

# *Análisis descriptivo de la distribución del tamaño de gota y su relación con la nubosidad, tipo de lluvia y reflectividad en el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG).*

*Cervantes García Carlos Daniel*<sup>1</sup>

*Asesor: Ortiz Bañuelos Alma Delia*<sup>2</sup>

*Departamento de Física, CUCEI, Universidad de Guadalajara  
Blvd. Marcelino García Barragán 1421, Col. Olímpica, Guadalajara Jal., C. P. 44430, México  
cdaniel.cervantes@alumnos.udg.mx<sup>1</sup> alma.ortiz@academicos.udg.mx<sup>2</sup>*

---

## **Resumen**

Las características de la lluvia varían dependiendo del lugar geográfico, latitud y de la estación del año en la que nos encontramos. Trabajos anteriores sugieren que el estudio de la distribución del tamaño de gota puede llevar a un mejoramiento sustancial de los sistemas de detección y predicción de fenómenos meteorológicos a nivel local. Para lo anterior, existen varios métodos, entre ellos esta el uso de radares meteorológicos polarímetros con los cuales se calcula el tamaño y forma de las gotas o contar con varios disdrómetros que permitan tomar mediciones en distintos puntos del área de estudio y obtener las mediciones de la precipitación de manera automática. En pocos lugares se realiza este estudio debido a que es muy costoso adquirir estas herramientas. Debido a la importancia de dicho estudio y a la falta de esa tecnología, en este trabajo se plantea y realiza una metodología diferente, con otros utensilios, que nos permite medir el diámetro de las gotas que precipitan y conocer su comportamiento temporal, el cual después se relacionó con el tipo de nubosidad que la generó, la intensidad de lluvia y la reflectividad; con el fin de obtener una mejor comprensión de la variabilidad espacio-temporal de la precipitación, de su proceso de formación y desarrollo.

---

## **1. Introducción**

La lluvia es un fenómeno meteorológico que tiene un papel fundamental para la conservación de la vida en la tierra, razón por la cual desde los inicios de las civilizaciones humanas se ha intentado entender sus patrones de comportamiento, debido a su vital importancia para la agricultura y para los procesos de circulación del agua que mantienen el equilibrio en el planeta.

También, este evento atmosférico puede provocar inundaciones o deslaves que ponen en riesgo la vida de las personas, por lo anterior, las ramas de la ciencia que estudian el tiempo y el clima, han prestado especial atención a este fenómeno natural y valiéndose de la tecnología mediante sofisticados sistemas de medición tales como los radares meteorológicos, satélites, radiosondas, estaciones meteorológicas (pluviógrafos o pluviómetros) y los disdrómetros; han aumentado sus conocimientos y con ello han podido aportar soluciones y tomar decisiones para beneficio del ser humano. [3]

Trabajos como el de Emilio Martines (2004) [4], Remko Uijlenhoet (2001) [3], Lainer Felipe (2016) [10] aseguran que el tipo de lluvia varía según la topografía del lugar, fuentes de humedad cercanas, el proceso mediante el cual se forma la nube de lluvia, la estación del año y latitud entre otros. Remko Uijlenhoet (2001) [3] y Ramón Bienes (2011) [7] afirman que el tamaño de gota de lluvia cambia según el tipo de nube y según la evolución de la tormenta.

En la siguiente tabla se muestra una aproximación de los tamaños de las gotas asociadas al tipo de nubosidad en Cataluña, España.

Tipo de nube	Descripción
Nimbostratus, Altostratus	Diámetro de $<0.5$ mm, se presenta en forma pulverizada.
Stratocumulus, Stratus	Continua, regular y con diámetro de sus gotas $>0.5$ mm.
Cumulonimbus	Intensa y en un intervalo de tiempo pequeño. Gotas $>0.5$ mm

Cuadro 1: Variación del tamaño de gota dependiendo del tipo de nube, datos tomados en Palau-solità i Plegamans (Cataluña, España) [9]

Según Olmedo (2017) [12], estos tamaños de gota cambian según el lugar de estudio y según la evolución de la tormenta. Además de otros factores, como el efecto de la gravedad y de procesos microfísicos como son la evaporación que cambia la forma de la distribución de la gota [11].

Otro factor importante que modifica el tamaño de gota es la superficie en la que impactan. Estos múltiples respuestas de las caídas de las gotas ya han sido estudiados y son explicados a través de diversos modelos y simulaciones de computadora como se puede ver en el trabajo de A.L. Yarin (2006) [5].

Todos los aspectos mencionados que hacen que varíe la forma de la gota mientras cae y al impactar, en conjunto hacen que se formen diferentes distribuciones sobre la superficie en donde la gota se depositó. Por lo anterior, la distribución del tamaño de la gota (DTG) nos brinda información relevante acerca del proceso de formación y desarrollo de la precipitación, así como para estimar y mejorar la parametrización de la microfísica en modelos numéricos de nubes [12].

En el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) el comportamiento de la lluvia y su distribución son algunos de los temas poco investigados debido a la falta de instrumentos de medición meteorológica como disdrómetros o radares meteorológicos polarímetros, que permiten medir y calcular el tamaño de la gota, volumen, velocidad de caída y obtener su distribución.

La adquisición de ese equipo tecnológico es muy costosa, por lo que en este trabajo se propone hacer el estudio de la DTG mediante la toma de muestras de gota de lluvia de diferentes tormentas que se presentaron en el AMG. Posteriormente, se calcula el diámetro promedio de todas las gotas depositadas en superficie, se relaciona con el tipo de nubosidad, la intensidad de lluvia y la reflecti-

vidad. Lo anterior con el fin de obtener una mejor comprensión de la variabilidad espacio-temporal de la precipitación, de su proceso de formación y desarrollo.

Esta metodología es muy común en trabajos de estudio de pérdida de suelo en eventos fuertemente erosivos, como es el caso de Ramón Bienes (2011) [7].

## 2. Objetivos

1. Obtener el rango de diámetro del tamaño de gota para los diferentes tipos de nubes mediante en muestreo de las huellas de la precipitación sobre papel hidrosensible y superficies lisas.

2. Identificar una relación entre el comportamiento de la DTG con la relación Reflectividad (Z) e intensidad de lluvia (Rain rate) en el AMG.

## 3. Metodología

### 3.1. Intensidad de lluvia

El pluviómetro es un aparato que colecta el agua de lluvia y mide el nivel del agua estableciendo como base un metro cúbico, así pues, un milímetro de altura equivale a un litro de agua vaciado en un espacio de un metro cubico. Este proceso de medición se repite cada 5 o 10 minutos, depende como haya sido programado.

Dependiendo de la cantidad de milímetros de lluvia que cayo en cierto tiempo, se relaciona con una intensidad de la lluvia. En la tabla 2 se muestra la clasificación de la lluvia dada por la Secretaria de Marina de México (SEMAR).

Intensidad	(mm/h)
Lluvia	Menor de 25 mm
Lluvia Fuertes	Entre 25 y 50 mm
Lluvia Muy Fuertes	Entre 50 y 75 mm
Lluvia Intensas	Entre 75 y 150 mm
Lluvia Torrencial	Entre 150 y 250 mm
Lluvia Extraordinaria	Mayor de 250 mm

Cuadro 2: Clasificación de la lluvia dada por SEMAR, México [19]

Para obtener la intensidad de la lluvia correspondiente a la DTG, se localizó el pluviómetro mas cercano al lugar en donde se tomo la muestra de gotas de lluvia, y se toma la medición más próxima al tiempo en que se registró la precipitación.

### 3.2. Toma de muestras de gotas

En la búsqueda de obtener las medidas de los tamaños promedio de las gotas de lluvia se estableció una metodología que nos permitiera recoger la mayor cantidad de muestras de gotas para posteriormente medirlas.

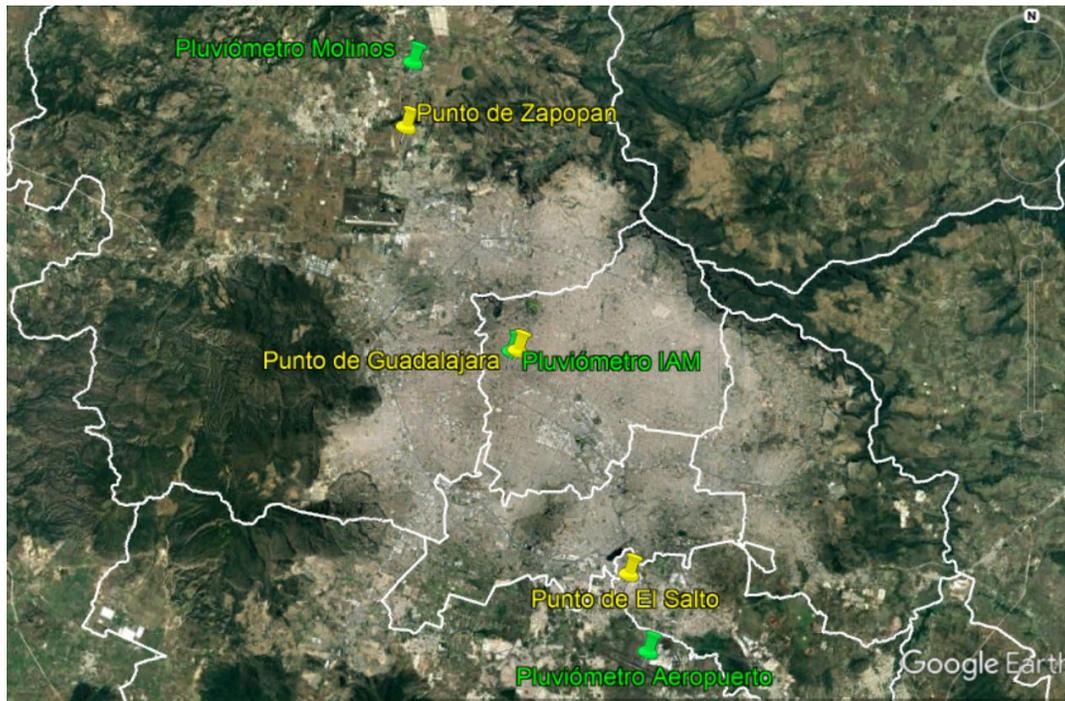


Figura 1: Puntos del AMG; donde se tomaron muestras de distribución de gota de lluvia (chinchetas amarillas) y donde se ubica el pluviómetro más cercano (chinchetas verdes).

En la figura 1 se señalan con chinchetas amarillas los lugares del AMG donde se tomaron las mediciones, es decir en los municipios de Guadalajara, El Salto y Zapopan. También, se indica el lugar donde se encuentra el pluviómetro más cercano (chinchetas verdes. Los instrumentos están dentro de un radio de 5km).

Algunas características que se pueden mencionar de la chincheta ubicada en El Salto es que se encuentra en un lugar poblado y esta cerca de fuentes de humedad (presa de las pintas y canal).

Para la toma de gotas de lluvia, se usó una superficie impermeable, opaca y oscura para dejar caer sobre ella una cantidad de gotas de lluvia escogiendo de manera arbitraria el tiempo de exposición según el tipo de lluvia al que dicha superficie era expuesta. Las características de la superficie son importantes debido a que las superficies impermeables pueden mantener en su superficie las gotas el tiempo necesario para ser fotografiadas, además de al ser una superficie oscura es más sencillo diferenciar en las fotografías cada una de las gotas existentes sobre la superficie.

Los parámetros que se siguieron a la hora de tomar muestras de lluvia variaban dependiendo del tipo de lluvia, para lluvia intensa generalmente no se exponía por más de 5 segundos, en el caso de lluvia moderada a ligera, la exposición era de al menos 10 segundos. Lo que se busca con la exposición es que una buena parte de la superficie expuesta tenga múltiples gotas para realizar un muestreo que nos permita establecer un tamaño promedio de las gotas. Este mismo proceso es realizado una vez cada 10 minutos para coincidir con el muestreo del radar y del pluviómetro más cercano al lugar donde se capturaban las gotas de lluvia.



Figura 2: Experimento, muestra de gotas grandes durante los inicios de una lluvia ligera. Septiembre 2021

Para el tratamiento de la información recolectada, nos apoyamos en la metodología de Olmedo (2017) [12], para poder establecer una relación entre el comportamiento de la DTG con la relación Reflectividad ( $Z$ ) e intensidad de lluvia (Rain rate) en el AMG.

### 3.3. Nubosidad

Se entiende por nubosidad, la fracción de cielo cubierto por nubes, que pueden ser de cualquier género, especie, variedad o altura. Según la altura de la base de las nubes, se puede hacer una clasificación de las mismas en dos grandes grupos; nubes bajas y nubes medias y altas.

La clasificación mencionada en múltiples obras de la literatura son las siguientes:

#### ■ Nubes altas

- **Cirros:** Son nubes blancas que no presentan sombras en su interior, generalmente se presentan como nubes largas y en delgados filamentos. No dan precipitación.
- **Cirrocúmulos:** Es una capa con pliegues delgados y con aspecto de pequeños copos algodonados, también blanca y sin sombras internas. No dan precipitación.
- **Cirrostratos:** Con apariencia de un gran velo, resulta complicado advertir muchos detalles en su estructura. Tienen bordes bien definidos y de una apreciable regularidad, se caracterizan por el halo alrededor del sol o la luna que producen. No dan precipitación.

#### ■ Nubes medias

- **Altostratos:** Estas nubes se ven como delgadas capas con una cierta densidad en algunas partes. Por lo general impiden ver el sol a través de ellas. No dan precipitación.
  - **Altostratos:** Estas nubes se ven como delgadas capas con una cierta densidad en algunas partes. Por lo general impiden ver el sol a través de ellas. No dan precipitación.
- **Nubes bajas:**
- **Nimbostratos:** Se ven como una capa de un color grisáceo que muestra varios niveles de opacidad y, a veces, un aspecto levemente estriado. Suelen aparecer durante Verano y primavera, además de las nevadas invernales. Dan precipitaciones continuas e intermitente.
  - **Estratocúmulos:** Contienen amplias ondulaciones que pueden tener una extensión verdaderamente considerable y diversas intensidades de gris. Genera lluvias ligeras continuas y lloviznas.
  - **Estratos:** Son nubes que parecen un banco de neblina grisácea sin una estructura muy clara. Pueden provocar lloviznas al espesarse mucho.
- **Nubes de desarrollo vertical:**
- **Cúmulos:** Aquellas de grandes dimensiones y sombras bien definidas con una base horizontal y protuberancias verticales en su parte superior que muestran una continua deformación. No dan precipitación.
  - **Cumulonimbos:** Se ven como estructuras altas y tajadas con una cúspide que puede tener un aspecto similar a un hongo. Producen chubascos y tormentas eléctricas.

Todas estas estructuras de nubes se resumen bien en la siguiente imagen:

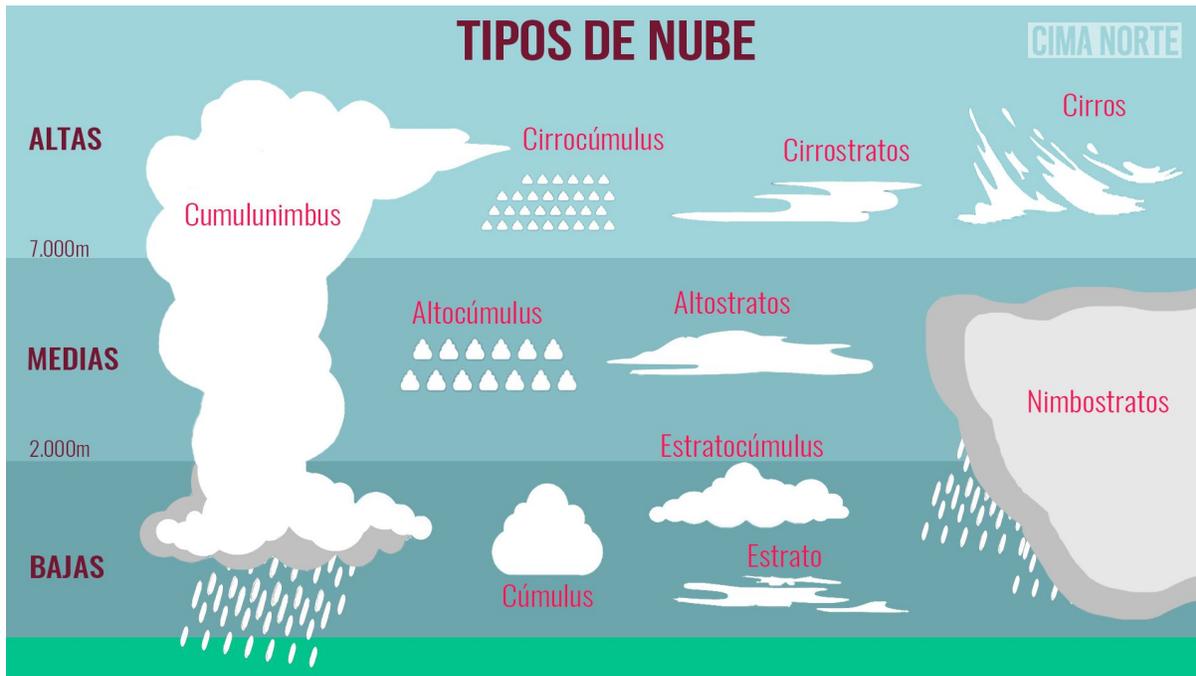


Figura 3: Representación visual de los tipos de nubes (Imagen obtenida de Cima Norte) [17]

Las imágenes de satélite nos ayudan a estimar su temperatura, a monitorear su formación, desarrollo y desplazamiento.

### 3.4. Reflectividad

La reflectividad ( $Z$ ) de un radar es la magnitud que mide la contribución de energía electromagnética en dirección al radar de cada una de los elementos con los que la onda colisiona, por ejemplo, las gotas de lluvia. Se mide en dBZ, donde para el radar doppler del AMG, de -31 a 0 dBZ se detecta ruido (polvo, dispersores biológicos y partículas suspendidas) y de 0 a 75 dBZ precipitación.

El trabajo de Adrián Miro G. (2021) [14], obtuvo la relación entre la reflectividad y la intensidad de lluvia mediante la ecuación

$$Z = 27.381R^{0.2862} \quad (1)$$

Donde,  $Z$  es la reflectividad en dBZ y  $R$  la intensidad de la lluvia en mm/.16h (mm cada 10 minutos)

Con dicha relación Z-R (ecuación 1), podemos obtener una estimación de la intensidad de lluvia con una buena resolución sobre el AMG.

#### 4. Resultados y discusiones

Debido a que aún no termina el temporal de lluvia en el AMG, seguimos en la toma de datos. Los primeros resultados obtenidos por las mediciones que se han hecho, se exponen en la tabla 5 y 6. En ellas se exponen los datos de la tormenta del 13 de septiembre en el AMG, la cual, se debió a la entrada de humedad del Pacífico por la zona de Baja presión frente a las costas de Oaxaca y Guerrero, según el reporte meteorológico dado por el Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara [20].

Los datos de las muestras distribución del tamaño de gota se tomaron en dos puntos del AMG, uno en El Salto Jalisco tabla 5 y el segundo en el municipio de Zapopan tabla 6. En la primera columna de las tablas, se muestra la hora en que se tomó la muestra, en la segunda columna el diámetro promedio que tenían las gotas (DM), en la tercera lo que midió el pluviómetro y en la cuarta lo que midió el radar doppler, también en aquellas que se observó un cambio en el tipo de nube se agregó una columna extra donde se puede ver el momento en el que se pasó de un tipo de nube a otro.

Hora	Diámetro medio ( $m^{-3}$ )	Pluviómetro (Molinos)	Reflectividad (dBZ)
11:13 pm	3.34	0	13 a 18
11:20 pm	1.85	0	No detectó
11:27 pm	1.09	0	13 a 18
11:37 pm	2.09	0	18 a 23
11:47 pm	1.63	0	13 a 18
11:57 pm	1.20	0	18 a 23

Cuadro 3: Mediciones tomadas durante el 6 de Octubre en las coordenadas 20.784899, -103.455797, municipio Zapopan, Jalisco. Nube Cumulonimbus con forma de yunque

Hora	Diámetro medio (DM) ( $m^{-3}$ )	Pluviómetro (Molinos)	Reflectividad (dBZ)
9:53 pm	1.93	0	23 a 28
10:00 pm	1.84	0	23 a 28
10:12 pm	1.87	0	18 a 23
10:36 pm	2.04	0	18 a 23

Cuadro 4: Mediciones tomadas durante el 1 de Octubre en las coordenadas 20.561300, -103.321900, municipio El Salto, Jalisco. Nube Cumulonimbus con forma de yunque

Hora	DM ( $m^{-3}$ )	Pluviómetro (Aeropuerto)	Reflectividad (dBZ)	Tipo de nube
9:00 pm	5.22	sin dato	23 a 28	Estratocumulus
9:10 pm	1.99	moderada	18 a 23	Estratocumulus
9:20 pm	3.32	sin dato	18 a 23	Estratocumulus
9:30 pm	3.44	sin dato	18 a 23	Estratocumulus
9:40 pm	3.23	sin dato	18 a 23	Alto cumulus delgados
9:50 pm	3.23	moderada	18 a 23	Alto cumulus delgados
10:00 pm	6.40	sin dato	23 a 28	Alto cumulus delgados
10:10 pm	2.87	sin dato	18 a 23	Alto cumulus delgados
10:20 pm	2.61	sin dato	18 a 23	Alto cumulus delgados

Cuadro 5: Mediciones tomadas durante el 13 de septiembre en las coordenadas 20.561300, -103.321900, municipio El Salto, Jalisco.

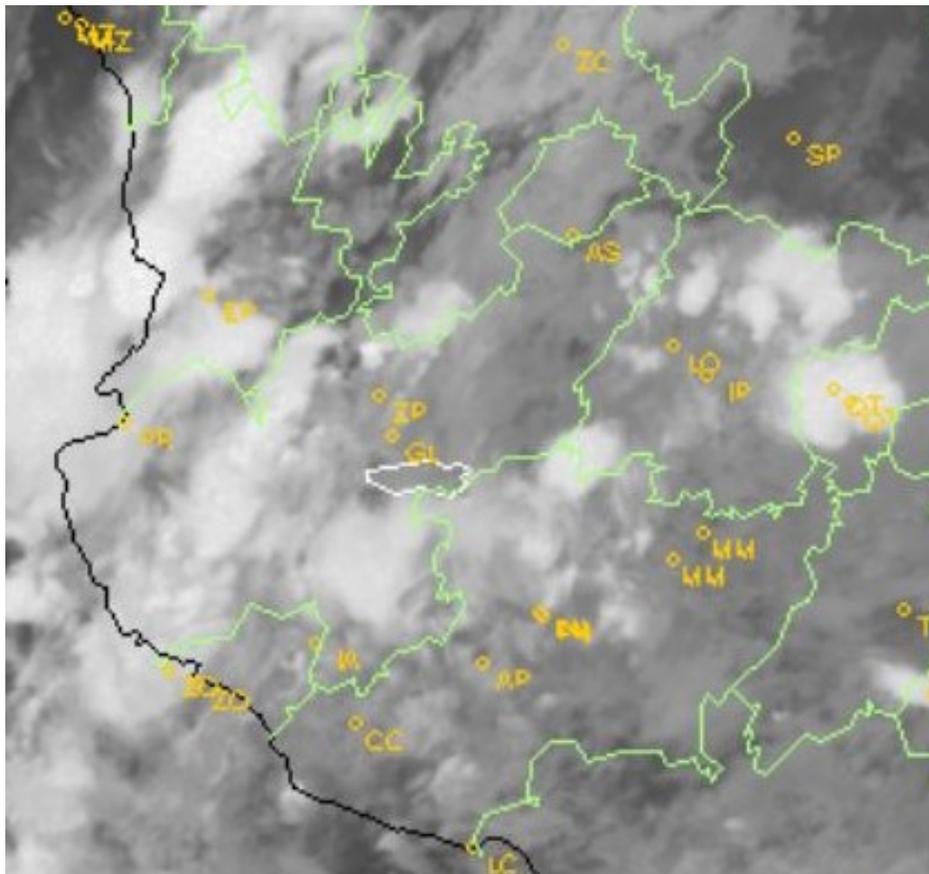


Figura 4: Imagen de satélite, infrarrojo onda corta, banda 7. Corresponde al día 13 de septiembre del 2021 a las 9:16pm. Muestra nubes bajas no convectivas sobre el AMG. Fuente: Weather NASA

Hora	DM ( $m^{-3}$ )	Pluviometro (Molinos)	Reflectividad (dBZ)
9:00 pm	3.05±0.05	0.00	18 a 23
9:50 pm	3.29±0.05	0.00	18 a 23
10:00 pm	2.76±0.05	0.00	18 a 23
10:10 pm	2.38±0.05	0.00	18 a 23

Cuadro 6: Mediciones tomadas durante el 13 de septiembre en las coordenadas 20.784918, -103.455786, el salto de tiempo de 9:00 a 9:50 fue tiempo sin lluvia registrada en la zona, datos del pluviómetro "Molinos" muestran el Rain Rate, municipio Zapopan Jalisco. Nubes estratocumulus.

En la tabla 5, se observa que el diámetro de la gota era pequeño cuando empieza a llover y después fue aumentando su tamaño hasta llegar a un máximo y después a disminuir. Los datos del pluviómetro tienen una diferencia entre el pluviómetro Molinos y el del aeropuerto dado que el pluviómetro del aeropuerto usa texto en lugar de números, por el contrario, los datos tomados por el que está ubicado en la región conocida como "Los Molinos" da una cifra exacta para el Rain Rate".

Durante una de las mediciones se puede ver en la columna 2, un diámetro de gota de .64cm, acompañado de un aumento de reflectividad (columna 4). Desafortunadamente el pluviómetro del Aeropuerto reporta medición cada 40 minutos por lo que ni fue posible saber si registró un aumento de intensidad en la lluvia.

Esto ocurrió a mitad de la tormenta, y puede ser que se presente con regularidad, pero para poder corroborarlo se necesita analizar más mediciones y realizar más experimentos por un periodo más grande de tiempo.

Según los valores de diámetro de gota de la tabla 6, al empezar la tormenta se registraron gotas un poco más grandes, mientras la lluvia continuaba se estabilizó a un tamaño más pequeño. El tamaño de gotas que se obtuvo en ambas distribuciones es similar, menor a .64cm. Se puede observar que el Rain Rate es en todo momento de 0.00, esto puede ser explicado debido a que los lugares donde se realizó el muestreo están separados por unos 10 kilómetros.

Hora	DM ( $m^{-3}$ )	Pluviómetro (del Aeropuerto)	Reflectividad (dBZ)
3:18 pm	20.37±0.05	sin dato	48 a 53
3:21 pm	9.50±0.05	sin dato	43 a 48
3:26 pm	3.99±0.05	sin dato	23 a 28
3:28 pm	9.20±0.05	sin dato	48 a 53

Cuadro 7: Mediciones tomadas durante el 27 de Septiembre, lluvia fuerte detectada en las coordenadas 20.561300, -103.321900, municipio El Salto, Jalisco. Nube Cumulonimbus

Hora	Diámetro medio ( $m^{-3}$ )	Pluviómetro (IAM)	Reflectividad (dBZ)
6:10 pm	10.62	0	38 a 43
6:20 pm	1.35	0	23 a 28
6:25 pm	10.12	0	23 a 28
6:29 pm	1.13	32.8	23 a 28
7:00 pm	2.02	8.4	18 a 23
7:10 pm	4.88	8.4	23 a 28

Cuadro 8: Mediciones tomadas durante el 24 de Septiembre en el IAM, municipio Zapopan, Jalisco. Nubes Convectivas

Estas dos tablas (7 y 8) fueron tomadas para una lluvia intensa, los datos para la tabla 7 fueron tomados en intervalos de tiempo más cortos de acuerdo a cómo se observaba la variación del tamaño de las gotas. El pluviómetro más cercano al medir datos cada 40 minutos no nos pudo proporcionar información.

## 5. Conclusiones

Los resultados hasta ahora obtenidos muestran un comportamiento coherente con lo que esperábamos obtener según la bibliografía Olmedo (2017) [12] y Ramón (2011) [7].

Aunque, se seguirán analizando más eventos de lluvia los próximos meses, es importante mencionar se requiere que el estudio dure algunos años con múltiples muestreos de todas las lluvias posibles en puntos cercanos a los pluviómetros de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) para poder hacer un estudio completo que permita establecer patrones de comportamiento locales para un mejor entendimiento del tiempo dentro de la ZMG.

Se espera que esta clase de estudios sean llevados a cabo para establecer una mejor clasificación de lluvia, lo cual es algo indispensable para futuros análisis.

Además, es importante hacer estudios de la lluvia en diferentes estaciones del año puesto que múltiples estudios y resultados empíricos, tal como es mencionado por Remko (2001) [3] muestran que existen varias características para cada estación del año que pueden ser caracterizadas a través de las relaciones Z-R.

## Referencias

- [1] Ross Gunn and Gilbert D. Kinzer, 1949, the terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air, U.S. Weather Bureau.
- [2] Kessler, 1969, on the distribution and continuity of water substance in atmospheric circulations, Meteorological Monographs.
- [3] Remko Uijlenhoet, 2001, raindrop size distributions and radar reflectivity-rain rate relationships for radar hydrology, Wageningen University and Research Centre.
- [4] Emilio Martínez Ibarra, 2004, aportaciones para el análisis de un clima local: variación estacional de los estados del cielo en Benidorm, Universidad de Alicante.
- [5] A.L. Yarin, 2006, Drop Impact Dynamics: Splashing, Spreading, Receding, Bouncing... Faculty of Mechanical Engineering, Technion-Israel Institute of Technology.
- [6] Alexander José Kaune Schmidt, 2010, Análisis de requerimientos, diseño y construcción de un simulador de lluvia a nivel de laboratorio, para la cuantificación de propiedades física-erosivas de gotas, Universidad de Costa Rica.
- [7] Ramón Bienes et al. 2011, Distribución del tamaño de gota de una lluvia natural y su energía cinética, Departamento de Investigación Medioambiental, IMIDRA. Universidad de Alcalá, Edificio de Ciencias. 28871 Alcalá de Henares, Madrid (España).
- [8] Antonio Jesús García Conde, 2013, Análisis de distribuciones estadísticas alternativas a las tradicionales para la optimación de los caudales de cálculo empleados en los estudios hidrológicos, Universidad de Extremadura.
- [9] Canal Tiempo 21, 2015, Curso de meteorología, Palau-solità i Plegamans (España). Capítulo 4: "La lluvia".
- [10] Lainer Felipe D. V., 2016, Cinemática de formación de lluvia: Funciones de autoconversión de Kessler, UNAM, Centro de ciencias de la Atmosfera.
- [11] Arlene Laing, 2016, Introducción a la meteorología tropical, National Center for atmospheric Research.
- [12] Olmedo Xavier Pauta Luna, 2017, Identificación del comportamiento temporal de la precipitación para la distribución de tamaño de gotas (DSD) con la relación reflectividad (Z) - Rango de lluvia (R), en el páramo de la microcuenca del Zhurucay. Universidad de Cuenca (Ecuador).
- [13] Mar Redondo, ¿Cómo medimos la lluvia? ¿Cuándo la consideramos torrencial? , Meteored, 2020.
- [14] Adrián Miro Gónzales, 2021, Relación Z-R para el radar doppler ubicado en el área metropolitana de Guadalajara. Universidad de Guadalajara.

### 5.1. Referencias WEB

- [15] <https://www.canaltiempo21.com/capitulo-4-la-lluvia/>
- [16] <https://www.tiempo.com/noticias/ciencia/como-medimos-la-lluvia-la-importancia-de-la-intensidad.html>
- [17] <https://cimanorte.com/meteorologia-de-montana-tipos-nubes/>
- [18] <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/coalescencia>
- [19] [https://meteorologia.semar.gob.mx/LLUVIA\\_SEMAR.pdf](https://meteorologia.semar.gob.mx/LLUVIA_SEMAR.pdf)
- [20] <https://twitter.com/RadarDopplerUdG/status/1437777596540928011/photo/2>
- [21] <https://weather.msfc.nasa.gov/GOES/>
- [22] <http://ricabib.cab.cnea.gov.ar/587/1/1MorenoMorrone.pdf>