



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ANÁLISIS DE INHOMOGENEIDADES  
MICROFÍSICAS DE NIEBLA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**FÍSICO**

**P R E S E N T A:**

**JULIÁN ÁVILA JUÁREZ**



**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. FERNANDO GARCÍA GARCÍA  
2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS  
Secretaría General  
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

**DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ**  
Director General  
Dirección General de Administración Escolar  
**Presente**

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

**Análisis de Inhomogeneidades Microfísicas de Niebla**

realizado por **Ávila Juárez Julián** con número de cuenta **4-0700725-3** quien ha decidido titularse mediante la opción de tesis en la licenciatura en **Física**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Dr. Fermín Alberto Viniegra Heberlein

Propietario M. en C. Manuel René Garduño López

Propietario Tutor Dr. Fernando García García

Suplente Dr. Juan Matías Méndez Pérez

Suplente Dr. Ernesto Dos Santos Caetano Neto

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU ”

Ciudad Universitaria, D. F., a 12 de marzo de 2013

EL JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

MAG/mdm

## **AGRADECIMIENTOS**

Debo reconocer, humildemente, que esta tesis no habría podido llegar a existir de no haber sido por el apoyo constante e infatigable de mis padres. A ellos queda dedicado este trabajo.

Además, agradezco a René Garduño López y Fernando García-García, tutores que han impreso una huella en mi formación, que me acompañará para siempre.

Finalmente están todos esos profesores, colegas, amigos y familiares que de una u otra forma han contribuido en mi formación, a todos ellos, gracias.

# ÍNDICE

## INTRODUCCIÓN HISTÓRICA 1

### Capítulo 1

#### FORMACIÓN DE NIEBLA

1.1 – Clasificación de la Niebla.	4
1.2 – Mecanismos de Formación de Niebla.	5
1.3 – Estructura Microfísica de la Niebla.	7
1.3.1 – Espectro de Tamaño de Gotas.	7
1.3.2 – Contenido de Agua Líquida.	7

### Capítulo 2

#### METODOLOGÍAS

2.1 – Sobre la Metodología para la Adquisición de los Datos.	9
2.1.1 – Introducción.	9
2.1.2 – Lugares de Muestreo.	11
2.2 - Sobre el Método de Análisis de los Datos.	13
2.2.1 – Introducción.	13
2.2.2 – Prueba Fishing ( $F$ ).	14
2.2.3 – Comportamiento de la prueba $F$ .	16
2.3 – Código Fuente.	18

### Capítulo 3

#### ANÁLISIS DE DATOS

3.1. Caso Teziutlán.	23
3.2. Caso Tuxtla.	26

### Capítulo IV

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	30
--------------------------	----

## APÉNDICES

AI. Distribución de Poisson.	36
AII. Algunos instrumentos utilizados en la actualidad para la medición de la concentración de gotas y algunas otras variables microfísicas.	37
AIII. Código en <i>C</i> para implementar la prueba Fishing.	41
AIV. Código en <i>Python</i> para implementar el sembrado de clusters.	47
AV. Complemento del análisis de datos.	49

## INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

A continuación se hace una breve introducción histórica con la finalidad de ubicar el presente trabajo en el contexto de la serie de investigaciones que sobre el tema se han realizado.

No obstante los avances que la Física de Nubes ha experimentado a partir de la Segunda Guerra Mundial, con la incorporación de satélites meteorológicos, aviones instrumentados, radares, etc., ésta sigue abocada a la solución de problemas abiertos relacionados con la dificultad de incorporar los fenómenos microfísicos al complejo sistema de las nubes naturales.

Uno de los problemas actuales de la Física de Nubes es el de la inhomogeneidad en la distribución espacial de las gotitas de las nubes. La existencia de variaciones en la concentración de las gotitas se conoce desde hace más de cincuenta años (Squires, 1958). Además, se ha observado que las variaciones ocurren en cualquier dirección espacial (vertical u horizontal) y pueden presentarse no sólo en la concentración de gotitas, sino también en otros parámetros microfísicos como el contenido de agua líquida.

El rango de escalas en que ocurren las inhomogeneidades en una nube es bastante amplio y es en virtud de la magnitud de la longitud que presentan estas que puede tener alguna implicación. Por ejemplo, las inhomogeneidades a escalas de cientos o incluso miles de metros son importantes en procesos de transferencia radiativa y sus efectos en el enfriamiento o calentamiento de la atmósfera (Slingo, 1990). A escalas de metros, las inhomogeneidades están relacionadas con procesos tales como fluctuaciones turbulentas de la velocidad vertical de la base de la nube (Cooper, 1989). Finalmente, la ocurrencia de inhomogeneidades a escalas tan pequeñas como centímetros e incluso milímetros puede ser determinante en los procesos de formación y crecimiento de una nube, es decir, de condensación y colisión-coalescencia (Warner, 1969).

Podemos considerar una región de aire, delimitada por paredes imaginarias, como el sistema físico a investigar (en adelante referida como parcela de aire). El fenómeno de entrada de aire seco, y su subsecuente mezcla con el aire húmedo disponible en una nube o parcela, ha sido estudiado mediante la interpretación de los espectros de gotitas medidos en nubes *cumulus* (Paluch y Knight, 1984). Además, Srivastava (1989) demostró que el crecimiento de una gotita por condensación depende de su posición y velocidad de crecimiento con respecto a otras gotitas en la nube.

Sumado a esto, existe también un fuerte interés por determinar y describir la existencia de inhomogeneidades a escalas de metros y decenas de metros en proyectos de colección de niebla en regiones con baja disponibilidad de agua.

Con todo esto, en el estudio de las inhomogeneidades se ha sabido aprovechar no sólo los avances tecnológicos en la observación de espectros de gotitas (ver apéndice AII), siendo posible en la actualidad estudiar con cuidado la pequeña escala de las nubes, sino también la existencia de métodos estadísticos capaces de caracterizar las variaciones de las concentraciones de las gotitas en las nubes.

En cuanto a los métodos estadísticos empleados para estudiar la estructura de las nubes, los orígenes pueden rastrearse hacia principios de la década de 1980. Preining (1983), en sus investigaciones sobre el aerosol atmosférico, estudió la distribución de partículas en una cierta región del espacio y la comparó con otra, ideal, donde estuvieran ubicadas de forma completamente aleatoria. En su trabajo, el análisis fue realizado de forma visual, en papel cuadrículado. Poco después, Austin et al. (1985) utilizaron una distribución de Poisson como su distribución ideal para analizar las concentraciones de gotitas, con resoluciones de 2 metros. Su análisis estaba basado en la prueba estadística Fishing ( $F$ ). Un año después, Baumgardner (1986) describió el empleo del FSSP (ver sección 2.1.1) para el análisis de la colección y el tiempo de arribo de las gotitas, y a finales de esa década, utilizó esta misma técnica para estimar tasas de concentración local de gotitas (Paluch y Baumgardner, 1989).

Brenguier (1990) definió una cantidad llamada “tasa local de gotitas” y analizó datos obtenidos con el FSSP. Brenguier fue capaz de encontrar “altas” o “bajas” concentraciones de gotitas, indicando alguna inhomogeneidad en la nube. Con todo esto, Baker (1992) realizó un trabajo cuyas ventajas, sostiene, son: 1) mejor resolución espacial; 2) un análisis estadístico más robusto (empleando la prueba estadística Fishing); y 3) información acerca del tamaño de las inhomogeneidades. A partir de Baker (1992), han sido varias las técnicas estadísticas que se han empleado para estudiar este problema, como son: la de *Clustering Index* (Chaumant y Brenguier, 2001); el análisis fractal de correlación de dimensiones (Grits et. al. 2000; Jakzewski y Malinowski, 2000); y la intensidad del espectro de concentración de gotitas o contenido de agua líquida (Davis et, al 1999; Jeffery 2000; Gerber et. al 2001; Pinsky y Khain, 2001), referida en adelante como PS (Power Spectrum).

Shaw et. al (2002) ofrecieron una prueba matemática de que las principales técnicas estadísticas utilizadas en estos estudios podían relacionarse por medio de la “Función de Correlación de Pares” y



utilizaron esta herramienta estadística para estudiar las inhomogeneidades de nubes. Sin embargo, Baker y Lawson (2010) realizaron una comparación de la sensibilidad de varias herramientas estadísticas para diferentes modelos de nubes sintéticas, concluyendo que las pruebas  $F$  y PS son las más sensibles a las inhomogeneidades.

El presente trabajo se ubica en este contexto y pretende ser una extensión de estos esfuerzos. Para este estudio se han analizado datos de niebla tomados en la sierra norte de Puebla (Teziutlan) y en la Depresión Central de Chiapas (Tuxtla Gutiérrez). Al igual que Baker (1992), implementamos la prueba  $F$  para el análisis de los datos. El objetivo es ubicar y caracterizar, en caso de existir y por medio de la prueba  $F$ , las inhomogeneidades en ambos eventos de niebla.

Esta tesis consta de esta introducción y cuatro capítulos, anexando al final un apéndice con tres secciones.

El primer capítulo aborda de manera breve la definición de niebla y los procesos básicos de formación de ésta.

El segundo capítulo se encarga de presentar las metodologías para la adquisición de los datos y su análisis mediante la prueba estadística Fishing,  $F$ .

El tercer capítulo se enfoca en el análisis y la discusión de los datos.

Finalmente el cuarto capítulo contiene las conclusiones sobre este trabajo y algunas perspectivas de trabajo futuro en esta línea de investigación.

El apéndice incluye los códigos fuentes empleados en el análisis de los datos y un complemento al análisis de los datos.

## CAPÍTULO I

### FORMACIÓN DE NIEBLA

La niebla se define básicamente como un conjunto de partículas de agua suspendidas sobre la superficie de la tierra y que restringe la visibilidad a menos de 1000 metros<sup>1</sup>. En este capítulo se abordan los mecanismos de su formación, así como una clasificación según el proceso de formación y finalmente se describen algunas variables microfísicas que serán de interés en el presente estudio.

#### ***1.1 Clasificación de la niebla.***

La primera clasificación científica de las nubes, de que se tiene noticia, fue hecha por Luke Howard hacia inicios de 1800. Sin embargo, esta clasificación no consideraba la niebla y, por extraño que parezca, una clasificación de la niebla no apareció sino hasta la primera mitad del siglo XX, con el trabajo de Willett (1928), posteriormente ampliado por Byers (1959). En parte, este retraso puede haberse debido a la complicación que surge en la observación y caracterización de la niebla, entre otros aspectos por las fuertes variaciones regionales. Enseguida se enlistan los tipos de niebla más comunes, la mayoría de los cuales son descritos por Willett y Byers:

##### 1. Niebla por advección (mezcla de parcelas de aire)

- Niebla Marina
- Niebla Tropical
- Niebla Continental y de Brisa de Mar
- Niebla de Vapor (“humo ártico”)

##### 2. Niebla por Radiación

- Niebla sobre el Suelo
- Niebla por Alta Inversión

---

1 <http://w1.weather.gov/glossary/index.php?letter=f&quot%253B>

- Niebla por Advección-Radiación
- Niebla por Ascenso
- Niebla de Montaña

### 3. Niebla Frontal

- Pre-frontal (frente caliente)
- Post-frontal (frente frío)
- Paso de frente

### 4. Otras

- Niebla de hielo
- Niebla de nieve

De esta clasificación, al observar las grandes categorías 1 y 2, puede generalizarse y decirse que la niebla por advección ocurre sobre cuerpos de agua o en la costa, mientras que la niebla por radiación ocurre tierra adentro. Enseguida se abordan los mecanismos termodinámicos que conllevan a la formación de cada tipo de niebla.

## ***1.2 Mecanismos de Formación***

A pesar de que podrían enumerarse más de 15 tipos distintos de niebla, sus mecanismos de formación podrían reducirse a tres procesos termodinámicos básicos:

1. Mezcla de parcelas de aire húmedo de diferentes temperaturas;
2. Enfriamiento de aire al punto de rocío;
3. Suministro de vapor de agua al aire;

En cada caso, el tipo de niebla que se forma es por advección, por radiación y frontal, respectivamente.

Para la descripción de los mecanismos de formación, nos apoyaremos en un diagrama de Clausius-Clapeyron (presión de vapor como función de la temperatura, ver Figura 1.1), el cual muestra una curva cóncava que va desde la parte inferior izquierda hasta la parte superior derecha. Esta es la

curva de coexistencia de las fases líquida y gaseosa, y su pendiente viene dada por la relación de Clausius-Clapeyron:

$$\frac{de_s}{dT} = \frac{L_v(T)e_s}{R_v T^2} \quad (1)$$

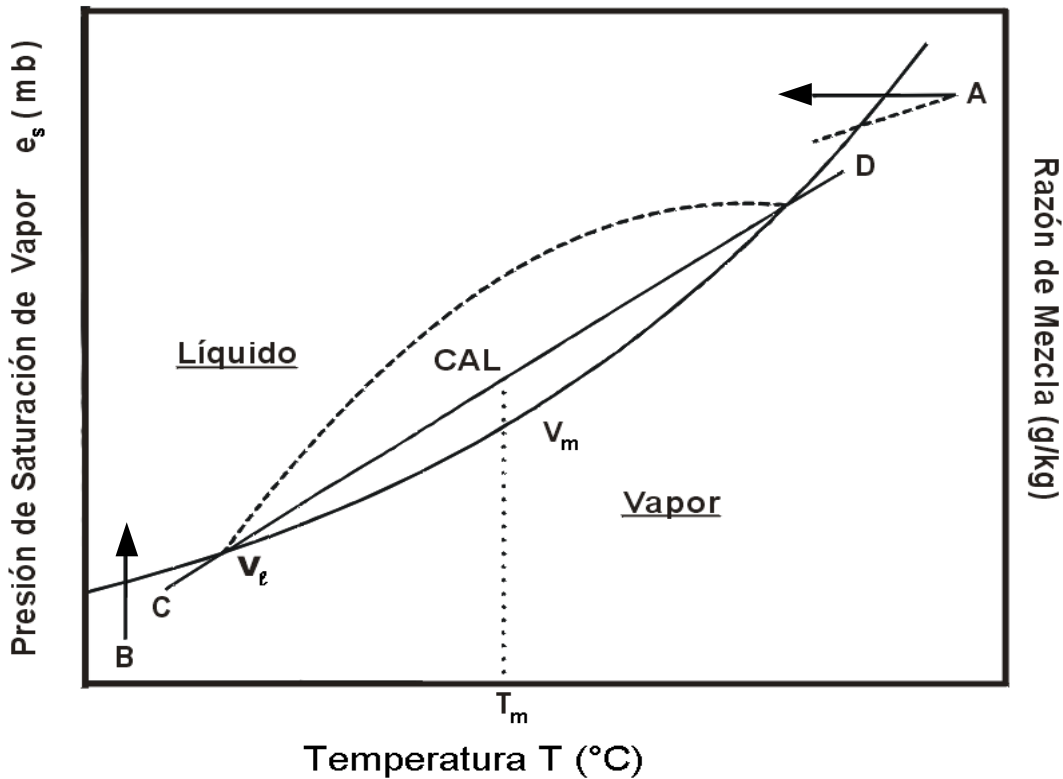


Figura 1.1 Diagrama de Clausius-Clapeyron para explicar procesos de formación de niebla.

En todo caso, lo que queda por encima de la curva de coexistencia se encontrará en fase líquida y lo que quede debajo estará en fase gaseosa.

El mecanismo de formación de niebla por radiación queda ejemplificado en la Figura 1.1 mediante la flecha A (mecanismo isobárico): el enfriamiento a ritmo constante de una parcela de aire se lleva a exceder el punto de rocío. La niebla frontal típicamente se forma por el suministro de vapor procedente de lluvia de capas altas relativamente más húmedas y calientes sobre capas subyacentes más frías y secas. Esto se representa en la Figura 1.1 por medio de una flecha vertical B (mecanismo isotérmico). Finalmente, la niebla por advección (C a D) involucra la mezcla de dos parcelas de aire a diferentes temperaturas. Por citar un ejemplo, puede mencionarse que la niebla que aparece sobre cuerpos de agua ocurre típicamente al pasar una parcela de aire tibio sobre una superficie de agua más

fría y, posteriormente, mezclarse verticalmente hasta saturarse.

### ***1.3 Estructura Microfísica de la Niebla***

En cuanto a la microfísica de la niebla, el primer tratado importante fue el hecho por Taylor (1917), sin embargo, hasta mediados de la década de 1960 muy pocos trabajos se habían publicado acerca de las propiedades microfísicas de la niebla. La situación comenzó a cambiar hacia 1970, cuando varias instituciones de investigación aumentaron considerablemente la comprensión de la estructura microfísica de la niebla.

Enseguida se hace una breve descripción de algunos de los conceptos que tendrán relevancia en este estudio.

#### ***1.3.1 Espectro de Tamaño de Gotas***

Naturalmente, no es posible generalizar acerca del tamaño y número de gotitas en la niebla. Estos espectros dependerán, claramente, del tipo de niebla, su “madurez” y la altitud a la que se forme.

Los tamaños típicos para gotitas de nieblas por radiación y advección son de 10 y 20  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Además, generalmente en estos dos tipos de niebla se encuentra que el contenido de agua líquida es, en promedio, de 110 y 170  $\text{mg}/\text{m}^3$  y la visibilidad horizontal dentro la primera es de unos 100 m y de unos 300 m para la segunda. En cuanto a la concentración de gotitas, en la primera es de unas 200/ $\text{cm}^3$  y en la segunda de unas 40/ $\text{cm}^3$  (Jiusto 1981). Se observa pues, que la niebla generada en costas o en mares tienen gotitas de mayor tamaño que las generadas tierra adentro, sin embargo su concentración es menor.

#### ***1.3.2 Contenido de Agua Líquida***

Otra cantidad de interés en este estudio, y en general en la comprensión microfísica de la niebla, es el contenido de agua líquida.

Esta variable microfísica puede variar entre algunos  $\text{mg/m}^3$  y algunas décimas de gramos por  $\text{m}^3$  dependiendo de las características de la niebla. Un valor máximo puede llegar a ser  $0.3 \text{ g/m}^3$ .

Aunque no existe una relación exacta, se sabe que el contenido de agua líquida es inversamente proporcional al rango de visibilidad (Jiusto 1981).

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍAS

En este capítulo se ofrece una breve descripción del conjunto de métodos que se siguieron en la investigación que se ha condensado en este escrito. Esta descripción incluye una breve reseña de la instrumentación empleada en la adquisición de los datos de niebla, así como una descripción topográfica y climatológica de los lugares donde se hizo el muestreo (sección 2.1). Además, la sección 2.2 contiene una sucinta introducción a la herramienta estadística usada para el análisis de esos mismos datos, a saber, la prueba Fishing,  $F$ , y algunas observaciones acerca del código escrito en  $C$  para la implementación de la prueba mencionada.

#### ***2.1 Sobre la Metodología de la adquisición de los datos.***

##### ***2.1.2 Introducción.***

En la introducción histórica se mencionó el interés sobre el estudio de la estructura de las nubes y los aportes que este conocimiento podría ofrecer a la física de nubes. También se mencionó que esta investigación se realizó analizando series de datos capturados durante eventos de niebla. Ahora se darán los detalles de la forma en que estos datos se obtuvieron.

La medición de partículas es un amplio campo de la física experimental. En estudios donde lo que interesa es analizar alguna población de partículas inmersas en algún fluido (líquido o gaseoso), se intenta obtener la concentración de dichas partículas (por unidad de volumen o de masa), el espectro de diámetros, etc. Para efectuar tales mediciones existe una amplia gama de instrumentos (para una breve descripción de los instrumentos actualmente en uso, ver el apéndice I) que pueden dividirse en dos grandes grupos: integradores y contadores de partículas individuales (SPC, por sus siglas en inglés).

Un integrador puede muestrear simultáneamente un amplio grupo de partículas y mide la suma de las contribuciones de todas las partículas. Por medio de un análisis sobre la dispersión, algunas

características de la población pueden ser obtenidas, como la distribución de tamaños y los índices de refracción.

Un SPC detecta partículas de forma individual y mide directamente sus características.

El equipo utilizado para medir el espectro de gotitas de la niebla analizados en el presente estudio fue el SPC llamado Espectrómetro de Gotas de Dispersión Frontal (FSSP, por sus siglas en inglés), el cual consta de lentes y sensores foto-electrónicos que brindan la resolución espacial necesaria para los fines de la presente investigación.

El espectrómetro se adapta y/o ajusta según los propósitos específicos de la investigación. En el caso del muestreo de niebla, se colocó en una camioneta pick up (García y Montañez, 1989); para el muestreo de nubes, lo usual es colocarlo bajo las alas de un avión.

Para efectuar las mediciones del espectro de gotitas de nieblas, el Departamento de Física de Nubes del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM elaboró un estudio de evaluación de niebla realizado con una pick-up equipada con un FSSP y un 2DC (espectrómetro de arreglo óptico, ver Figura 2.1). Los espectrómetros se colocaron en dirección horizontal al frente y en la parte alta del vehículo; junto con ellos se colocó una pequeña estación portátil para medir la velocidad del viento respecto a los instrumentos y una computadora portátil para almacenar los datos que registra la



Figura 2.1. Fotografía de la camioneta en el lugar de muestreo. El FSSP puede apreciarse montado en la parte frontal superior del vehículo.



estación. En la parte posterior de la camioneta se colocó un Sistema de Adquisición de Datos (DAS por sus siglas en inglés), el equipo de grabación PERTEC con cintas de carrete y un osciloscopio para ver en la pantalla las imágenes de las partículas detectadas por el 2DC. Una planta eléctrica a gasolina, colocada también en la parte posterior de la camioneta, suministró la energía necesaria para la operación de todo el sistema de medición. Con el vehículo equipado de esta manera, se realizaron varias penetraciones en la niebla a velocidades entre 14 y 17 m/s, en trayectos de 1 a 4 km de longitud.

El método de muestreo en movimiento usado en la presente investigación permite realizar penetraciones continuas en la niebla por kilómetros, con una rapidez de flujo constante que produce el movimiento relativo del vehículo respecto al aire. El FSSP se operó en su “modo normal”, como lo recomienda el fabricante, para velocidades menores de 25 m/s, y no se usó ningún dispositivo extra para la medición de partículas.

Respecto al FSSP (Figura 2.2), su sistema óptico está constituido por un láser de He-Ne, un fotodiodo de referencia, dos espejos, algunas lentes colectoras y dos fotodetectores. El proceso de detección puede ser sintetizado como sigue: el haz sale del láser y es desviado a 45° para pasar por una región donde puede encontrar alguna gotita que lo dispersará. El haz dispersado se encuentra con otro prisma que vuelve a desviarlo para hacerlo pasar a través de una serie de lentes colectoras que finalmente lo harán incidir en un prisma divisor de haces hacia el módulo de fotodetección, donde recabará los datos que serán interpretados para determinar el diámetro de las gotas.

El rango de detección del FSSP se encuentra entre 2.5 y 50  $\mu\text{m}$  y tiene una resolución nominal de 3 $\mu\text{m}$ . Los detalles de funcionamiento y operación de dicho instrumento se pueden ver en García y Montañez (1989).

Se hicieron calibraciones y pruebas de laboratorio en la operación óptica y electrónica del FSSP antes y después de coleccionar los datos, siguiendo las sugerencias de Dye y Baumgardner (1984), que incluyen calibraciones estándar de cuentas de vidrio para corregir inconsistencias entre la curva teórica de Mie y la respuesta de los envíos a los canales electrónicos del medidor.

### **2.1.2. Lugares de Muestreo**

México es un país con una gran variedad de climas. Este hecho se ve reflejado dramáticamente en lugares como la Sierra Madre Oriental, cerca del Golfo de México, donde la topografía es tal que el

paisaje pasa de uno de desierto seco a uno de bosque nublado y, nuevamente, a otro de semidesierto en una distancia de sólo 100 km. En los lugares más altos la niebla es común, así como un marcado gradiente en la cantidad de lluvia.

Las mediciones reportadas aquí se realizaron durante eventos de niebla que ocurrieron en dos localidades de la República Mexicana: una en la Sierra Madre Oriental en Puebla, y la otra en la

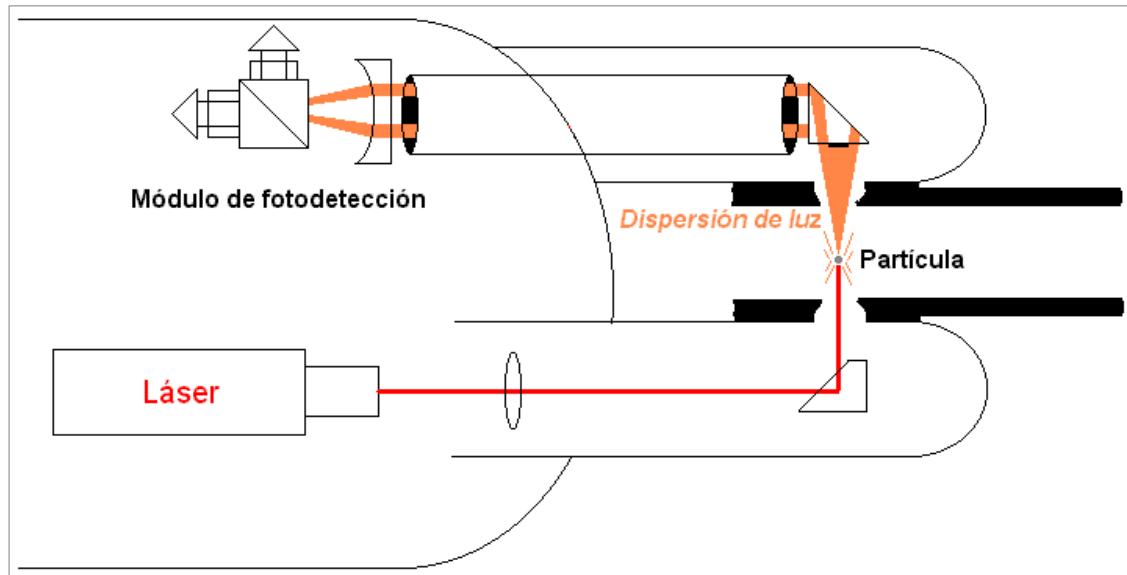


Figura 2.2. Diagrama del sistema óptico del FSSP.

Depresión Central de Chiapas (Figura 2.3), durante los inviernos de 1991 y 1993. Las características meteorológicas generales (sinópticas) de estos lugares han sido descritas por García y Montañez (1991) y García *et al.* (1998). Los datos reportados de las nieblas se asocian con una situación sinóptica típica del invierno conocida como “norte”, que son vientos de componente norte (entre el noroeste y el noreste) que soplan hacia las costas del Golfo de México, donde se encuentran con la Sierra Madre Oriental. Esto da como resultado la entrada de masas de aire frío proveniente de latitudes altas, asociado al paso de un frente frío. Cuando este frente es suficientemente intenso, los vientos cruzan hasta las costas del Pacífico a través del Istmo de Tehuantepec, dando lugar a lo que se conoce como un “tehuantepec”. Las velocidades típicas del viento que se midieron durante el muestreo fueron de 1 a 3 m/s y con temperaturas de 4° a 9° C, respectivamente.

Los vientos provenientes del noroeste, debidos al “norte”, colectan humedad al pasar por el Golfo de México. Después de pasar la planicie de la costa, estos vientos son forzados sobre las laderas del este de la sierra. El ascenso de estas masas de aire húmedo son la causa de frecuentes eventos de

niebla en las zonas altas de esta región a lo largo del año. Este es un caso típico de niebla por ascenso (Byers, 1974) comúnmente acompañada por eventos de llovizna y lluvia durante el verano y los primeros meses del otoño. Registros meteorológicos muestran que en Teziutlán tienen lugar alrededor de 150 días de niebla al año, refiriéndose un día de niebla como un periodo de 24 horas durante las cuales algún observador en alguna estación meteorológica reporta un evento de niebla. Los eventos de niebla en esta región se distribuyen regularmente a lo largo del año mostrando, acaso, un pequeño pico hacia el invierno (García y Zarraluqui, 2008).

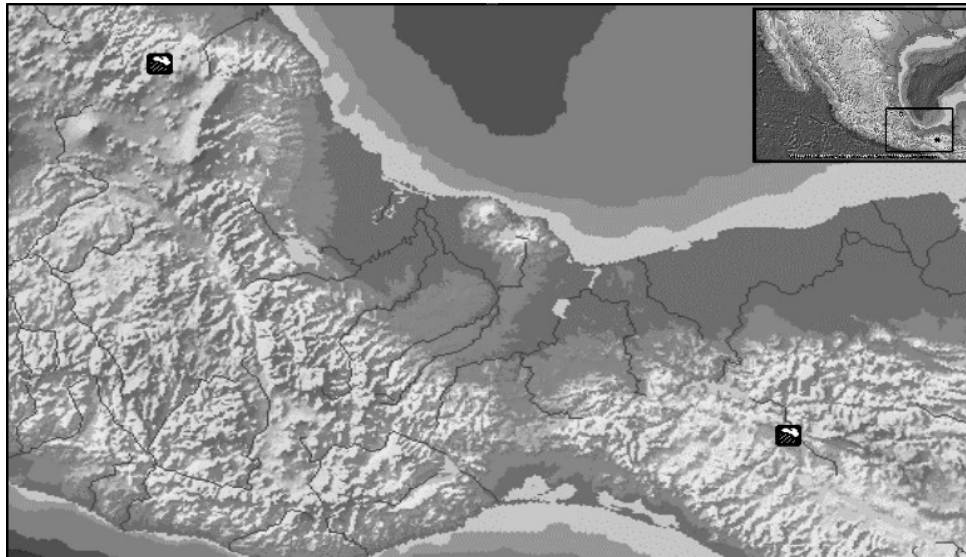


Figura 2.3. Ubicación de los lugares de muestreo.

## **2.2. Sobre el Método de Análisis de Datos**

### **2.2.1. Introducción.**

La presente investigación se centrará en los datos obtenidos con el FSSP sobre el cual es preciso observar que se operó en dos rangos: de 1 a 32  $\mu\text{m}$  y de 2.5 a 70  $\mu\text{m}$  de diámetro nominal; y los datos se registraron con diferente frecuencia, a saber, cada 0.2, 1 o 2 segundos. Cada uno de estos registros representa la suma sobre veinte periodos de igual tamaño del número de cuentas de gotitas al periodo de registro dado. Así pues, es posible extraer los datos con su frecuencia de registro original, es decir, el

número de cuentas cada 0.01, 0.05 o 0.1 segundos. Este esquema de recuperación de datos nos permitió determinar la concentración de gotitas a escalas de 17 cm para el caso de Tuxtla Gutiérrez, mientras que en el caso de Teziutlán hubo que conformarse con una resolución de 70 cm.

Una vez obtenidos los datos, estos quedan grabados en una cinta magnética y se almacenan para procesarlos posteriormente. Este proceso se realiza de dos formas en general, porque el sistema graba la información intercalada de ambos equipos (FSSP y 2DC). La información que genera el FSSP se extrae de la cinta mediante una versión modificada del programa en lenguaje FORTRAN originalmente diseñado para este fin por el Dr. Fernando García-García (García y Montañez, 1991). Este programa crea archivos de datos de salida, para obtener gráficas con alguna herramienta computacional. Estos datos, pues, son los que se analizarán empleando la prueba estadística Fishing para determinar la existencia de inhomogeneidades. Una muestra representativa de los datos obtenidos por el FSSP se presenta en la Figura 2.3, donde se grafica el número de gotitas contra la distancia recorrida.

A continuación se ofrece una breve presentación de la prueba Fishing. El código que se escribió para implementar esta prueba en una computadora se anexa como Apéndice (AIII y AIV).

### **2.2.2. Prueba Fishing (F)**

Como se dijo en la introducción, al investigar la estructura de las nubes se supone que las gotitas están distribuidas en el espacio de forma completamente aleatoria (de forma homogénea), siguiendo una distribución de Poisson.

La prueba *F* es una prueba estadística que ayuda a estudiar el comportamiento de una distribución de datos permitiéndonos determinar si tienen el comportamiento de una distribución tipo Poisson (para una breve descripción de la distribución de Poisson ver Apéndice AII). Esta prueba fue definida por B. Baker (1992) para analizar la distribución de las posiciones de gotitas en una nube.

De los métodos estadísticos empleados para el análisis de la estructura de las nubes, varios tienen en común un término conocido como índice de dispersión (Baker y Lawson, 2010) que podemos escribir como

$$\frac{V_x}{M_x} - 1$$

donde  $V_x$  es la varianza de  $x$  y  $M_x$  es la media de  $x$ . Esta es la base del análisis de varianzas realizado

por la prueba  $F$  y resulta ser un indicador de cómo la distribución analizada se aleja de una de Poisson. Lo que distingue a una prueba estadística de las otras (de las que utilizan el índice de dispersión) es el tipo de normalización. La normalización empleada la prueba  $F$  asegura que esta sea aproximadamente independiente del tamaño de los “compartimentos”.

Esencialmente, la idea de la prueba  $F$  es dividir la serie de datos en conjuntos de compartimentos de diferentes escalas y ver, para cada escala, cómo son las concentraciones de gotitas. Por ejemplo, si se intenta calcular  $F$  para una escala de 3 cm, entonces se parte la serie de datos en compartimentos de 3 cm, y para esa escala se calcula  $F$ .

Operacionalmente, la prueba  $F$  se presenta como

$$F(L) = \left[ \frac{\frac{1}{N-1} \sum (x - \bar{x})^2}{\bar{x}} - 1 \right] \left( \frac{2}{N-1} \right)^{-1/2} \quad (2.1)$$

donde  $L$  es la escala (i.e., el tamaño de los compartimentos) y  $N$  es el número de compartimentos de tamaño  $L$  en que se parte el muestreo total, de modo que mientras más grande sea  $L$  menor será  $N$ , y viceversa.  $x$  es el número de gotitas por compartimento de tamaño  $L$  y definimos

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

como el número promedio de gotitas por compartimento. Obsérvese que  $\bar{x}$  cambia para cada  $L$ . Además, cada suma se hace para los  $N$  compartimentos de tamaño  $L$ .

En este caso (ecuación 2.1), el índice de dispersión aparece en paréntesis cuadrados. Es inmediato ver que  $F$  es toma el valor “0” cuando la distribución es de Poisson (nube homogénea), es decir, cuando la varianza es igual a la media. Fuera de ahí,  $F$  no tiene cotas, su valor absoluto puede crecer indefinidamente (nube con inhomogeneidades).

Como sugiere Baker (1992), la prueba se calcula  $L$  veces (pensando que 1 es la mínima escala), empezando en 1, luego en 2, y así sucesivamente hasta  $L-1$ . De este modo  $F_{ave}$  resulta ser  $F/L$ , donde esta  $F$  es la suma de  $L$  cálculos distintos de  $F$  según la función (2.1). En lo que resta de este trabajo se referirá a  $F_{ave}$  simplemente como  $F$ .

Discusiones acerca de la prueba Fishing y su comparación con otras pruebas estadísticas se pueden encontrar en Baker (1992), Shaw et. al (2002) y Baker y Larsen (2010).

Para probar la sensibilidad de la prueba  $F$  se generaron nubes “sintéticas” con un programa escrito en lenguaje de programación *Python* (ver código fuente en el Apéndice AIV). Enseguida se

muestra y explica el resultado de aplicar la prueba  $F$  a estas nubes sintéticas.

### 2.2.3. Comportamiento de la prueba $F$ .

Las nubes sintéticas que se tratan enseguida tienen como base una nube “homogénea”, es decir, una que se formó generando números aleatorios entre 10 y 20 para una lista de 2000 elementos, suponiendo de este modo que en la posición  $i$  (con  $i$ , un número entero entre 0 y 2000) se midió una cantidad  $x$  de entre 10 y 20 gotitas. Podemos considerar con base en esto, que la mejor resolución es para distancias de 1 unidad. Estos datos simulan, entonces, una nube perfectamente homogénea con cuentas de entre 10 y 20 gotitas sobre una distancia de 2000 veces la menor escala donde, entre las posiciones de las gotitas, no existe ningún tipo de correlación. Para el caso de esta nube homogénea se obtiene lo que se muestra en la Figura 2.5.

De la Figura 2.5 se observa el comportamiento básico de  $F$  para nubes con distribución homogénea completamente aleatoria.  $F$  toma valores negativos a escalas muy pequeñas y crece monótonamente para converger asintóticamente hacia valores de  $F=0$ . Como es de esperar, para escalas muy grandes la distribución de gotitas en la nube es prácticamente homogénea: a grandes escalas la nube pierde las irregularidades.

Para establecer una confianza en la prueba  $F$ , el programa `nube.py` (ver apéndice AIV) nos permite sembrar cúmulos de gotitas (*clusters*) de manera aleatoria. Este programa, al ejecutarse de forma interactiva ofrece dos funciones: `nube` y `cumulo`. La primera función crea la nube homogénea llamada `nube.dat` de la que ya se habló antes. Para sembrar los *clusters* se utilizó la función `cumulo`, en la cual la sintaxis sería “`cumulo('archivo', cuantos, escala, gotas)`” donde *archivo* es el nombre del archivo al que se le sembrarán los *clusters*, *cuantos* es la cantidad de *clusters* a sembrar, *escala* es la escala de los *clusters* que se sembrarán y *gotas* es el número de gotitas que se aumentará a cada *cluster* sembrado. El resultado de evaluar esta función es un archivo `nubeCluster.dat` cuyo contenido es el mismo que el del archivo `nube.dat`, pero con los *clusters* sembrados aleatoriamente en ella. De este modo, cada nube sintética puede caracterizarse por las tres cantidades numéricas que componen la sintaxis de la función `cumulo`. Así, (10,40,5) será una nube con 10 *clusters* de tamaño 40 que tiene 5 gotitas extra en cada una de las 40 unidades del *cluster*.

Así pues, dada la nube base (`nube.dat`), se formó un conjunto de nubes con inhomogeneidades. En primer caso considérese una nube con *clusters* con escala de 10 unidades. La Figura 2.5 muestra tres casos distintos de esta nube. Un caso en que se han sembrado 10 *clusters*, otro caso donde se han sembrado 25 *clusters* y un tercer caso en que se han sembrado 50 *clusters*. En estos tres casos, el número de gotitas se ha aumentado sólo en 5 unidades. En dicha figura se muestra un máximo en cada una de las tres curvas hacia 10 unidades, que es justamente el tamaño de la escala,  $L$ , de los *clusters* sembrados. Estas curvas muestran, además de los máximos, algunas irregularidades que pueden explicarse fácilmente por otros “niveles” de estructura de los *clusters* sembrados. Para entender esto, de la Figura 2.7 [que muestra la nube sintética (50,10,5)] se puede observar que los *clusters* pueden aparecer en grupos e incluso superponerse entre sí (cerca de la posición 400 en la Figura 2.7). Estos agrupamientos, sin embargo, pueden dar lugar a perturbaciones más o menos significativas de la prueba  $F$  dependiendo de la frecuencia de estos “traslapes” (ver la perturbación de  $F$  cerca de la escala de 20 o incluso cerca de 400 para la nube (50,10,5) en la figura 2.6).

Una ligera modificación del caso anterior consiste en aumentar el número de gotitas no a 5 unidades, sino a 15. El resultado (Figura 2.8) muestra la sensibilidad de la magnitud de  $F$  respecto a la desviación del promedio del número de gotitas. Las perturbaciones desaparecen y el valor máximo de  $F$  aumenta.

Las Figuras 2.6 y 2.8 nos dan confianza en la aplicación de la prueba  $F$ . Sin embargo puede ocurrir que una nube contenga *clusters* de más de una escala, estos *clusters* pueden aparecer mezclados en la gráfica para  $F$ , mostrando dos máximos. En la Figura 2.9 se muestra un caso en que la nube “base” ha sido sembrada con *clusters* según dos tipos de nubes sintéticas, el primero caracterizado por (50,10,5) y el segundo por (5,100,3). Estos *clusters* se han sembrado cuidadosamente (realizando una minúscula modificación al código `nube.py`) para evitar traslapes entre *clusters* de la misma escala (pues ya se ha visto que  $F$  es sensible al número de cuentas de modo que un traslape, al multiplicar el número de partículas, elevaría el valor del máximo de  $F$  evitando ver claramente el otro máximo en cuestión). En la Figura 2.10 se muestra la nube resultante de la siembra de estos *clusters*.

Finalmente, vale la pena observar de la forma operacional de la prueba Fishing (ecuación 2.1), que la prueba es sensible a desviaciones del promedio, tanto positivas como negativas, es decir, los máximos de  $F$  pueden referirse no sólo a *clusters* sino a “huecos”.

### 2.3. Código Fuente.

La escritura del código para la implementación de la prueba  $F$  se realizó, primero y por comodidad, en el lenguaje Python, traduciéndolo posteriormente al lenguaje de programación C.

El código fuente final (ver Apéndice AIII) consta de una función principal (*main*) y cinco funciones adicionales: *lineas*, *adquiereArchivo*, *compresos*, *lon*, *suma*. Cada una de estas funciones realiza una tarea específica en el cálculo de  $F$ . A continuación se describe de manera breve y sencilla cada una de estas funciones.

*lineas*. Indica el número de líneas en un archivo dado.

*adquiereArchivo*. De un archivo dado, que consta de una serie de datos en dos columnas, almacena cada una de las columnas como un arreglo de datos en la memoria de la máquina. Un arreglo contendrá la información del número de gotitas y el otro contendrá la información de la distancia (posición en la nube).

*compresos*. Toma el arreglo de datos correspondiente a la cantidad de gotitas y la comprime en un nuevo arreglo cuyas entradas corresponden a cada uno de los compartimentos empleados en la prueba  $F$ .

*lon*. Calcula la longitud de un arreglo dado.

*suma*. Calcula la suma de los elementos de un arreglo dado.



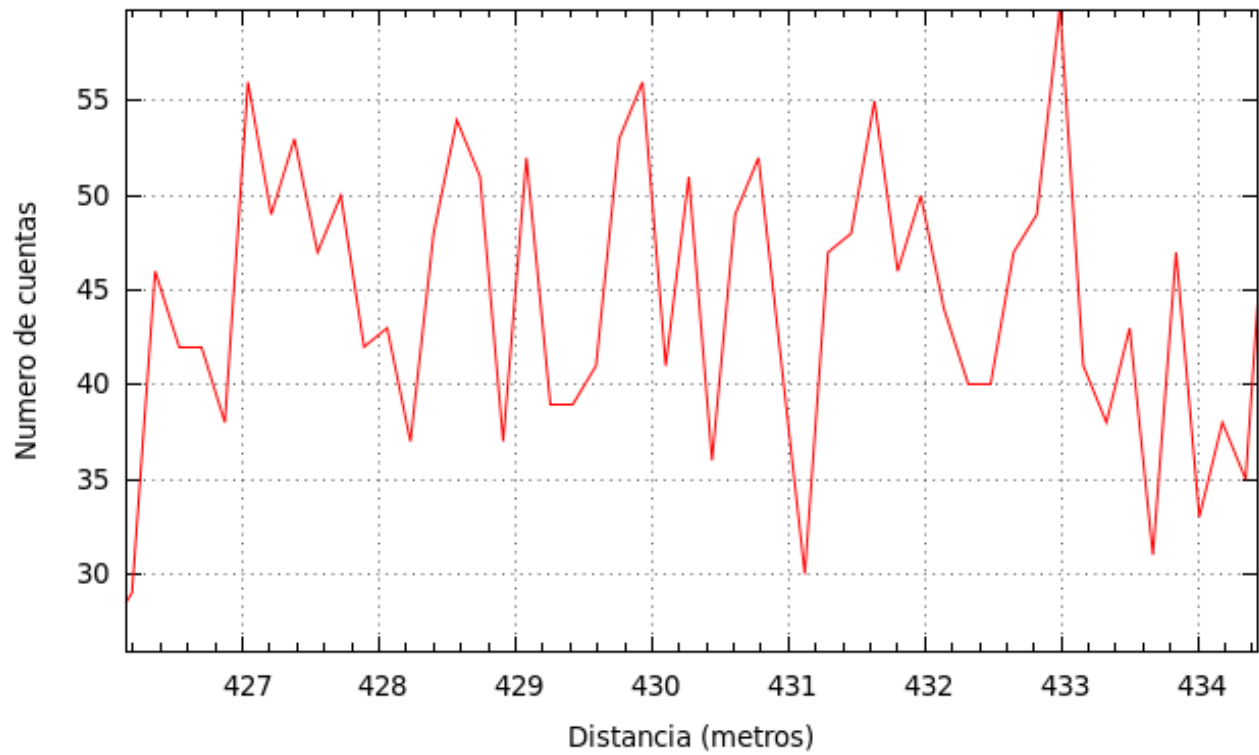


Figura 2.4. Segmento de datos tomados con equipo FSSP, durante un evento de niebla en Tuxtla Gutiérrez.

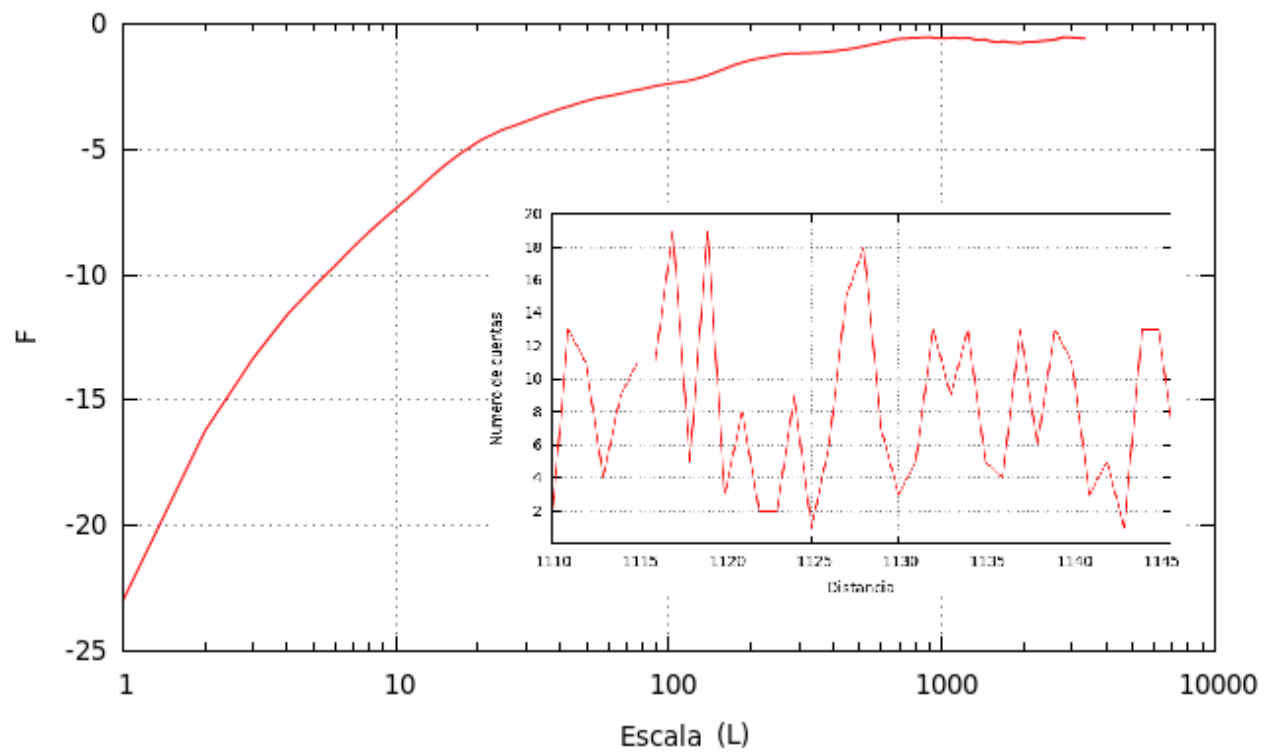


Figura 2.5. Prueba  $F$  para la nube sintética homogénea y miniatura de un segmento típico de la nube sintética.

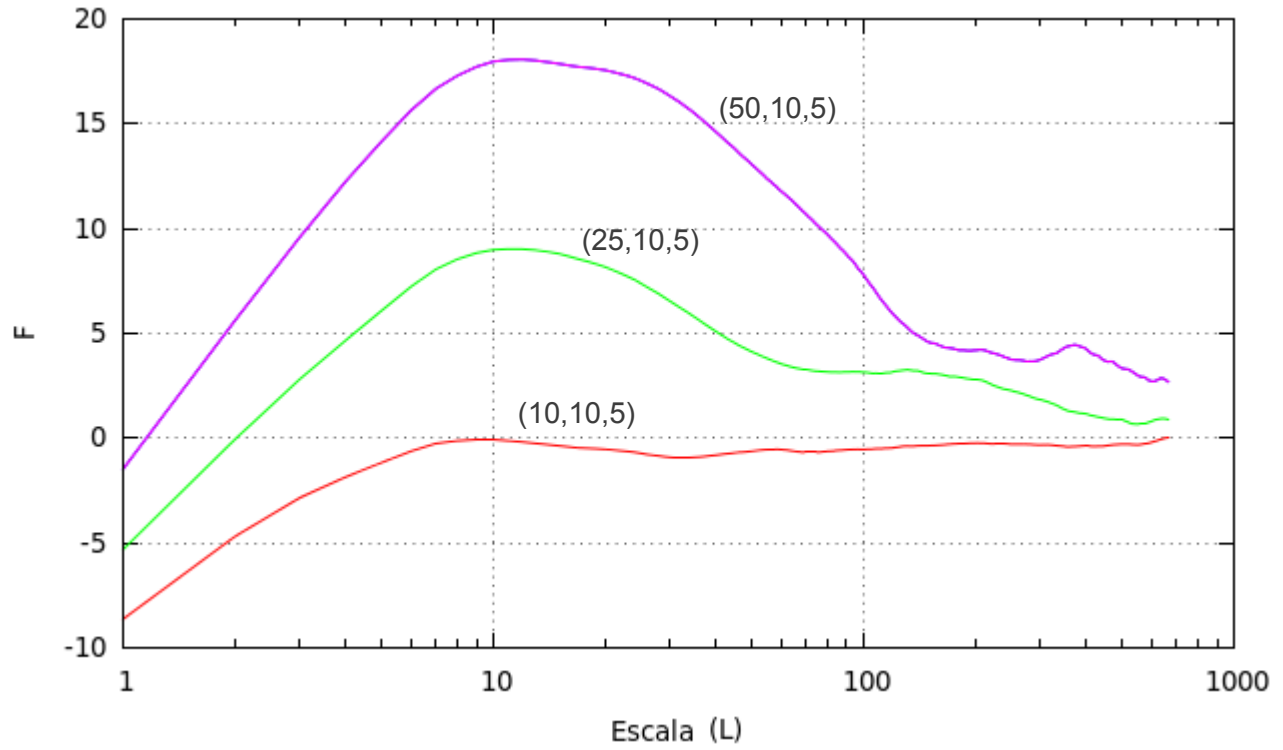


Figura 2.6.  $F$  aplicada a  $(10,10,5)$ ,  $(25,10,5)$  y  $(50,10,5)$ , según se indica.

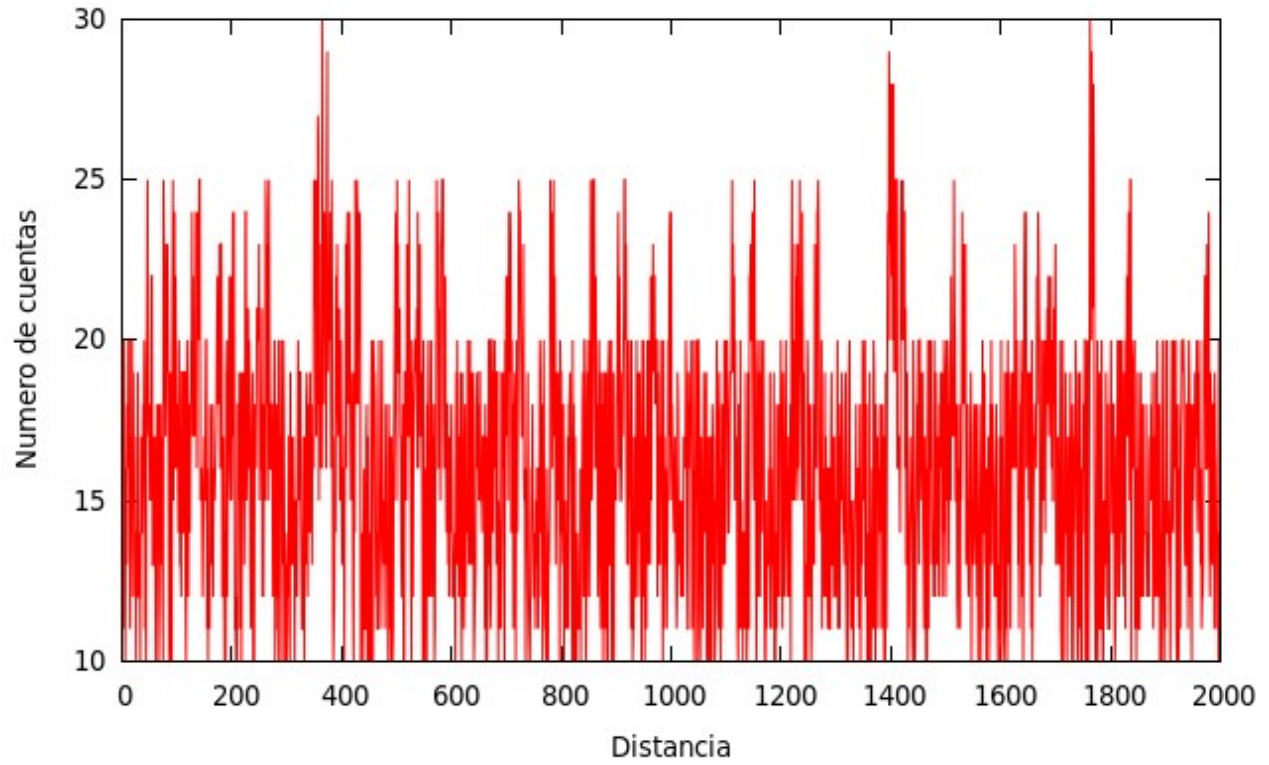


Figura 2.7. Nube sintética  $(50,10,5)$ .

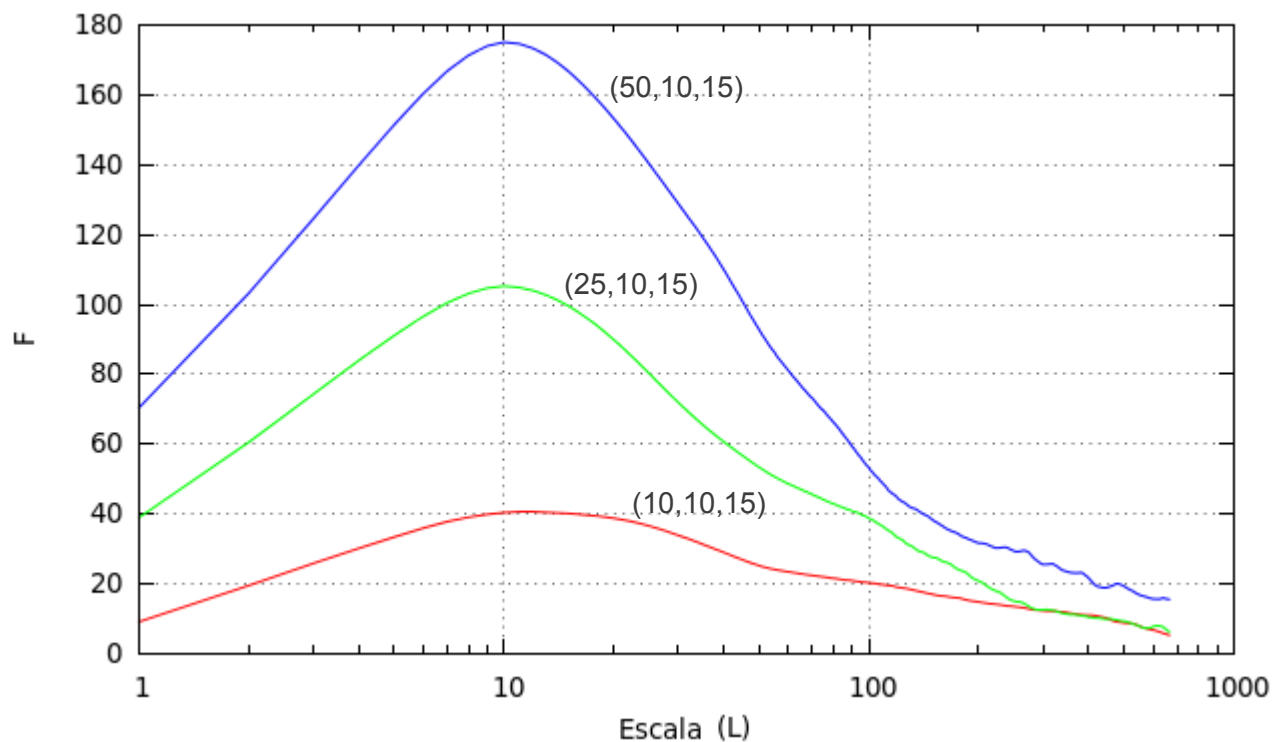


Figura 2.8.  $F$  aplicado a  $(10,10,15)$ ,  $(25,10,15)$  y  $(50,10,15)$  según se indica.

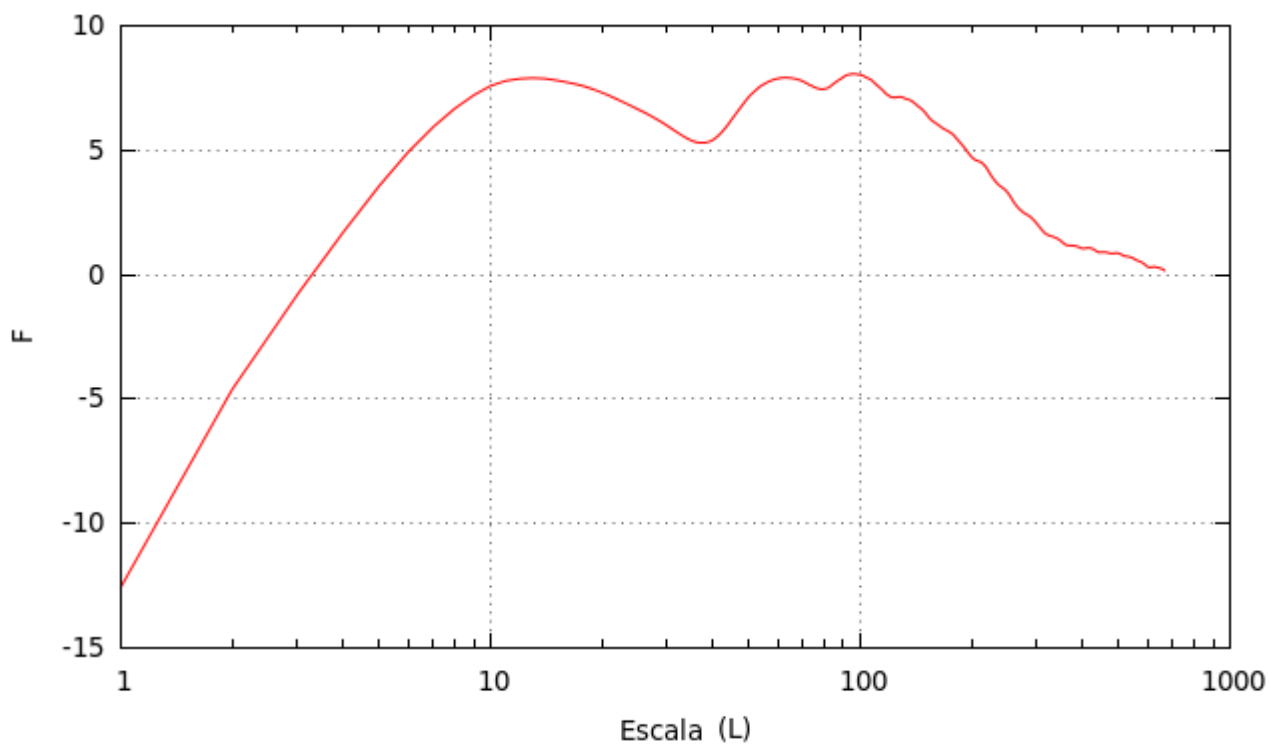


Figura 2.9.  $F$  aplicado a una nube homogénea sembrada con *clusters* caracterizados por  $(50,10,5)$  y  $(5,100,3)$ .

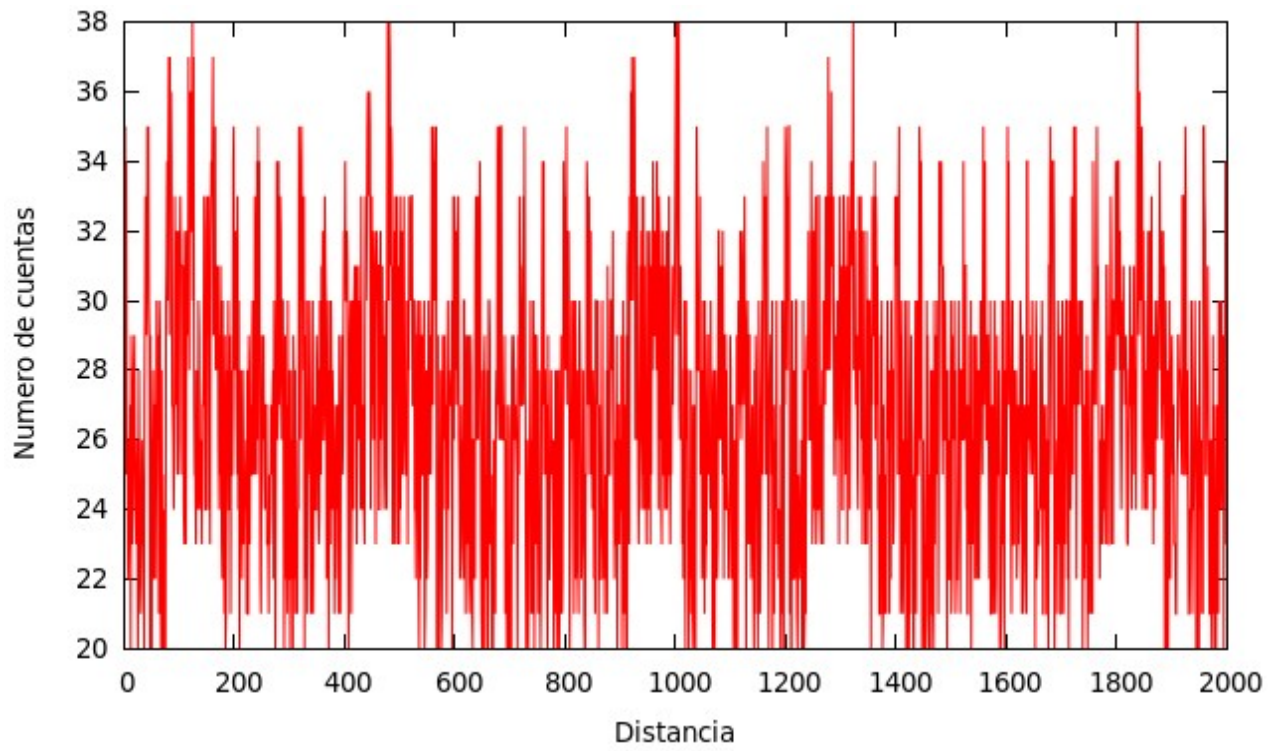


Figura 2.9. Nube homogénea sembrada con *clusters* caracterizados por (50,10,5) y (5,100,3).

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS DE DATOS

En este capítulo se presenta el resultado de aplicar la prueba estadística Fishing  $F$  a los datos extraídos tanto del muestreo realizado en Teziutlán como de aquél que se llevó a cabo en Tuxtla Gutiérrez.

#### **3.1. Caso Teziutlán.**

En la Figura 3.1 se muestran los datos recabados en Teziutlán con fecha del 25 de enero de 1993 a las 19:24 hrs., evento referido en adelante como Tez.24.

Aplicar la prueba Fishing a la totalidad de los datos resulta en un reflejo de las variaciones a gran escala (ver Figura 3.2.d). La prueba  $F$ , dada su naturaleza, describe un máximo en la escala que resulta ser aquella a la que ocurren las inhomogeneidades. En la Figura 3.1 se observan zonas donde el número de gotitas sigue una tendencia con un número promedio de gotitas constante. Estas zonas se han etiquetado como  $A$ ,  $B$  y  $C$ , y se han elegido para el desarrollo de la discusión, sin embargo el resultado de aplicar  $F$  al resto del transecto ofrece resultados similares (Apéndice A3).

Aplicar  $F$  a estas regiones ofrece información sobre las inhomogeneidades que, a escalas más pequeñas, ocurren en estas regiones de la nube. Al estudiar los casos de Teziutlán hay que tener siempre en mente que la mejor resolución que se tiene en ellos es de 0.70 m.

Al aplicar  $F$  al transecto  $A$  se ignoró el “pico” que surge hacia los 120 metros, por ser único y con un valor más alejado del promedio que el resto. En la Figura 3.2.d ( $F$  aplicada al transecto de la nube completa) se ofrecen dos valores donde se identifican máximos: hacia 20 m y hacia 100 m. Al observar la Figura 3.1 vemos que las regiones  $A$ ,  $B$  y  $C$  son precisamente del orden de 100 m, de modo que esta escala es efectivamente una a la que ocurren *clusters*, sin embargo no resulta tan evidente pensar que habrá cúmulos de gotitas a escalas de 10 m. Esta es la información adicional que ofrece la Figura 3.2: estudiar las regiones  $A$ ,  $B$  y  $C$  por separado nos ayuda a entender mejor el primer máximo de la Figura 3.2.d. En la Figura 3.2.a se aprecia un máximo hacia valores cercanos a 3 m; en la Figura 3.2.b se reconoce un máximo hacia 10 m; y la Figura 3.2.c se tiene un máximo hacia 3 y otro hacia 20 m. Los máximos hacia 3 m en relación con el que ocurre en 10 m podrían contrastarse con el hecho de

que, donde ocurren los máximos en 3 m, el número de gotitas es menor que donde ocurre el máximo de 10 m (ver Figura 3.1). Si hay un menor número de gotitas, la escala del cúmulo es más pequeña.

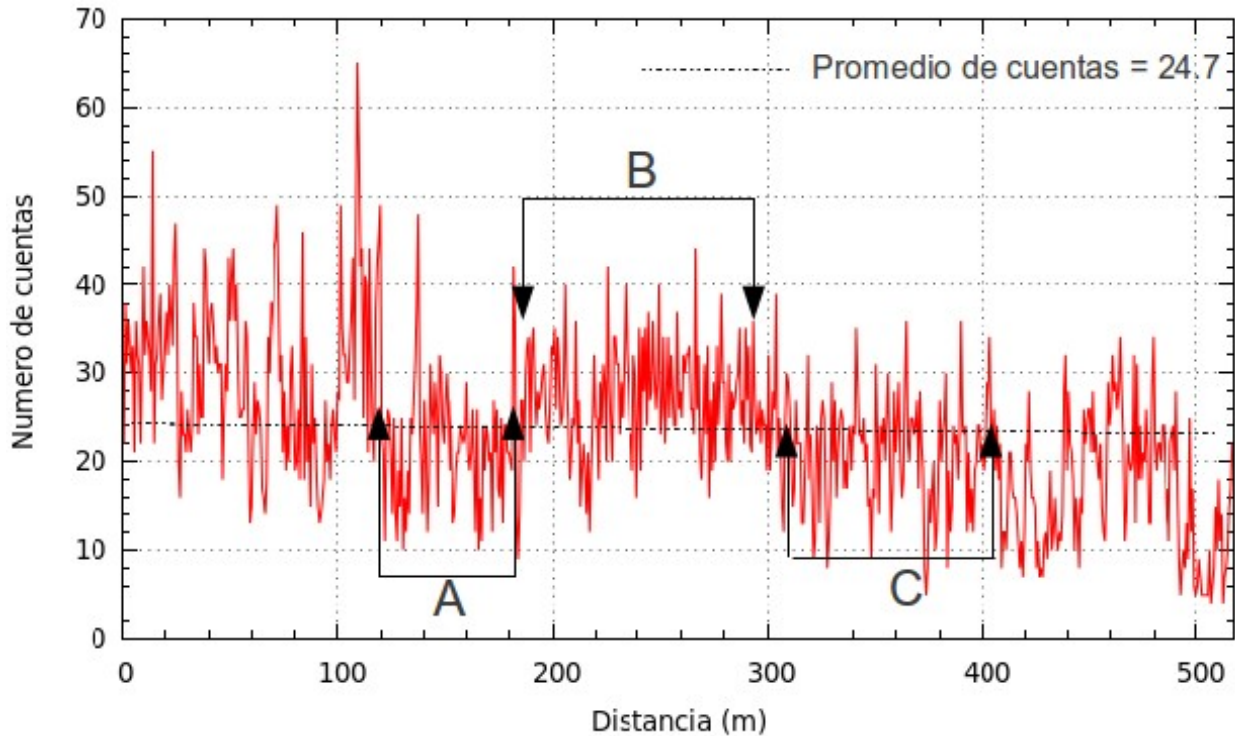


Figura 3.1. Conteo de gotitas de niebla en Tez.24.

El segundo conjunto de datos que se analizó, de los capturados en Teziutlán, es el del mismo 25 de enero de 1993, pero a las 19:34 hrs (referido en adelante como Tez.34). Este caso ofrece un recorrido de casi 4 km a través de la niebla. Un análisis similar al hecho para el caso Tez.24 permite identificar, al menos, un conjunto de regiones que se han etiquetado, convenientemente, de la *A* a la *E* (Figura 3.3). Nuevamente la prueba *F* se ha aplicado a estas secciones y el resultado se muestra en la Figura 3.4.

En la Figura 3.4.f se encuentra el caso de la prueba *F* aplicada a la nube completa. Al observar la Figura 3.3 se puede apreciar una cierta estructura: regiones donde la cantidad promedio de gotitas es mayor que en las demás. Regiones tales son, por ejemplo, aquéllas entre 0 y 500 m, la región *A*, el último segmento de la región *C*, un pequeño fragmento de la región *D*, y la zona que está entre *D* y *E*. Todas estas regiones comparten el hecho de que su extensión es del orden de 100 m. Este hecho se refleja claramente en la Figura 3.4.f, al aplicar *F* a la nube completa. *F* arroja la inhomogeneidad que ocurre hacia la mayor escala. Respecto a los valores que ocurren hacia fracciones de metros, podemos

pensar que son debido a cúmulos de escalas menores que la mejor resolución.

En la figura 3.4, y en orden de (a) a (e), podemos ver máximos en 40, 5, 20, 100, y 15 y 45 m para (e). Estos máximos están bien definidos y con ellos se comprueba de nuevo el hecho observado en el caso anterior. Las menores escalas en que ocurren los cúmulos (Figura 3.4.b) corresponde a la región de la nube con baja concentración de gotitas, mientras que las grandes escalas (Figura 3.4.d y 3.4.e) corresponden con la región con mayor concentración de gotitas.

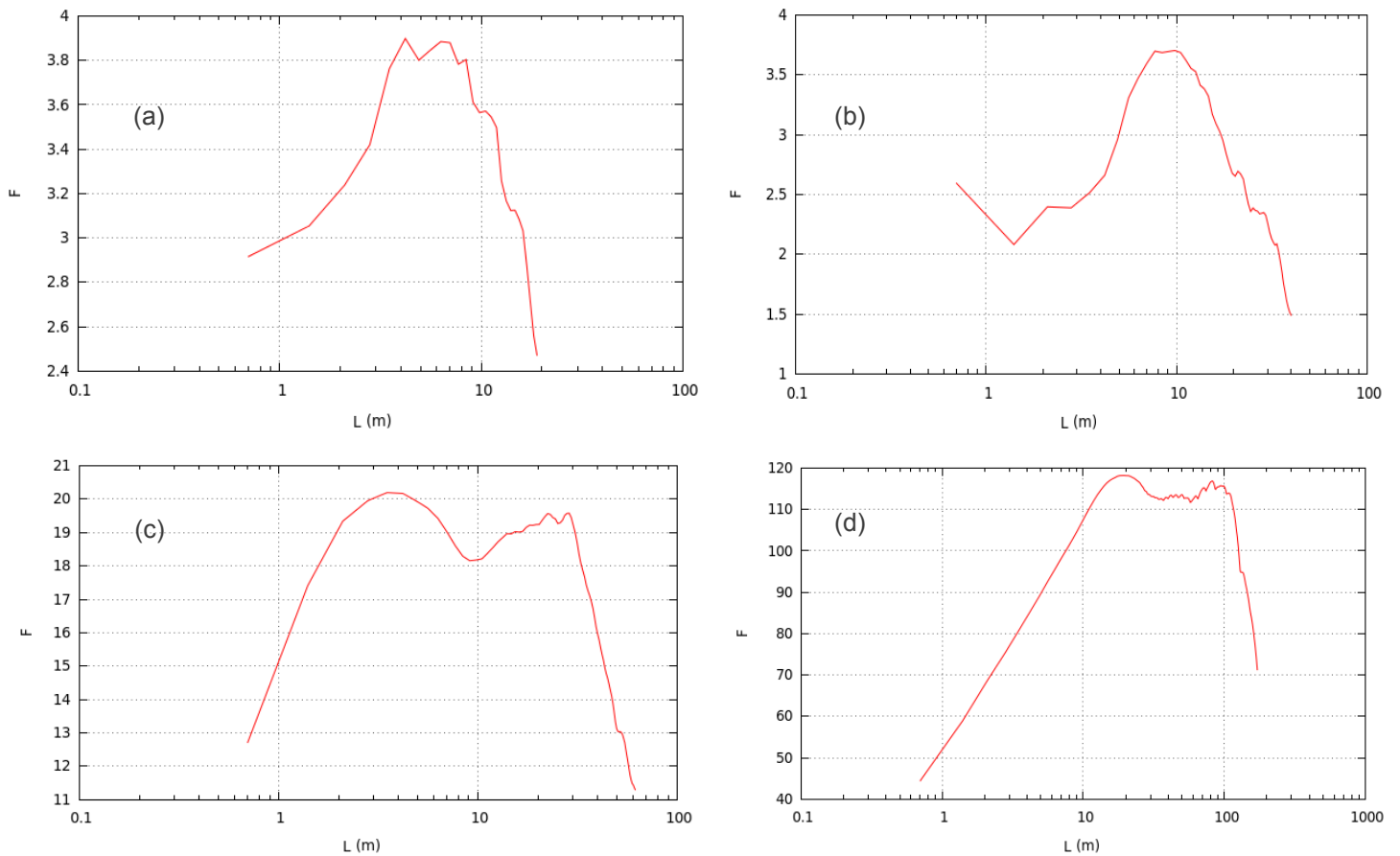


Figura 3.2. F aplicado a las secciones de la A a la C en las figuras (a) a la (c), respectivamente, de Tez.24. La figura d es el resultado de aplicar F a la nube completa.

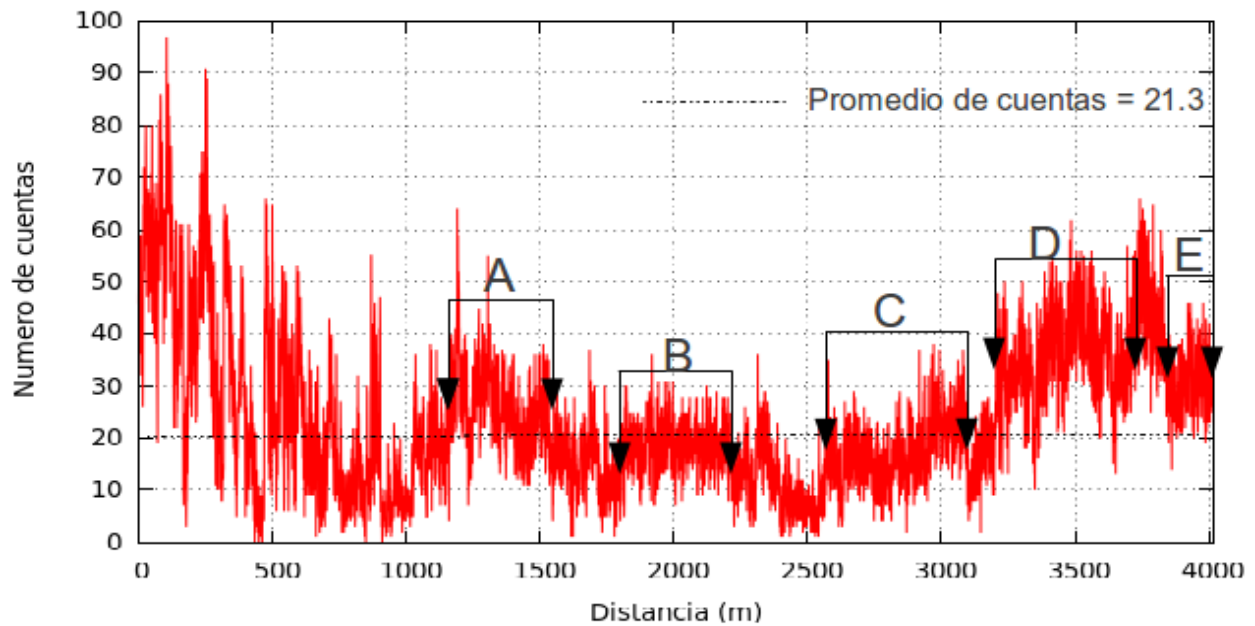


Figura 3.3. Como en la Figura 3.1 pero para el caso Tez.34.

### 3.2. Caso Tuxtla Gutiérrez.

La Figura 3.5 muestra la concentración de gotitas en el caso de Tuxtla Gutiérrez. Para este caso se contó con una resolución de 0.17 m, lo cual ofreció una mejor resolución para el análisis con  $F$ . Nuevamente, aquí es posible identificar ciertas regiones en la muestra de datos donde el número de gotitas fluctúa en torno a un cierto promedio. Estas zonas se identificaron de la letra A a la letra E. La Figura 3.6 muestra el resultado de aplicar  $F$  a la nube completa y a cada una de estas regiones por separado.

La Figura 3.6.f muestra que en la Figura 3.5 es posible ubicar regiones de hasta 300 m donde el número de gotitas es mayor que en el resto de las regiones. Éstas son la gran estructura: para ver una estructura más fina en la nube es necesario analizar las regiones de la A a la E.

En general, en las Figuras 3.6 de la (a) a la (e), se observan dos máximos. Uno en 10 m, y otro menor, hacia un par de metros. Es interesante observar, nuevamente, que los máximos que ocurren a escalas menores están conectados con las regiones de menor concentración, mientras que los que tienen una escala mayor poseen mayor concentración.

Un par de casos interesantes ocurren también en la Figura 3.6.a y, un poco menos claro, en la Figura 3.6.e donde parece haber más de un máximo, el primero hacia 35 m y el segundo hacia 40 m.



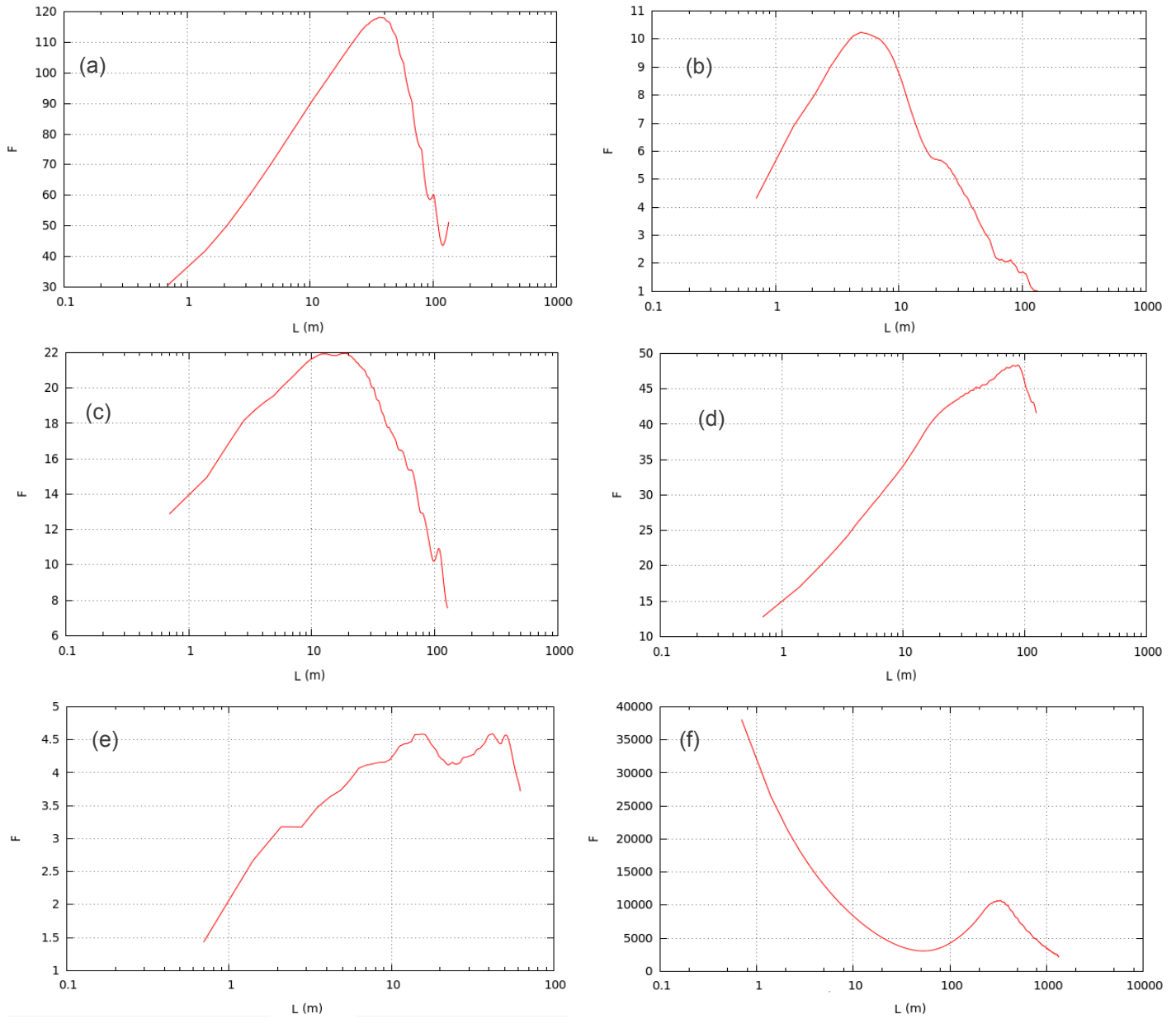


Figura 3.4. Resultado de aplicar F a cada una de las secciones de la A a la E de la nube Tez.34, representadas en las figuras de la (a) a la (e), respectivamente. La figura (f) muestra el resultado de aplicar F a la nube completa.

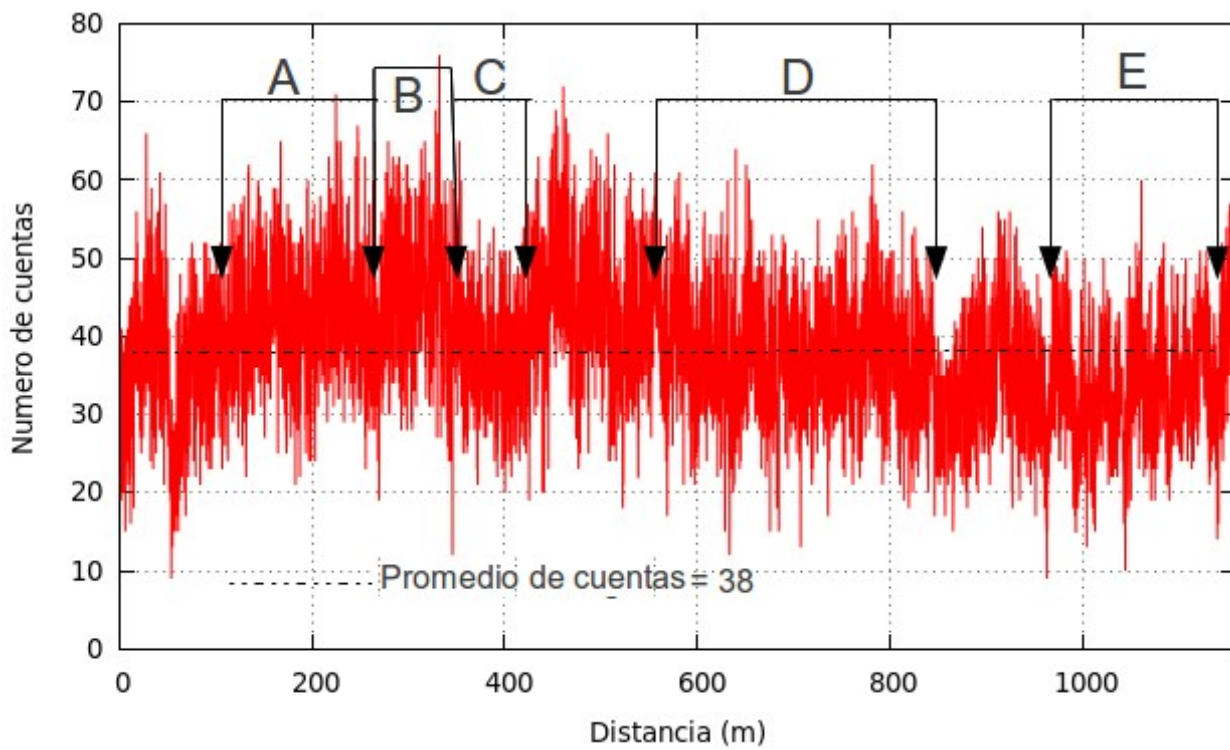


Figura 3.5. Concentración de gotitas de niebla en el caso Tuxtla Gutiérrez.

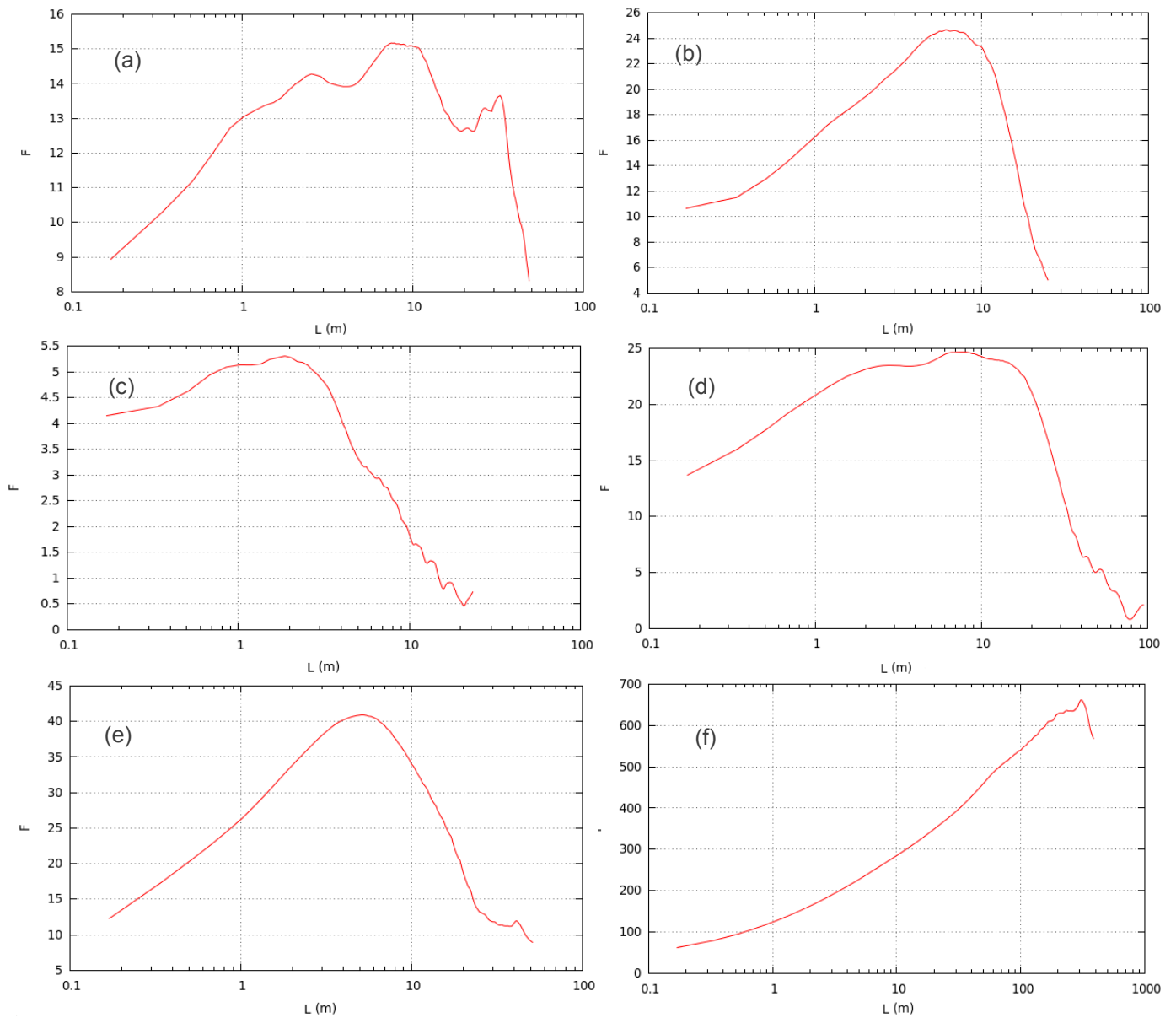


Figura 3.6. Resultado de aplicar F a cada una de las secciones de la A a la E, de la nube de Tuxtla, representadas en las figuras de la (a) a la (e), respectivamente. La figura f muestra el resultado de aplicar F a la nube completa..

## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se analizaron datos obtenidos durante un par de eventos de niebla en la Sierra Madre Oriental y en la Depresión Central de Chiapas, con ayuda de la prueba estadística Fishing ( $F$ ), para investigar su estructura y determinar si existen agrupamientos de gotitas en alguna escala preferente.

De la *metodología del análisis de datos* (ver Sección 2.2.3), una distribución homogénea de gotas en una nube debería comportarse, bajo la aplicación de la prueba  $F$ , como la curva que muestra la gráfica en la Figura 2.5, sin embargo en ningún caso se ha encontrado esto. De los casos de niebla estudiados, tanto en Teziutlán como en Tuxtla Gutiérrez, la totalidad de ellos ofrecen una estructura según la cual las gotas parecen agruparse en cúmulos del orden de decenas de metros, ocurriendo desde unos 3 m [ver Figuras 3.2 (a) y (c) y 3.6 (c) y (e)] y sólo algunas de hasta 100 m (ver Figura 3.4.d); la mayoría ocurren de sólo algunos metros a un par de decenas de metros.

La única ocurrencia de *clusters* con escala de 100 m se explica dada la longitud del segmento del que se obtuvo y lo poco uniforme de su distribución (ver sección D en Figura 3.3). El apéndice AV ofrece una disección de este segmento (ver Figuras AV.10 y AV.11) donde, al dividirse en dos partes (más homogéneos en apariencia), el análisis de ambas ofrece inhomogeneidades a escalas de decenas de metros.

Otro caso peculiar se presenta cuando en vez de encontrar solamente un máximo en la prueba  $F$ , pueden ubicarse un par (Figuras 3.2.c, 3.4.e 3.6.a e incluso 3.6.d). Estos resultados son muy similares a los que ocurren al aplicar la prueba Fishing a nubes sintéticas “sembradas” con *clusters* de más de una escala y cuya apariencia no es en principio muy irregular, es decir, que presenta una distribución aparentemente homogénea (ver Figura 2.10 para la nube sintética y el resultado de aplicar  $F$  a esta nube sintética en la Figura 2.9). Esto sugiere reconocer ambos máximos como *clusters* reales que existen a esas escalas correspondientes. De este modo, en la figura 3.6.a estamos ante la existencia, en el transecto A del caso Tuxtla, de *clusters* de tamaño de algunos metros y un par de decenas de metros.

En este punto vale la pena observar que un análisis más fino (disponiendo de datos con mayor

resolución) ofrecería información sobre posibles cúmulos de gotas a menores escalas aún. Estudios realizados en nubes ya han ofrecido escalas de cúmulos de gotas de decenas de centímetros, con el empleo del FFSP en la obtención de datos y la prueba  $F$  para su análisis (Baker 1992).

El resultado de este análisis permite concluir que la estructura de la niebla presenta *clusters* a varias escalas: desde algunos metros hasta decenas de metros. Con esto no decimos que las inhomogeneidades no existan a otras escalas. Las escalas de inhomogeneidades del orden de cien metros son fácilmente detectables a simple vista y las escalas del orden de centímetros han sido ya encontradas en nubes.

Una hipótesis para explicar las inhomogeneidades encontradas en el presente trabajo es la entrada de aire y su subsecuente mezcla en la niebla. Al entrar una masa de aire en la niebla, esta puede tener condiciones termodinámicas muy distintas a las imperantes en la nube. En particular, la humedad disponible puede ser muy inferior propiciando una “competencia” entre las gotitas por el vapor. Esto puede hacer que haya regiones en la nube donde las gotitas ya no puedan crecer, e incluso lleguen a evaporarse, creando huecos, o regiones con menos gotas que el resto. Además de la entrada de aire “seco”, puede ocurrir que dentro de la nube, regiones con diferentes concentraciones de gotas, se mezclen, dando lugar a nuevas inhomogeneidades. De este modo, el tamaño de las inhomogeneidades podría ser un indicador del tamaño de las masas de aire involucradas en el movimiento que lleva a cabo la mezcla de distintas parcelas en la niebla.

Ya en la introducción se mencionó que la importancia de la distribución de las gotitas en las nubes era de interés para varios campos de estudio: la transferencia de radiación toma en cuenta escalas de *clusters* de cientos o miles de metros, fácilmente detectables, también, con métodos más simples (García et. al (2002)); o bien, en las teorías de crecimiento de gotitas interesarían *clusters* de escalas de por lo menos dos órdenes de magnitud menores a los que nosotros encontramos para el presente estudio. Para el orden de magnitud de las escalas que se han obtenido en el presente trabajo, puede hablarse de implicaciones en los procesos evolutivos de la niebla, como ya se sugirió en el párrafo anterior. Al haber regiones con altas concentraciones de gotitas, del orden de metros, la coalescencia entre ellas se ve propiciada; o bien, al haber regiones de bajas concentraciones, puede implicar que las gotas presentes comiencen a evaporarse, debido a que no puedan seguir creciendo por condensación (dada una cantidad limitada de vapor disponible) ni por coalescencia (dada la baja concentración de

gotitas).

Sumado a esto, una de las aplicaciones más sobresalientes sería en el campo de la captura de agua en zonas de niebla por medio de mallas. Ya ha sido remarcado en otros estudios (Schemenauer et al. (1989)) el beneficio que la instalación de este equipo en zonas con importantes ocurrencias de niebla con baja disponibilidad de agua potable.

Considerando que los casos de niebla estudiados son representativos de la región, cuando menos en la temporada en que estos fueron capturados (invierno), y sabiendo que en la niebla existen cúmulos a cierta escala, puede mejorarse la eficiencia de una malla recolectora bien ubicada tomando en cuenta las dimensiones de las mallas así como la separación que entre ellas debe haber. Sin embargo, el presente trabajo debe complementarse con un análisis del contenido de agua líquida (LWC, por sus siglas en inglés) y del diámetro volumétrico medio (DVM, por sus siglas en inglés) para poder establecer con seguridad una eficiencia en la colocación de mallas. Aún y cuando se puede tener una alta concentración de gotas en una cierta escala, puede ser que el contenido de agua líquida no sea importante debido a que su DVM sea muy bajo. Se trata, pues, de un problema de optimización.

Para los eventos de niebla estudiados en esta investigación se dispone de una serie de datos de LWC y DVM, por lo que una extensión interesante del presente trabajo es directa, al poder investigar si la concentraciones encontradas son importantes en contenido de agua líquida.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Austin, P. H., M. B. Baker, A. M. Blyth, y J. B. Jensen, 1985: Small scale variability in warm continental cumulus clouds. *J. Atmos. Sci.*, **42**, 1123-1138.
- Baker, B. A., 1992: Turbulent entrainment and mixing in clouds: A new observational approach. *J. Atmos. Sci.*, **49**, 387-404.
- Baker, B. A., R. P. Lawson, 2010: Analysis of tools used to quantify droplet clustering in clouds. *J. Atmos. Sci.*, **67**, 3355-3367.
- Baumgardner, D., 1986: A new technique for the study of cloud microstructure. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **2**, 626-632.
- Baumgardner, D, J.L. Brenguier, A. Bucholtz, H. Coe, P. DeMott, T.J. Garrett, J.F. Gayet, M. Hermann, A. Heymsfield, A. Korolev, M. Krämer, A. Petzold, W. Strapp, P. Pilewskie, J. Taylor, C. Twohy, M. Wendisch, W. Bachalo, P. Chuang, 2011: Airborne instruments to measure atmospheric aerosol particles, clouds and radiation: A cook's tour of mature and emerging technology . *Atmospheric Research*, **102**, 10-29.
- Brenguier, J. L., 1990: Parameterization of the condensation process in small nonprecipitating cumuli. *J. Atmos. Sci.*, **47**, 1127-1148.
- Byers, H. R. 1959: General Meteorology. McGraw Hill, 481 pp.
- Byers, H. R., 1974. General Meteorology, Cuarta Edición. McGraw Hill Book Co., 461 pp.
- Chumant, L. y J. L. Brenguier, 2001: Droplet spectra broadening in cumulus clouds. Part II: Microscale droplet concentration heterogeneities. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 642-654.
- Cooper, W. A., 1989: Effects of variable droplet growth histories on droplet size distributions. Part I: Theory. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 1301-1311.
- Davis, A. B., A. Marshak, H. Gerber y W. J. Wiscombe, 1999: Horizontal structure of marine boundary layer clouds from centimeter to kilometer scales. *J. Geophys. Res.*, **104**, 6123-6144.
- Dye, J. E., D. Baumgardner, 1984: Evaluation of the Forward Scattering Spectrometer Probe: Part I: Electronic and optical studies. *J. Atmos. Ocean Technol.* **1**, 329-344.
- García-García, F., y R. A. Montañez, 1989: Evaluación de un espectrómetro de gotas para estudios de microfísica de nubes. *Geos (Boletín Unión Geofísica Mexicana) Epoca II*, 9(4), 25-31.
- García-García, F., y R. A. Montañez, 1991: Warm fog in eastern Mexico: A case study. *Atmósfera*, **4**, 53-64.

- García-García, F., G. Paredes, U. Virafuentes and R. A. Montañez, 1998: Fog microphysical characteristics in a rural site in Chiapas, México. *Proc. First Int. Conf. Fog and Fog Collection*. R. S. Schemenauer and H. Bridgman (Eds.), 325-328.
- García-García, F., U. Virafuentes y G. Montero-Martínez, 2002: Fine scale measurements of fog-droplet concentrations: a preliminary assessment. *Atmospheric Research*, **64**, 179-189.
- García-García, F. y V. Zarraluqui, 2008: A fog climatology for Mexico. *Die Erde*. 139, 45-60.
- Gerber, H., J. B. Jensen, A. B. Davis, A. Marshak y W. J. Wiscombe, 2001: Spectral density of cloud liquid water content at high frequencies. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 497–503.
- Grits, B., M. Plinsky y A. Khain, 2000: Formation of small-scale droplet concentration inhomogeneity in a turbulent flow as seen from experiments with an isotropic turbulence model. *Proceedings of the 13th International Conference on Clouds and Precipitation*, Reno, NV, USA, 14–18 August 2000. International Commission on Clouds and Precipitation of the International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences, **1**, 138-141.
- Jakzewski, A. y S. P. Malinowski, 2000: Investigations of droplet clustering on small scales in a laboratory cloud—clear air mixing., *Proceedings of the 13th International Conference on Clouds and Precipitation*, Reno, NV, USA, 14–18 Agosto 2000. International Commission on Clouds and Precipitation of the International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences, **1**, 134-137.
- Jeffery, C. A., 2000: Effect of particle inertia on the viscous-convective subrange. *Phys. Rev. E*, **61**, 6578–6585.
- Jiusto, J. E., 1981: Fog Structure. *Clouds. Their Formation, Optical Properties and Effects*, P. V. Hobbs and A. Deepak (Eds.), Academic Press, 187-239.
- Knollemberg, R.G., 1970: The Optical Array: an alternative to scattering or extinction for airborne particle size determination, *J. Appl. Meteor.* **9**, 86–103.
- Paluch, I. R. y D. Baumgardner, 1989: Entrainment and fine-scale mixing in a continental convective cloud. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 261-278.
- Paluch, I. R. y C. A. Knight, 1984: Mixing and the evolution of cloud droplet size spectra in a vigorous continental cumulus. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 1801-1815.
- Plinsky, M., y A. P. Khain, 2001: Fine structure of cloud droplet concentration as seen from the Fast-FSSP measurements. Part 1: Method of analysis and preliminary results. *J. Appl. Meteorol.*, **40**, 1515–1537.
- Preining, O., 1983: Optical single-particle counters to obtain the spatial inhomogeneity of particulate clouds. *Aero. Sci. Tech.*, **2**, 79-90.
- Shaw, R. A., A. B. Kostinski, and M. L. Larsen, 2002: Towards quantifying droplet clustering in clouds. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **128**, 1043–1057.



Slingo, A. 1990: Sensitivity of the Earth's radiation budget to changes in low clouds. *Nature*, **343**, 49-51.

Squires, P., 1958: The spatial variation of liquid water and droplet concentration in cumuli. *Tellus*, **10**, 372-380.

Srivastava, R. C., 1989: Growth of cloud drops by condensation: A criticism of currently accepted theory and a new approach. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 869-887.

Taylor, G. I., 1917: The formation of fog and mist. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **43**, 241-268.

Werner, J., 1969: The microstructure of cumulus cloud. Part I. General features of the droplet spectrum. *J. Atmos. Sci.*, **26**, 1049-1059.

Willett, H. C., 1928: Fog and haze. *Mon. Wea. Rev.*, **59**, 435.

## APÉNDICE AI

### **I. 1. Distribución de Poisson.**

La distribución de Poisson, llamada así en honor al matemático francés Simeon Denis Poisson, es una distribución discreta que tiene aplicaciones en varios campos de las ciencias, entre ellos la física.

De manera breve, si  $X$  es el número de ocurrencias de un evento aleatorio en algún intervalo de tiempo o espacio, la probabilidad de que  $X$  ocurra viene dada por

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad (I.1)$$

donde  $\lambda$  es el promedio de ocurrencias del evento aleatorio en el intervalo y  $e$  es la constante de Euler. Esta fórmula describe lo que se conoce como una distribución de Poisson.

Condiciones básicas para que un experimento se considere de Poisson son:

1. Los eventos ocurren de forma independiente, es decir, la ocurrencia de uno no afecta la probabilidad de que otro suceda.
2. La probabilidad de que ocurra un evento en un intervalo es proporcional a la longitud del intervalo.
3. Es posible, en teoría, que un evento pueda ocurrir una infinidad de veces en un intervalo dado.

Para definir la prueba estadística  $F$  se hace uso de una propiedad fundamental de las distribuciones tipo Poisson, a saber, que la varianza  $V$  de la variable aleatoria es igual a su media, es decir

$$V_x = \mu$$

donde  $V_x$  es la varianza de  $x$  y  $\mu$  es su media.

Mostrar esta propiedad es inmediato. Basta considerar el hecho de que la media,  $\mu$ , se define como

$$\mu = \sum [x * f(x)]$$

y la varianza,  $V_x$ , como

$$V_x = \sum [f(x) * x^2] - \mu^2$$

aunado con el hecho de que

$$e^x = \sum \frac{x^n}{n!} .$$

## APÉNDICE AII

Este apéndice está ampliamente basado en el artículo de D. Baumgarder et. al (2011).

### **II. 1. Algunos instrumentos utilizados en la actualidad para la medición de la concentración de gotas y algunas otras variables microfísicas.**

Como ya se mencionó en la introducción, el estudio de las nubes se ha desarrollado grandemente a partir del desarrollo tecnológico de instrumentos capaces de medir las características de las gotitas suspendidas en la atmósfera y su distribución. Desde los trabajos de Knollenberg (1970), en el estudio de las nubes se han ido implementando varios tipos de instrumentos, de los cuales, éste apéndice pretende hacer una muy breve reseña, citando sólo algunas características acerca de su funcionamiento.

Los instrumentos empleados en la actualidad en este campo, son capaces de medir directamente variables microfísicas como la concentración de gotitas, el tamaño, propiedades ópticas y la masa de las partículas individuales. Otras variables como la densidad o la velocidad de caída deben ser medidas indirectamente. La figura AII.1 muestra la resolución de los instrumentos más comunes en las mediciones de variables microfísicas, entre ellos podemos ver el FSSP y el 2D-C utilizados por el equipo de Física de Nubes del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Todos estos instrumentos usan métodos ópticos para llevar a cabo las detecciones. Algunos como el Video Ice Particle Sampler (VIPS) guardan la imagen del hidrometeoro (gotita o cristal) después de que estos impactan contra una superficie expuesta, mientras otros se sirven de la luz dispersada por las partículas para realizar las mediciones de interés. De estas dos categorías, podemos llamar Técnicas de Impacto de Partículas Individuales (SPIT, por sus siglas en inglés) a las unas, y Técnicas de Dispersión de Luz de Partículas Individuales (SPLST) a las otras.

#### **II. 1.1. Técnicas de Impacto de Partículas Individuales.**

Este tipo de técnica es especialmente útil para complementar la información obtenida con instrumentos optoelectrónicos, con información sobre cristales con tamaños menores a 100  $\mu\text{m}$ . Ejemplos de estos equipos son el VIPS y el *Cloudscope*.

El VIPS es utilizado para obtener imágenes de partículas con dimensiones mayores a 5  $\mu\text{m}$  colectadas en Aceite de Silicón en una película de 8 mm de ancho y posteriormente grabándolas por

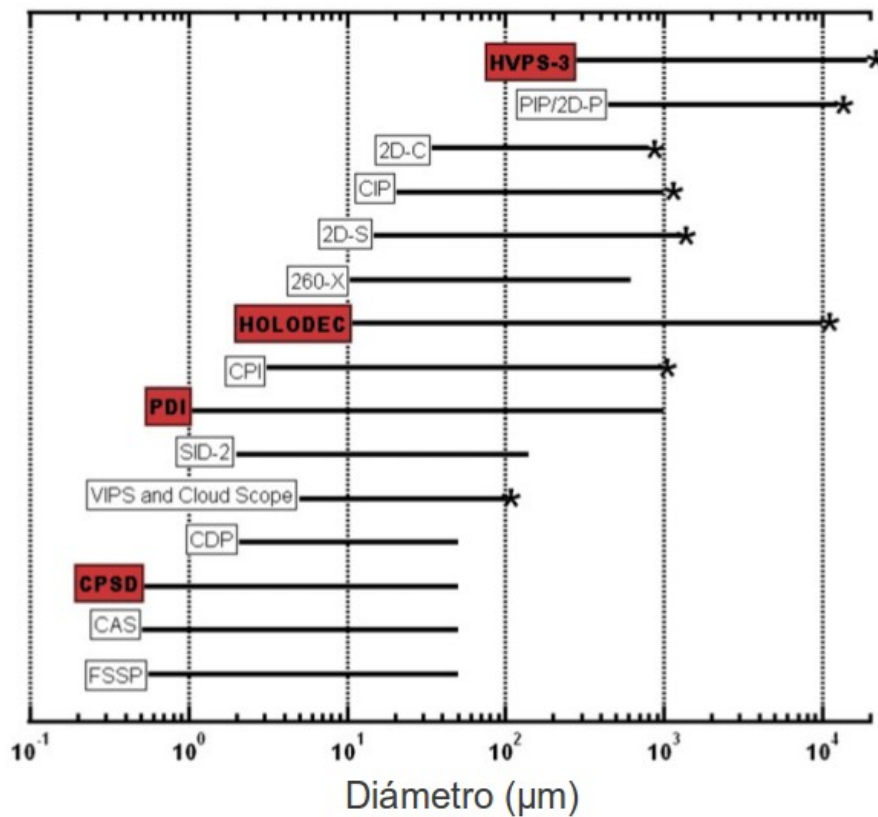


Figura AII.1. Gráfica con los valores aproximados de tamaños detectables para algunos instrumentos comúnmente utilizados en la detección de gotitas.

medio de un video-microscopio.

El *Cloudscope* detecta partículas entre cinco y algunos cientos de micrómetros. Se trata de un microscopio óptico con una videocámara CCD acoplada. Las imágenes capturadas son digitalizadas y analizadas para determinar tamaños de las partículas, forma y concentraciones.

## II. 1.2. Técnicas de Dispersión de Luz de Partículas Individuales.

El principio de operación de instrumentos como el FSSP, CDP (Cloud Droplet Probe), CAS (Cloud and Aerosol Spectrometer), CAS-DPOL (Cloud and Aerosol Spectrometer with Depolarization)

y SID (Small Ice Detector) está basado en el concepto de que la intensidad de la luz dispersada es proporcional al tamaño de la partícula, que pueden ser predichos teóricamente si se conoce la forma y el índice de refracción, así como la longitud de onda de la luz incidente. Esta teoría, desarrollada por Gustav Mie (1869-1957), es utilizada por los contadores ópticos de partículas al coleccionar la luz dispersada por partículas al pasar a través de un láser de intensidad y longitud de onda controlados y convirtiendo el flujo de fotones a una señal eléctrica cuya intensidad puede ser relacionada, posteriormente, con el tamaño de la partícula.

El FSSP, CDP, CAS y SID difieren básicamente en la forma en que la luz dispersada es coleccionada; todos ellos coleccionan la luz dispersada hacia adelante. El CAS y el CPSD son capaces también de coleccionar luz dispersada hacia atrás. Aunque la mayor parte del haz es dispersado hacia adelante, una pequeña fracción es dispersada hacia atrás; coleccionar esta luz es útil en la discriminación de la forma de la partícula captada.

Básicamente, el funcionamiento de los instrumentos mencionados en esta sección es el siguiente: un láser provee un haz de luz monocromática, un conjunto de lentes enfocan el haz a través del cual pasarán las partículas, dispersándolo. Este haz resultante es coleccionado y dirigido hacia un fotodetector.

Instrumentos como el FSSP y el CDP no pueden determinar la forma de un cristal, de modo que calculan pobremente el tamaño de estos. Sin embargo, cuando es analizada en conjunto la luz dispersada frontalmente y hacia atrás, puede determinarse la esfericidad de las partículas, en un cierto rango de tamaños. El CAS es capaz de determinar si una partícula es líquida o sólida por medio de este tipo de análisis. El CAS-DPOL tiene un detector adicional que permite analizar la polarización de la luz dispersada hacia atrás, causada por partículas semi-esféricas.

El SID fue específicamente diseñado para discriminar entre partículas líquidas y cristales basándose en la luz dispersada.

Otro tipo de instrumentos comúnmente utilizados son los que emplean la Técnica de representación de partículas individuales. Estos son el tema de la siguiente sección.

### **II. 1.3. Técnica de Representación de Partículas Individuales.**

Los instrumentos basados en esta técnica son una alternativa a aquellos de dispersión. Estos equipos toman datos acerca de la forma y tamaño de las partículas y están basados en arreglos ópticos, de ahí que se les conozca comúnmente como OAP's (Optical Array Probes). Actualmente en uso se encuentran el 2D-C y el 2D-P (2-Dimensional Cloud and Precipitation probe), el CIP (Cloud Imaging Probe), el CPI (Cloud Particle Imager) 2D-S (2-Dimensional Stereo probe) y el HVPS (High Volume Precipitation Spectrometer).

Una de las ventajas de esta técnica es que no depende de la composición química de la partícula, lo cual es sobresaliente si se toma en cuenta la alta dependencia que los instrumentos de dispersión tienen en cantidades como el índice de refracción, forma, etc., para determinar el tamaño.

Para esta técnica, están en uso dos tipos de instrumentos, uno mediante un escáner de arreglo de diodos lineal y otro mediante un arreglo dos-dimensional de fotodetectores.

El primer método (escáner de arreglo de diodos lineal) funciona de modo que cada vez que la prueba se mueve una distancia igual a la mejor resolución del aparato, el estado de iluminación de los diodos se guarda, presentando así una “rebanada” de la partícula. La secuencia de estas rebanadas presenta una imagen de la partícula. La ventaja de este método es que permite un escaneo continuo de una secuencia de partículas pasando por un área de muestreo determinado. Los OAP's que usan este método son el 2D-C y 2D-P, el CIP, el HVPS y el 2D-S.

## APÉNDICE AIII

### III. Código en C para implementar la prueba Fishing.

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <time.h>

/*****
/*Aqui enlisto las funciones que usare*/
*****/

int    lineas(char archivo[100]);
float  adquiereArchivo(char archivo[100], int inda, int indb);
float  compresos(float *lista, int l, int z);
int    lon(float *a);
float  sum(float *a);

/*****
/*Comienzo la funcion principal*/
*****/

main()
{
    time_t seconds;
    char archivo[100];
    int numLine, i, lt, l, lcomp, h;
    float lL[100000], lG[100000], xls[100000], xl[100000];
    float sumacuadradosdesvx, normalizador, nx, mx, vx, F;

    printf("Dame un archivo: ");
    gets(archivo);

    seconds = time (NULL);

    numLine=lineas(archivo);
/*Aqui llenamos las listas lL y lG con el archivo deseado.*/
    for(i=0;i<numLine;i++)
    {
        lL[i]=adquiereArchivo(archivo,1,i);
        lG[i]=adquiereArchivo(archivo,2,i+1);
    }

/*Donde se establece la longitud del muestreo.*/
```

```

    lt = lon(lL);
/*Se prepara el archivo donde se guardara la informacion final.*/
    FILE *fps = fopen("Fc.dat","w");
/*Donde se entra al ciclo para barrer todo el rango de l's*/

    for(l=1;l<lt/3;l++)
    {
        for(i=0;i<lt;i++)
        xls[i]=0;
        lcomp=lt-l+1;
        for(i=0;i<lcomp;i++)
        xls[i]=compresos(lG,l,i);
        F=0.0;
        for(h=0;h<l;h++)
        {
            for(i=0;i<lt;i++)
            xl[i]=0;
            for(i=0;i<(lt/l);i++)
            xl[i]=xls[h+l*i];
            nx=lon(xl);
            mx=(0.0+sum(xl))/nx;
            normalizador=sqrt(2.0/(nx-1.0));
            sumacuadrosdesvx=0.0;
            for(i=0;i<nx;i++)
            sumacuadrosdesvx=sumacuadrosdesvx+pow(xl[i]-mx,2);
            vx = (1.0/(nx-1.0))*sumacuadrosdesvx;
            F = F + ((vx/mx)-1.0)/normalizador;
        }
        F = F/l;
        fprintf(fps,"%d\t",l);
        fprintf(fps,"%0.3f\n",F);
    }

    printf("%ld\n",time(NULL)-seconds);

    fclose(fps);
}

/*****
/**Funcion que toma un archivo y regresa el numero de lineas que*/
/*lo componen.*/
*****/

```



```

int lineas(char archivo[100])
{
    char c;
    int i=0;
    FILE *fpe = fopen(archivo,"r");

    c=fgetc(fpe);

    if (c!=EOF)
        {
            i=0;
            while(c!=EOF)
                {
                    if (c=='\n')
                        i++;
                    c=fgetc(fpe);
                }
        }
    fclose(fpe);
    return i;
}

```

/\*Funcion adquiereArchivo que toma el nombre de un archivo, un indicador 'a' y otro 'b'.

El indicador 'a' nos dice si se tomara un dato de la lista L (longitud) o de la G (gotas).

El indicador 'b' informa del elemento b.

Ojo, al acceder a esta funcion las listas L y G se quedan guardadas...\*/

```

float adquiereArchivo(char archivo[100], int inda, int indb)
{
    char c;
    int n, i, j;
    float listaL[100000], listaG[100000];

    FILE *fpe = fopen(archivo, "r");
    i=0;
    j=0;
    c = fgetc(fpe);

    if (indb<1)
        {
            while(c!=EOF)
                {
                    if(c == ' ' || c == '\t')
                        {

```

```

    c=getc(fpe);
    while(c>45 && c<58)
    {
        listaG[i]=listaG[i]*10+(c-48);
        c=fgetc(fpe);
    }
    i++;
}
else if(c=='\n')
{
    c=fgetc(fpe);
    while(c>45 && c<58)
    {
        if(c!=46)
        {
            listaL[j]=listaL[j]*10+(c-48);
            c=fgetc(fpe);
        }
        else
        {
            c=fgetc(fpe);
            n=1;
            while(c>47 && c<58)
            {
                listaL[j]=listaL[j]+(c-48.0)/pow(10.0,n);
                n++;
                c=fgetc(fpe);
            }
        }
    }
    j++;
}
else
{
    while(c>45 && c<58)
    {
        if(c!=46)
        {
            listaL[j]=listaL[j]*10+(c-48);
            c=fgetc(fpe);
        }
        else
        {
            c=fgetc(fpe);
            n=1;
            while(c>47 && c<58)
            {

```

```

        listaL[j]=listaL[j]+(c-48.0)/pow(10.0,n);
        n++;
        c=fgetc(fpe);
    }
    }
}
j++;
}
}
}
fclose(fpe);
if(inda==1)
    return (listaL[indb]);
else
    return (listaG[indb-1]);
}

/*Esta funcion comprime una lista en bloques de tamaño l
Toma tres valores: lista, que es la lista que comprimirá;
l que es el tamaño de los bloques y z que es el elemento
de la lista compresos que pasará en cada corrida.*/

float compresos(float *lista, int l, int z)
{
    float listaNueva[100000];
    float listaBloque[100000], bloque;
    int i, j, len, tope;

    len = lon(lista);
    tope = len-l+1;

    if(z==0)
    {
        for(i=0;i<tope;i++)
        {
            listaBloque[i]=0;
            listaNueva[i]=0;
        }
        for(i=0; i<tope; i++)
        {
            for (j=0; j<l; j++)
                listaBloque[j]=lista[i+j];
            bloque = sum(listaBloque);
            listaNueva[i]=bloque;
        }
    }
}

```

```

    return listaNueva[z];
}

/*Esta funcion calcula la longitud de un arreglo*/
int lon(float *a)
{
    int w;

    for (w=0; *a != '\0'; a++)
        w++;

    return w;
}

/*Esta funcion calcula la suma de los elementos de un arreglo*/
float sum(float *a)
{
    int n;
    float suma;
    suma = 0;

    for (n=0; *a != '\0'; a++)
    {
        n++;
        suma = suma + *a;
    }

    return suma;
}

```

## APÉNDICE AIV

### **IV. Código en *Python* para implementar el sembrado de clusters.**

```
import random

def nube(maxDistancia,maxGotas):

    distancia=range(1,maxDistancia+1)
    cuantos=[]

    for i in distancia:
        cuantos.append(random.randrange(10,maxGotas+1))

    parDistanciaCuantos=[]

    for i in range(0,maxDistancia):
        parDistanciaCuantos.append((distancia[i],cuantos[i]))

    f=open('nube.dat','w')

    for i in range(0,maxDistancia):
        f.write(str(parDistanciaCuantos[i][0]))
        f.write(' ')
        f.write(str(parDistanciaCuantos[i][1]))
        f.write('\n')
    f.close()

    return 0

def cumulo(archivo, archivo2, cuantos, escala, gotas):

    f=open(archivo,'r')
    g=open(archivo2,'w')

    a = f.readline()
    lon=[]
    got=[]
    n=0
    while a != '':
        lon.append(n)
        got.append(int(a.split()[1]))
        a = f.readline()
        n=n+1
    f.close()
```

```
razon = len(lon)/cuantos

ubicacion=[]

for j in range(0,cuantos):
    ubicacion.append(random.randrange(escala/2,len(lon)-escala/2))

for i in ubicacion:
    for h in range(0,escala/2):
        got[i-h]=got[i-h]+gotas
        got[i+h+1]=got[i+h+1]+gotas

for i in range(0,len(lon)):
    g.write(str(lon[i]+1))
    g.write(' ')
    g.write(str(got[i]))
    g.write('\n')

g.close()
return 0
```

V. Complemento del Análisis de Datos.

AIII. 1. Tez.24:

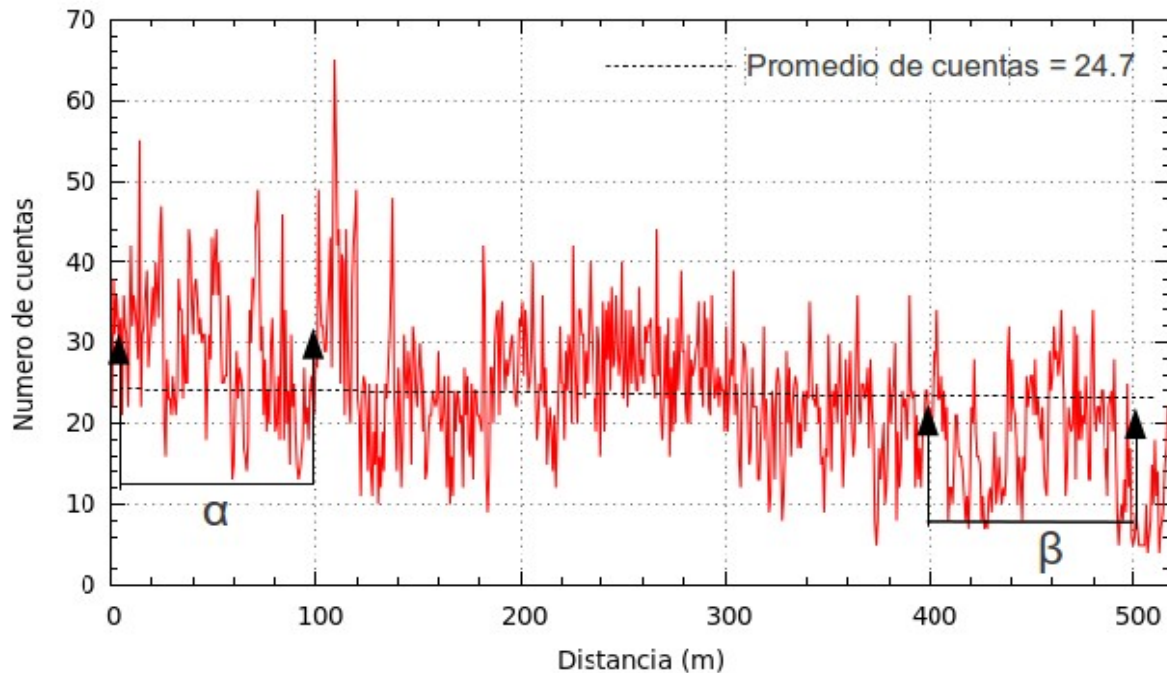


Figura AIII.1. Número de gotitas de niebla en Teziutlán 25/Enero/1993 a las 19:24 hrs. (tez.24).

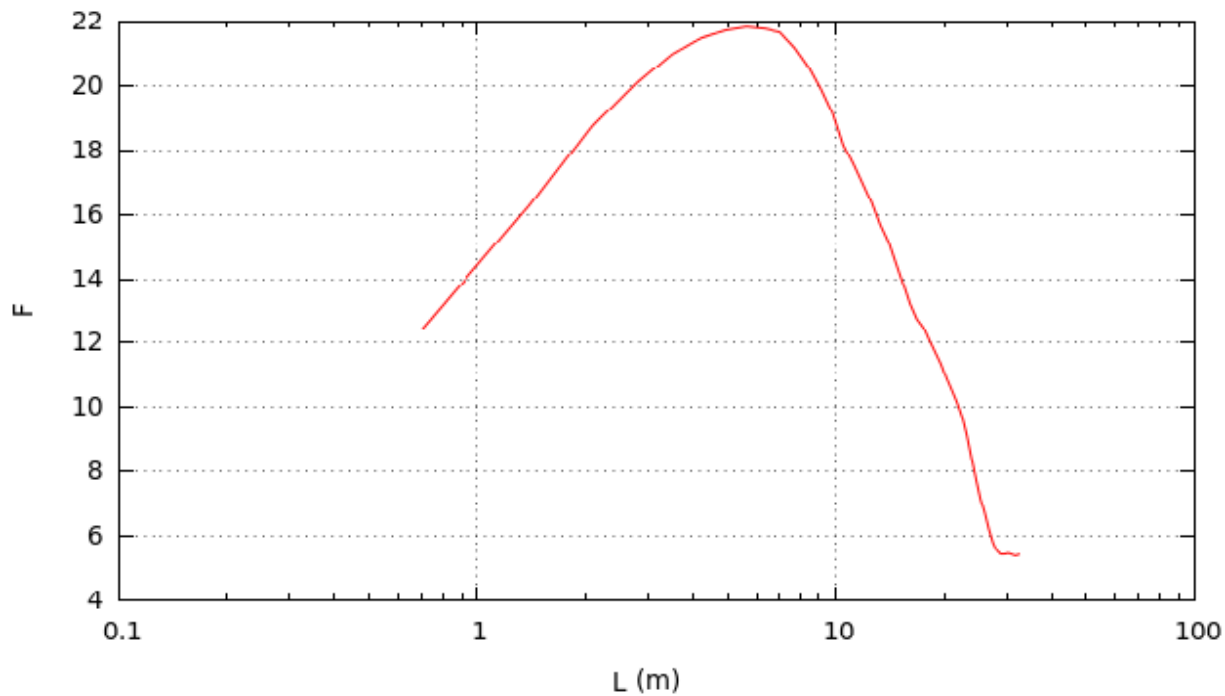


Figura AIII.2. F aplicada a la sección  $\alpha$  de tez.24.

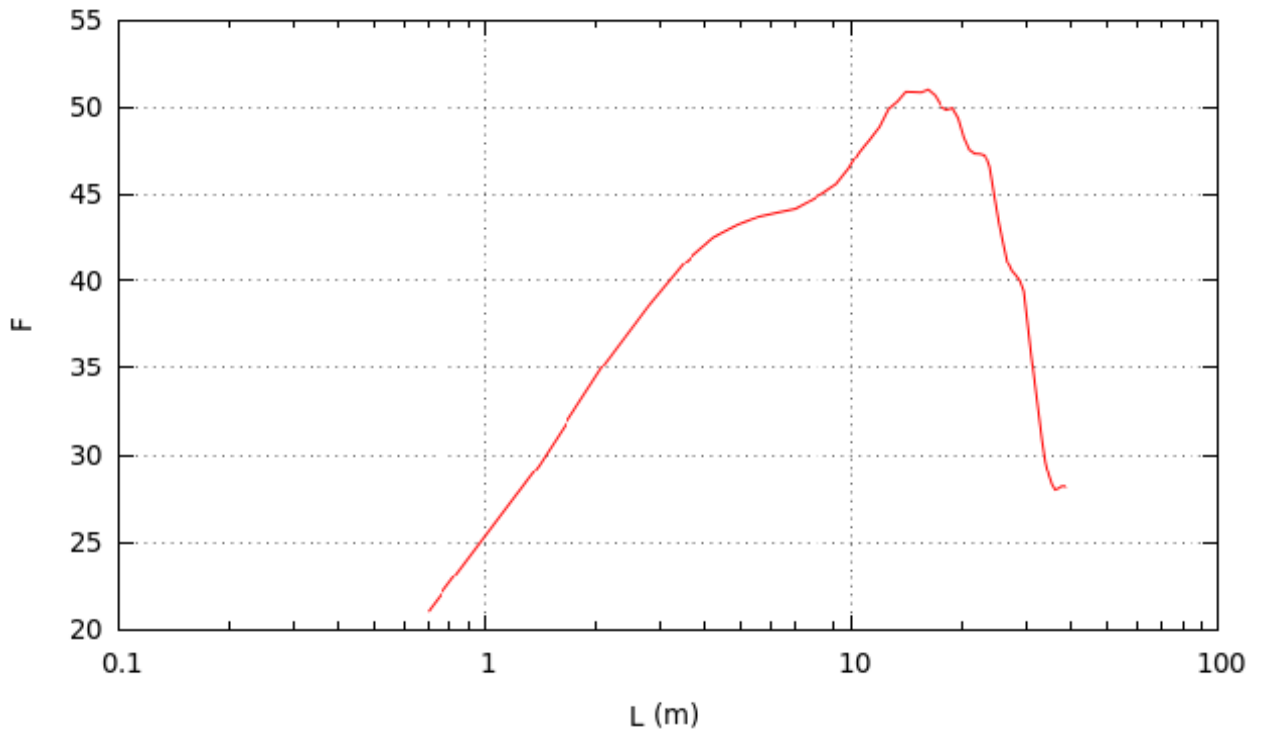


Figura AIII.3. F aplicada a la sección  $\beta$  de tez.24.

AIII.2. Tez.34:

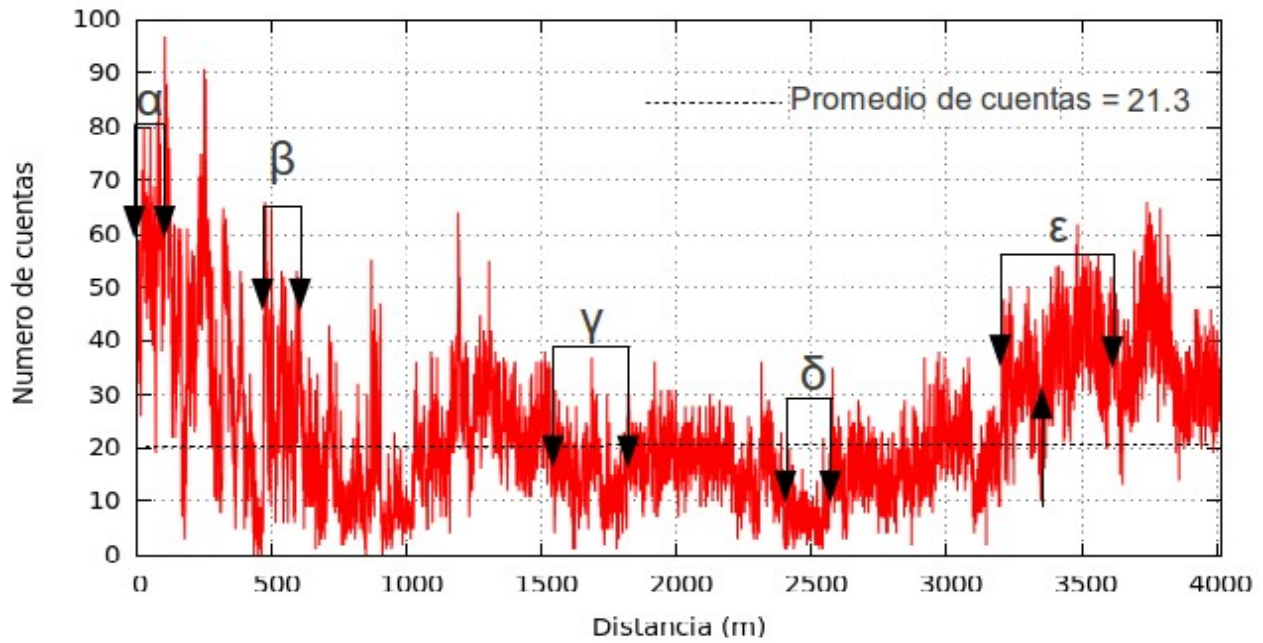


Figura AIII.4. Número de gotitas de niebla en Teziutlán 25/Enero/1993 a las 19:34 hrs. (tez.34)



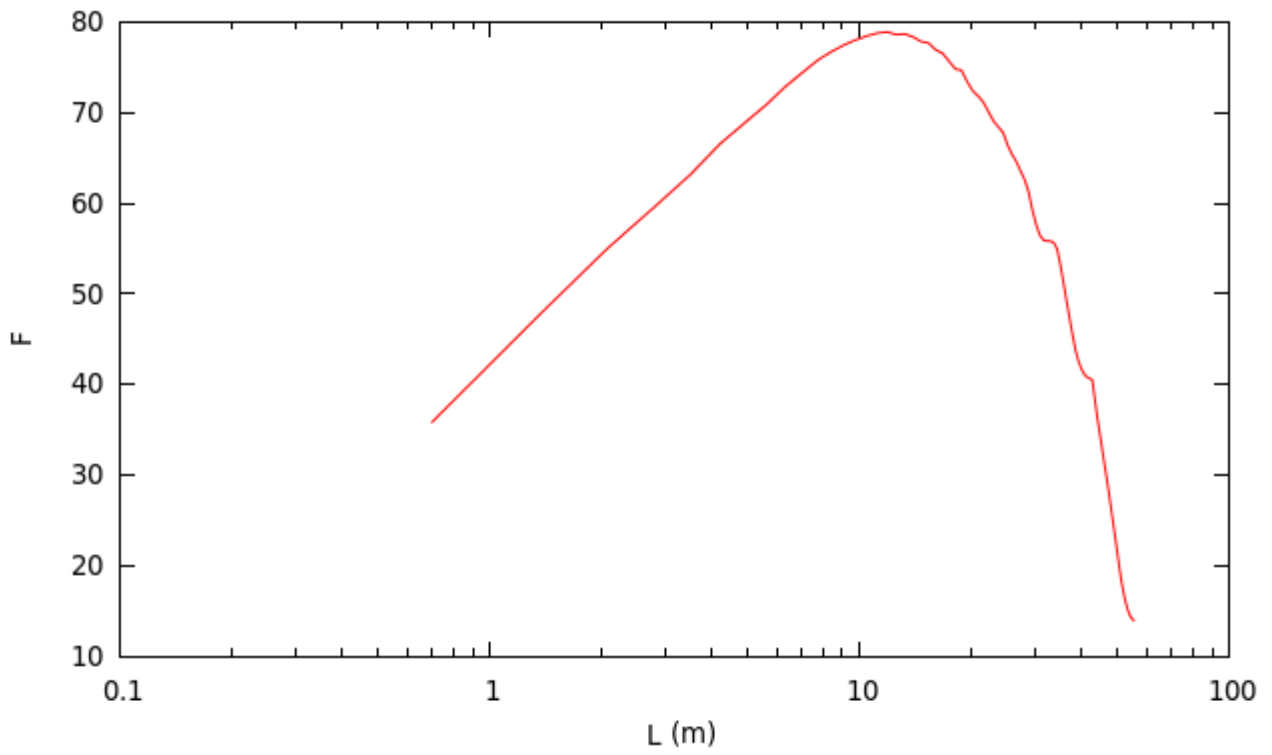


Figura AIII.5. F aplicada a la sección  $\alpha$  de tez.34.

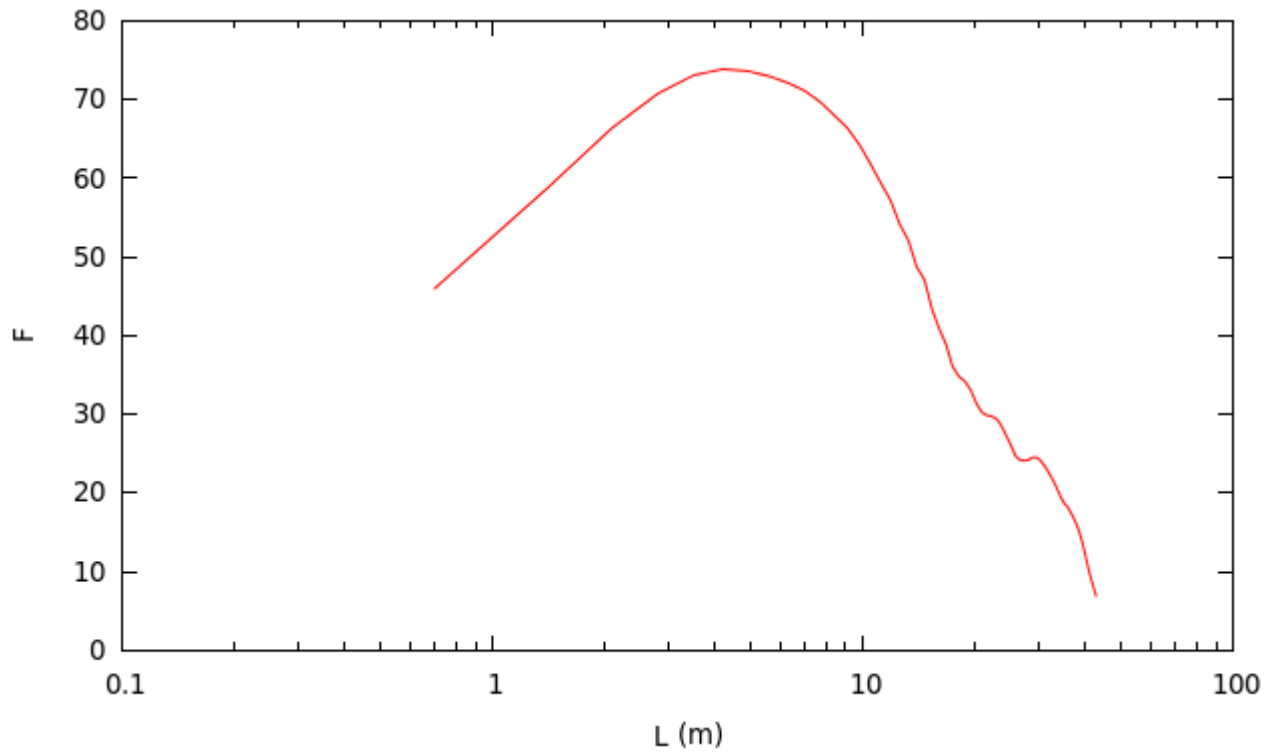


Figura AIII.6. F aplicada a la sección  $\beta$  de tez.34.

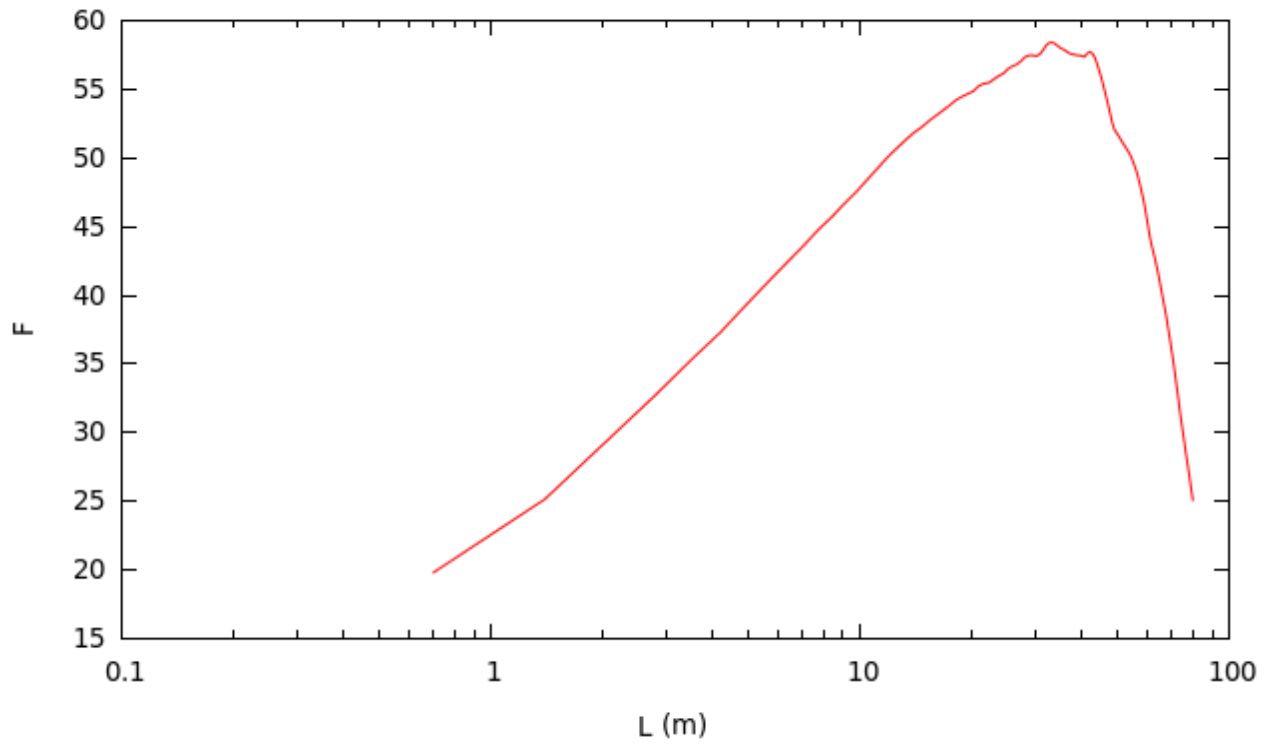


Figura AIII.7. F aplicada a la sección  $\gamma$  de tez.34.

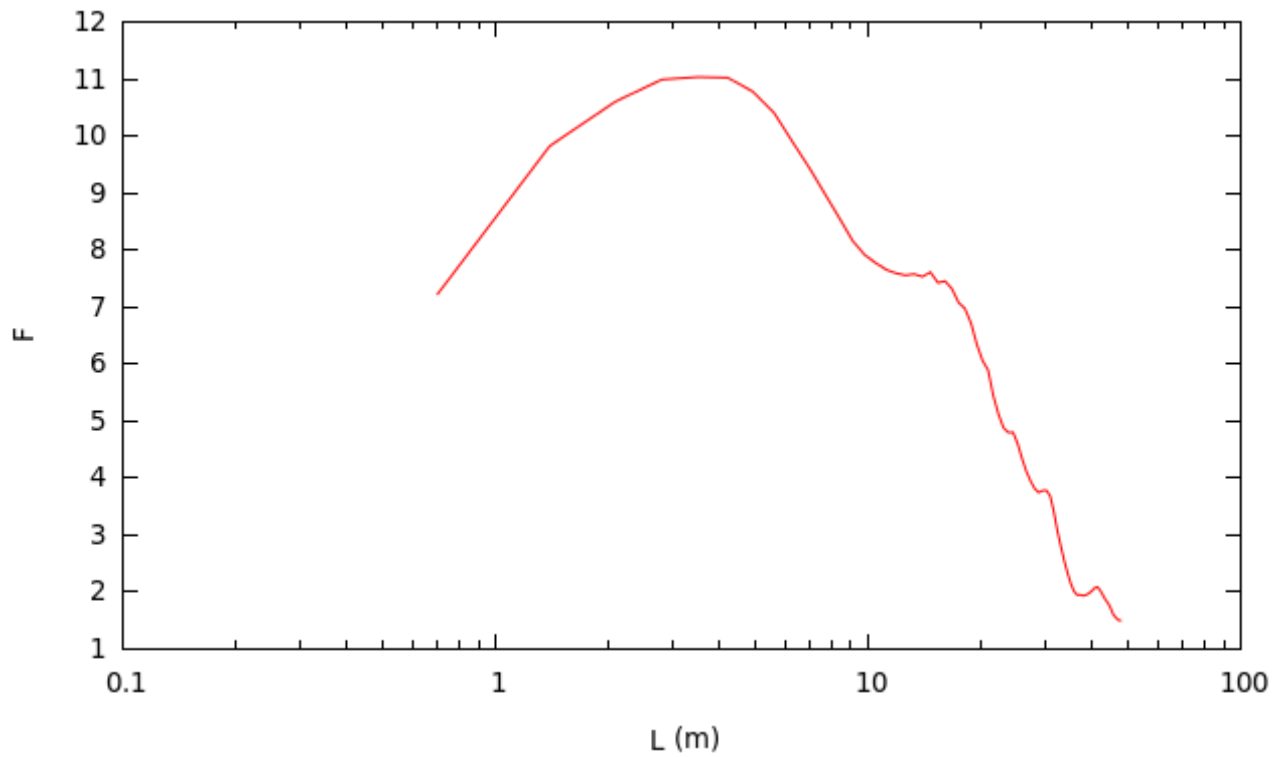


Figura AIII.8. F aplicada a la sección  $\delta$  de tez.34.

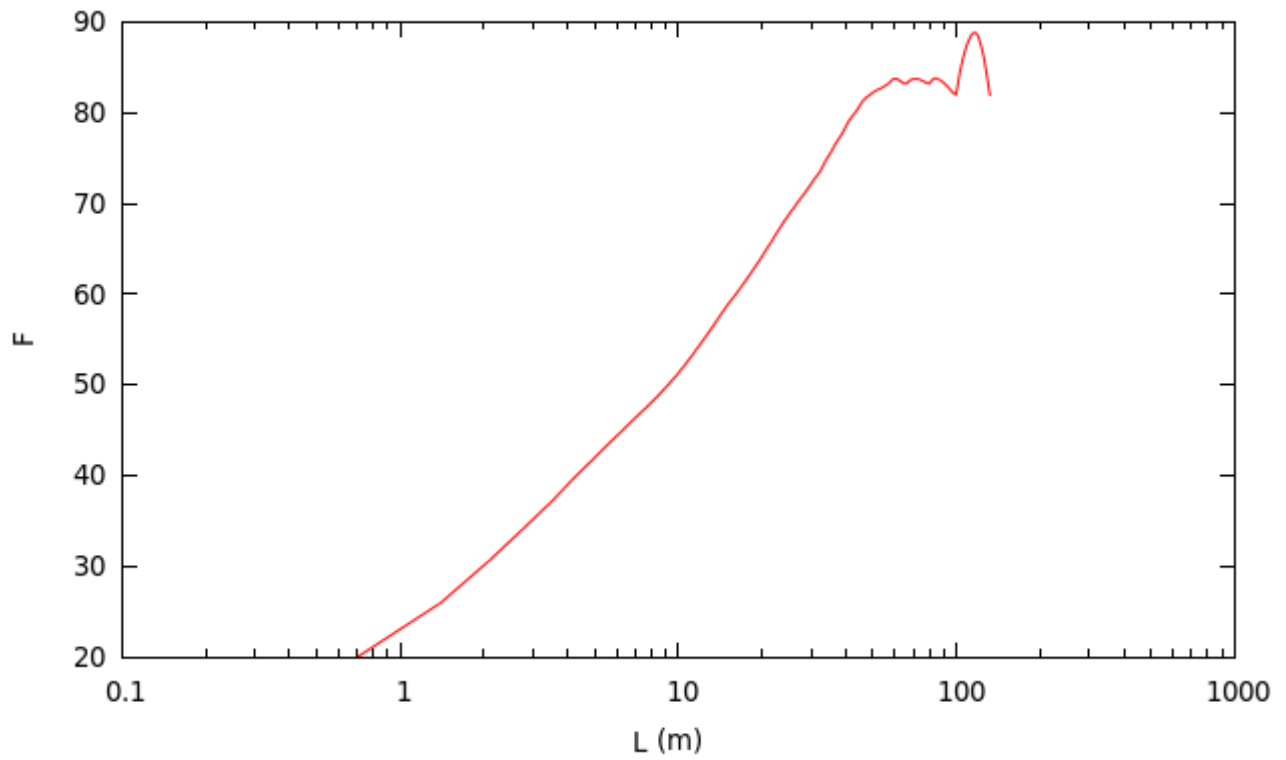


Figura AIII.9. F aplicada a la sección  $\epsilon$  de tez.34.

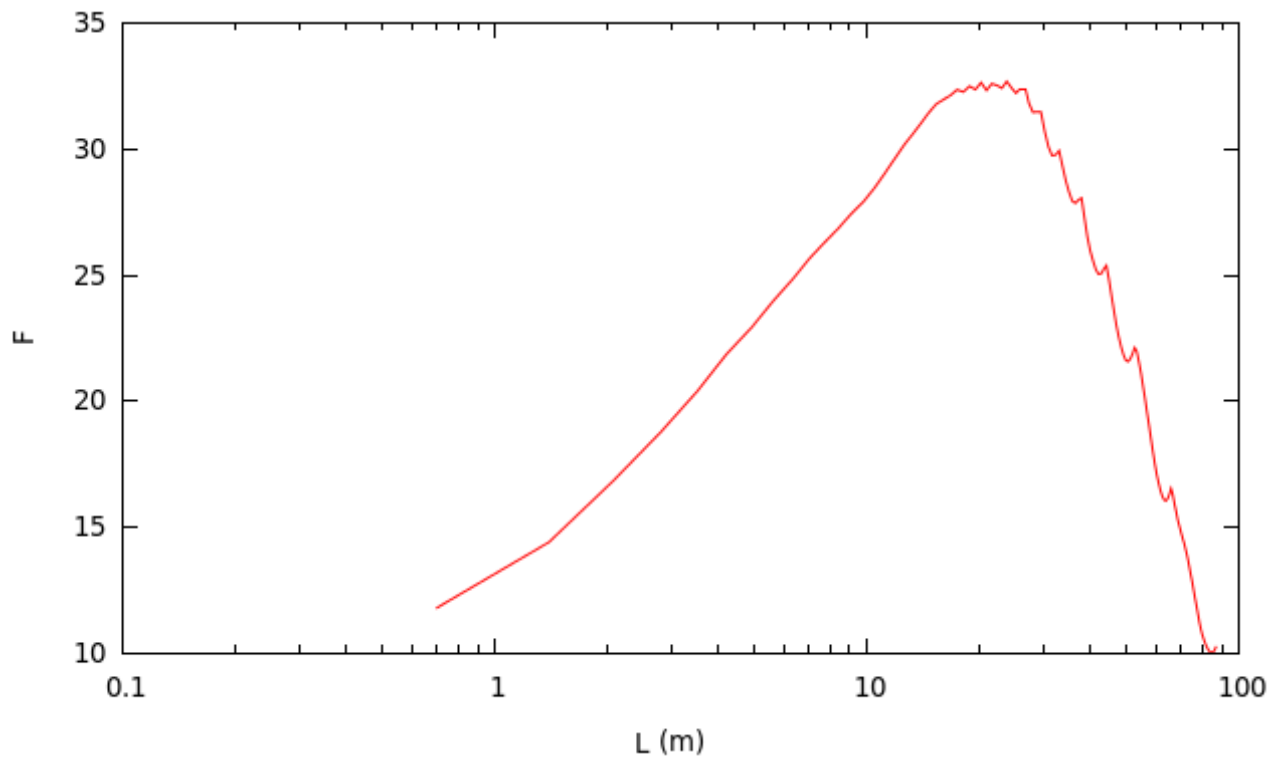


Figura AIII.10. F aplicada a la primera subsección de la sección  $\epsilon$  de tez.34 (hasta donde indica la flecha que apunta hacia arriba en la Figura AIII.1).

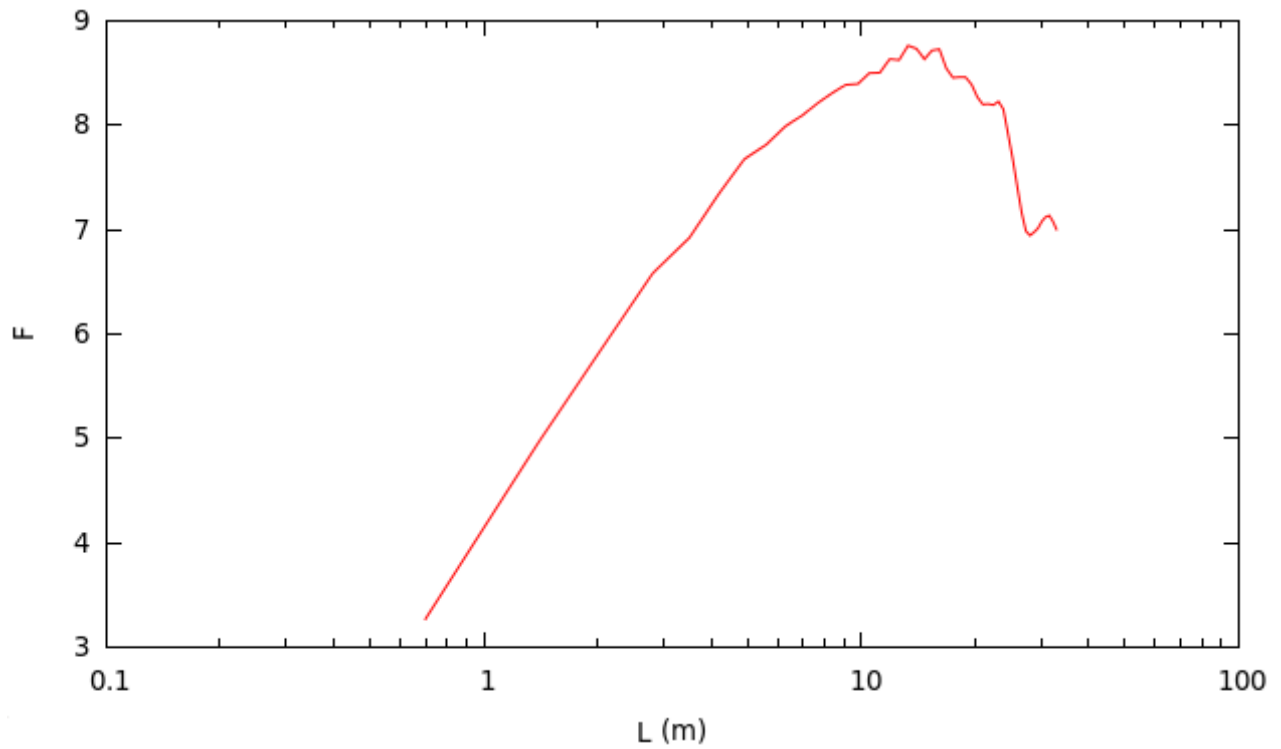


Figura AIII.11. Mismo que en la Figura AIII.9 pero para la segunda sección.

AIII.3 Tuxtla Gutiérrez:

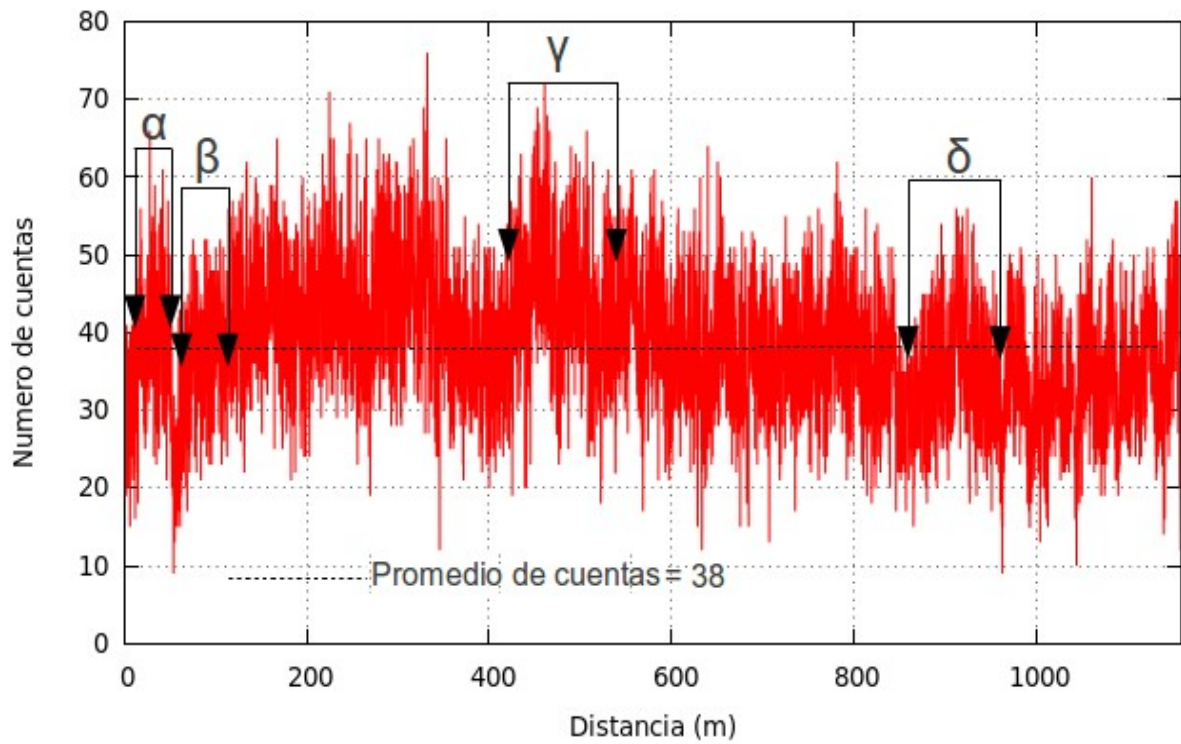


Figura AIII.12. Número de gotas de niebla en el caso Tuxtla.

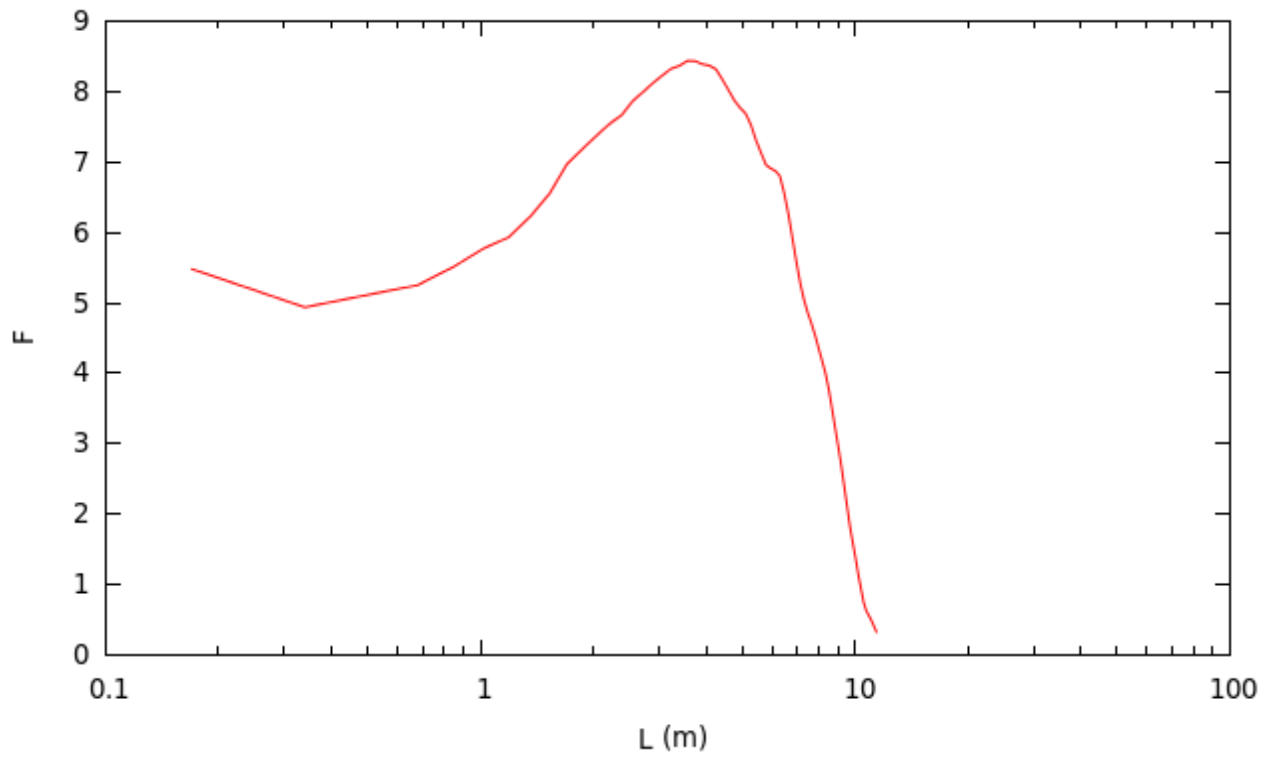


Figura AIII.13. F aplicada a la sección  $\alpha$  de Tuxtla.

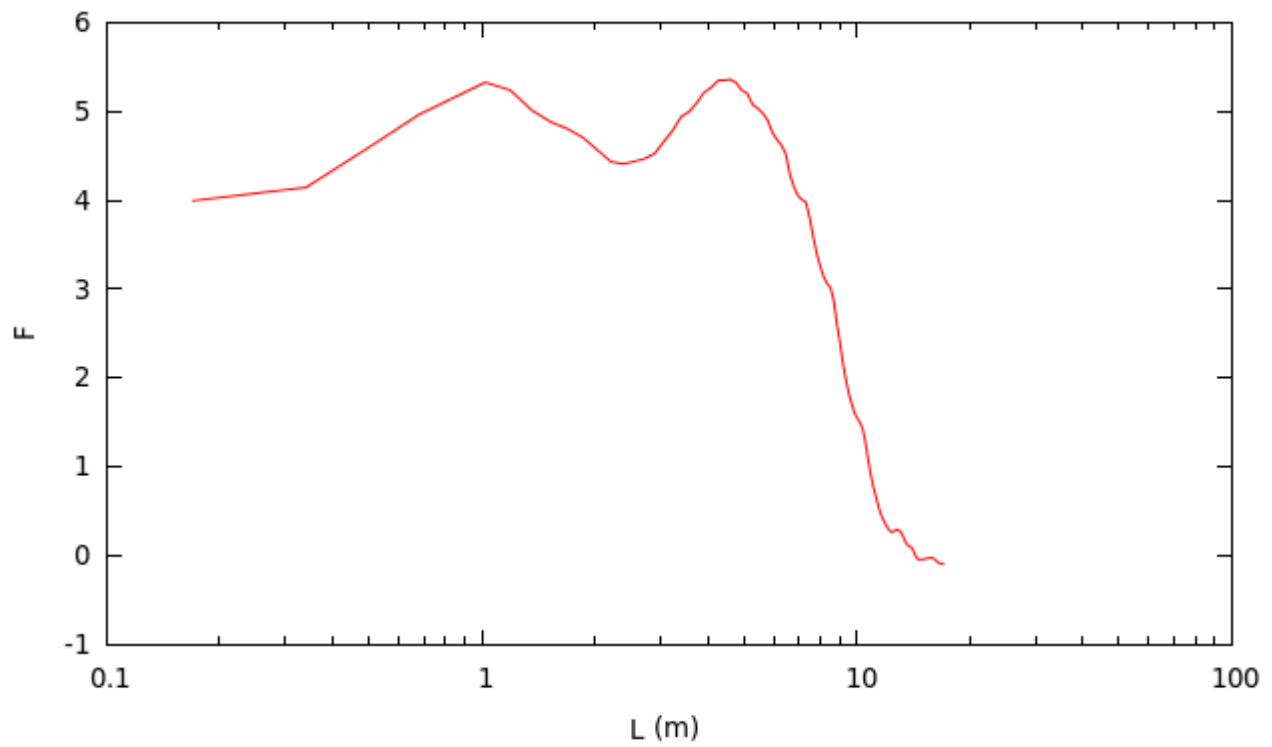


Figura AIII.14. F aplicada a la sección  $\beta$  de Tuxtla.

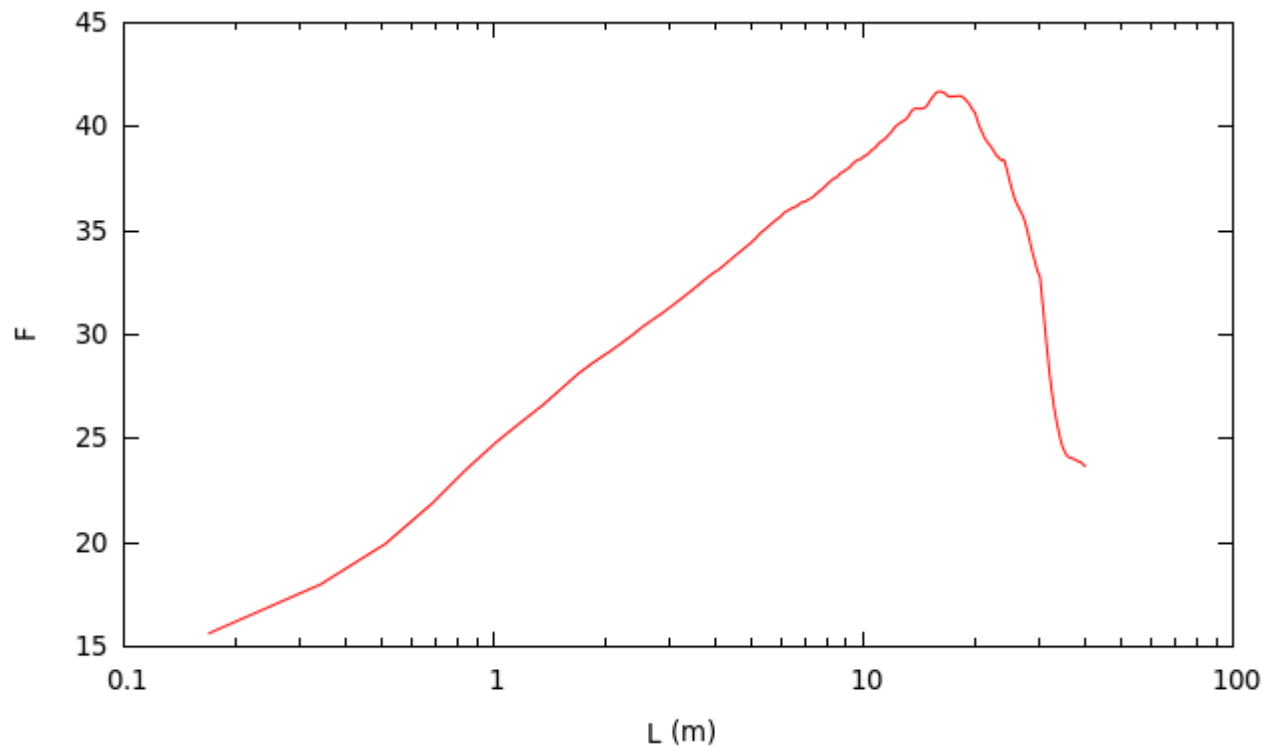


Figura AIII.15. F aplicada a la sección  $\gamma$  de Tuxtla.

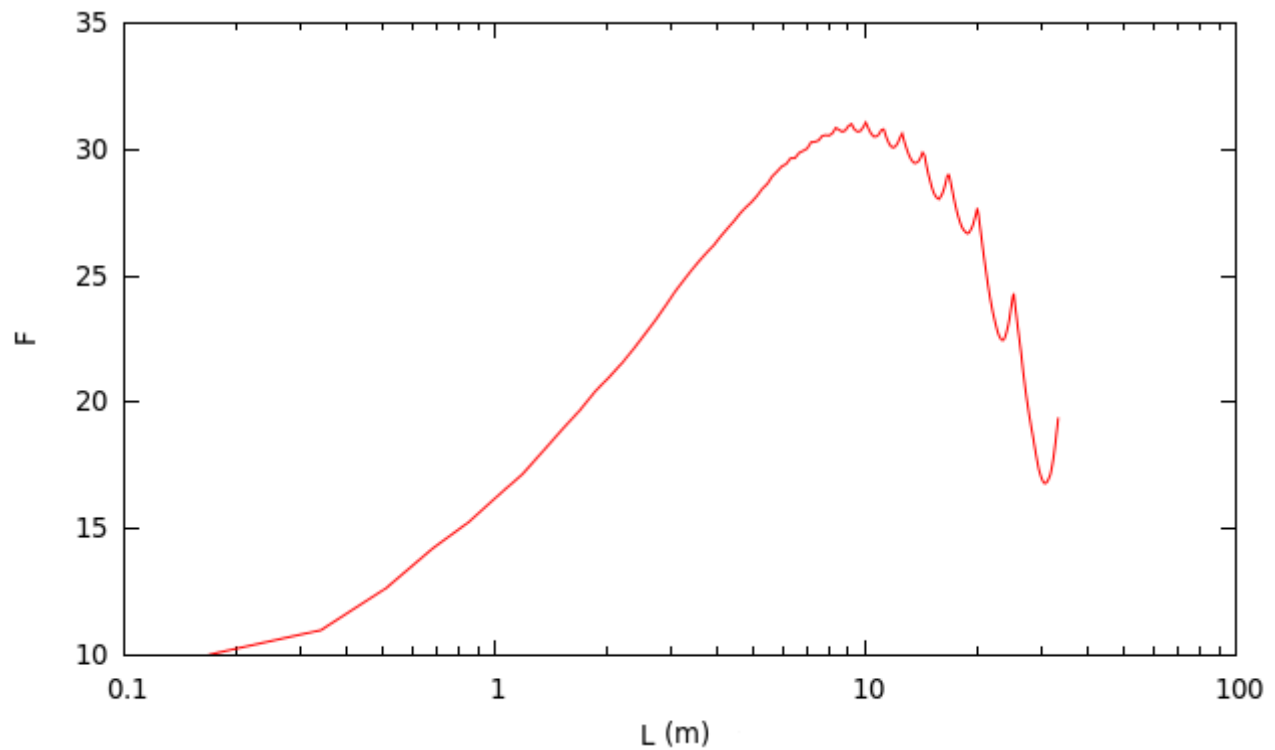


Figura AIII.16. F aplicada a la sección  $\delta$  de Tuxtla.