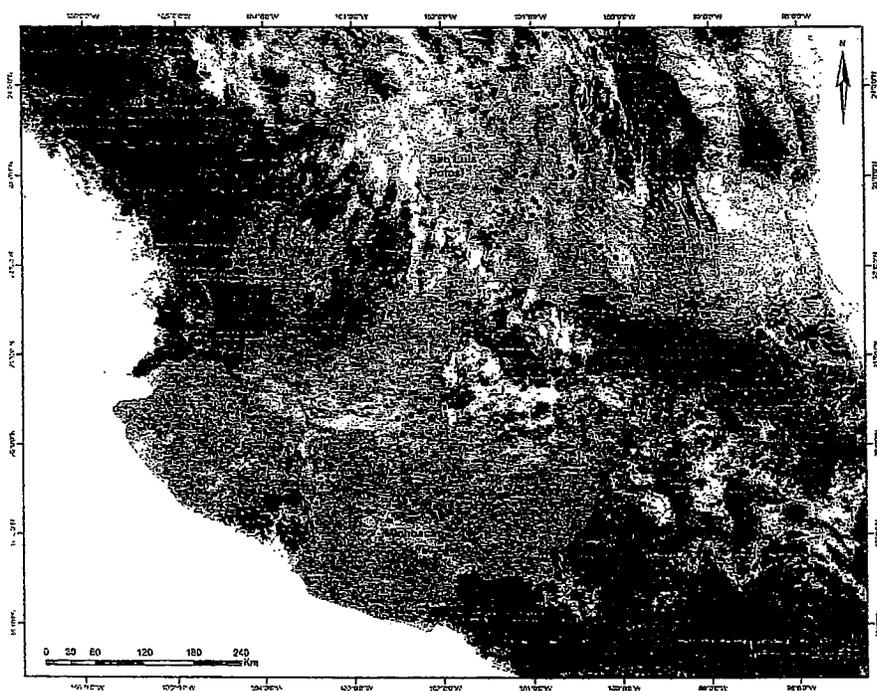


Figura 7. Área de estudio y localización de los cañones antigranizo.

minuyen, según su apreciación, la cantidad de granizo que cae dentro de las zonas de protección de los cañones, señalando que han reducido de forma importante las pérdidas económicas que sufrían previo a la instalación de estos equipos. Entre los productores entrevistados, existe un consenso general de que los cañones antigranizo no afectan la llu-

via líquida, ya que, según sus observaciones, la precipitación no cesa durante las detonaciones del cañón, señalando que únicamente desagregan las formaciones del granizo provocando que éste caiga en forma líquida, o bien, disminuyendo su tamaño, lo cual mitiga los daños al cultivo.

Los criterios utilizados para la operación de los cañones antigranizo son diversos. Algunos se encuentran conectados a un dispositivo de radar que monitorea la presencia de nubosidad, el cual activa las detonaciones automáticamente y de forma remota al detectar la presencia de *cumulonimbus* (nubes conocidas por dar lugar a granizo). Otro criterio se basa en la comunicación que mantienen los propietarios de los cañones con la población que habita en los alrededores de sus

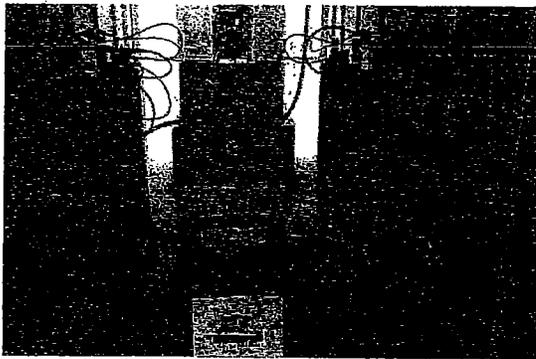


Figura 8. Tanques de gas acetileno.

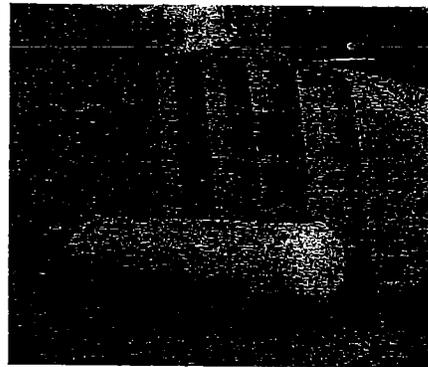


Figura 9. Tanque de gas LP.

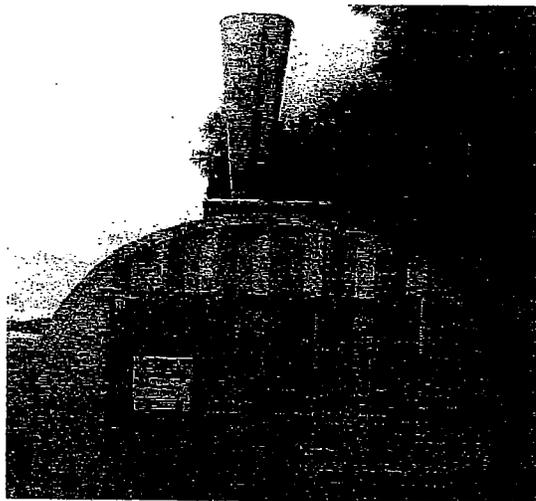


Figura 10. Cañón antigranizo estacionario.

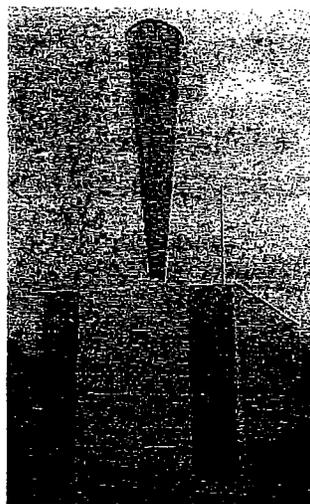


Figura 11. Cañón antigranizo móvil.

predios, de forma que los cañones son activados manualmente cuando dan aviso de la caída de granizo antes de que este llegue a las tierras cultivadas. El tercer y último criterio, es la activación de los cañones por los propietarios a través de radio control, considerando únicamente la apre-

ciación del clima, es decir, son activados cuando, a criterio del propio productor, existe riesgo de caída de granizo. Los cañones identificados operan alimentados con tanques de gas LP y acetileno, y los hay móviles (tipo remolque) y fijo (Figuras 8 - 11). El tiempo de operación de los cañones oscila entre 6 y 8 segundos mientras esté presente el meteoro.

Descripción de los conjuntos de datos. La serie histórica de datos cubre un periodo de cuatro años, del 1 de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017. Los metadatos de la serie se incluyen en la Tabla 2. Se generaron dos bases de datos de lluvia:

- 1) Base de datos WRF (BD-WRF); generada a partir de datos de reflectividad de radar y;
- 2) Base de datos GPM (BD-GPM), son datos observados por satélite.

De la Tabla 2, cabe mencionar que la relación entre reflectividad de radar (Z) y lluvia es compleja y está sujeta al modelado independiente de las fuentes de error (Austin, 1987; Joss y Lee, 1995). La lluvia estimada es llamada tasa de lluvia equivalente. Se obtiene a partir del valor estimado de Z y se asume una relación directa Z-R; esto es, una relación empírica entre el factor de reflectividad de radar y la tasa de lluvia R en un volumen de aire (Austin, 1986).

Base de Datos	VARIABLES (valor estimado)	TAMAÑO (Gb)	REGISTROS (millones)
BD-WRF	Reflectividad de radar (dBZ)	950	1,081
	Lluvia (mm)		
	Temperatura del aire (°C)		
BD-GPM	Lluvia (mm)	364	444,657

Para este estudio se utilizó la ecuación de Marshall-Palmer ($R=0.036 \cdot 100.0625 \cdot \text{dBZ}$), para convertir la reflectividad de radar a lluvia estimada, considerando R como lluvia precipitada y Z el factor de reflectividad estimado (Baltas, 2007).

“TAMAÑO (GB)” se refiere al espacio ocupado en disco duro, “REGISTROS (millones)” es el número de datos asociados. Para destacar que el procesamiento y manejo de los dos arreglos requiere asignar una gran cantidad de recursos de cómputo para generar cualquier indicador, y que tomando a consideración su tamaño, los discos duros y procesadores deben tener capacidad de manejo de datos a alta velocidad de demanda. En la Figura 12 se representa al par de arreglos.

La matriz de centroides es de 3,480 en número para BD-WRF y de 5,390 para BD-GPM, respectivamente; la diferencia en el número de centroides es por la resolución espacial pues hay una diferencia de 3 km entre una y otra matriz (13 y 10 km, respectivamente) (Figura 12).

Manejo de datos. El ambiente de trabajo fue Python 3.6.2, una plataforma de programación que permite trabajar más rápidamente grandes volúmenes de datos y facilita al programador la integración en módulo de funciones y arreglos.

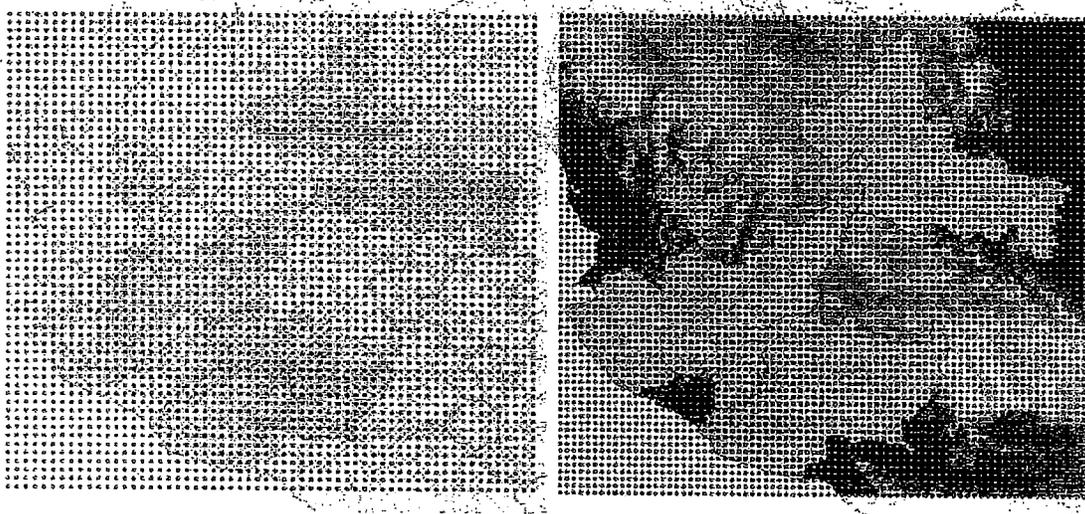


Figura 12. Arreglo de centroides-cobertura de los conjuntos de datos y límites geopolíticos de los estados de Jalisco, Michoacán y San Luis Potosí.

Superficies de respuesta: Una superficie de respuesta es un continuo de valores que puede variar en un número infinito de puntos (Figura 13). Cualquiera de estos valores puede ser representado en el eje z de un sistema coordinado tri-dimensional y a menudo se les conoce como valores z. Debido a que representa un continuo infinito de valores, en la práctica es imposible de medir y es motivo por el cual se aplican técnicas de escala para leer y registrar el z valor a un par coordinado.

En total se generaron 7'148,160 superficies de respuesta. Las superficies de respuesta de BD-GPM ocupó recursos de almacenamiento en disco duro de 288 Mb, mientras que BD-WRF requirió 454 Mb. En el proceso de generación de estos continuos de datos se requirió de 17.7 Tb de

espacio temporal en dispositivos físicos y virtuales. Para fines de análisis de datos, cabe mencionar que los continuos de datos son mutuamente excluyentes y son producto de sus valores originales interpolados.

Análisis de datos. Para el análisis de las dos series de datos, se utilizó SciPy interp2D. Este módulo de Python aplica un modo de interpolación (cúbica, lineal ó quintil) al par coordinado, para generar un continuo de datos, y sobre un arreglo de pares coordinados extrae el z valor correspondiente. El arreglo de par coordinado correspondió con los datos de latitud y longitud de los cañones antigranizo. Se obtuvieron las gráficas de las series de datos ajustadas al modelo descrito en la Figura 14.

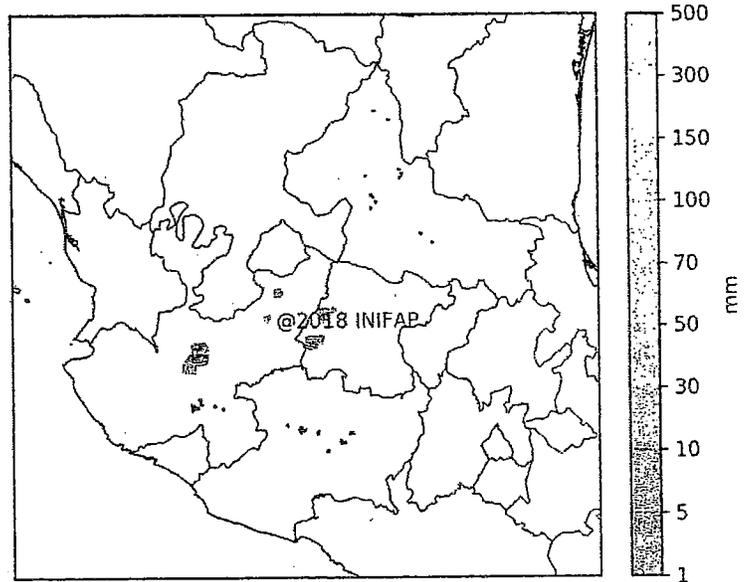


Figura 13. Superficie de respuesta de lluvia interpolada. los puntos rojos representan la posición (x, y) del cañón antigranizo

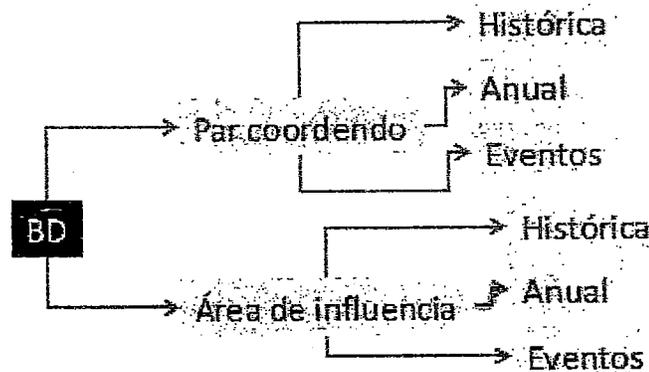


Figura 14. Imágenes de salida obtenidas de los conjuntos de datos. BD es para BD-WRF y BD-GPM.

De acuerdo con la figura 14, se siguieron dos criterios: 1) el basado en el par coordinado de los cañones antigranizo y 2) el basado en su área de influencia: "Histórica" incluye el total de valores del periodo de datos; esta gráfica mostrará el comportamiento de la lluvia en los ciclos hidrológicos; "Anual", es la serie de datos separada por año calendario; "Eventos", es el número de eventos de lluvia extrema identificados; "Área", es el área de influencia de 3 km teniendo como centro el par coordinado del cañón antigranizo. El dato representado en cada gráfica es el valor zonal promedio de 3 km. Se calcula un valor estadístico en cada zona definida por un vector, en base a los valores de otro conjunto de datos (un ráster de valores). Se calcula un valor de salida simple para cada zona en el conjunto de datos de entrada (ArcMAP 10.3, 2018).

Análisis estadístico.

Identificación de eventos extremos de lluvia:

Se implementó un esquema de análisis de datos basado en las diferencias absolutas en lluvia acumulada, entre los tiempos de registro de la serie de datos. Se compararon las lecturas sucesivas de tres datos y se aplicaron tres criterios para abanderar el la secuencia como un evento de lluvia torrencial. La representación del esquema de análisis se muestra en la Figura 15.

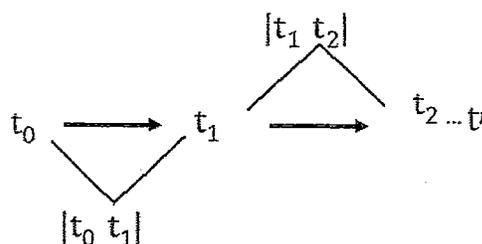


Figura 15. Esquema de análisis de las diferencias en la secuencia de datos de la serie histórica.

Se declararon dos valores umbrales: 15 mm como umbral superior (PP umbral superior) y 0.1 mm como umbral inferior (PP umbral inferior). Con estos umbrales se filtró la serie de datos y se excluyeron todos aquellos valores donde no ocurrió lluvia, lo cual representó un alivio para los sistemas de almacenamiento y de cómputo pues se redujo considerablemente la cantidad de datos a procesar. Estos límites se declararon bajo el supuesto de que una nube de tormenta con propiedades de microfísica adecuadas para lluvia torrencial (y con potencial de ocurrencia de granizo), tiene una duración mucho menor a la unidad de registro de ambos conjuntos de datos (30 minu-

tos).

En la figura 15, t corresponde al tiempo o frecuencia de registro del dato de lluvia y $0 \dots n$, a la secuencia continua del registro de datos. Se declararon tres restricciones:

Si $|t_0 \ t_1| \gg PP_{\text{umbral superior}}$, entonces igual a 1, sino 0

Si $|t_1 \ t_2| \gg t_1$ entonces igual a 1, sino 0

Si $|t_0 \ t_2| \ll t_0$ entonces igual a 1, sino 0

Análisis multivariado. Se realizó un análisis multivariado de la varianza de los datos (MANOVA). Para este análisis se analizaron las diferencias entre BD-GPM y BD-WRF, además de las variables categóricas, año, sitio (par coordenado de los cañones) se adicionaron, temporada del año (Primavera, Verano, Otoño, e Invierno), y hora del registro. Los resultados de los análisis serán dispersogramas, pruebas de comparación de medias y mapas de calor; un mapa de calor es una representación gráfica donde los valores individuales contenidos en una matriz son representados como colores. La razón de utilizar esta técnica es porque permite incorporar al análisis tanto variables categóricas como numéricas que no pueden ser combinadas de manera simple.

Resultados

En la Tabla 3 se muestra un concentrado del total de eventos de lluvia que cumplieron los criterios restrictivos detallados en la Figura 4.

Tabla 3. Eventos de lluvia identificados sobre las dos series de datos (GPM y WRF).

ESTADO	AÑO	MAR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
M	BD-WRF 2014			2		4	6	
	BD-GPM 2014				2			
I	BD-WRF 2015				2		1	
	BD-GPM 2015		5	5	3			
H	BD-WRF 2016							
	BD-GPM 2016		1	2			3	
A	BD-WRF 2017			4			3	
	BD-GPM 2017			2			1	1
J	BD-WRF 2014							
	BD-GPM 2014			3				
A	BD-WRF 2015	3		1				
	BD-GPM 2015		3	1		1		
L	BD-WRF 2016			1				
	BD-GPM 2016							
S	BD-WRF 2017							
	BD-GPM 2017							
C	BD-WRF 2014							
	BD-GPM 2014			4		4	1	
O	BD-WRF 2015							
	BD-GPM 2015							
S	BD-WRF 2016		5					
	BD-GPM 2016							
L	BD-WRF 2017							
	BD-GPM 2017					1		
TOTAL DE LA SERIE		3	14	25	7	10	15	1

Fueron identificados en total 75 eventos en los que se asumen condiciones de tormenta asociada a las formaciones *cumulonimbos*. 47 de ellos en Michoacán, 13 en Jalisco y 15 en San Luis Potosí (Figura 16). De manera general el mes de junio es donde se detectó el mayor número de eventos (25), correspondiendo 15 a Michoacán, 6 a Jalisco y 4 a San Luis Potosí.

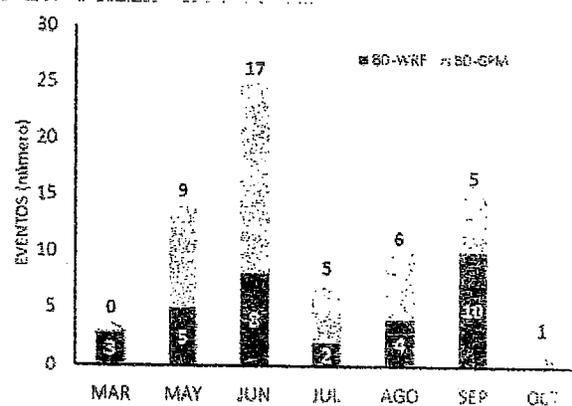


Figura 16. Eventos detectados en la serie histórica.

En ningún mes de la serie donde se detectaron eventos, estos fueron identificados por ambos conjuntos de datos; excepto en los datos donde no se registraron eventos. Destaca el desbalance en la proporción del mes de junio (17 vs. 8); éste se podría atribuir a la ausencia de parámetros de calibración específicos para ambas series de datos. Es conveniente desarrollar estudios para la

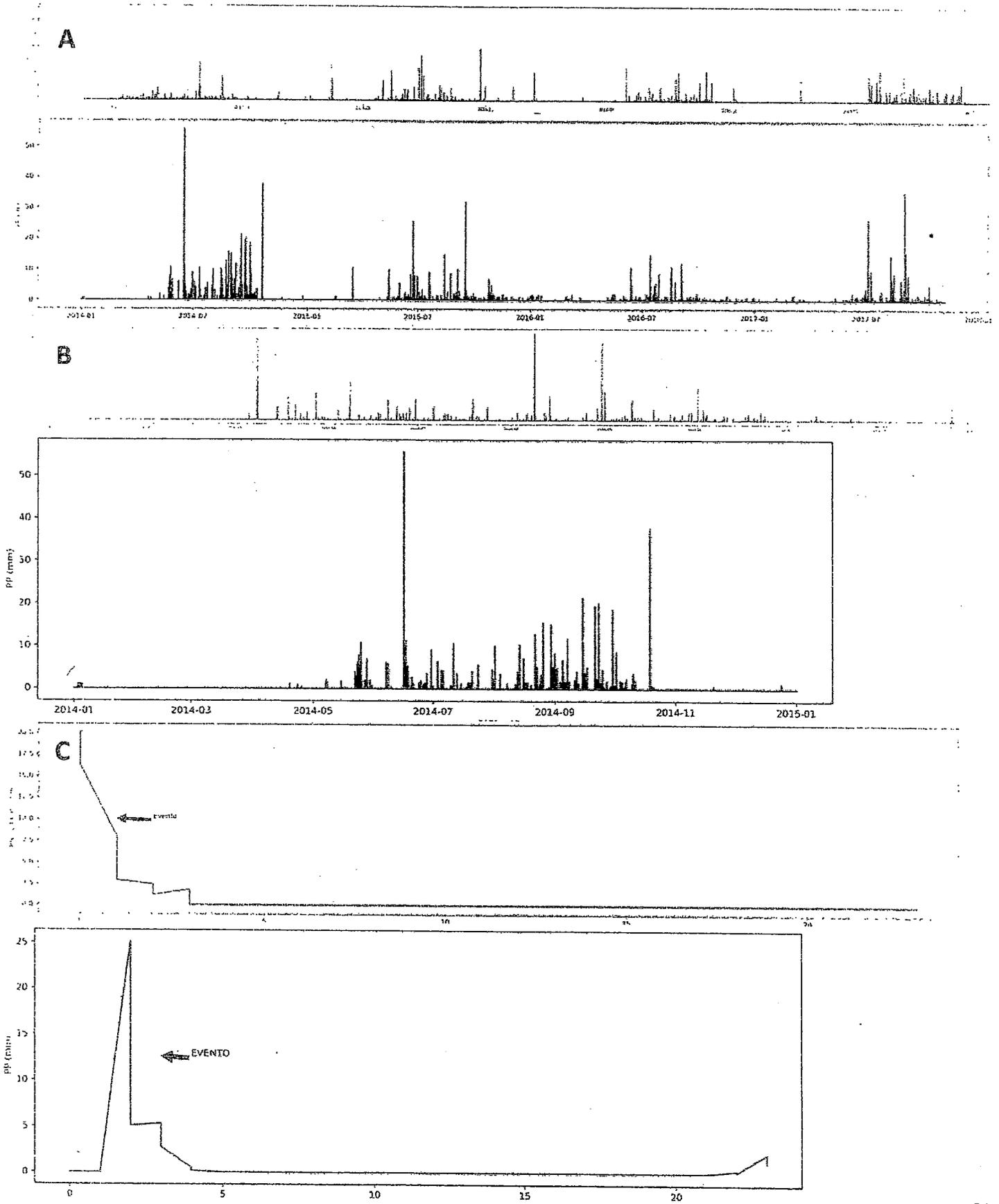
obtención de parámetros específicos con base en datos de radar y datos directos de sensores en el terreno a un intervalo de tiempo adecuado de al menos 1 minuto.

En la siguiente secuencia de imágenes se muestran los conjuntos de datos descritos según la Figura 13. Las gráficas corresponden a uno solo de los 51 cañones antigranizo y se muestran las dos imágenes de cada serie. Para consultar el total de gráficas de la serie dirigirse al Anexo I.

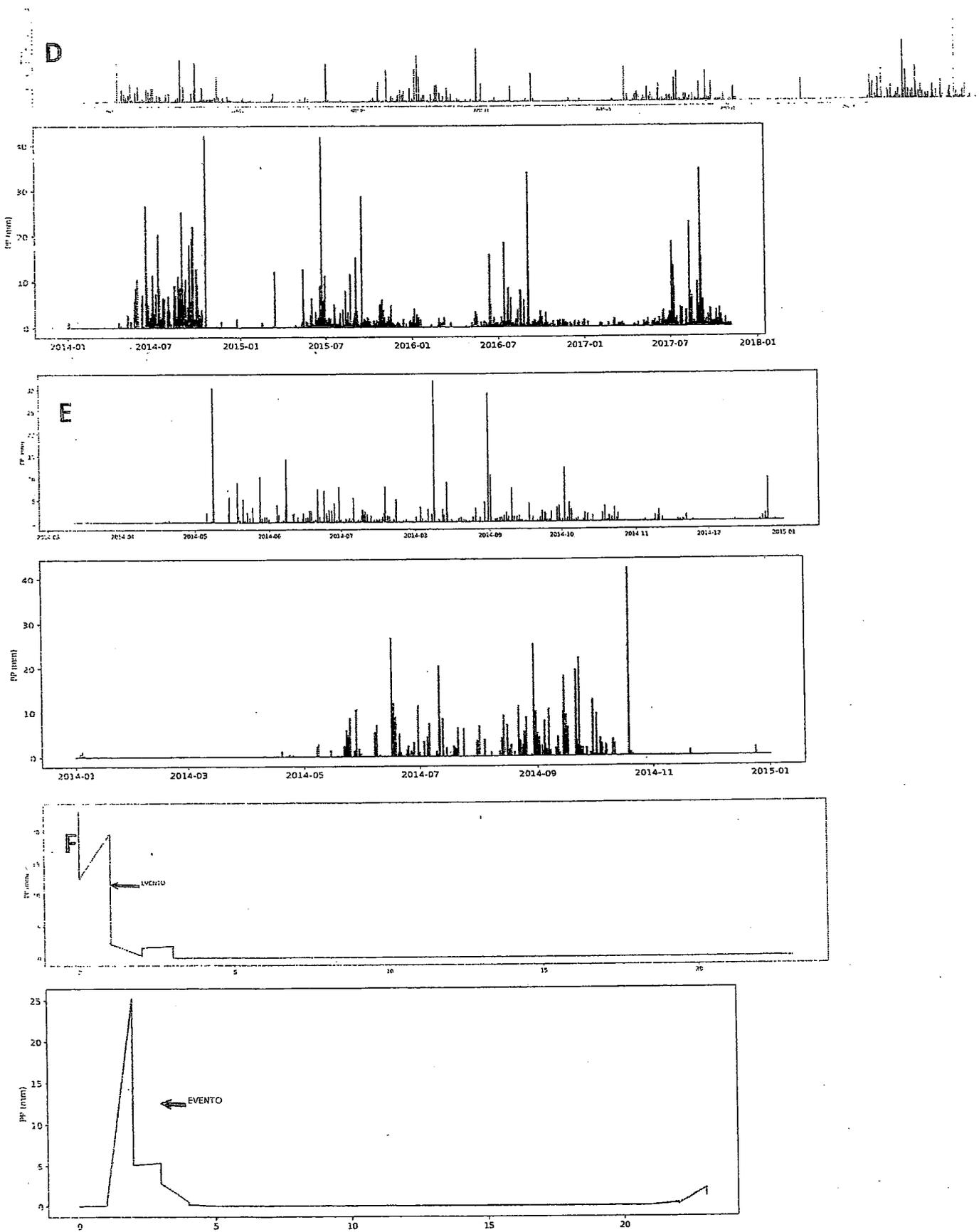
En estas secuencias de figuras son evidentes las diferencias entre los dos conjuntos de datos. La serie histórica muestra el comportamiento bi-modal de las series; sin embargo, también son evidentes las diferencias en cuanto a la distribución en el tiempo de los registros de lluvia.

Con respecto al número de datos procesados, la serie de datos histórica incluyó 70,080 registros para cada sitio. Se observa cierta evidencia de que BD-WRF tiende a subestimar el valor de lluvia con respecto a BD-GPM y también que BD-GPM subestima los eventos extremos de lluvia.

Gráficas de salida basadas en interpolación al par coordinado de localización del cañón antigranizo.



Graficas de salida basadas en estadísticas de zona para los 3 km declarados de área de influencia del cañón antigri-
ZO



Mapas de calor. Los mapas de calor corroboran las diferencias observadas entre los dos conjuntos de datos. Para BD-WRF las horas donde ocurren las lluvias más intensas son entre las 23:00 h-04:30 h; mientras que para BD-GPM (derecha) los eventos de lluvia intensa podrían ser entre las 20:00 h y las 8:30 h. Este comparativo sugiere la necesidad de obtener parámetros de calibración específicos para WRF o bien desarrollar un modelo de ensamble de datos que incorpore los dos conjuntos de datos para mejorar su precisión individual. Adicionalmente, constituye la base numérica de decisión para iniciar la construcción de un sistema de alerta a través de web o por dispositivos móviles.

Representa la probabilidad de que los datos de lluvia de los conjuntos de datos tengan una probabilidad normal. La prueba de Shapiro-Wilks arrojó un p-valor de $<<0.05$, por lo tanto, la hipótesis de normalidad se rechaza.

De la gráfica de caja y bigotes, RAIN-WRF observó un mayor número de datos aberrantes, más de 3/2 veces que el cuartil superior. Estos iniciaron al identificar eventos mayores a 30 mm. RAIN-GPM fue más constante y solo registró datos aberrantes a partir de los 40 mm. En las dos series no se observaron datos aberrantes a partir del cuartil inferior.

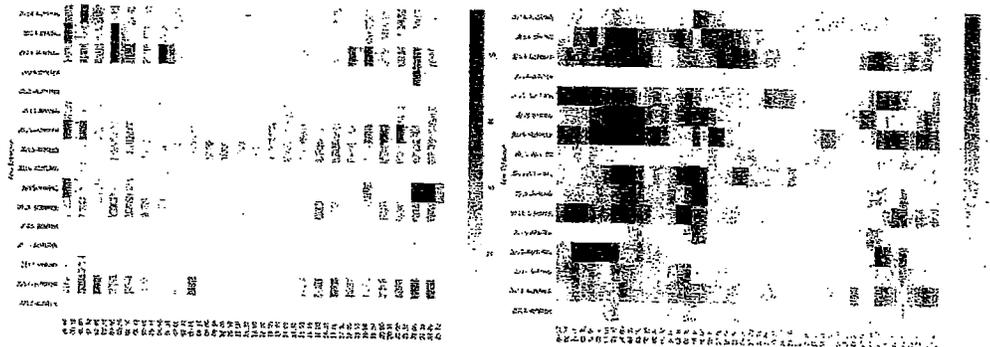
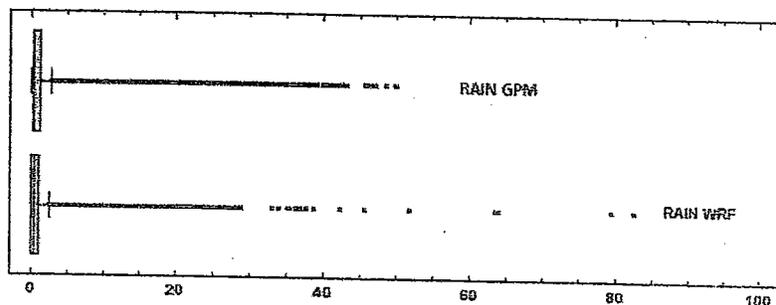
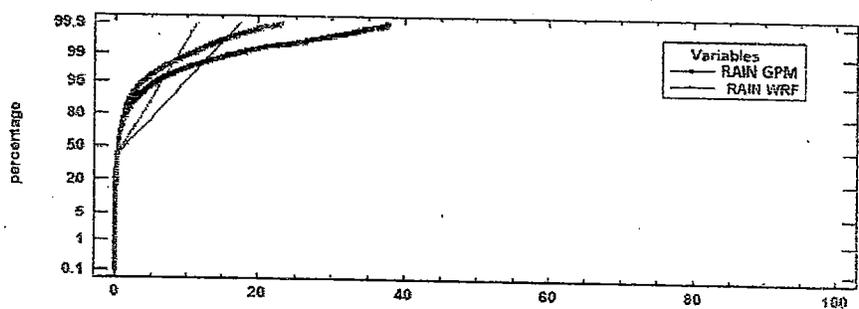


Figura 19. Mapas de calor históricos sobre los valores estimados de lluvia. La frecuencia de datos es a 30 minutos, por año por temporada. Izquierda: BD-WRF; derecha: BD-GPM



Figuras 20 y 21. Gráficas de probabilidad normal (arriba) y gráfica de caja y bigotes (abajo) de toda la serie de datos.

Uso de cañones antigranizo y su influencia en la disipación de las nubes de lluvia torrencial

En el Anexo II se describen con mayor detalle los procesos asociados a la formación y aumento de tamaño del granizo; el granizo se forma a partir de gotas de lluvia que son levantadas a altitudes donde la temperatura está por debajo del punto de congelación del agua (0°C); este proceso de elevación se repite tantas veces como las corrientes ascendentes puedan mantener el granizo, el cual cae cuando la fuerza de empuje ya no pueda mantenerlo. Por ejemplo, un granizo del tamaño de una bola de golf requiere de corrientes ascendentes de 104 km/h. Un apunte pertinente con relación al tiempo en que las corrientes se mantienen por periodos cortos y eso determina el tiempo de duración de la tormenta. Se ha documentado que la duración de una tormenta de granizo es de aproximadamente 5 minutos y el granizo de mayor tamaño es el primero en caer (Sulakvelidze, et al. 1968). En otras palabras, se requieren de datos continuos al menos cada minuto para darle seguimiento.

Los mejores sistemas de monitoreo de los eventos meteorológicos extremos asociados a lluvia y granizo, se basan en observaciones de reflectividad de radar. Los datos de radar Dual-Doppler emiten pulsos de energía horizontal y vertical que permiten obtener información sobre el tamaño, forma y monto estimado de lluvia, distinguiendo además entre lluvia, nieve y granizo. No dejar de lado que los componentes de una granizada son: humedad en el aire, viento fuerte sostenido, e inestabilidad de la masa de aire. Lluvias del tipo chubasco y granizadas consumen rápidamente la humedad en la atmósfera y en condiciones de menos humedad las tormentas se debilitan, y disminuye la velocidad de las corrientes ascendentes.

Los cañones antigranizo son la segunda opción de uso de ondas expansivas para revertir la formación del granizo. Dirigen la sonda de una explosión de acetileno a más de 120 dB, a través de un tubo cónico vertical. Está documentado que su uso inició en Austria por allá de 1896 y se popularizó notablemente hasta el norte de Italia. Sin embargo, y no obstante que en varias regiones se estableció un buen número de ellos, siguieron padeciendo de granizadas. Los daños a los cultivos no se evitaron. No obstante, su historial fallido de uso y fabricación, en la actualidad los productores han retomado el interés y promueven su uso. El historial de uso de los cañones antigranizo ha estado plagado de casos de estudio donde en una región geográfica se establecen en buen número y sin embargo el resultado es que no se consiguen efectos positivos en evitar la forma-

ción y caída del granizo al terreno.

Hay numerosos trabajos de investigación que documentan que la onda sónica emitida fractura el granizo en un radio de 400 m, pero experimentos de Laboratorio llevados a cabo por List (1963), Favreau y Goter (1967) y por un equipo de italianos, demostraron que la onda explosiva de 1 kg de dinamita (trinitrotolueno) no tuvo efecto sobre el granizo en un radio de 10 m. Por otro lado, el uso de cohetes en el terreno se ha recomendado ajustándose al principio de que la onda expansiva que generan al explotar en la atmósfera puede resquebrajar la piedra de granizo; sin embargo, si se considera el número de granizos presentes en la nube *cumulonimbus* y su extensión, un científico ruso estimó que serían necesarios 100,000 cohetes para afectar una sola nube. En regiones como Francia, Italia y Austria, el uso de cohetes ha sido desechado. De acuerdo con Weirunga y Holleman (2006) el único beneficio de usar los cohetes es la satisfacción personal de quien los dispara.

Las recomendaciones de uso del cañón antigranizo sugieren varias teorías de operación, por ejemplo, que las ondas de choque disparadas a intervalos regulares son rebotadas por las nubes y al ser ondas ascendentes ionizan el aire, modificándose así las propiedades microfísicas de una manera no especificada. La no documentación de estas "modificaciones" podrían sonar escandalosas para hombres de ciencia por lo mandatoria de apoyar las conclusiones con base en datos; sin embargo, un estudio serio en este sentido no se tiene a la fecha. Un dictamen técnico emitido por la WMO (World Meteorological Organization) sobre estas teorías es claro *"en los años recientes, actividades antigranizo usando cañones para producir ondas de ruido han re-surgido. No existe ninguna base científica o hipótesis creíble para apoyar tales actividades."* (WMO, 2001)

Siembra de nubes de núcleos de condensación para prevenir la formación de granizo. La premisa de la siembra de núcleos higroscópicos o formadores de hielo, es transformar la nube convectiva de manera que se evite la formación de granizo grande. Por lo general el número de núcleos de hielo en la nube es bajo y, según las condiciones meteorológicas prevalentes, crecen rápidamente hasta convertirse en granizo grande como se ha mencionado en el presente documento. Los conceptos de la siembra de núcleos se fundamentan en (Cotton y Pielke, 1995; WMO, 1996):

- ◊ **Competencia benéfica.** La siembra de nubes aumenta significativamente la concentración de embriones ó núcleos de hielo, de manera que las partículas de hielo compiten entre sí por el agua líquida disponible. Esta técnica se basa en el supuesto de que el contenido volumétrico de agua en la nube se redistribuye entre los N núcleos presentes. El agua súper congelada se redistribuye entre los núcleos presentes y así los granizos formados son de tamaño pequeño y en su camino de caída hacia el terreno pueden derretirse y caer en forma de agua de lluvia.
- ◊ **Lluvias anticipadas.** La siembra de núcleos acelera el proceso de precipitación, lo que resulta en causar lluvias ligeras ó hidrometeoros de baja escala. Los núcleos de condensación no han sido elevados con la suficiente fuerza para hacer crecer el granizo en tamaño. De esta manera se reduce el contenido volumétrico de agua súper congelada.
- ◊ **Trayectoria lowering.** La siembra de núcleos en la zona más inferior de la nube acelera el crecimiento de los conglomerados de hielo, donde es bajo el contenido de agua líquida y las corrientes ascendentes débiles. Luego entonces el granizo cae de la nube en tamaño pequeño y prematuramente antes de que represente una amenaza por la formación de piedras más grandes. Esta técnica es poco práctica por requerir una gran cantidad de núcleos de siembra y está aún en las primeras etapas de investigación.

Demostrar el éxito de estas técnicas es difícil debido a la dinámica espacial extrema de los eventos de lluvia. En latitudes medias es frecuente la ocurrencia de granizadas y de lluvias, pero igual hay periodos de sequía donde estos eventos son menos comunes. Esto dificulta la implementación de un sistema de monitoreo efectivo.

Por lo tanto, la validación de las técnicas de modificación del clima toma varios años de estudio (al menos de cinco a diez) y en particular para lluvias convectivas lo que ocasiona que los experimentos sean aleatorios en tiempo y espacio. Esto en particular no es fácil que los productores o

tomadores de decisiones puedan aceptarlo, pues esperarían resultados inmediatos en su propio beneficio.

La implementación de un sistema de monitoreo es la otra disyuntiva. El establecimiento de sensores en red, al menos en un factor de 10 con respecto a las redes de monitoreo meteorológico. A menudo uno de los mayores sesgos en la valoración de afectaciones a los productores por granizadas es el reporte de daños reclamados a las aseguradoras, pero éstos no son confiables (WMO, 1986). Por ejemplo, el daño a los cultivos no siempre está correlacionado con la superficie afectada por granizo, porque además también afectan la lluvia intensa y el viento fuerte. Además, el daño se documenta en función de la afectación a la planta según la etapa fenológica en la que se encontraba al ocurrir la granizada.

Conclusiones

Conforme al proceso e interpretación de las bases de datos observados y derivados, no se encontraron evidencias estadísticas que sustenten la influencia del uso de los cañones antigranizo en los eventos de lluvia, así como en los procesos de formación y acreción de granizo en las nubes *cumulonimbus*.

Para el caso específico de la lluvia, los resultados son consistentes en el análisis de la información punto a punto, cuando se analizan eventos provocados por formaciones similares a *cumulonimbos* durante una misma tormenta, es decir no se presentan alteraciones sobre los patrones de la precipitación ocurrida a lo largo de un evento de lluvia provocado por formaciones similares a la *cumulonimbos*.

Estos resultados son consistentes al analizar la precipitación total ocurrida en en las áreas donde tienen influencia los cañones antigranizo con aquellas áreas donde no tienen influencia. En este caso, tampoco se encontraron evidencias estadísticas que indiquen que en las áreas de influencia de los cañones antigranizo se precipita una mayor o menor lámina de lluvia en comparación con aquellas áreas en las que los cañones antigranizo no tienen influencia. Este resultado fue consistente para cada una de las estaciones del año (Primavera, Verano. Otoño e Invierno).

Por otra parte y de manera adicional a los resultados encontrados para la lluvia, es evidente la necesidad de promover la instalación e implementación de un sistema de monitoreo específico para la alerta de granizo basado, primordialmente, en un modelo de ensamble de dos fuentes de datos: el pronóstico numérico y observaciones de polarización Dual-Doppler vertical y horizontal. El ensamble de estos conjuntos de datos a un intervalo de tiempo adecuado (1 minuto), tendría el potencial de generar sistemas de alerta para que los productores tomen las medidas pertinentes de prevenir los daños a los cultivos por granizo priorizando tres aspectos:

- a) La automatización del proceso de flujo de datos de la red de sensores hacia el centro receptor de datos;
- b) La parametrización del modelo de ensamble que incluye el escalamiento de las salidas a una resolución adecuada (100 m) y,
- c) Sistema adaptado para utilizar Tecnologías de Información y Comunicación a través de las

cuáles se desarrollen servicios web y aplicaciones para dispositivos móviles; este componente es esencial para funcionar como sistema de alerta rápido y actualizado para mantener comunicación constante con los usuarios.

Aun en regiones con moderada exposición al granizo, los daños que ocasionan se magnifican en especial si la afectación es sobre frutales (manzano, nogal, guayaba, aguacate, cítricos, frutillas, entre otros) o en infraestructura de agricultura protegida (invernaderos). Wieringa y Holleman (2006) mencionan que suprimir la formación de granizo es una tarea emocionalmente atractiva de abordar porque los daños que ocasiona son desastrosos. Sin embargo, creemos que en este caso en particular la fuerza de la naturaleza excede por mucho la del hombre.

Literatura citada

- Skamarock, W., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D., Barker, D., Wang, W., Huang, X.-y., y Duda, M. (2008). A description of the advanced research wrf version 3. NCAR *Technical Note*.
- Arakawa, A. y Lamb, V. R. (1977). Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. En: *Methods in Computational Physics: Advances in Research and Applications*. Elsevier BV, pp. 173–265.
- Huffmang, G. 2017. GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 grade x 0.1 grade V05, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences data and Information Services (GES DISC). Accessed [10-Ene-2017] [10.5067/GPM/IMERG/3B-HH/05](https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM3B-HH/05)
- Baltas, E. 2007. The combined use of weather radar and geographic information system techniques for flood forecasting. *Advances in Geosciences*, 10:117.123,
- List, R. 2014. New hailstone physics: Part I: heat and mass transfer (HMT) and growth. *Journal of Atmospheric Sciences*, 71:1508-1520, DOI: 10.1175/JAS-D-12-0164.1
- Wieringa, J., y Holleman, I. 2006. If cannons cannot fight hail, what else?. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3):1-17
- ArcMap. 2018. Cómo funciona estadísticas zonales. <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/h-how-zonal-statistics-works.htm> [Consulta: 12-Feb-2018]
- French, A., Macedo, M., Poulsen, J., Waterson, T., y Yu, A. 2018. Multivariate Analysis of Variance (MANOVA). <http://online.sfsu.edu/efc/classes/biol710/manova/MANOVAnewest.pdf> [consulta:10-Ene-2018]
- Sulakvelidze, G.K., Bibilashvili, N.S. y Lapcheva, V.F. 1965. Formation of precipitation and modification of hail processes. Gidrometeoizdat, Leningrad (transl. Isr.Progr.Sci.Tr. 1967, 208 p.)
- LIST, R. 1963. On the effect of explosion waves on hailstone models. *J. Appl. Meteor.* 2:494-497
- FAVREAU, R.F., GOYER, G.G. 1967. The effect of shock waves on a hailstone model. *J. Appl. Meteor.* 6:326-335
- WMO. 2001. WMO statement on the status of weather modification. 53rd WMO Exec. Council, Annex III, p.94-98

Cotton, W.R., Pielke, R.A. 1995. Human impacts on weather and climate. Cambridge Univ. Press, U.K., 288 pp.

WMO. 1996. Expert meeting to review the present status of hail suppression. WMO-TD.No.764 (WMP-Rep.No.26)

Holleman, I., Wessels, H.R.A., Onvlee, J.R.A, Barlag, S.J.M. 2000. Development of a hail- detection-product. *Phys. Chem. Earth B* 25:1293-1297.

Wilson J. W., Crook, N. A., Mueller, C. K., Sun, J., y Dixon, M. 1998. Nowcasting thunderstorms: a status report. *Bull. Am. Meteor. Soc.* 79:2079-2099.

Tapia-Vargas, Mario; Pedraza Santos, Martha E.; Larios-Guzmán, Antonio; Vidales-Fernández, Ignacio; Guillén-Andrade, Héctor; Barradas-Vázquez, V. L. (2012). VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA LLUVIA POR EFECTO DE UN SISTEMA ANTIGRANIZO EN LA FRANJA AGUACATERA DE MI-CHOACÁN. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(5), 91–96.

Anexo I

DEFINICIONES

Saturación del vapor de agua

El aire en la atmósfera siempre contiene alguna concentración de vapor de agua, cuya densidad alcanza un cierto valor de saturación a una temperatura dada. La máxima capacidad de contención de vapor de agua está en proporción al incremento o tasa de variación de la temperatura. Un enfriamiento del aire se da cuando se reduce la presión de vapor hasta un valor de temperatura donde el agua empieza a condensarse. La temperatura a la cual inicia este proceso se le conoce como punto de rocío. Un enfriamiento progresivo resulta en un exceso de vapor de agua el cual se agrega a los núcleos de condensación presentes, llevando a la formación de gotas. Los núcleos de condensación son los llamados aerosoles.

Nubes

A medida que se enfría el aire, el vapor de agua se condensa hasta alcanzar el punto de rocío. La luz del sol es reflejada por las gotas de tal manera que las nubes pueden ser percibidas por el ojo humano por la luz difusa de color blanco. El mejor ejemplo de esto se puede observar durante el verano. Nubes con baja capacidad de ascensión produciría nubes finas y aquellas con una capacidad alta ascenderá más alto se verían como nubes gruesas con capacidad de lluvia de chubasco.

Lluvia

Las gotas en la nube son pequeñas, solo 1/100 mm de diámetro, muy ligeras y flotan libremente en el aire. Cuando chocan entre si se unen y empiezan a caer paulatinamente, caen de manera más rápida en la medida que se acumulan más y más gotas. Muy importante en la formación de lluvias pesadas es un proceso que involucra partículas congeladas. Aunque la temperatura en la nube está por debajo de 0°C, las gotas *per se* permanecen en forma líquida – este fenómeno se conoce como súper enfriamiento. En estas condiciones, un pequeño disturbio o perturbación (por colisión o la presencia de un núcleo de hielo) es suficiente para causar que la gota se congele de manera súbita y pase a estado sólido. El vapor de agua se condensa más fácilmente a partícula de hielo que a líquido, de manera que las partículas congeladas crecen más rápidamente y caen más rápido. A medida que se agregan más gotas de agua se vuelven lo suficientemente pesadas

para caer al terreno. En la medida que las partículas de hielo atraviesan capas de la atmósfera con temperatura cálida con frecuencia se derriten y caen en forma de lluvia. Sin embargo, si se formaron con una nube densa se vuelven tan grandes que no alcanzan a derretirse durante la caída y caen en forma de partículas de hielo granulado. Las nubes de tormenta pueden contener vientos ascendentes que son tan fuertes que las partículas de hielo ya derretidas son regresadas hacia la nube y congeladas de nueva cuenta, aumentando de tamaño por la acumulación de otras gotas y derritiéndose de nueva cuenta. Ocasionalmente este proceso se repite en un número de veces llevando a la formación de grandes piedras de granizo.

Tipos de nubes

Las nubes se dividen en dos clases, con base en su apariencia: nubes de capa sencilla (estratiforme) y nubes acumuladas (cumuliformes), las cuales se forman a diferentes altitudes en la troposfera. Las nubes estratiformes se forman por el alzamiento de capas de aire de gran escala, mientras que las cumulus se forman por la interacción de una mezcla de procesos de escala vertical.

Interpolación

Convolución Cúbica (CC)

El método de interpolación puede equipararse a una función de aproximación. La propiedad fundamental de la función de aproximación es que los valores de salida deben coincidir con la ubicación de los datos muestreados. Es decir, si f es una función de muestreo y g es la correspondiente función de interpolación, entonces $g(x_k) = f(x_k)$ donde x_k es un nodo de interpolación.

Para datos igualmente espaciados como es el caso de los dos conjuntos de datos utilizados, la función de interpolación convierte los datos discretos en funciones continuas en un contexto similar a convolución. El método de interpolación influye de manera significativa en la respuesta numérica de las funciones de interpolación. El algoritmo de interpolación por convolución cúbica es derivado de un conjunto de condiciones impuestas por el método de interpolación las cuales están diseñadas para maximizar la precisión de las superficies de respuesta acorde con los recur-

sos de cómputo disponibles.

El método se compone de polinomios cúbicos definidos en los sub intervalos $(-2, -1)$, $(-1, 0)$, $(0, 1)$, y $(1, 2)$, después del intervalo $(-2, 2)$ el valor de interpolación es cero (Figura A).

De la Figura A, de un arreglo 3×3 , la celda central corresponde con la posición del centroide. Para obtener un dato interpolado de las celdas adyacentes (8) se utilizan los valores de los 8 centroides vecinos. El principio se repite para la celda siguiente y así sucesivamente hasta cubrir el total de centroides de cada conjunto de datos. La salida de este procedimiento es una superficie continua, la cuál puede ser analiza de manera independiente o en bloque.

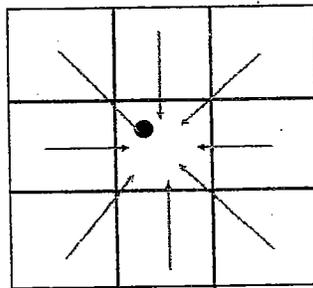


Figura A. Esquematzación del método de interpolación Base-8.

Ubicación de Cañones antigranizo en el Estado de Michoacán.

NUM	LATITUD	LONGITUD	NOMBRE
1	19.474989	-102.006289	LA ALBERCA
2	19.448556	-102.064453	EL COSTO
3	19.492444	-102.083000	EL FRESNO
4	19.500167	-102.061333	PAJAS 1
5	19.510333	-102.056250	PAJAS 2
6	19.503306	-102.048444	PAJAS 3
7	19.424981	-101.802142	LA HERRADURA
8	19.446500	-101.805361	MELLIZOS
9	19.544889	-102.274694	EL MILAGRO
10	19.192806	-101.661861	TEJOTE
11	19.197203	-101.652278	JABONCILLAL
12	19.328583	-101.462944	COYOTERA
13	19.302250	-101.460111	ADELAS
14	19.308864	-101.407097	ZARZAL
15	19.425772	-101.332100	OJO DE AGUA
16	19.434106	-101.316189	BUGAMBILIAS
17	19.440756	-101.308956	ANTENA
18	19.430611	-101.279222	PALOMA
19	20.286611	-102.509972	VISTA HERMOSA VICTOR
20	20.292778	-102.502806	VISTA HERMOSA JES-S
21	20.329997	-102.354961	SICUICHO
22	20.322339	-102.346100	SAN FRANCISCO

Ubicación de Cañones antigranizo en el Estado de Jalisco.

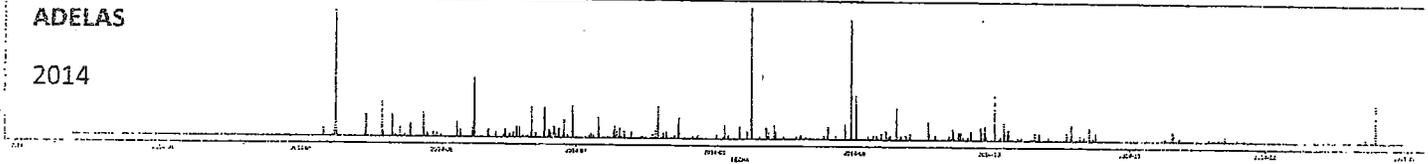
NUM	LATITUD	LONGITUD	NOMBRE
23	19.8563	-103.5990	LA QUINTA
24	19.9007	-103.6181	BONANZA 1
25	19.9101	-103.6203	BONANZA 2
26	19.8245	-103.7253	CANTOR
27	19.8246	-103.6999	LEONA 1
28	19.8207	-103.7094	LEONA 2
29	19.7925	-103.7226	RANCHITOS
30	19.7970	-103.6526	MANZANILLA 1
31	19.7881	-103.6631	MANZANILLA 2
32	19.7647	-103.7204	CARACOL 1
33	19.7593	-103.7294	CARACOL 2
34	19.7743	-103.2600	EL CONEJO
35	19.8283	-103.3917	VARAL 1
36	19.8215	-103.3858	VARAL 2

Ubicación de Cañones antigranizo en el Estado de San Luis Potosí.

NUM	LATITUD	LONGITUD	NOMBRE
37	22.751956	-100.978648	EL POLVORIN
38	22.724717	-100.949628	EL CARPINTERO
39	23.011630	-101.063895	EL CLERIGO
40	22.999739	-100.533667	SLP_1
41	23.105325	-100.542557	JR
42	22.226076	-100.225814	LAS FINCAS
43	22.223709	-100.229422	LAS FINCAS
44	22.230322	-100.225706	LAS FINCAS
45	22.219942	-100.229457	LAS FINCAS
46	22.570132	-100.989275	LA MORITA
47	22.661020	-100.907511	AGROQUALITY
48	23.043030	-100.505848	SLP_2
49	22.096856	-100.054154	SLP_3
50	23.786999	-100.703942	RANCHO VALLARTA
51	23.914120	-100.924256	RANCHO GREEN HOUSE

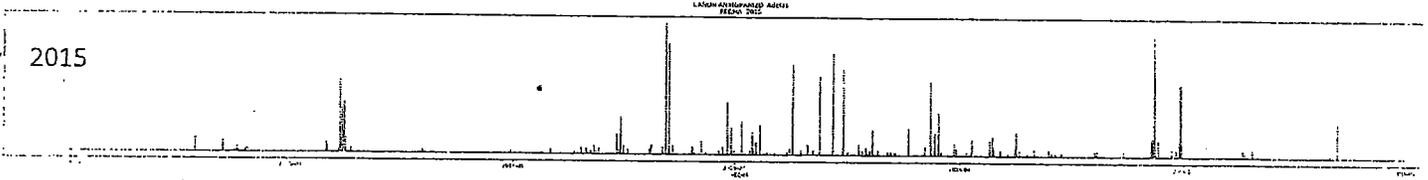
ADELAS

2014



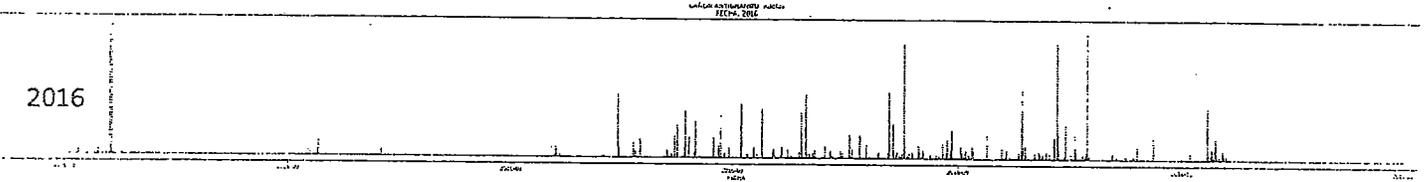
LASAN ESTIMATED ADDRESS
FEBRU 2015

2015



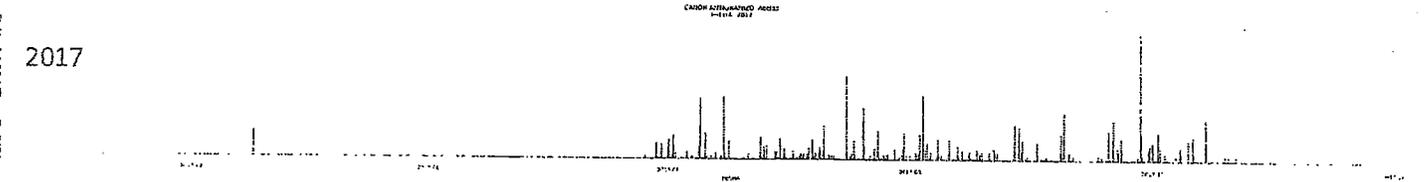
LASAN ESTIMATED ADDRESS
FEBRU 2016

2016



CANON ESTIMATED ADDRESS
MAY 2017

2017



Anexo II

Proceso de formación del granizo. Los trabajos técnicos y científicos, reportes de avance de proyectos, pruebas de laboratorio, entre otros, donde describen el proceso de formación del granizo, coinciden en que inicia fundamentalmente con la presencia de gotas de agua próximas a la base de las nubes *cumulus* y que tienen un radio de entre 20-30 μ m.

DEFINICIÓN. El granizo es una forma de precipitación sólida, que por acreción de agua súper congelada se forma en nubes de tormenta (*cumulonimbus*). Es un fenómeno meteorológico de alto impacto en los ecosistemas y un factor de riesgo significativo para los sistemas de producción agrícola.

De acuerdo con la "Agency Hail Supression- Agencia para la supresión del granizo" de Bulgaria, los constituyentes microfísicos de las nubes de tormenta son dominados por la presencia de gotas de agua líquida (a temperatura menor a 0°C , en una condición de súper congelamiento y termodinámicamente inestables), y cristales de hielo. Estas nubes pueden alcanzar hasta 16-17 km de altura en las latitudes medias de la Tierra. Su estructura vertical está separada por tres estratos: a) **cálido** – una capa a una temperatura sobre 0°C , donde solo hay gotas de agua líquida; b) **mezcla súper congelada**, una capa a temperatura menor a 0°C , donde hay gotas de agua líquida y cristales de hielo, y donde la proporción de gotas de agua es menor a expensas del número de cristales, a temperatura menor a 20°C ; y c) **cumulonimbus incus**, capa con temperatura $<40^{\circ}\text{C}$, donde solo se encuentran cristales de hielo (Figura b).

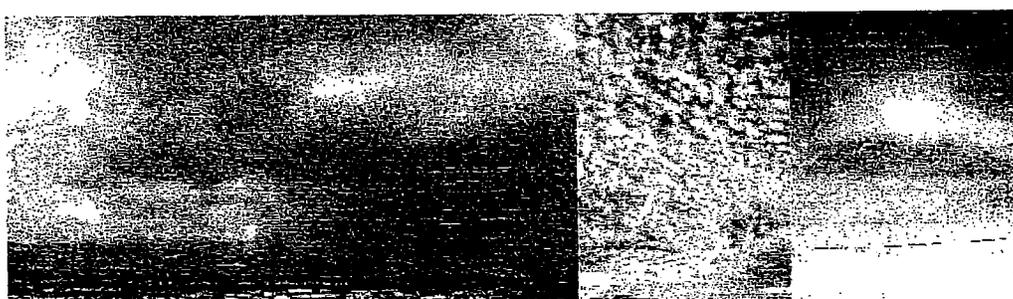
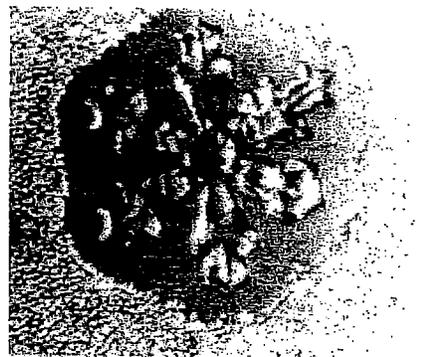
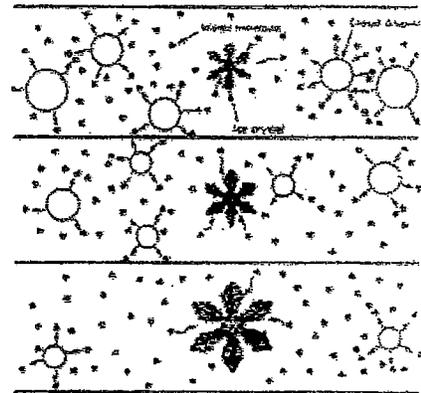


Figura B. Cálido (Izq), mezcla súper congelada (Centro), y cumulonimbos incus (Der); esta nube se forma por encima de las nubes de tormenta. Su forma se debe a que el aire ascendente la expande y dispersa pues alcanza la estratosfera; el aire en la estratosfera es más

Para la formación del granizo se requiere:

- ◊ Un alto contenido de agua líquida supercongelada en la nube
- ◊ Núcleos de granizo: gotas de lluvia congeladas de tamaño pequeño, partículas de hielo suave mejor conocidas como conglomerados de cristales de nieve.
- ◊ Fuertes corrientes ascendentes; su fuerza de empuje deberá mantener en constante movimiento ascendente y descendente el cristal de hielo.

La formación y crecimiento del granizo tiene lugar en la región súper congelada de la nube. En la medida que la presión de vapor de equilibrio sobre el agua sea mayor a la presión de vapor de saturación que ejerce sobre el hielo, bajo condiciones similares de temperatura, se evapora el agua líquida, el vapor se acumula sobre los cristales de hielo y éstos crecen más rápidamente que las gotas (proceso Bergeon-Findeisen). Este proceso explica la relación entre la temperatura y la presión atmosférica; el agua líquida se evapora y el vapor de agua se agrega a las partículas de hielo; a causa de que la presión de saturación de vapor es mayor sobre el agua líquida que sobre el hielo, se origina un flujo de vapor de agua. El crecimiento posterior de los cristales de hielo resulta de la colisión y coalescencia entre las partículas de hielo y las gotas de agua. Las fuertes corrientes ascendentes conservan por más tiempo al granizo en la nube; su tamaño estará en función del tiempo de prevalencia de estas condiciones. Cuando se vuelven demasiado pesados, superan la fuerza de empuje ascendente de la corriente y caen hacia el terreno. El granizo comienza a derretirse en la capa con temperatura mayor a 0°C , pero no se derriten por completo por lo cual alcanzan el terreno.



Teoría del crecimiento del granizo. El concepto general del crecimiento de los núcleos congelados de hielo en la nube está relacionado con la temperatura y la humedad relativa. De acuerdo con List (2014), hay tres procesos asociados al crecimiento esférico del granizo.

1. Básico.

Las siguientes expresiones y cálculos se refieren al crecimiento radial simétrico de hielo sólido (con algunas burbujas) ó hielo esponjoso con espacios contenedores de aire (t_A) y temperatura superficial (t_S) en el rango de $-40^\circ < t_A < t_S < 0^\circ\text{C}$. El valor de temperatura de -40°C representa el límite inferior extremo antes de que ocurra la nucleación homogénea. Dependerá del usuario seleccionar o especificar el valor límite de nucleación del hielo. La temperatura absoluta de la piedra de hielo es $\neq 0^\circ\text{C}$.

2. Clasificación

Estudiar la textura y condición de superficie de los depósitos de hielo es de gran complejidad. Se podría realizar desde la perspectiva de tres escenarios:

1) ESCENARIO 1. Crecimiento del granizo en seco

La formación de depósitos de hielo seco con $t_S \neq 0^\circ\text{C}$ está regulada por el calor latente de evaporación del hielo L_{ES} (J Kg^{-1}) dado que no existe ruptura y permanece sólida, el crecimiento estaría dado por $E_{NC}/f = 1$. Donde E_{NC} (-) es la eficiencia neta del proceso (por ej., aquella fracción de agua líquida que al inicio del proceso permanece sobre la piedra de hielo). f (-) es la fracción de masa de hielo en el depósito que no debiera acrecer como agua congelada. Además, t_S es igual a la temperatura en el depósito t_D ($^\circ\text{C}$); esto es, el depósito de la piedra de granizo está congelado. En este escenario la temperatura superficial está en función de la temperatura del aire (altitud).

2) ESCENARIO 2. Crecimiento esponjoso con fuertes fracturas

El resquebrajamiento y ruptura del granizo es el proceso predominante en este escenario. El hielo esponjoso se formó a temperatura muy cercana a 0°C , mientras que el granizo está húmedo, pero no cubierto por una película continua de agua. A esto se debe que el calor latente aplicado debiera ser equivalente al cambio de fase de líquido a vapor (subíndice l). L_{El} con $t_S \gg 0^\circ\text{C}$ y $E_{Ncl}/f < 1$. [ninguna película de agua debiera ser alejada, aún en prevalencia de corrientes de aire compa-

rables a la velocidad de un jet (LL).] En este escenario las condiciones de fractura del granizo se describen en función de LL para frecuencias mayores a 20 Hz. No se considera el giro, la aceleración asociada con >20 Hz de frecuencia de esferoides rotando.

3) ESCENARIO 3. Granizo esponjoso cubierto por película de agua súper congelada.

Aquí se describe la formación de hielo esponjoso sobre un granizo cubierto por una película permanente de agua súper congelada. Para esto se requiere que L_{EI} de evaporación sobre líquido. Este crecimiento está acompañado por una ruptura de la capa más superior de agua la cual depende de la aceleración centrífuga local. El crecimiento del granizo está regulado por el tiempo que permanece en un ambiente helado. Un alto contenido de agua líquida (W_f) es necesario, pero obligatoriamente deben darse fuertes corrientes ascendentes que mantengan la partícula de hielo en la nube. El desequilibrio en la proporción de contenido de cristales de hielo y agua líquida se debe a la acreción de ésta a las partículas y en consecuencia disminuye el contenido de agua en la nube. De este modo se crea un mejor ambiente que favorece el crecimiento del granizo.

Perspectivas. Estos escenarios y su abordamiento no representan *per se* el fundamento que explique el crecimiento del granizo. Esto solo sería posible si, éste, el crecimiento pudiera ser medido y no estimado. No existe algún modelo descriptivo sobre la microfísica de las nubes que refleje actualmente sus propiedades con respecto al paquete de formación de granizo como las observadas por Thompson y List (1993) y discutidas por List (2010). Las observaciones de radar de alta resolución (100 x 100 x 100 m) sugieren que no hay evidencia de un flujo de aire suave en las nubes de tormenta como se menciona en los libros de texto. Al interior de la nube no se detectan cinturones continuos y lo suficientemente estables como para desplazar el granizo en crecimiento a través de la tormenta. Las corrientes ascendentes forman un ambiente violento, como se esperaría de los gradientes térmicos y esta sería quizás la manera indirecta de identificar y dar seguimiento a la formación de la tormenta de granizo. El granizo generalmente no crece en seco y normalmente excede el límite Schumann-Ludlam; esto es, las superficies de los cristales de hielo tienen películas de humedad o agua, con varios grados de esponjamiento. Su crecimiento va acompañado por la fractura del cristal de hielo, la cual puede iniciar y sostener el mecanismo más importante de la lluvia.

Anexo III

Percepción de los sectores académico, investigador, comercial, y productivo sobre el uso de cañones antigranizo. En este Anexo se incluye un concentrado de opiniones encontradas en la red, y opiniones escritas en artículos científicos. De manera general prevalecen criterios unipersonales con poca o limitada capacidad de sustentarlas con las evidencias necesarias en las que apoyar sus aseveraciones. Es generalizado el poco conocimiento entre los sectores sobre, como el modo de operación de los cañones anti granizo afecta las condiciones de la atmósfera y de la incertidumbre asociada a los procesos formativos del granizo al interior de la nube.

Es necesario comentar que la instalación, puesta en operación y mantenimiento de estos sistemas, se han convertido en un factor de polarización, donde cada uno de los sectores manifiesta su aceptación o rechazo al mismo. Sin embargo, se encontraron algunas iniciativas para regular su uso e inclusive promover su desinstalación.

Los productores y sus organizaciones, así como la población en general, están convencidos de que el uso de los cañones antigranizo afecta el proceso de formación del granizo, pero además tiene efectos disuasivos sobre: a) el patrón de distribución espacial de las lluvias; y b) frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia. Esta percepción es la que mayor atención atrae pues es del conocimiento general sobre la tendencia de escasez del agua de lluvia y que afecta los escurrimientos superficiales y sub superficiales; esto es, arroyos, ríos, embalses (presas, jagüeyes, etc.) y la recarga del manto freático.

Por otro lado, la postura comercial de las empresas que venden y promueven la instalación de estos sistemas, defienden su planteamiento y los presentan como la solución última en protección de cultivos. A la par, no muestran estudios técnicos que soporten sus aseveraciones sino más bien se adaptan a estrategias de comercialización.

De entre los científicos que abordan la problemática, coinciden en mencionar que no hay evidencia técnica o científica en la que sustentar ni el modo de operación del cañón, ni sus efectos en la disipación de los eventos de lluvia y menos sobre el evitar la formación de granizo en la nube. Y además concuerdan en que mientras no sea demostrada su eficiencia, operan con limitada eficacia y que la granizada ocurrirá con la misma intensidad a pesar de que los cañones antigranizo

estén o no en operación.

- ◊ **09-02-2018** <http://ciencia.unam.mx/leer/707/-control-de-nubes-el-mito-de-los-cañones-antigranizo->

Por Isabel Pérez, Ciencia UNAM, DGDC

Cuidar la siembra de fenómenos naturales, es una de las principales preocupaciones de los agricultores. Son situaciones que no siempre se pueden predecir y por ello, se han buscado diversas alternativas para proteger la cosecha, aunque no siempre son las más adecuadas y eficientes. Un ejemplo de ello son los cañones antigranizo creados con el fin de que el granizo se convierta en una simple lluvia. Los cañones antigranizo han sido utilizados por los agricultores para prevenir las lluvias acompañadas de piedras de hielo que pudieran dañar las cosechas; sin embargo, la utilidad de éstos ha sido muy cuestionada pues no está científicamente comprobado que en realidad logren su objetivo.

Pensar que los cañones antigranizo realmente sirvan para detener grandes precipitaciones es un mito, un acto de fe, señala Fernando García García, investigador del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. De hecho, hay quienes se oponen a que se sigan usando, tal es el caso de los académicos de la Universidad de Guadalajara y de San Luis Potosí; en Chihuahua, ya se convencieron de que no son viables.

¿Cómo funcionan estos cañones? A finales del siglo XIX, en Austria, un científico italiano de apellido Combiacci emitió la primera hipótesis de que las partículas de humo proyectadas por los Generadores de Ondas Ionizantes podrían servir de núcleo de condensación de nube para formar gotitas. Pero no sólo en ese país existía esa suposición. En varias partes del mundo se dio el auge de los cañones.

Un poco de historia, por aquellos días, en Estados Unidos hubo quienes hacían experimentos con los cañones; utilizaban pólvora y nitroglicerina con el fin de modificar el proceso de desarrollo y la formación de partículas de la nube.

Según el científico italiano, la hipótesis era válida. Al llevar a cabo este procedimiento la lluvia aumentaba y disminuía el granizo; aunque la base científica no tiene un fundamento sólido, se sabe que el granizo que se funde en el camino produce lluvia. Para 1900 se introdujo el cañón que en lugar de pólvora usaba acetileno, sustancia que hasta hoy se sigue usando; se trata de un gas compuesto por Carbono e Hidrógeno un poco más liviano que el aire y que genera una gran y estruendosa explosión, que produce ondas que se creía que llegaban hasta las nubes.

A principios del siglo XX existían alrededor de 60 modelos diferentes de cañones antigranizo, aún cuando su eficacia no estaba confirmada. Su comercialización se volvió toda una industria, incluso, se organizaron congresos y conferencias con fabricantes y científicos en torno a este instrumento. Ahí se trató de mejorar las técnicas implementadas y se discutía si era mejor usar pólvora, glicerina o acetileno

Tecnología no aprobada.

Los europeos fueron los primeros en implementar los cañones para que la lluvia no dañara las cosechas, y su experiencia arrojó como resultado el uso generalizado de una tecnología no probada científicamente para resolver el problema, además de un entusiasmo inicial, un gran oportunismo, desilusión y, por supuesto, el cuestionamiento científico ante la falta de resultados concluyentes y definitivos.

Después de la Segunda Guerra Mundial, la idea de los cañones antigranizo vuelve a resurgir. En años recientes, en regiones como España, Vermont, Nebraska, Argentina, este instrumento ha sido nuevamente empleado. En México, se han comercializado desde los años sesenta. La conclusión es que no hay evidencia de que funcionen. Incluso, los resultados de experimentos planeados y realizados en Suiza en la década de 1980 -con rigor científico y utilizando técnicas modernas de siembra de nubes-, indican que estadísticamente existe la posibilidad de que la incidencia de granizo disminuya sólo en un 35 por ciento de los casos, en tanto que la probabilidad de que se genere más granizo de lo normal es de 65 por ciento.

- ◊ **Tapia-Vargas, M., Pedraza-Santos, M.E., Larios-Guzmán, A., Vidales-Fernandez-I., Guillén-Andrade, H., y Barradas-Vázquez, V.L. 2012. Variabilidad espacial de la lluvia por efecto de**

un sistema antigranizo en la franja aguacatera de Michoacán, *Revista Fitotecnica Mexicana*, 35(5):91-96

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 localidad 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.

◊ **Los cañones antigranizo.**

<http://es.geoengineeringmonitor.org/2016/02/los-canones-anti-granizo/> [FEB 04 2016]

Grupo ETC, febrero de 2016. Desde el sur de Jalisco el Grupo ETC ha recibido cada vez más quejas sobre la utilización de los cañones anti granizo. Es la infortunada relación que hacen los agricultores campesinos con las tecnologías en boga para enfrentar el cambio climático que críticamente agrupamos en el conjunto de técnicas de geoingeniería. Cuando ya va a llegar la lluvia, nos cuentan, comienzan a escucharse las detonaciones “como si fueran de fiesta de santo” y la lluvia se esfuma junto con las expectativas de que se logre bien la siembra. Como cada vez más tierras son rentadas por empresas de hortalizas y esas empresas a su vez se mueven mucho, no hay nunca a quién reclamarle.

◊ **Julio de 2015.** Para exigir el cese del uso de cañones anti granizo en la región sur de Jalisco, agricultores, ganaderos, defensores de los derechos humanos, miembros del magisterio y sociedad civil marcharon esta mañana en las calles de Ciudad Guzmán.

La marcha, que fue convocada en redes sociales, comenzó en las instalaciones de la Comunidad Agraria de Ciudad Guzmán, pasó por el centro histórico y culminó en las instalaciones de la Coordinación General de Educación y Desarrollo (CEFOFOR), donde una comitiva fue recibida por el

jefe del distrito 7 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Ramón Martínez Jiménez.

La comitiva acusó a las agroindustrias operadoras en la región de utilizar cañones granífugos, mejor conocidos como anti granizo, y las culpó por el mal temporal de lluvias y las pérdidas económicas que este genera. También, de manera urgente, pidieron la actuación de Martínez Jiménez, quien prometió exponer dichas inconformidades ante Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) el

◇ **21 de agosto de 2015.** Fuente: http://www.ntrguadalajara.com/post.php?id_nota=10999

Mañana, con el fin de no perder las siembras del actual temporal, representantes de la Asociación Ganadera Local del municipio de Tuxpan llevarán un exhorto al gobierno del estado y el próximos martes agricultores del sur de Jalisco marcharán al Congreso local.

El uso de los cañones antigranizo es una de las técnicas de modificación climática, entre las que se cuentan también la siembra de nubes o el control de huracanes.

◇ **Que los cañones antigranizo alteran el régimen de las lluvias?** Rosalva Mendoza, del Instituto de Ingeniería de la UNAM brinda otro aspecto de la información: ...Fuente: http://www.csam.unam.mx/vinculacion/index.php?option=com_content&view=article&id=146:que-los-canones-antigranizo-alteran-el-regimen-de-las-lluvias&catid=5:general&Itemid=7

El granizo es, en pocas palabras, lluvia congelada que cae sobre la tierra en forma de trozos de hielo. Los daños que causa a la agricultura en el estado de Michoacán han obligado a que los productores busquen los mecanismos que ayuden a mitigar las pérdidas que, en casos como el de producción de aguacate, muchas veces alcanzan el 100%. Una de las herramientas que la tecnología ha proporcionado es el llamado cañón antigranizo, cuyo uso ha sido causa de controversia en el estado, pues se le ha señalado como responsable del abatimiento de la lluvia en la región en la que opera. El funcionamiento de este equipo consiste en que media hora antes de que la tormenta esté en el lugar donde se encuentra físicamente el sistema, se acciona el cañón en forma auto-

matizada o manual. El cañón emite una onda sónica, llamada torre, capaz de superar los 10 mil metros de altura -el proceso de formación del granizo se da entre los 2 mil y 4 mil metros-, estas ondasónicas llevan iones positivos, arrastrados desde la superficie terrestre al interior de la nube, desestabilizando el proceso de formación del granizo y convirtiéndolo en agua.

Los sistemas antigranizo sólo modifican el proceso de precipitación de una nube, es decir, la precipitación se transforma de sólido a líquido, pero no incrementan, ni disminuyen la cantidad de agua que se precipita. Instituciones educativas como la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), así como organizaciones independientes como el Grupo de Nutrición del Aguacate, han realizado estudios con los que han concluido que el uso de los cañones antigranizo disminuye sensiblemente los daños a la producción agrícola causados por los meteoros naturales, además de que no hay efecto del cañón antigranizo en reducir la precipitación en una distancia de 2000 m a la redonda. Con investigaciones rigurosas, sobre todo las realizadas por el INIFAP, se descarta que los sistemas antigranizo provoquen que las lluvias se alejen de su influencia, señalando que su uso está debidamente documentado para contrarrestar el granizo, sin afectar la cantidad de lluvia en una región dada y, básicamente, para disminuir las enormes pérdidas económicas en los cultivos de aguacate en Michoacán.

- ◊ **Inician campaña para prohibir uso de cañones antigranizo** Por: Radio UdeG Zapotlán el Grande - 13 junio, 2017 <http://udgtv.com/radio-udg/campana-prohibir-canones-antigranizo/>

Zapotlán el Grande, Jalisco.

En el Sur de Jalisco comienzan a presentarse las primeras precipitaciones del temporal y con ellas de regreso el uso de los llamados cañones antigranizo, o al menos así lo aseguran habitantes del municipio de Sayula, quienes debido a que por las noches cuando se avecina la lluvia, escuchan los estruendos presuntamente emitidos por estos artefactos, han lanzado una convocatoria a través de la plataforma change.org con el fin de reunir firmas que sirvan como presión para los legis-

ladores y que prohíban su uso mientras definen de manera científica sus efectos en el ambiente, así lo comentó Daniel Carrión, uno de los propulsores de la iniciativa ciudadana.

Esta campaña nació con el fin de que los diputados se den cuenta que el tema preocupa a los ciudadanos y no se esperen a que exista un estudio científico para la prohibición de los cañones, sino que se suspenda y multe su utilización hasta que se compruebe o descarte efecto alguno en la lluvia.

Hasta este lunes la plataforma contaba ya con alrededor de mil firmas y estará habilitada por un tiempo más, las firmas serán dirigidas directamente al diputado Salvador Arellano, presidente de la comisión legislativa de desarrollo agrícola.

- ◊ **Desmienten que cañones antigranizo afecten al medio ambiente** Sara Galeote/Quadrat | 09 de julio de 2012 | 0:00 A- A+ MORELIA, Mich., 9 de julio de 2012. <https://www.quadratin.com.mx/sucesos/Desmienten-que-canones-antigranizo-afecten-al-medio-ambiente/>

Representantes de la empresa Sapoi, creadores del sistema de cañones antigranizo, en voz de Enrique José Souto desmintieron que este equipo opere de manera ilegal y afecte el ambiente. Esto luego de la manifestación que en días pasados hicieron pobladores de Acuitzio, quienes aseguraron que la instalación de estos cañones ha afectado de manera negativa a los habitantes de la región, además de contaminar las tierras y diversas producciones. En este tenor, el empresario representante de Sapoi dejó en claro que no existe riesgo ni afectación de productos con la presencia de dichos equipos, además de asegurar que se cumple con la norma ambiental requerida por las instancias procuradoras del medio ambiente. Enrique Souto, informó que tanto la Procuraduría del Medio Ambiente como la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (Suma) se sumaron para revisar estudios con los que se compruebe si los equipos guardan los parámetros ecológicos que exigen las leyes mexicanas, “podemos decir que estamos aceptados al cien por ciento y no hay ningún cuestionamiento científico que pueda demostrar que los equipos son culpables de algún desequilibrio en los ecosistemas”, señaló. Por lo que a quienes aseguran de que son causantes de daños, les exigieron demostrar científicamente los señalamientos. Indicó que

hasta el momento, sólo tres de los 92 cañones no operan, además de que se han recibido tres denuncias en el caso de Tacámbaro, Acuitzio y Peribán: pero alertaron a la población de riesgos contra su integridad física en caso de que intenten desinstalar este tipo de cañones. Ante este escenario, el representante empresarial, argumentó un trasfondo político, toda vez que aseveró que en el caso de Tacámbaro y Acuitzio del Canje los alcaldes que resultaron electos en la jornada comicial del pasado 13 de noviembre prometieron a cambio del voto sacar los cañones de ambos sitios, “se sumó un tema político porque hubo algunas personas que el año pasado en sus campañas para asumir como presidente municipales sobre todo en Acuitzio del Canje y en Tacámbaro empezaron a ofrecerles que si votaban por ellos se sacaban los cañones, lo digo y me hago cargo que tanto el presidente de Tacámbaro como el de Acuitzio hicieron esa oferta, por supuesto una vez que asumieron el cargo la población les empezó a exigir que cumplieran”, acusó. Acompañado del investigador Mario Tapia, se aseguró que dichos equipos no sólo no son contaminantes, sino que se ha mejorado la producción en el caso de huertas de aguacate como en el caso de la comunidad de San Juan Nuevo. Explicó que “tenemos datos de hace 50 años donde hemos demostrado que el cambio climático en la zona aguacatera de Michoacán es real en cuanto a temperatura y cambios en el patrón de lluvias, tenemos las bases de datos del INIFAP, tenemos estadísticamente demostrado todo con datos, con un arbitraje estricto, la prueba es clara, están las bases de datos del comportamiento de lluvia y las variantes climáticas, así que dejémonos de tarugadas de andar con acciones que no tienen nada que ver”, destacó. De igual forma, el representante de Sistemas Antigranizo, reiteró que “a pesar de que SUMA aún no emite por problemas burocráticos y de tiempos el informe que va a salir a favor de que los equipos están en regla, hemos tomado la decisión de que los equipos van a funcionar, porque no podemos permitir que por una demora en tomar una decisión de algún funcionario público, un cliente nuestro pierda 30 ó 40 millones de pesos en un día como el viernes pasado. Los equipos están absolutamente dentro de norma”. Con dichas pruebas, el empresario, aseguró que “los pobladores hablan por percepción, nosotros no estamos dando percepciones sino estudios científicos realizados por organismos autorizados, no nos podemos guiar por percepciones, creo que ha habido desinformación y se ha vuelto además un asunto político”, destacó. Paralelamente, advirtió que aunque no hay riesgo ecológico, se usa gas acetileno por lo que “si va un inexperto y corta un tubo puede haber

muertos por cometer actos de vandalismo y afectarse, ya se alertó a los Ayuntamientos, cada cañón está perimetrado con anuncios de peligro de explosivos". Sobre el tema, algunos productores que asistieron a la rueda de prensa, manifestaron que desde hace más de cinco años instalaron estos cañones en sus huertos, lo que les ha evitado pérdidas productivas por la caída de granizo comparada con huertas cercanas. "No es el primer año que la gente se opone a que el cañón esté prendido, y en todas las reuniones a las que he asistido lo único que me han presentado son inconformidades, yo he visto beneficios en mi huerta, justo cuando ellos se inconforman las autoridades nos obligan a parar por un período de una semana, es un problema social, me lo piden para que la gente se calme, lo hago y me ha tocado que cae la granizada; y eso me afecta porque es una gran inversión la que hacemos", dijo Federico Plascencia. Cabe señalar que cada cañón de granizo tiene un costo de 60 mil dólares y después tiene un servicio de 100 mil pesos al año que lo paga el productor, en tanto que se trata de una empresa de origen Argentino, misma que empezó a instalar estos equipos durante el sexenio de Vicente Fox. El funcionamiento de este equipo consiste en que media hora antes de observar una tormenta en la vertical del sistema, se acciona el cañón. El cañón emite una onda sónica capaz de superar los 10 mil metros de altura, Hasta el lugar donde se inicia el proceso de formación del granizo entre los 2 mil y 4 mil metros, dichas ondas sónicas arrancan iones positivos y así se detiene el proceso de formación del granizo y lo convierte en agua. Los sistemas antigranizo sólo modifican el proceso de precipitación de una nube, es decir, no cae sólido sino líquido, pero no incrementa, ni disminuye la cantidad de agua que precipita. De acuerdo con los creadores de este sistema, no se afecta en nada al medio ambiente.



**CÁMARA DE
DIPUTADOS**
LXIV LEGISLATURA

Secretario de Servicios Parlamentarios: Hugo Christian Rosas de León; **Director General de Crónica y Gaceta Parlamentaria:** Gilberto Becerril Olivares; **Directora del Diario de los Debates:** Eugenia García Gómez; **Jefe del Departamento de Producción del Diario de los Debates:** Oscar Orozco López. Apoyo Documental: **Dirección General de Proceso Legislativo,** José de Jesús Vargas, director. Oficinas de la Dirección del Diario de los Debates de la Cámara de Diputados del Congreso de la Unión: Palacio Legislativo, avenida Congreso de la Unión 66, edificio E, cuarto nivel, colonia El Parque, delegación Venustiano Carranza, CP 15969. Teléfonos: 5036-0000, extensiones 54039 y 54044. **Página electrónica:** <http://cronica.diputados.gob.mx>