

TRABAJO ESPECIAL

**ESTUDIO DE LAS TORMENTAS EN LA ZONA CENTRO
ORIENTAL DEL PAIS EN BASE A LAS OBSERVACIONES
DEL RADAR METEOROLOGICO UBICADO EN ANACO**

TRABAJO ESPECIAL PRESENTADO ANTE
LA ILUSTRE UNIVERSIDAD CENTRAL DE
VENEZUELA POR EL BACHILLER LUIS F.
GARCIA DIAZ PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO HIDROMETEOROLOGISTA

CARACAS, JUNIO DE 1974

TRABAJO ESPECIAL

ESTUDIO DE LAS TORMENTAS EN LA ZONA CENTRO
ORIENTAL DEL PAIS EN BASE A LAS OBSERVACIONES
DEL RADAR METEOROLOGICO UBICADO EN ANACO

TRABAJO ESPECIAL PRESENTADO ANTE
LA ILUSTRE UNIVERSIDAD CENTRAL DE
VENEZUELA POR EL BACHILLER LUIS F.
GARCIA DIAZ PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO HIDROMETEOROLOGISTA

CARACAS, JUNIO DE 1974

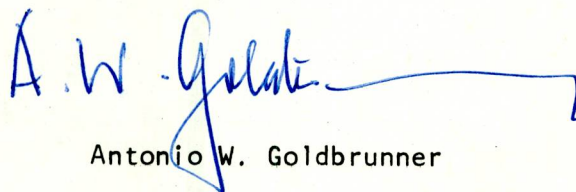
ESTUDIO DE LAS TORMENTAS EN LA ZONA CENTRO ORIENTAL DEL PAIS
EN BASE A LAS OBSERVACIONES DEL RADAR METEOROLOGICO UBICADO
EN ANACO

ALUMNO:



Luis F. Garcia D.

PROFESOR GUIA:



Antonio W. Goldbrunner

Mi agradecimiento:

Al Profesor Gufa Antonio W. Goldbrunner, por su interés y amplia colaboración demostrada durante la realización del presente Trabajo.

Al Hidrometeorologista Luis Cruz, por sus valiosas sugerencias en la metodología a seguir.

A mi esposa, a la Sra. Elba C. de Amaya, por su valiosa labor mecanográfica.

A las Sras. Carmen Y. de Aranguren y Esperanza de Freites, por su excelente ayuda.

A todas aquellas personas que en una forma u otra, contribuyeron a la realización de este Trabajo Especial y a mi formación profesional.

Para el Servicio de Meteorología
y Comunicaciones, atentamente de Luis.

iv

A mis padres

A mi esposa

A mi hijo

R E S U M E N

En el presente Trabajo, se realiza un estudio del comportamiento de las tormentas en base a las observaciones del radar; éstas fueron efectuadas en la zona de la ciudad de Anaco y partes vecinas, durante los meses comprendidos entre marzo y octubre de 1969.

Se encontró una baja correlación entre las diferentes variables de movimiento, tales como: dirección-velocidad y dirección-duración. Asimismo, el intento de relacionar las alturas y áreas de las nubes con la precipitación, resultó infructuoso. Sin embargo, en el último capítulo de este estudio se explica la metodología que se pensó utilizar.

Mediante una serie de gráficos de frecuencias, se define la tendencia para el inicio, desarrollo y finalización de las tormentas durante las diferentes horas del día.

Del análisis del desarrollo de las nubes, se determinan dos ciclos diferentes en la vida de ellas; cada ciclo presenta tres etapas bien definidas, lo cual hace posible reconocer dos tipos característicos de tormentas. Se estudia también, los efectos producidos en su crecimiento cuando ocurren uniones o separaciones entre ellas.

En el último capítulo de este Trabajo, se hace referencia a la utilización de todas las conclusiones obtenidas, con fines prácticos de pronóstico a corto plazo.

I N D I C E

	Pág. N°
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN	v
INDICE	vi
CONTENIDO DE LOS ANEXOS	
Lista de Abreviatura (Anexo 1)	ix
Lista de Gráficos (Anexo 2)	ix
Lista de Tablas (Anexo 3)	x
CAPITULO I	
A) Introducción.....	2
B) Objetivos.....	3
C) Antecedentes.....	4
CAPITULO II	METODOLOGIA
1. Observaciones y Evaluaciones de los Datos del Radar.....	9
2. Evaluación de la Red de Estaciones Pluviométricas en el Area de Estudio.....	10
3. Análisis de las Tormentas en Forma Individual.....	11
4. Estudio a Efectuar para Obtener los Objetivos.....	11
CAPITULO III	PRIMER OBJETIVO
Estudio de las Variables del Movimiento de las Tormentas.....	18
1. Trayectorias Medias de Desplazamiento.....	18
2. Dirección de las Tormentas.....	18
3. Relación Dirección-Velocidad.....	19

4.	Relación Dirección-Duración.....	21
CAPITULO IV SEGUNDO OBJETIVO		
	Intento de Correlacionar las Alturas y Areas de las Nubes con la Precipitación Registrada en Superficie.....	24
CAPITULO V TERCER OBJETIVO		
	Estudio de la Variación Diurna del Desarrollo de las Tormentas.....	27
1.	Variación Diurna para el Inicio de Tormentas.....	27
2.	Variación Diurna para la finalización de Tormentas.....	28
3.	Variación Diurna para la Existencia de Tormentas.....	29
CAPITULO VI CUARTO OBJETIVO		
	Estudio del Ciclo de las Tormentas.....	32
CAPITULO VII QUINTO OBJETIVO		
	Estudio de Interacciones entre las Tormentas.....	38
CAPITULO VIII SEXTO OBJETIVO		
	Intento de Determinar Posibles Métodos prácticos de Pronóstico a muy Corto Plazo, Valiéndose de Observaciones Directas del Radar Meteorológico.....	42
1.	Predicción de la Dirección de Movimiento..	43
2.	Predicción de la Velocidad de Movimiento..	43
3.	Predicción de la Duración.....	44

		Pág. N°
4.	Predicción de la Precipitación.....	44
5.	Predicción del Desarrollo de las Tormentas	47
	CONCLUSIONES.....	48
	REFERENCIAS.....	50
	ANEXO 1	
	ANEXO 2	
	ANEXO 3	

CONTENIDO DE LOS ANEXOS

ANEXO 1	LISTA DE ABREVIATURAS	
ANEXO 2	LISTA DE GRAFICOS	FIG. N°
	Localización de la zona de estudio.	1
	Red de estaciones pluviométricas en la zona de estudio.	2
	Dibujo de una tormenta individual.	3
	Trayectorias medias de desplazamiento del grupo de tormentas.	4
	Distribución de frecuencias de la dirección del movimiento. (247 casos)	5
	Correlación entre la dirección del movimiento de los ecos y su velocidad media. (247 casos)	6
	Distribución de frecuencias de las velocidades de las tormentas. (247 casos)	7
	Correlación entre la dirección del movimiento de los ecos y su duración. - (263 casos)	8
	Distribución de frecuencias de las duraciones de las tormentas. (263 casos)	9
	Gráficos de algunas tormentas donde se puede apreciar la deficiencia de los datos de precipitación.	10
	Gráfico de variación diurna para el inicio de tormentas. (269 casos)	11

Gráfico de variación diurna de frecuencia de finalización de tormentas. (269 casos) 12

Diferencia entre el número de tormentas que supuestamente deberían finalizar y las que finalizaron. (269 casos) 13

Gráfico de variación diurna de frecuencia de actividad de tormentas. (269 casos) 14

Ejemplos de gráficos que representan la variación de las áreas vs. alturas a través de la vida de las tormentas. 15

Esquemas idealizados de los diferentes ciclos de desarrollo de las tormentas. 16

ANEXO 3

LISTA DE TABLAS TABLA N°

Frecuencias de las velocidades de las tormentas. (247 casos) 1

Frecuencias de las duraciones de las tormentas. (263 casos) 2

Frecuencias de inicio de tormentas. (269 casos) 3

Frecuencias de finalización de tormentas. (269 casos) 4

Diferencias entre el número de tormentas que supuestamente deberían finalizar y las que finalizaron. (269 casos) 5

TABLA N°

Frecuencias de existencia de tormentas. (269 casos)	6
Ciclo de vida de las tormentas. (140 ca sos)	7
Iteraciones entre las tormentas. (41 ca sos)	8

CAPITULO I

A. INTRODUCCION

Durante los meses de marzo a octubre de 1969 se realizó en la zona centro-oriental de Venezuela (ver Fig. 1, Anexo 2), el Proyecto denominado "Venezuelan International Meteorological and Hydrological Experiment", el cual tuvo como centro de operaciones la ciudad de Anaco (Edo. Anzátegui).

El principal objetivo del Proyecto, era recabar información que pudiera ser usada posteriormente para, mediante análisis y generación de estadísticas, responder algunas de las tantas interrogantes que se plantean al investigador en Meteorología Tropical. Se realizaron mediciones conjuntas de radar, radiosondas, red pluviométricas, hidrología, radiación, etc., para caracterizar los fenómenos o perturbaciones propias de la región, estudiados a diferentes escalas sinópticas y así tratar de hallar interacciones entre éstas.

Una de las principales herramientas usadas durante el Proyecto, lo constituyó el radar meteorológico, el cual fue usado para fotografiar la actividad convectiva existente y así seguir en detalle, el desarrollo de las células convectivas. Mediante el análisis de las películas obtenidas, se determinaron los valores de las variables que caracterizan el movimiento de los ecos, estableciéndose luego correlaciones en otras variables que se podrían conocer a través del lanzamiento de radiosondas (que se efectuaron al paso de la tormenta), así como también a través de los registros de precipitaciones medidos por los instrumentos colocados a tal fin.

El Proyecto VIMHEX I fue realizado por la Universidad del Estado de Colorado, con la colaboración de la División de Hidrología del Ministerio de Obras Públicas (MOP), el Servicio de Meteorología y Comunicaciones de las Fuerzas Aéreas Venezolanas (FAV) y el Departamento de Meteorología e Hidrología

gfa de la Universidad Central de Venezuela (UCV); el autor del presente estudio trabajó en ese Proyecto, específicamente en lo relacionado al análisis y obtención de los datos representativos del movimiento de los ecos.

En base a los datos obtenidos en estos análisis, los cuales se describen con más detalles en el transcurso del Trabajo (ver capítulo II, Metodología), se realizan diversas investigaciones tendientes a obtener mejores conocimientos del ciclo de vida de las tormentas en las regiones continentales del trópico y por ende de la Meteorología Tropical en general.

B. OBJETIVOS

El objetivo del presente Trabajo es establecer estadísticas de las variables que puedan definir el comportamiento de las tormentas en la zona de estudios y establecer parámetros característicos de éstas.

En vista de que esta zona está situada en una parte continental de los trópicos, las conclusiones que se puedan deducir de este Trabajo, constituyen datos de valor en la explicación integral de los fenómenos dinámicos - tropicales.

A continuación se enumeran en detalle los objetivos parciales del presente Trabajo.

Primer Objetivo:

Estudio del movimiento de los ecos de las tormentas, determinando (en caso de que existan), direcciones preferentes de recorrido, así como también otras variables de movimiento, tales como: velocidad, duración, etc. y posibles correlaciones entre ellas.

Segundo Objetivo:

Intento de relacionar las alturas y áreas de las nubes, con la precipitación registrada en superficie.

Tercer Objetivo:

Determinación de la variación diurna del desarrollo de las tormentas.

Cuarto Objetivo:

Estudio del ciclo de las tormentas, específicamente: alturas, áreas y volúmenes de éstas, con el objetivo de diferenciar las etapas de su desarrollo así como también tratar de determinar cierto ciclo promedio.

Quinto Objetivo:

Consecuencias debidas a interacciones entre las tormentas. Aquí se determina el desarrollo de ellas, posterior a uniones o separaciones entre si.

Sexto Objetivo:

Análisis para encontrar posibles métodos de pronóstico a corto plazo, valiéndose de observaciones directas del radar meteorológico.

C. ANTECEDENTES

Las investigaciones meteorológicas a través del radar adquirieron un desarrollo asombroso a partir de la finalización de la segunda guerra mundial, ya que los radares que hasta ese entonces eran usados con fines militares, fueron adquiridos por las diferentes universidades e institutos de investigaciones meteorológicas; además, hay que agregar que estos radares operaban generalmente con una longitud de más de 10 cms, lo cual es magnífico para el estudio de los fenómenos meteorológicos, tales como la lluvia.

En base al auge del radar en la Meteorología, las autoridades de la materia han elaborado manuales y notas técnicas, con el objeto de facilitar el aprendizaje y uso de estos instrumentos; uno de estos manuales es la Nota Técnica N° 78 de la Organización Mundial de Meteorología (OMM), donde

aparecen indicaciones sobre los tipos de radar, registros, transmisión de datos, distintos tipos de ecos asociados a fenómenos meteorológicos, etc. Otro manual importante es la Nota Técnica N° 88 de la O.M.M., en la cual se narran ciertos usos del radar en los trópicos.

Por medio del radar se han realizado muchos estudios tales como, - la medición de la intensidad de las lluvias mediante los ecos recibidos, así tenemos que si se conocen las características técnicas del instrumento, se pueden elaborar fórmulas que relacionen el eco recibido con el tamaño de las gotas y densidad de la lluvia; esto está basado en que la energía reflejada por una nube de gotas de lluvia, está íntimamente relacionada con el tamaño de las gotas.

Austin, Williams y otros meteorólogos del Instituto Tecnológico de Massachusetts (Battan L. 1959)⁽¹⁾, efectuaron algunos trabajos sobre la comparación entre la precipitación calculada mediante la intensidad de las señales del radar y las correspondientes mediciones realizadas en tierra, encontrando en la mayoría de los casos resultados satisfactorios.

Hiser, de la Universidad de Miami (Battan L. 1959)⁽¹⁾, investigó - un método que consistió en fotografiar con una película especial, la superficie de los ecos vistos a través del radar; luego mediante un densímetro se - podía determinar en la película la mayor o menor intensidad de los ecos, de acuerdo a que el densímetro marcara mayor o menor opacidad. Comparando estos valores con la precipitación encontrada en los pluviómetros, se podrían elaborar ciertos diagramas que relacionaran la densidad de la película con la precipitación encontrada en tierra. Por medio de estos diagramas puede calcularse la precipitación aproximada, con el solo hecho de conocer la densidad mencionada anteriormente y la distancia a que se encuentra el eco del radar.

Byers (Battan L. 1959)⁽¹⁾, sugirió que podía calcularse a través del radar, el valor de la precipitación total en un área pequeña, calculándose el área promedio de la tormenta, multiplicándola luego por el tiempo de duración y comparándola gráficamente con la lluvia total verdadera caída en la zona. Mediante esto se obtiene una curva que relaciona la superficie de los ecos con la probable lluvia total.

El primer estudio detallado de las tormentas mediante radar fue hecho en el Thunderstorm Project, (Battan L. 1959)⁽¹⁾; Byers y ~~Braham~~^{Braham} a través de las fotografías obtuvieron alturas máximas de las tormentas, sobre el Sureste de Ohio (EE.UU.). Ellos encontraron que algunas de las nubes alcanzaron la cima de la troposfera y probablemente los niveles bajos de la estratosfera.

Otros estudios fueron hechos con relación al movimiento de las tormentas vistas por el radar, y el viento. En el Proyecto Thunderstorm se encontró que cuando la velocidad media del viento entre los 2.000 y 20.000 pies fue más grande que 10 millas/hora, la correlación entre los movimientos de los ecos y la velocidad en las capas de 5.000 a 20.000 pies fue bastante buena.

Wilson y Kessler (1973)⁽⁶⁾, realizaron un estudio referente al uso del radar como una ayuda para el análisis del tiempo y el pronóstico y encontraron relaciones entre los reportes de precipitación sobre la superficie y los ecos del radar. Una de estas relaciones compara los valores de la intensidad de los ecos (grandes, moderados, débiles, etc.) con el tipo de precipitación encontrada; también relacionan las alturas de los ecos con las precipitaciones registradas.

Charba y Sasaki (1964)⁽²⁾, estudiaron el movimiento de las tormentas mediante el radar y las comparan con el viento medio predominante y cal-

culan la desviación promedio entre la dirección del viento y las tormentas.

Con relación a la forma de las tormentas, se puede mencionar a Newton, W. (1962)⁽⁴⁾, el cual idealiza a las tormentas como un cilindro, con una base circular de área dado por πR^2 y el tope de las nubes viene dado entonces por la altura del cilindro.

Para finalizar, se menciona en forma especial el trabajo realizado por Cruz, L. (1973)⁽³⁾; dicho trabajo fue efectuado en base a los datos del mismo Proyecto VIMHEX I. En él se hacen diferentes estudios basados en el ciclo de vida de las tormentas seguidas por radar, encontrándose una altura media de los ecos de 9.7 Kms, un área media de 500 Kms y una duración media aproximadamente de 2 horas; además, se realizaron diversos estudios tendientes a determinar las correlaciones entre algunos parámetros de las tormentas. Se observó que las curvas de alturas vs. tiempo y área vs. tiempo, eran más o menos simétricas con respecto a un máximo central. De las curvas de correlación se deduce que grandes nubes tienen una vida larga, pero esto no significa que tengan grandes alturas.

Con el objeto de facilitar algunos estudios en este Trabajo se usarán algunos valores calculados en el estudio realizado por Cruz, L. (1973)⁽³⁾.

CAPITULO II

METODOLOGIA

1. OBSERVACIONES Y EVALUACIONES DE LOS DATOS DEL RADAR

Como un paso preliminar se narra a continuación el método que se usó en la obtención de los datos recabados por el radar.

El radar cubre un área aproximada de un radio de 100 Kms, su pantalla es del tipo de indicador de posición en planta (P.P.I); estas vistas en planta comienzan con la posición de 2° de elevación y terminan con la correspondiente a un ángulo de 18°.

El radar opera con una longitud de onda de 10 cms; este instrumento está equipado con una cámara fotográfica, la cual tiene como función tomar las fotos de los ecos registrados en la pantalla, con una secuencia de cada 10 minutos. El análisis de las fotos consistió en determinar los centros de las tormentas, su desplazamiento, crecimiento, desarrollo y velocidad.

Por lo general, el centro de las tormentas se encuentra con el eco más fuerte del nivel más alto, el cual corresponde con la cima de las nubes; a veces el eco de la cima de la tormenta se puede encontrar en las fotografías de los niveles intermedios y esto depende de la distancia a que se encuentra del radar.

Luego de finalizar con el análisis del centro de la tormenta, se estudia el área de ella; para esto se coloca en el aparato reproductor de fotografías, el nivel correspondiente a los 2° de elevación y mediante una cuadrícula se determina el área que ocupan las manchas de los ecos. Luego se pasa a buscar la altura o cima de ella, para esto se toma en cuenta la elevación máxima en que aún aparecían los ecos y la distancia horizontal a la cual se encuentra del radar; con estos valores (mediante gráficos) se calculó luego las alturas o cimas correspondientes.

Al final se obtiene una serie de datos que representan el desarrollo de las tormentas.

Estos datos abarcan más de doscientas tormentas analizadas desde el día 6 de julio hasta el día 1° de octubre de 1969 y comprenden para cada observación, los siguientes valores:

- a) Asimut del centro
- b) Elevación en grados
- c) La distancia del centro de la tormenta al radar
- d) La altura o cima de la tormenta
- e) Area de ella
- f) Densidad de agrupación de los ecos

2. EVALUACION DE LA RED DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS EN EL AREA DE ESTUDIO

Con respecto a los datos de precipitación en la red de estaciones pluviométricas en el área de estudio, se puede decir que se cuenta con 80 estaciones de las cuales 63 poseían pluviógrafos y las 17 restantes solamente poseían pluviómetros (ver Fig. 2, Anexo 2).

Las estaciones enumeradas anteriormente pertenecían a los siguientes organismos (ver Anexo 1):

Ministerio de Obras Públicas	30 con datos horarios
Ministerio de Agricultura y Crfa	01 con datos horarios
Instituto Nacional de Obras Sanitarias	12 con datos horarios
Vimhex I	32 con datos horarios
Vimhex I	05 con datos diarios

Los datos correspondientes a estas estaciones, exceptuando los del Instituto Nacional de Obras Sanitarias, fueron recogidos y publicados luego por el Proyecto (Riehl et al., 1971)⁽⁵⁾.

3. ANALISIS DE LAS TORMENTAS EN FORMA INDIVIDUAL

Como primer paso dentro del estudio en si, se plotean los datos del movimiento de los ecos de las tormentas, cada una por separada (ver Fig. 3, Anexo 2).

Mediante estos ploteos se pueden visualizar mejor las diferentes - variables que caracterizan a la tormenta.

Definición de Términos

- a) Trayectorias medias de desplazamiento: Es la trayectoria seguida por los ecos y definidas por cierta dirección o azimut promedio.
- b) Dirección: Es la dirección o azimut que representa el movimiento de los ecos de una tormenta.
- c) Velocidad media: Es la velocidad media de los ecos calculada mediante la razón entre espacio recorrido y su duración.
- d) Volumen acumulado parcial u horario: Se define como el producto de los - valores medios de área y altura de una tormenta para una determinada hora, multiplicada luego por 60 minutos de duración.

4. ESTUDIO A EFECTUAR PARA OBTENER LOS OBJETIVOS

En base a los ecos de las tormentas ya ploteadas, se pueden comenzar los estudios tendientes a cumplir los objetivos especificados anteriormente:

a) Metodología del Primer Objetivo

Para cumplir con el estudio enmarcado dentro del primer objetivo, se dibujan todas las trayectorias medias de desplazamiento de las tormentas

juntas a la vez y se investiga, si realmente existen trayectorias preferentes en su movimiento. Como un complemento, se realiza un gráfico de distribución de frecuencias de las tormentas con respecto a su dirección de movimiento, con el fin de determinar las direcciones preferentes en que se mueven los ecos. Para este fin y para fines posteriores es conveniente dividir las direcciones de las tormentas en 7 intervalos diferentes, donde cada intervalo tendrá 30° de amplitud, a excepción del primero al cual se le asigna 180° debido a que son pocas las tormentas que se desplazan en esa dirección.

El siguiente paso consiste en construir gráficos que correlacionen las diferentes variables del movimiento. En caso de que en algunos de estos gráficos (o en todos) la correlación entre las variables, sea extremadamente baja y se logre visualizar a simple vista, entonces no se calculará su correspondiente coeficiente (en vista de que es innecesario), pero en tal caso se determinarán gráficos de distribución de frecuencias de las diferentes variables de movimiento, correspondientes a cada uno de los intervalos de dirección mencionados anteriormente. A partir de estas distribuciones, se determinarán conclusiones acerca de los valores característicos de las variables de movimiento.

b) Metodología del Segundo Objetivo

Para intentar determinar ciertas correlaciones entre los diferentes parámetros que caracterizan a las tormentas con la precipitación registrada en tierra; se calculará la precipitación acumulada debido al paso de la tormenta por los diversos puntos de su trayectoria; luego en base a estos datos se determinará el correspondiente análisis isoyético, para la zona afectada por cada una de ellas. Con estos análisis ya elaborados

se relacionarán entonces, las alturas y las áreas de las tormentas con sus correspondientes valores de precipitación.

Es importante mencionar que el trazado del mapa isoyético no es una tarea fácil, ya que las posibilidades de cometer errores son bastante considerables; esto es debido a que las tormentas aquí estudiadas son por lo general aisladas y con lluvias muy intensas, las cuales además se manifiestan a través de zonas muy reducidas. Esto determina que se presenten casos donde en una estación determinada, se registre una precipitación elevada, mientras que en otra estación cercana la precipitación registrada sea insignificante, lo cual trae como consecuencia, errores en el trazado del correspondiente análisis isoyético y por ende en el - cálculo de la correlación que nos interesa.

c) Metodología del Tercer Objetivo

Para la obtención de este objetivo, se cuenta con una serie de valores correspondientes a un grupo de 269 tormentas.

A partir de estos datos, se determinarán diferentes gráficos de frecuencias que deben de dar una idea bastante clara de la actividad, durante las distintas horas del día.

En estos gráficos se representan el número de tormentas que se iniciaron (en porcentaje del total de 269 casos) para cada una de las horas del día, de tal forma de poder determinar cierta variación diurna para el inicio de ellas; en otro gráfico se hará más o menos lo mismo, pero esta vez con respecto a la finalización de las tormentas.

En un tercer gráfico se intentará representar valores correspondientes a la frecuencia de tormentas promedios que actúan para cada una de las horas del día. Para esta parte del estudio, se define una "tormenta prome

dio horaria", como aquella que tiene un área y una altura media dadas por los valores calculados por Luis Cruz (1973)⁽³⁾ y que ejerce su acción durante una hora.

Así tenemos que una "tormenta promedio horaria" tendrá un área media de 500 Kms^2 , una altura media de 9,7 Kms y un volumen medio de 4850 Kms^3 ; esta tormenta actuando durante una hora, tendrá un "volumen acumulado horario" de $291.000 \text{ Kms}^3/\text{min}$. Para la obtención de los datos de este gráfico, se calculará para cada una de las diferentes horas del día el volumen acumulado horario correspondiente al grupo de tormentas estudiadas y se dividirá cada uno de estos valores por el "volumen acumulado horario" correspondiente a la tormenta promedio; al final se obtiene entonces, la frecuencia de tormentas promedio para las distintas horas del día.

En base a los resultados representados en los diversos gráficos, se harán los comentarios que se crean necesarios.

d) Metodología del Cuarto Objetivo

Del total de 269 casos de tormentas, se eligieron los valores correspondientes a un grupo de 140 de ellas, las restantes fueron desechadas en este caso por presentar diversas modificaciones a través de su vida, tales como, uniones o separaciones entre ellas, así como también por presentar muy poco desarrollo convectivo.

A partir de estos datos así escogidos, se elaborarán una serie de gráficos o dibujos, en donde se representan los valores correspondientes a la variación de las alturas de cada una de las tormentas. Ahora bien, si a estos gráficos de área vs. altura le superponemos curvas de volúmenes constantes, se obtiene entonces al final una representación prácti-

ca del cambio de estas tres variables (área, altura y volumen), a través de la vida de ellas.

Con el conjunto de tormentas así representadas, se intentará determinar diferentes etapas en su desarrollo, así como también investigar si existe un cierto ciclo preferente a través de su vida.

e) Metodología del Quinto Objetivo

Para cumplir con este objetivo, se eligieron un total de 81 casos de tormentas, en las cuales se presentaron uniones o separaciones entre sí.

A partir de los datos de área, volumen y altura, se realizaron los dibujos representativos de cada una de ellas, en una forma similar a los explicados en la "Metodología del Cuarto Objetivo". Luego, a partir de estos dibujos se intentará determinar el estado de desarrollo de las tormentas, antes y después de cada una de sus uniones o separaciones con otras; para ello se tomará en cuenta el cambio manifestado en las tres variables mencionadas anteriormente.

En base a estos análisis se obtendrán una serie de resultados estadísticos, los cuales posiblemente ayudarán a determinar los efectos producidos en el desarrollo de una tormenta, cuando es influenciada por la unión o separación de otras.

f) Metodología del Sexto Objetivo

En el capítulo correspondiente a este objetivo, se hará referencia a la determinación de un método de pronóstico relacionado a la vida de las tormentas, de tal forma que cuando se capte una de ellas en formación, se pueda tener una cierta idea de como será su posible desarrollo e intensidad con que afectará a una zona por donde se estime que ella ejercerá su acción.

Con este propósito, se intentará relacionar el comportamiento de las variables observadas en el inicio de la tormenta, con los parámetros característicos y conclusiones establecidas a través del desarrollo de los capítulos de este Trabajo.

CAPITULO III

PRIMER OBJETIVO

ESTUDIO DE LAS VARIABLES DEL MOVIMIENTO DE LAS TORMENTAS

En este capítulo se busca de establecer valores de las variables - que caracterizan el movimiento de los ecos, a partir de los datos obtenidos por radar, estableciéndose luego algunas correlaciones para tratar de obtener parámetros que caractericen el comportamiento de las tormentas en las zonas continentales de los trópicos.

Este capítulo abarca el estudio de cuatro puntos fundamentales, los cuales se explican a continuación:

1) Trayectorias Medias de Desplazamiento

Para intentar encontrar ciertas trayectorias preferentes en el movimiento de los ecos, se dibujaron las trayectorias medias de desplazamiento correspondientes al conjunto de tormentas (ver Fig. 4, Anexo 2). Como puede verse en esta figura, el movimiento de los ecos en la gran mayoría de los casos tiene una componente hacia el Oeste, sin embargo, no se notan vías o trayectorias preferentes en su recorrido.

Este resultado era en cierto modo esperado, debido a que la zona de estudio se puede considerar como plana y por lo tanto, el movimiento de los ecos no debe de ser afectado por efectos orográficos.

2) Dirección de las Tormentas

A partir de los datos correspondientes a las 247 tormentas estudiadas, se construyó un gráfico de distribución de frecuencias según su dirección de movimiento (ver Fig. 5, Anexo 2). En este gráfico se puede ver claramente que la gran mayoría de las tormentas tienen una dirección de movimiento entre los 210 y 360 grados, siendo el intervalo de máxima -

ocurrencia el comprendido entre los 270 y 300.

La explicación de este hecho debe de buscarse en los vientos predominantes de la región. Se tiene conocimiento que en el Proyecto Thundersterm, se encontró buena correlación entre los movimientos de los ecos y la velocidad del viento y entre los niveles de 5.000 a 20.000 pies. Además, Cruz, L. (1973)⁽³⁾, habla también de cierta correlación entre el movimiento de los ecos y la dirección del viento a los 700 mbs; él determinó en su trabajo, que el 50% de los ecos estudiados tenían una desviación entre 0 a 30 grados a la derecha de la dirección de los vientos predominantes de la región, (700 mbs).

Esto se ajusta a nuestro estudio, ya que los vientos predominantes en la región a los 700 mbs, son de los 285 grados (según Cruz, L 1973)⁽³⁾ y nuestra mayor frecuencia está comprendida entre los 270 y 300 grados.

3) Relación - Dirección - Velocidad

Para el estudio correspondiente a esta parte del capítulo, no se toman en cuenta aquellas tormentas que sufrieron cambios significativos en la dirección de desplazamiento. Los datos abarcan un total de 247 tormentas en base a las cuales, se elaboró un gráfico de correlación entre la dirección del movimiento de los ecos y su velocidad media (ver Fig. 6, Anexo 2).

A partir de este gráfico se puede deducir a simple vista y sin necesidad de determinar su correspondiente coeficiente, que tal correlación es muy baja. Se concluye que la velocidad media con que se desplaza una tormenta, no guarda una buena correlación con su dirección de movimiento.

En vista que no se encontró una buena correlación entre estos parámetros, se calculó entonces una tabla de frecuencia de las velocidades de

tormentas para cada uno de los siete intervalos de dirección tomados (ver Tabla 1, Anexo 3). En base a esta Tabla de Valores y mediante un correlograma adicional, se puede comprobar que las tormentas que tienen una dirección comprendida en el intervalo de máxima frecuencia, en el mayor porcentaje de los casos tienen una velocidad que oscila entre los 4.0 y 8.0 metros/seg.

A pesar de que ya sabemos que no existe una buena correlación entre la velocidad y la dirección de movimiento, determinaremos a continuación, (por considerarlo de interés) la velocidad media característica para cada uno de los intervalos tomados; para ello nos basamos en los valores obtenidos en la Tabla anteriormente mencionada (Tabla 1, Anexo 3). En base a cada uno de los intervalos de dirección de movimiento, se construyó un gráfico de distribución de frecuencias con respecto a las velocidades medias (ver Fig. 7, Anexo 2) y se determinó el valor de la velocidad media más representativa; en estos cálculos se tomó en cuenta la moda de la serie de valores del intervalo y se calculó en base al "método práctico de diferencia". El hecho de tomar la moda y no otro tipo de media se debió a que en la serie de datos existían unos cuantos valores extremadamente altos o bajos y como ya sabemos en estos casos es recomendable este tipo de tendencia central.

A continuación se dan los resultados obtenidos para las velocidades medias más típicas de las tormentas según su dirección, (encontradas en nuestro estudio).

<u>Dirección de movimiento</u>	<u>Velocidad típica (metros/seg.)</u>
000 - 180	01.30
180 - 210	05.00
210 - 240	05.20
240 - 270	06.30
270 - 300	06.50
300 - 330	05.20
330 - 360	02.90

Es interesante destacar el hecho de que mientras más alejada sea la dirección en la cual se mueven las tormentas, con respecto a la dirección considerada como la mayor ocurrencia (270° - 300°), o lo que es lo mismo con respecto a la dirección de los vientos predominantes de la región a los 700 mbs, menor será la velocidad de desplazamiento de ella.

4) Relación - Dirección - Duración

Para esta parte del Trabajo, se tomaron en cuenta los datos correspondientes a 263 tormentas.

A partir de estos datos y con el objeto de determinar si existen ciertas relaciones entre la duración de una tormenta y su dirección de desplazamiento, se elaboró un gráfico que correlaciona estos dos parámetros (ver Fig. 8, Anexo 2). Mediante este gráfico se dedujo que el coeficiente de correlación es extremadamente bajo, lo cual indica que la duración de una tormenta no está influenciada por la dirección en que se mueve.

Con el objeto de intentar determinar resultados que puedan ayudar a mejorar el conocimiento acerca de estos parámetros, se calculó una tabla de frecuencia de las duraciones de las tormentas para los siete intervalos de dirección (ver Tabla 2, Anexo 3). Basado en esta tabla y ayudado

por un correlograma (dependiente también de la misma tabla), se determinó que el valor más probable de la duración de las tormentas para los intervalos de máxima frecuencia en dirección, está comprendida entre la una y dos horas. A partir de esta misma tabla se construyó para cada intervalo de dirección, los gráficos de distribución de frecuencias con respecto a las duraciones medias de las tormentas (ver Fig. 9; Anexo 2); mediante estos gráficos se estimaron los valores más típicos de la duración para cada uno de los intervalos estudiados.

A continuación se dan los resultados obtenidos.

<u>Dirección de movimiento</u> (grados)	<u>Duración</u> (min.)
000 - 180	75
180 - 210	70
210 - 240	67
240 - 270	95
270 - 300	65
300 - 330	74
330 - 360	99

Es de hacer notar el hecho de que se halló duraciones modales menores - para aquel intervalo en el cual las velocidades eran mayores (específicamente en el intervalo 270 a 300).

CAPITULO IV

SEGUNDO OBJETIVO

INTENTO DE CORRELACIONAR LAS ALTURAS Y AREAS DE LAS NUBES CON LA PRECIPITACION REGISTRADA EN SUPERFICIE

Para la elaboración de este objetivo, se trazaron los mapas isoyéticos correspondientes al grupo de tormentas estudiadas. En estos análisis se presentaron diversas dificultades.

A continuación se enumeran los principales inconvenientes presentados:

- 1) Se trazaron numerosos mapas isoyéticos, en donde todos los registros de precipitación que se presentaron durante el tiempo y área de acción de determinadas tormentas eran cero. Por demás está decir, que esto es ilógico, ya que los ecos detestados por el radar correspondían con nubes muy cargadas de humedad, las cuales en su gran mayoría estaban produciendo lluvias fuertes (ver Fig. 10, Anexo 2).
- 2) La red de estaciones pluviométricas no era lo suficientemente densa como para realizar un estudio de esta magnitud. En principio se pensó que la red de estaciones existente en el proyecto, era lo suficientemente aceptable para realizar este estudio, pero a medida que se fueron realizando los dibujos de las tormentas, se fue notando que muchas de ellas, tenían lugar en zonas donde el número de estaciones registradas eran relativamente escasas; además, hay que agregar que se tenía la esperanza de utilizar los registros de las estaciones automáticas, puestas a prueba durante el proyecto. Sin embargo, se supo luego que estos registros presentaban fallas y por lo tanto, debieron de ser despreciados.

- 3) Otro inconveniente muy común que se presentó en el trazado de los mapas isoyéticos, lo constituyó el hecho de que muchas veces dos o más tormentas pasaban más o menos a la misma hora por un determinado lugar, hecho por el cual se nos hacía imposible determinar en que proporción correspondía la precipitación acumulada, a cada tormenta.

En vista de todas las deficiencias presentadas anteriormente en la determinación de los valores de precipitación, se cree lógico concluir que, cualquier correlación que se intente de determinar entre estos valores de precipitación y los diferentes parámetros que caracterizan a las tormentas (tales como áreas y alturas), darán como resultados valores muy bajos y dudosos de sus respectivos coeficientes, conclusión por la cual nos hemos visto obligados a desistir de esta parte del estudio. Sin embargo, en el capítulo VIII, parte 4) correspondiente a "Predicción de la Precipitación". Se propone un estudio, en el cual se explica con lujo de detalles el método que se intentó emplear en este objetivo del presente estudio.

CAPITULO V

TERCER OBJETIVO

ESTUDIO DE LA VARIACION DIURNA DEL DESARROLLO DE LAS TORMENTAS

Se tiene conocimiento de que la actividad para la formación de las nubes varía en cierto grado durante las horas del día. Así se observa que para un mismo lugar y situación sinóptica, la actividad atmosférica presenta - cambios significativos entre unas horas y otras.

En este objetivo, se intenta determinar cierta variación diurna para el desarrollo de las tormentas en la zona de estudio, la cual por ser tropical, continental y plana, podría aportar conclusiones de interés aplicables a los trópicos.

El desarrollo de este capítulo se ha dividido en tres puntos fundamentales:

1) Variación Diurna para el Inicio de Tormentas

Se sabe que las horas de mayor actividad para la formación de tormentas corresponden con las comprendidas entre la salida y la puesta del Sol, o sea, que está íntimamente relacionada con la acumulación de radiación solar en la Tierra.

Con el objeto de determinar esta variación, se elaboró un "gráfico de variación diurna de frecuencia de inicio de tormentas" (ver figura 11, Anexo 2), el cual está basado en los resultados que aparecen en la "Tabla 3, Anexo 3".

En dicho gráfico se nota que la tendencia para la formación de tormentas, se incrementa durante las horas del día y decrece durante la noche. Así se tiene que con la salida del Sol, comienza la tendencia a hacerse sentir y a incrementarse gradualmente, hasta llegar a un máximo -

que se distingue muy bien entre las 14 y 15 horas local; a partir de aquí decrece hasta llegar al anochecer en donde se hace casi nula, para luego alcanzar su valor mínimo en horas de la madrugada.

En líneas generales, este modelo tiene cierta coincidencia con el de las "tormentas de masa de aire", el cual se caracteriza por tener su frecuencia máxima en horas de la tarde. La explicación de este fenómeno se debe al desarrollo local de tormentas, como resultado del calentamiento diurno.

2) Variación Diurna para la Finalización de Tormentas

Es interesante investigar si existen horas preferentes para que las tormentas finalicen en una forma prematura, o por el contrario tiendan a permanecer activas.

Para abordar este estudio, se elaboró un "gráfico de variación diurna de frecuencia de finalización de tormentas" (ver Fig. 12, Anexo 2), en base a los datos que aparecen en la "Tabla 4, Anexo 3", la cual fue calculada previamente.

En este gráfico se nota una mayor tendencia para la finalización de tormentas en horas de la tarde. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el número de tormentas que finalizan a una hora determinada, depende en gran parte del número que se iniciaron en las dos horas precedentes; así se tiene que la máxima frecuencia de finalización entre las 16 y 17 horas local, corresponde muy bien con la máxima frecuencia de inicio entre las 14 y 15 horas local. Si se quiere determinar si existen realmente horas en las cuales las tormentas tienden a finalizar en forma prematura, se debe entonces eliminar estas influencias. Para ello se considera que todas las tormentas deben de finalizar dos horas después de ha

berse iniciado (según duración media calculada por Cruz, L. 1973)⁽³⁾ y en base a esto, se restan para cada una de las horas del día, los valores correspondientes al número de tormentas que deberían finalizar, del número que realmente lo hicieron.

Los resultados de estas restas aparecen en la "Tabla 5, Anexo 3" y están representadas en la "Fig. 13, Anexo 2".

En este gráfico, la curva resultante no se aleja mucho del valor correspondiente al cero, excepto en las horas comprendidas entre las 17 y 21 horas local, específicamente entre las 19 y 20 horas local donde deberían finalizar 18 tormentas y en realidad finalizaron un gran total de 34 de ellas.

Interpretando estos resultados se puede decir que, durante la mayor parte del día el número de tormentas que finalizan, están en función directa al número de ellas que se iniciaron en las dos horas precedentes. Sin embargo, en horas del final de la tarde específicamente entre las 18 y 20 horas local se nota la existencia de una aparente fuerte tendencia, para que las tormentas finalicen en una forma más o menos prematura.

La explicación de este hecho podría ser motivo para un estudio posterior, aunque no hay que descartar la posibilidad de errores humanos tales, como posibles irregularidades en el funcionamiento del radar debido a la coincidencia de esas horas con los cambios de turno entre sus operadores.

3) Variación Diurna para la Existencia de Tormentas

Para saber a ciencia cierta como es la variación diurna de la actividad atmosférica para el desarrollo de las tormentas, muy difícil sería determinarlo con el simple hecho de comparar la frecuencia de ellas para las diferentes horas del día, ya que éstas presentan características -

muy diferentes y no son por lo tanto comparables.

Con el objeto de uniformizar las características de las tormentas, se ha introducido el término "tormenta promedio horaria" (definida previamente en la Metodología del Tercer Objetivo, Cap. II).

Para cada una de las diferentes horas del día se dividió el "volumen acumulado horario" del grupo de tormentas activas para esa hora, entre el "volumen acumulado horario" de la tormenta promedio dando como resultado el número de tormentas activas para esa hora. Estos resultados aparecen en la "Tabla 6, Anexo 3" y están representados en porcentajes en un gráfico de variación diurna de frecuencia de existencia o actividad de tormentas (ver Fig. 14, Anexo 2).

El hecho de mencionar juntos los términos "existencia" y "actividad" se debe a que para una mayor existencia de tormenta se tendrá un volumen acumulado horario mayor, el cual es una medida indirecta de la inestabilidad atmosférica que la produjo.

En base al gráfico resultante, se puede decir que la actividad atmosférica para la formación y desarrollo de las tormentas, se empieza a sentir con la salida del Sol, aumentando esta tendencia en forma pronunciada hasta llegar a un máximo entre las 15 y 16 horas local (una hora después de la frecuencia máxima de inicio de tormentas); a continuación la tendencia disminuye rápidamente, logrando un mínimo principal en horas de la madrugada.

Como hecho curioso es interesante mencionar los pequeños descensos de la tendencia en las horas correspondientes a la salida y a la puesta del Sol, los cuales se notan con claridad en el gráfico mencionado anteriormente.

CAPITULO VI

CUARTO OBJETIVO

ESTUDIO DEL CICLO DE LAS TORMENTAS

Una tormenta consiste por lo general en una agrupación de nubes cumulonimbos, aunque claro está, algunas veces está constituida por una sola nube de ese tipo.

La vida de una sola tormenta presenta tres etapas perfectamente bien definidas, éstas son: desarrollo, madurez y disipación, sin embargo, en las tormentas formadas por agrupaciones de nubes cumulonimbos pueden estar presentes a la vez estas tres etapas, hecho por el cual se hace difícil determinar a ciencia cierta cuál etapa de desarrollo predomina en determinado momento. En nuestro estudio, la mayoría de las tormentas son del tipo de agrupaciones de nubes cumulonimbos; en vista de esto se nos ocurre hacer un estudio de la vida de ellas, de tal forma de determinar ciertas etapas en su desarrollo; para ello nos basaremos en los valores de variables, área, volumen y altura.

Con este fin se dividen las 140 tormentas estudiadas en tres grupos: un primer grupo de 10 tormentas, correspondientes a las que alcanzarán alturas máximas menores de 5 Kms; un segundo grupo de 105 con alturas máximas entre 5 y 10 Kms; y un tercer grupo de 25 con alturas máximas mayores de 10 Kms.

Para este estudio, es provechoso representar el desarrollo de las tormentas mediante un gráfico de área vs. altura, ya que de esta forma se logra visualizar mejor el cambio de estas dos variables (e indirectamente el volumen), a través de la vida de la misma. Con el fin de filtrar ciertos errores en las observaciones y de obtener una curva más suavizada, se optó por trabajar con valores medios de las variables (ver Fig. 15, Anexo 2).

A partir de los gráficos así elaborados, se realizó el análisis de cada una de las tormentas. El análisis consistió en determinar en que orden fue alcanzando ciertas etapas significativas de su desarrollo; para esto se calculó mediante el gráfico área vs. altura, en que momento la curva representativa de la tormenta lograba cada uno de los valores máximos de área, volumen y altura (A,V,H), estableciéndose luego el orden en que fueron alcanzados. Los resultados de estos análisis están registrados en una tabla (ver Tabla 7, Anexo 3).

A continuación resumimos los resultados que aparecen en la Tabla anteriormente mencionada.

Altura máxima de la tormenta	% del 1° ciclo	% del 2° ciclo	% del ciclo indefinido
< 5 Kms	30%	30%	40%
5-10 Kms	47%	35%	18%
> 10 Kms	52%	36%	12%
Total (140 casos)	46.5%	35%	18.5%

Interpretando estos resultados se puede decir lo siguiente:

De las 140 tormentas estudiadas se logró comprobar la existencia de dos ciclos diferentes en el desarrollo de ellas. El primer ciclo de desarrollo se define como aquel en el cual partiendo de valores mínimos de área, volumen y altura (a,v,h) la tormenta alcanza a través de su desarrollo, los valores máximos de las variables en el mismo orden mencionado (A,V,H), para luego llegar de nuevo los valores mínimos durante su disipación. El segundo ciclo de desarrollo se define como aquel en el cual el orden en que son alcanzados los valores máximos son, primero la altura (H), después el volumen (V) y luego el área (A). Por último se determinó que sólo una pequeña parte

de las tormentas no se comportan en forma regular y por lo tanto, no cumplen con ninguno de los ciclos antes mencionados.

Detallando un poco más se puede decir lo siguiente:

- 1) Las tormentas de poco desarrollo vertical (aquellas que alcanzaron alturas menores de 5 Kms.) no tienen un ciclo definido, en ellas predominan el desorden y tanto pueden alcanzar primero su valor máximo de área, como su valor máximo de altura o volumen, lo cual hace imposible enmarcar la tormenta dentro de un determinado ciclo de desarrollo.
- 2) Las tormentas con un desarrollo vertical que podría considerarse como normal o de mayor frecuencia (aquellas que alcanzaron alturas mayores de 5 Kms, pero menores de 10 Kms.), ya tienen cierta tendencia para desarrollarse en una forma más o menos definida, lográndose diferenciar entre ellas los dos ciclos de desarrollo mencionados anteriormente. Entre estos dos ciclos, predomina aquel en el cual la tormenta a través de su vida alcanza primero su desarrollo máximo en amplitud de área, para luego llegar a su volumen y altura máxima (primer ciclo).
- 3) Las tormentas con un fuerte desarrollo vertical (aquellas que alcanzaron alturas mayores de 10 Kms.), presentan una tendencia marcada a desarrollarse según el primer ciclo definido anteriormente. El segundo ciclo puede presentarse en estos tipos de tormentas, pero su frecuencia es mucho menor.

El hecho de que las tormentas con un desarrollo vertical por encima de los 10 Kms. cumplen en el mayor porcentaje de los casos (52%), con el primer ciclo de desarrollo; esto concuerda con la teoría de convección tropical enunciada por Riehl y Malkus en el año de 1958, la cual sostiene que el intercambio de energía lateral entre la nube y el aire que la rodea trae como consecuencia una disminución en la energía cinética de ella. Ahora bien,

si la nube es lo suficientemente ancha (área grande), este intercambio no llega a penetrar hasta el centro, lo cual permite que una estrecha porción central mantenga sus altas temperaturas y sus fuertes velocidades de ascenso, lo que origina que la nube alcance alturas grandes.

Es claro que las tormentas que cumplen con el primer ciclo de desarrollo, juegan el papel principal en el transporte vertical de energía en los trópicos y por lo tanto, entre estas zonas y las latitudes mayores a través de las células Hadly.

Con respecto a diferenciar las etapas en el desarrollo de las tormentas (en base al ciclo de vida de ellas, estudiadas en este capítulo), se cree lo más conveniente desde el punto de vista práctico, definir las de la siguiente manera:

A) Tomando en cuenta el primer ciclo de desarrollo (ver Fig. 16-a, Anexo 2)

1° Etapa: La tormenta comienza a desarrollarse aumentando en una forma gradual su altura y más rápidamente su área, hasta que logra alcanzar su área máxima.

2° Etapa: Aquí el área comienza a disminuir, mientras que la altura sigue aumentando en forma gradual hasta alcanzar su máximo valor. A mediados de esta etapa se hace presente el máximo desarrollo de la tormenta en cuanto a volumen se refiere.

3° Etapa: Aquí el área sigue disminuyendo gradualmente mientras que la altura comienza a disminuir en forma rápida hasta llegar a valores insignificantes en donde la tormenta se disipa.

B) Tomando en cuenta el segundo ciclo de desarrollo (ver Fig. 16-b, Anexo 2)

1° Etapa: La tormenta comienza a desarrollarse aumentando en una forma gradual su área y alcanzando el valor de su máxima altura rápidamente.

2° Etapa: En esta etapa la altura comienza a disminuir, mientras que su área sigue aumentando en forma gradual hasta alcanzar su valor máximo. A mediados de esta etapa se alcanza el máximo desarrollo de la tormenta en relación a su volumen.

3° Etapa: Aquí la altura sigue disminuyendo en forma gradual, mientras que el área comienza a decrecer rápidamente hasta llegar a los valores mínimos, en donde desaparece la tormenta.

Con esta definición de las diferentes etapas en el desarrollo de una tormenta, se puede ahora abordar otros estudios, tales como el que aparece en el siguiente capítulo, en el cual se toma muy en cuenta esta clasificación.

CAPITULO VII

QUINTO OBJETIVO

ESTUDIO DE INTERACCIONES ENTRE LAS TORMENTAS

En el capítulo anterior, se mencionó el hecho de que en la vida de una tormenta, se presentan tres etapas más o menos bien determinadas. Ahora bien, este concepto es válido para aquellas tormentas que han tenido un proceso de desarrollo que podría considerarse como normal; sin embargo, es frecuente encontrar casos en los cuales la tormenta es influenciada por otras, que se originan a partir de ellas, o que se les unen a través de su vida; en estos casos las tres etapas de la tormenta pueden tener alteraciones de importancia. En este capítulo se estudian estas alteraciones en el proceso de desarrollo de la vida de las tormentas, con el objeto de determinar ciertas conclusiones de interés.

De las 81 tormentas elegidas, se presentaron 41 casos en los cuales una tormenta se le une a otra; tres casos en los cuales se unen dos de ellas para dar origen a una nueva y dos casos en que una se separa para dar origen a dos nuevas tormentas.

Es de hacer notar, que en el momento que ocurre una unión entre dos tormentas, la que podría considerarse como principal sufre un incremento de su área en forma proporcional a las áreas de las tormentas originales; mientras que la altura resultante queda más o menos constante. Ahora bien, en estos procesos, estos cambios ocurren en los primeros momentos de la unión y por lo tanto, no representan la influencia verdadera que ejerce una de ellas sobre la otra. Estas influencias deben de buscarse más bien a través de la vida misma de la tormenta, estudiando para ello las etapas de desarrollo que presentan éstas después de ocurrido el proceso de unión o separación.

Para abordar este estudio se realizaron los dibujos o gráficos representativos de las tormentas escogidas (en base a las variables: área, altura y volumen), en la misma forma como fueron explicados en el capítulo anterior.

Los análisis tendientes a determinar las etapas a través de su vida y el ciclo de desarrollo de ellas, también se realizaron en forma similar.

A partir de estos análisis, intentaremos comparar las condiciones que presentan las tormentas antes y después del proceso de unión o separación y determinar ciertas conclusiones, en base a los resultados de estas comparaciones.

Los resultados de estos análisis fueron recogidos en una tabla (ver Tabla 8, Anexo 3). De una descripción simple de esta tabla podemos concluir lo siguiente:

- 1) El mayor porcentaje de uniones a una tormenta, ocurre cuando ésta se encuentra en su etapa inicial (51% de los casos), mientras que el menor porcentaje ocurre cuando la misma se encuentra en su etapa final (10% de los casos).
- 2) El mayor porcentaje de una tormenta que se une a otra, ocurre cuando la primera se encuentra en su etapa final (64% de los casos); mientras que el menor porcentaje ocurre cuando la primera se encuentra en su etapa inicial (7% de los casos).

Estas dos conclusiones expresan que el mayor porcentaje de los casos, las uniones ocurren entre una tormenta (principal) en su primera etapa de desarrollo y otra (secundaria) en su tercera etapa.

Con respecto a las condiciones de desarrollo después de la unión, podemos decir en base a la descripción de los mismos resultados de la tabla antes mencionada, lo siguiente:

- 3) Cuando a la tormenta que podría denominarse como principal, se le une otra que se encuentra en su primera etapa de desarrollo, en el mayor porcentaje de los casos la resultante pasa a tener un desarrollo correspondiente a la primera etapa.
- 4) Cuando a la tormenta principal se le une otra que se encuentra en su segunda etapa de desarrollo, en el mayor porcentaje de los casos la resultante pasa a tener un desarrollo correspondiente a la primera etapa.
- 5) Cuando a la tormenta principal se le une otra que se encuentra en su tercera etapa de desarrollo, en el mayor porcentaje de los casos la resultante pasa a tener un desarrollo correspondiente a la primera etapa.

De estas tres últimas conclusiones se puede deducir (para nuestro estudio) que sea cual fuere la etapa de desarrollo, tanto de la tormenta que podría considerarse como principal, así como la que se une, originará que la resultante se regenere y comience a crecer en una forma más pronunciada que antes del proceso de unión.

Con respecto a la unión de dos de ellas para formar una nueva, es imposible estudiar su mecanismo más frecuente, ya que de los tres casos que se estudiaron presentaron características diferentes; así tenemos que en uno de los casos la tormenta originada desapareció rápidamente, mientras que en los otros dos casos crecieron fuertemente.

Con respecto a la separación de una de ellas en dos nuevas, también es muy poco lo que se puede decir, ya que se estudiaron solamente dos casos en los cuales se cumplió este proceso. Sin embargo, es importante mencionar que en los dos casos presentados, las tormentas que se originan de la separación, disminuyen violentamente los valores de sus variables: área, altura y volumen hasta llegar a la disipación.

CAPITULO VIII

SEXTO OBJETIVO

INTENTO DE DETERMINAR POSIBLES METODOS PRACTICOS DE PRONOSTICO A MUY CORTO PLAZO, VALIENDOSE DE OBSERVACIONES DIRECTAS DEL RADAR METEOROLOGICO

Cuando una tormenta es detestada por un radar meteorológico, en ese mismo momento el investigador está en capacidad de estudiar y conocer las variables que lo caracterizan, tales como: altura, área que abarca, dirección, y velocidad de movimiento, así como también la zona que está bajo su influencia. Ahora bien, en vista de que muchas instalaciones tales como: aeropuertos, zonas de cultivo, zonas de recreación al aire libre, poblados, etc., se encuentran bajo la amenaza de las tormentas; es importante predecir que existen posibilidades de que una determinada tormenta que ha sido captada por un radar meteorológico, alcance a uno de estos lugares mencionados.

En este capítulo, se describe a grandes rasgos la forma de como podrían ser utilizados los resultados obtenidos a través de los análisis realizados en los capítulos anteriores, con el objeto de predecir el desarrollo futuro de una determinada tormenta. Como es lógico suponer, esto tendrá validez solamente para el pronóstico de aquellas tormentas que se encuentran en nuestra zona de estudio, ya que esta predicción está basada en los resultados estadísticos de la vida de las tormentas en esa zona.

Este método práctico consiste en estudiar las variables que caracterizan a una tormenta, cuando es detestada por el radar meteorológico y predecir su desarrollo futuro en base a la comparación de estos valores iniciales, con los valores más frecuentes de estas mismas variables encontradas en los resultados estadísticos mencionados anteriormente.

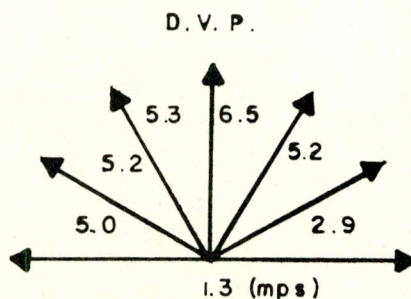
Con el fin de intentar predecir este desarrollo futuro, se cree conveniente estudiar cada uno de los siguientes puntos por separado.

1) Predicción de la Dirección de Movimiento

Se sabe que el movimiento de los ecos está relacionado con la velocidad del viento en los niveles bajos de la atmósfera (700 mbs); además, se comprobó que en el mayor porcentaje de los casos, los ecos presentan una desviación entre los 0 y 30 grados a la derecha de la dirección de los vientos predominantes en la región. En base a esto podemos concluir que la tormenta detestada por el radar, debe tener una dirección de movimiento probable que oscilará entre la dirección que posee en los momentos iniciales (deducidas mediante el radar) y la dirección comprendida entre los 0 y 30 grados, a la derecha de la dirección de los vientos predominantes en los niveles bajos de la atmósfera sobre la región.

2) Predicción de la Velocidad de Movimiento

En el presente Trabajo se determinó que mientras más alejada sea la dirección en la cual se muevan las tormentas, con respecto al intervalo de dirección de mayor ocurrencia, o lo que es lo mismo con respecto a la dirección de los vientos predominantes de la región (a los 700 mbs) menor será su velocidad. Basándonos en esto, se puede tener una idea aproximada de como será la velocidad de una determinada tormenta; se usó para ello como guía, la tabla de valores de velocidades medias más típicas según la dirección (deducida en este Trabajo). En el esquema siguiente aparecen representadas estas velocidades modales y en él se ha



hecho coincidir la dirección de mayor ocurrencia, con la dirección de los vientos predominantes de la región en los niveles bajos de la atmósfera (D.V.P.).

Ahora bien, cuando una tormenta es detectada por el radar, debe estudiarse entonces, su posible dirección de desplazamiento y calcular su desviación con respecto a la dirección de los vientos en la atmósfera baja, reinante en esos momentos. En base a esta desviación y al intervalo que le corresponda según el esquema anterior, se podrá tener entonces una idea de su probable velocidad.

3) Predicción de la Duración

Se ha mencionado en el presente Trabajo, el hecho de que se hallaron duraciones modales menores, para aquellos intervalos en los cuales las velocidades eran mayores. Sin embargo, esta relación no es muy confiable y dice muy poco en relación a cual será la duración probable de la tormenta.

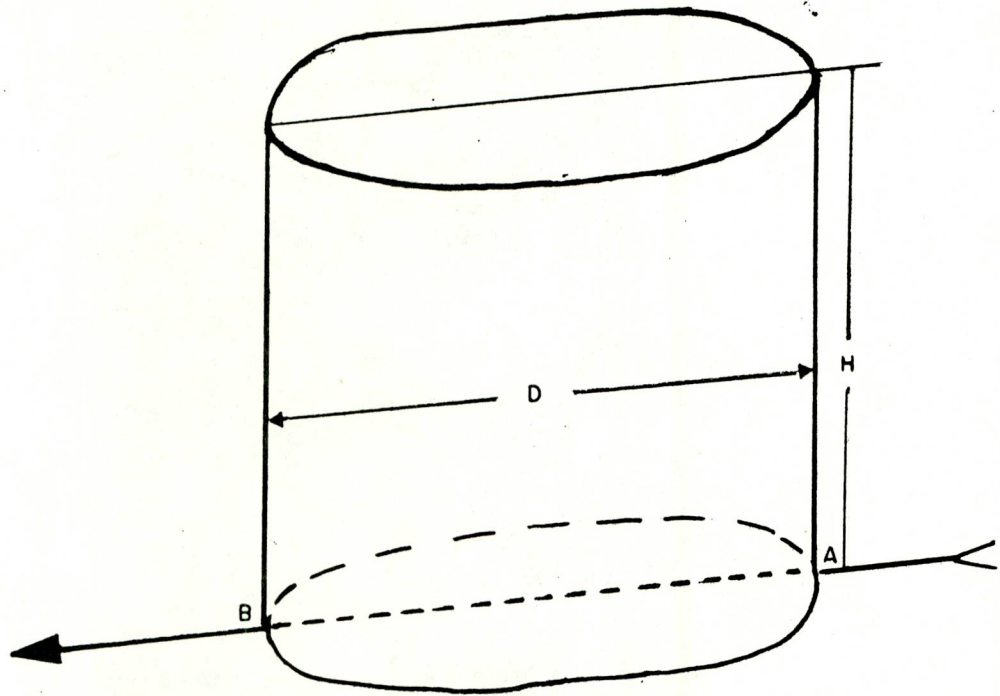
4) Predicción de la Precipitación

En el capítulo IV "segundo objetivo", correspondiente a "Intento de Correlacionar las Alturas y Areas de las Nubes con la Precipitación Registrada en Superficie", no se llegó a ninguna conclusión; esto origina por lo tanto, la imposibilidad de predecir la precipitación que podría acumular una tormenta determinada, a su paso por un cierto lugar debido a que este intento de pronóstico está basado precisamente en las conclusiones obtenidas a través del presente Trabajo.

Sin embargo, se cree lógico mencionar en esta parte del presente capítulo, el método de estudio que se pensó utilizar con el objeto de estimar la precipitación en base a las alturas y áreas de las nubes.

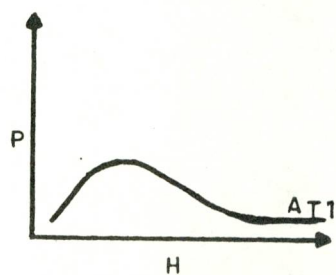
El método en si consiste en calcular el área transversal de la nube que afecta directamente a un determinado punto, por donde se mueve la tormenta.

Para facilitar nuestro objetivo se considera que la tormenta tiene una configuración como la de un cilindro, donde la altura de la nube puede considerarse como la altura del cilindro.

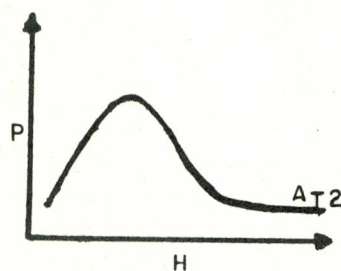


$$A_T = \int_A^B H \cdot dl$$
$$A_T = H \int_A^B dl = H \cdot D$$

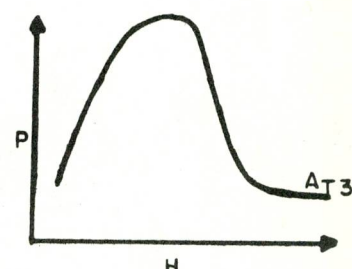
Después de calcular los valores de las áreas transversales (A_T) para todos los datos de que se disponga de la serie de tormentas estudiadas, - se procede entonces a correlacionarlas con sus correspondientes valores de precipitación acumulada registrada en superficie (P). Ahora bien, como una mayor o menor área transversal puede influir en la precipitación registrada en tierra, entonces clasificamos estas áreas en tres grupos diferentes (por ejemplo: pequeñas, medianas y grandes) y luego para cada grupo por separado, estudiamos su posible correlación con la precipitación.



AT1 AREAS PEQUEÑAS

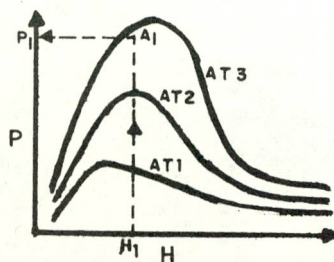


AT2 AREAS MEDIANAS



AT3 AREAS GRANDES

El último paso consiste en superponer en un solo gráfico, las posibles curvas de correlación encontradas en los tres gráficos anteriores, dando entonces como resultado, un gráfico que correlaciona la altura de la tormenta con su posible precipitación para los diferentes valores de las áreas transversales de las tormentas.



De esta forma, conociendo la altura de la tormenta en un momento determinado (por ej.: H_1) y su área transversal (por ej.: A_1), se podría entonces estimar cual será la posible precipitación que ocasionará el paso de la tormenta por ese lugar (por ej.: P_1).

5) Predicción del Desarrollo de las Tormentas

Para estimar el desarrollo futuro de una determinada tormenta, se tomará en cuenta los resultados obtenidos en los capítulos anteriores del presente Trabajo, en especial el capítulo V.

Así tenemos que mediante el "gráfico de variación diurna de frecuencia de existencia o actividad de tormentas (ver Fig. 14, Anexo 2)", el investigador se puede dar una idea, en base a la hora del día, de cual es la tendencia de la actividad para el desarrollo de una tormenta que ha sido detestada por el radar; de la misma forma, en base a las Figs. 12 y 13 del Anexo 2 del mismo capítulo, se puede obtener una idea complementaria sobre la tendencia para que esta misma tormenta finalice o no. Para concluir, es interesante mencionar el hecho de que el autor del presente Trabajo, está consciente que lo expuesto en este capítulo, está lejos de ser un buen método de pronóstico. Sin embargo, cree que desde el punto de vista práctico, puede servir de ayuda para obtener una idea de como será el posible desarrollo futuro de una determinada tormenta.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este Trabajo pueden resumirse de la siguiente forma:

- 1) El movimiento de los ecos no presenta trayectorias preferentes; sin embargo, su dirección más frecuente está comprendida entre los 270 y 300 grados, la cual corresponde más o menos con los vientos predominantes en la región en los niveles bajos de la atmósfera.

No existe una buena correlación entre la dirección y la velocidad de la tormenta, pero es bueno destacar el hecho de que mientras más alejada sea su dirección con respecto a la de mayor ocurrencia (270° a 300°), menor será su velocidad.

Se hallaron duraciones modales menores para aquel intervalo de dirección, en el cual las velocidades resultaron mayores (específicamente entre 270 y 300 grados); a pesar de esto, las variables: duración y dirección no guardan una buena correlación.

- 2) El intento de correlacionar las alturas y áreas de las tormentas resulta infructuoso, debido a la imposibilidad de realizar los análisis isoyéticos; sin embargo, en el contenido de este Trabajo se explica la metodología que en un principio se pensó utilizar.

- 3) La tendencia para la formación de tormentas se incrementa durante las horas del día, alcanzando un máximo entre las 13 y las 17 horas local, luego decrece hasta llegar a un mínimo en horas de la madrugada.

Es importante resaltar que se nota una fuerte tendencia dos horas después de la puesta del Sol, para que las tormentas finalizaran en una forma más o menos prematura, aunque no hay que descartar la posibilidad de errores humanos.

La actividad para el desarrollo de las nubes está íntimamente relacionada con la radiación solar, notándose un máximo entre las 15 y 16 horas local.

- 4) Se comprobó la existencia de dos ciclos diferentes en el desarrollo de las tormentas. En el primer ciclo, las tormentas tienden a aumentar su área para luego, alcanzar alturas bastantes grandes y este ciclo es el más frecuente. En el segundo ciclo, tienden a desarrollarse verticalmente para luego expandirse en área; este ciclo no permite por lo general, que las tormentas logren alturas extremadamente grandes.
- 5) La unión entre tormentas origina por lo general, que ésta se regenere y comience a crecer en una forma más pronunciada que antes del proceso de iteración.

Las deducciones logradas en el presente Trabajo, tienen validez para la zona que se tomó como estudio. La aplicación de estas conclusiones a otras regiones continentales del trópico, ameritarían un estudio adicional.

REFERENCIAS

1. BATTAN, L. (1959) - "Radar Meteorology" - University of Chicago
2. CHARBA, J. AND Y. SASAKI (1968) - "Structure and Movement of the Severe Thunderstorms of 3 April 1964 as Revealed from Radar and Surface Mesonet Data Analysis" - ESSA Technical Memorandum ERLTM-NSSL 41.
3. CRUZ, LUIS (1973) - "Venezuelan Rainstorms as Seen by Radar. Journal of Applied Meteorology" - Vol. 12, N° 1 pp 119-126.
4. NEWTON, W. (1962) - "Dynamic of Severe Convective Storms. National Severe Storms Project"- Report N° 9.
5. RIEHL, H. et al. (1974) - "Precipitation Data and Analysis" - (VIMHEX) Hydrology Report - Vol. 1.
6. WILSON, J. AND E. KESSLER (1963) - "Use of Radar Summary Maps for Weather Analysis and Forecasting. Journal of Applied Meteorology - Vol. 2, N° 1 pp 1-11

ANEXO 1

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Area máxima
a	Area mínima
A_T	Area transversal
D	Diámetro
F.A.V.	Fuerzas Aéreas Venezolanas
Fig.	Figura
H	Altura máxima
h	Altura mínima
I.N.O.S.	Instituto Nacional de Obras Sanitarias
Kms.	Kilómetros
M.A.C.	Ministerio de Agricultura y Crfa
mbs	Milibares
min.	Minutos
M.O.P.	Ministerio de Obras Públicas
mps	Metros por segundo
P	Precipitación
seg.	Segundos
U.C.V.	Universidad Central de Venezuela
V	Volumen máximo
v	Volumen mínimo
VIMHEX I	Venezuelan International Meteorological and Hydrological Experiment

ANEXO 2

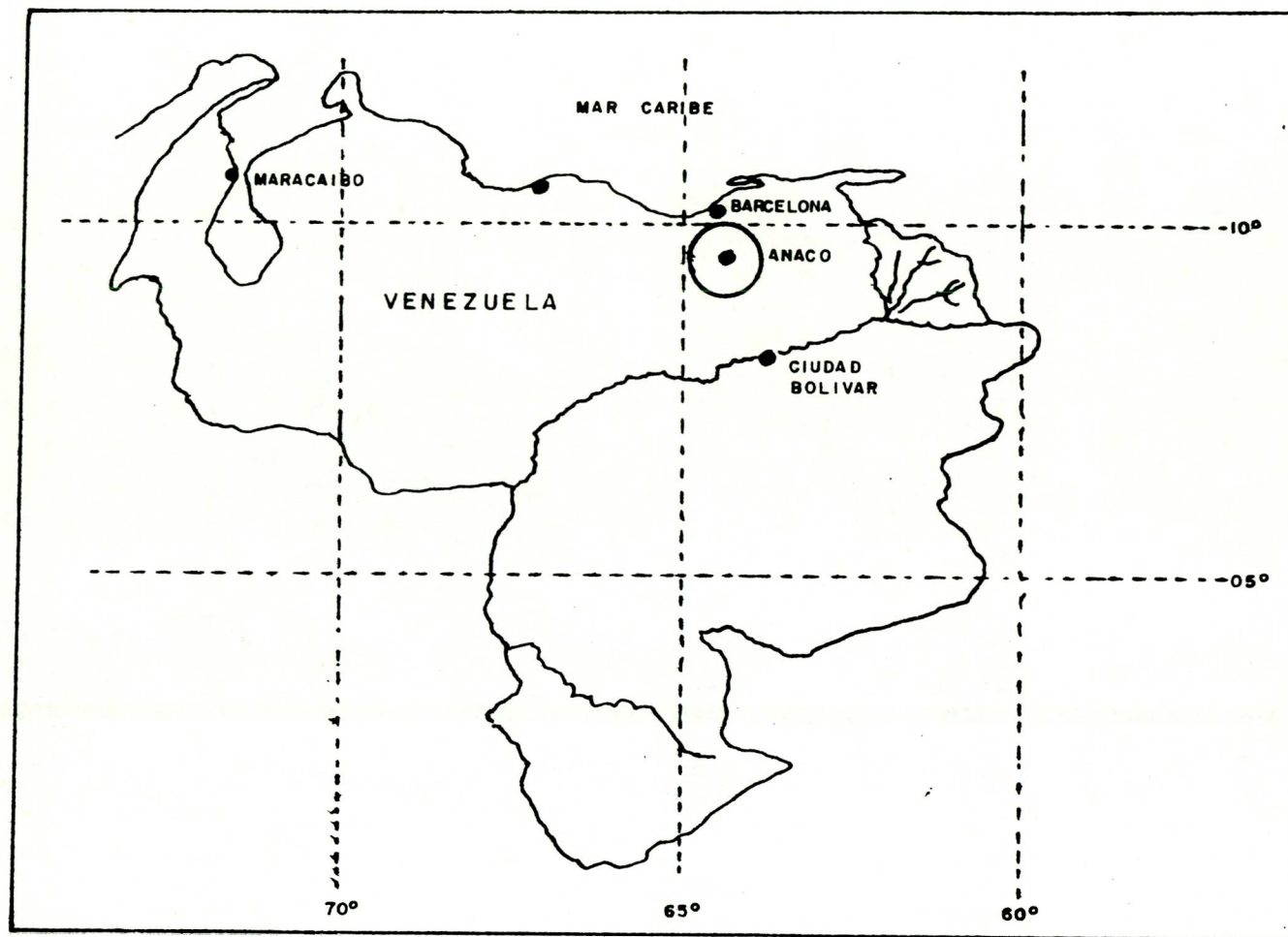


FIG. 1- LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

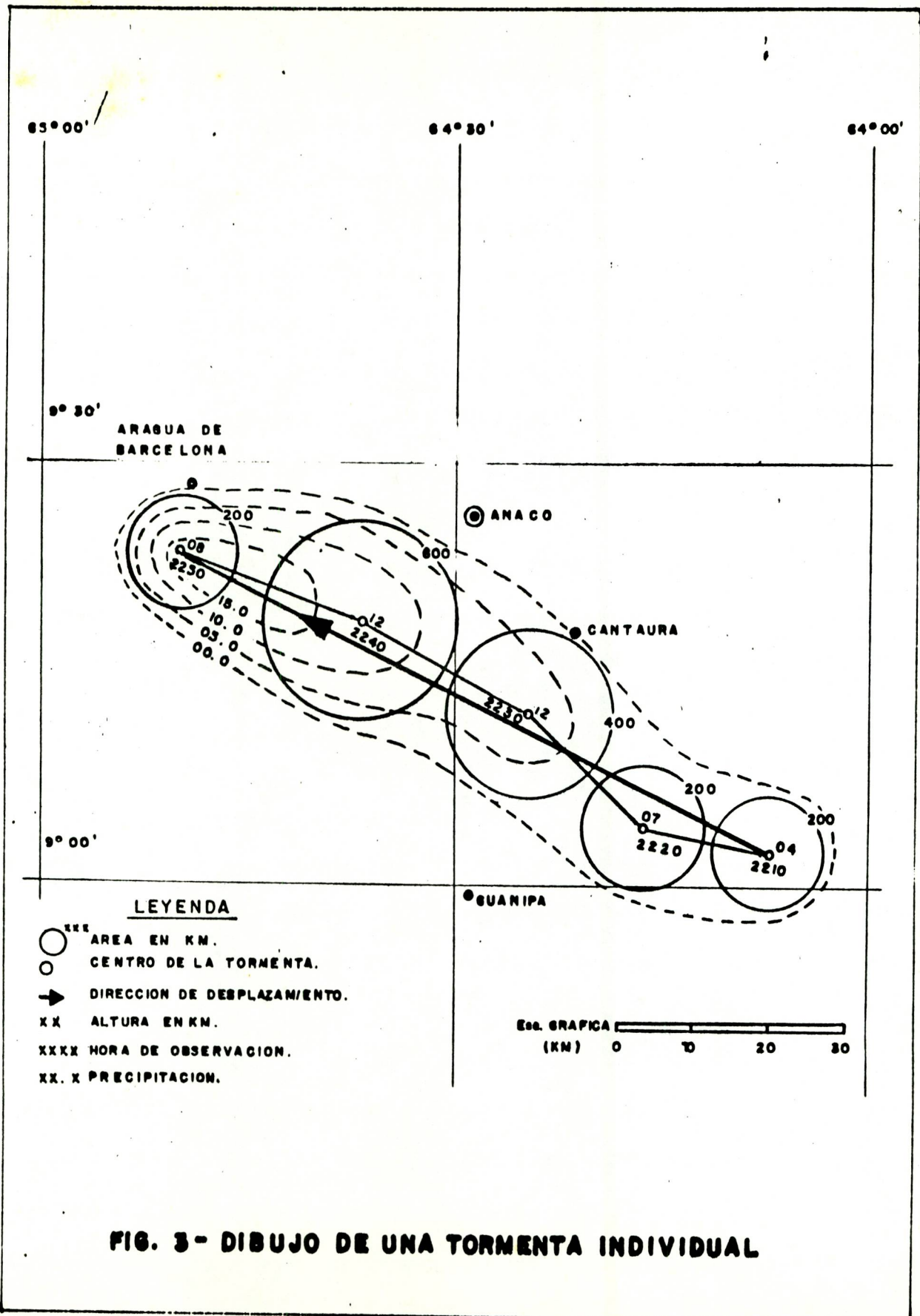


FIG. 3- DIBUJO DE UNA TORMENTA INDIVIDUAL

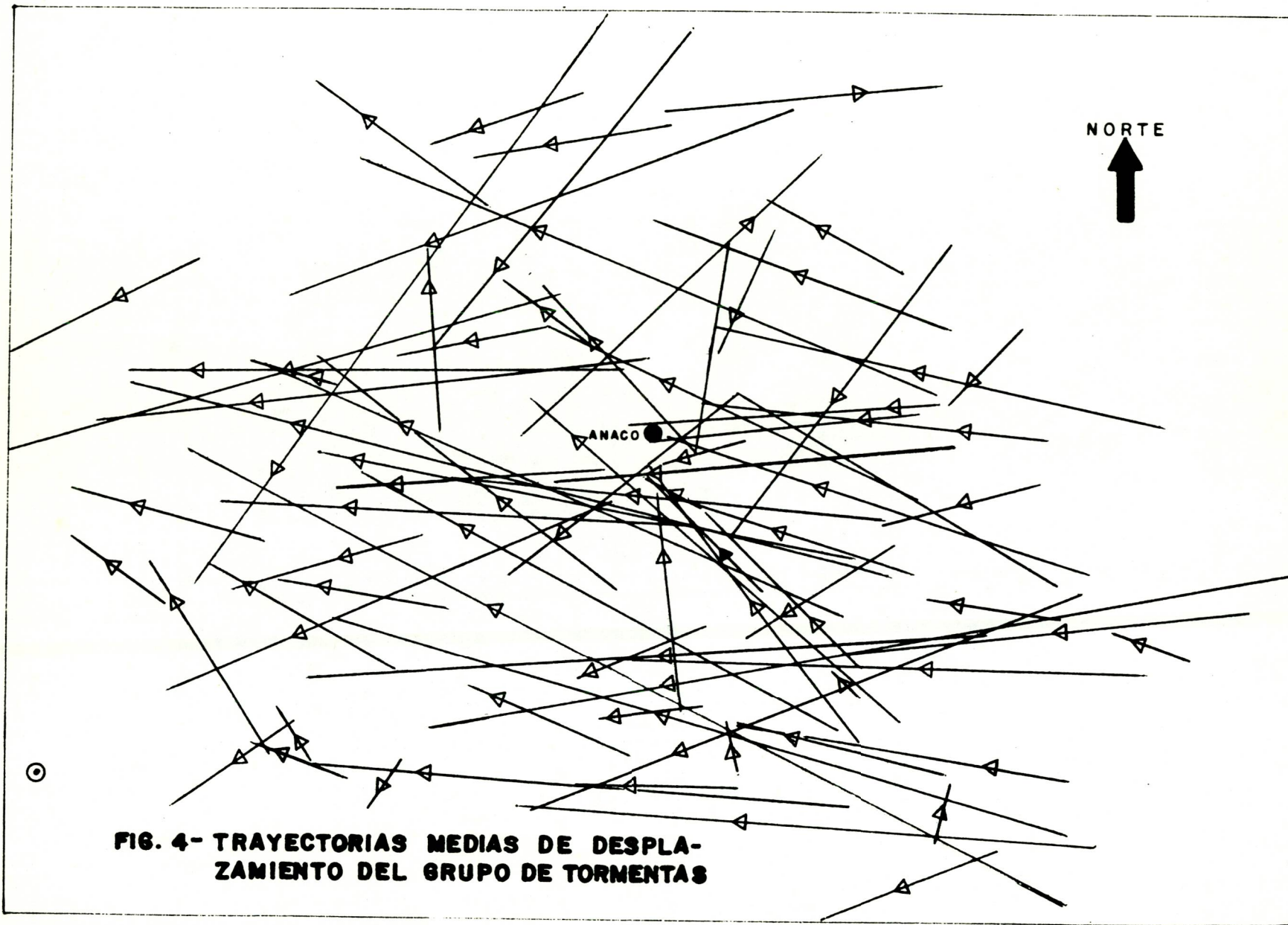
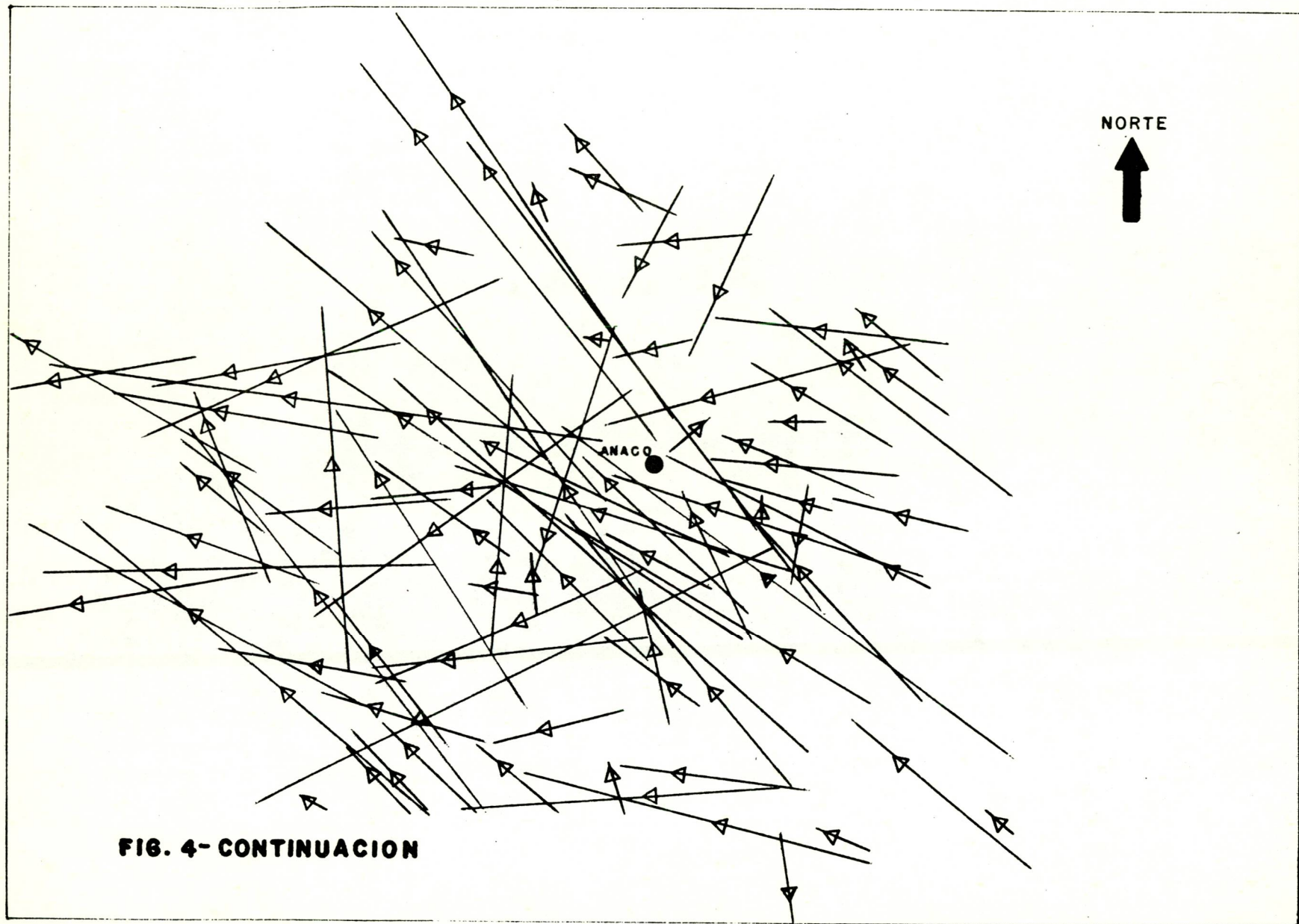


FIG. 4- TRAYECTORIAS MEDIAS DE DESPLAZAMIENTO DEL GRUPO DE TORMENTAS



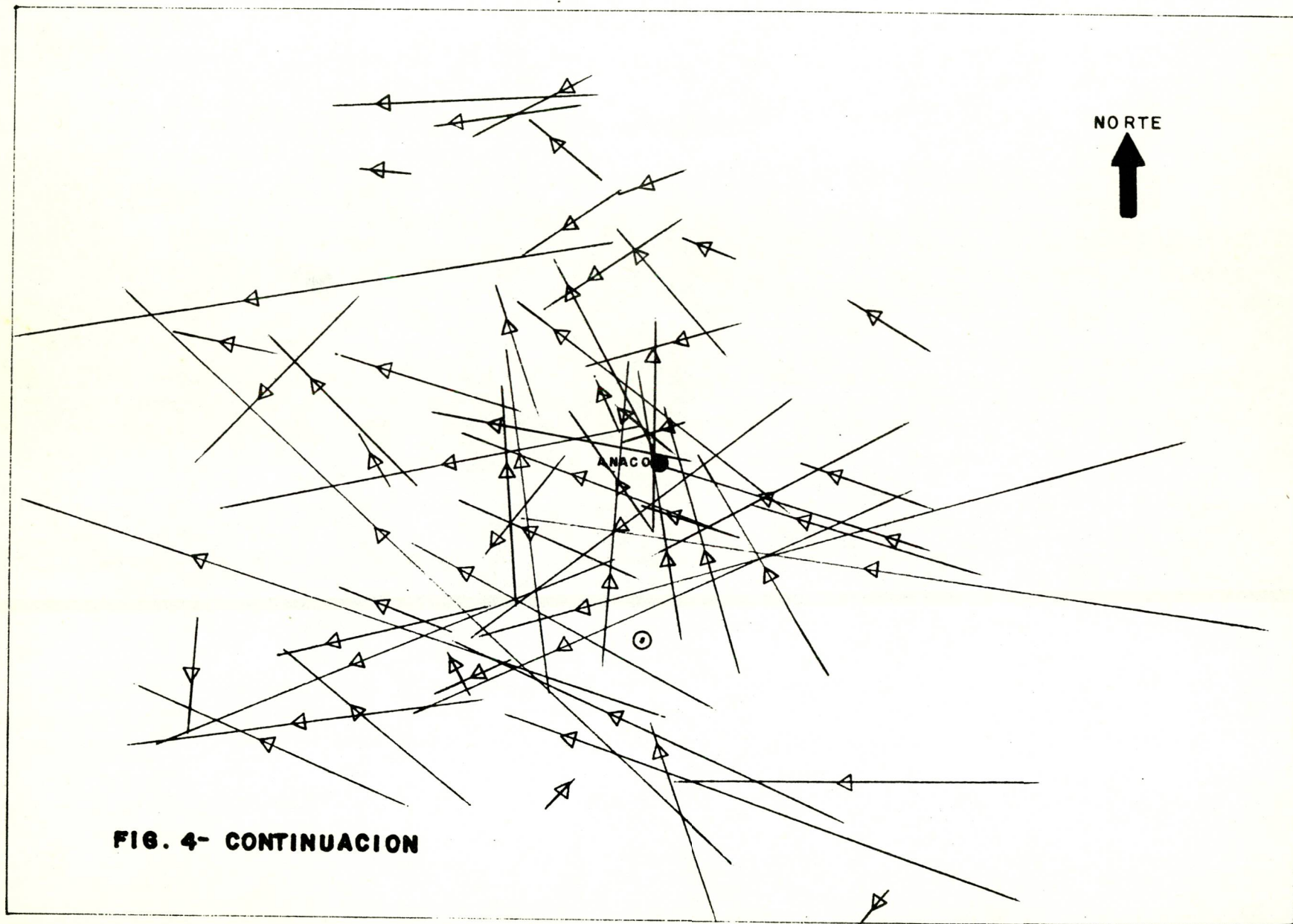


FIG. 4- CONTINUACION

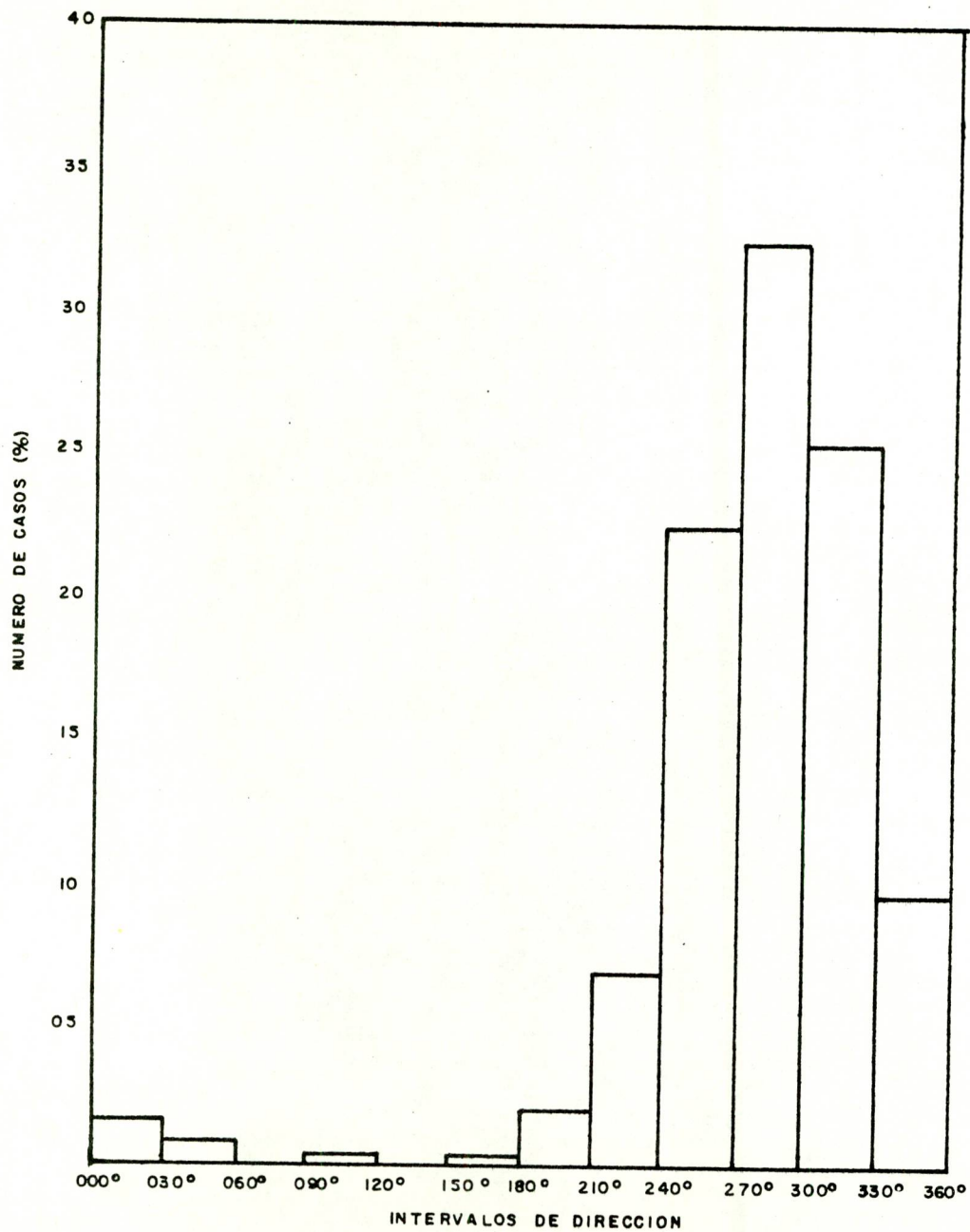


FIG. 5- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE LA DIRECCION DEL MOVIMIENTO (247 CASOS)

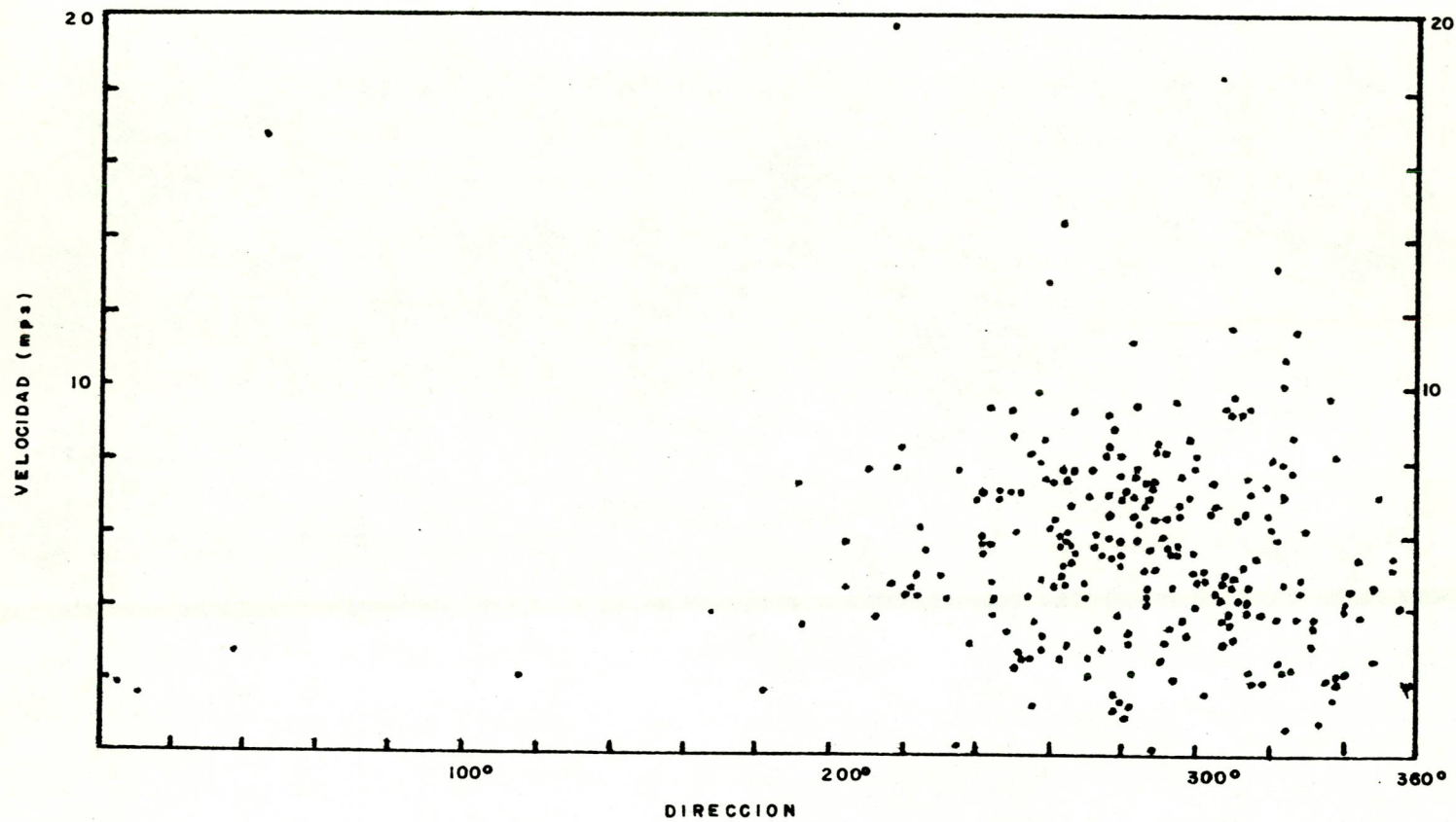
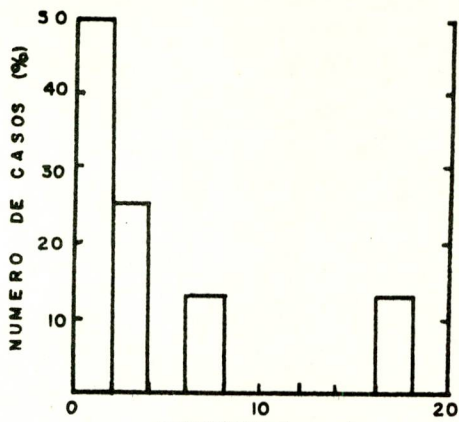
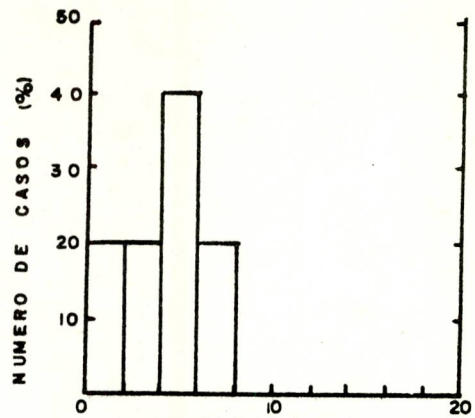


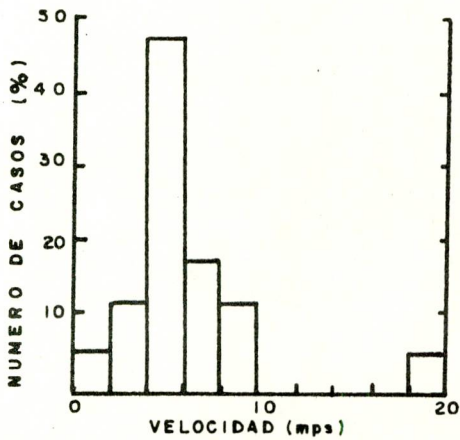
FIG. 6- CORRELACION ENTRE LA DIRECCION DEL MOVIMIENTO DE LOS ECOS Y SU VELOCIDAD MEDIA (247 CASOS)



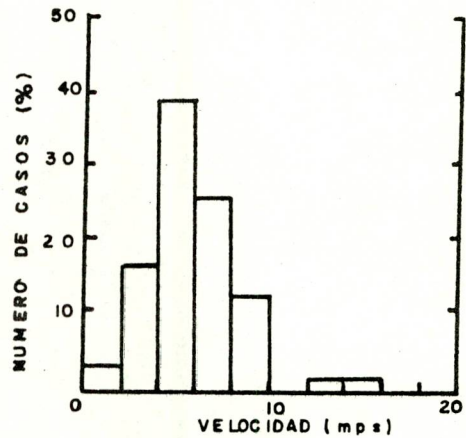
a) ENTRE 000° Y 180°



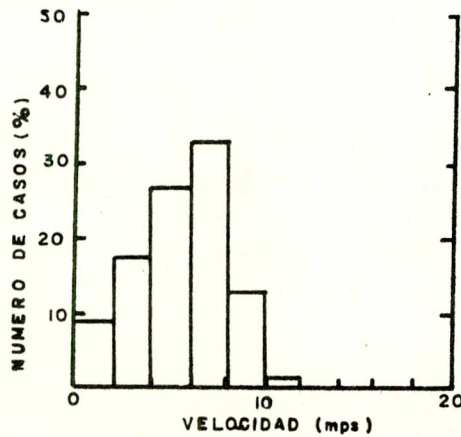
b) ENTRE 180° Y 210°



c) ENTRE 210° Y 240°

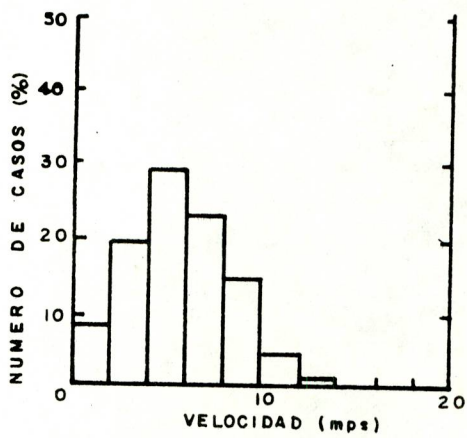


d) ENTRE 240° Y 270°

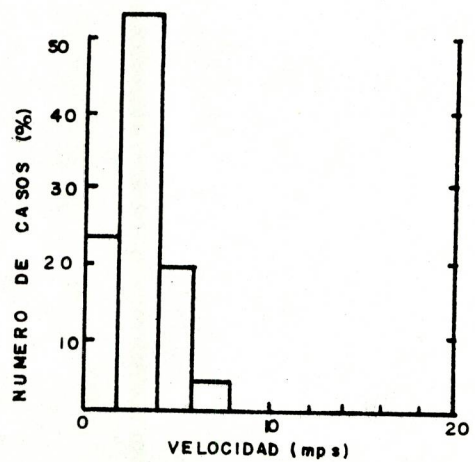


e) ENTRE 270° Y 300°

FIG. 7- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE LAS VELOCIDADES DE LAS TORMENTAS (247 CASOS)



f) ENTRE 300° Y 330°



g) ENTRE 330° Y 360°

FIG. 7- CONTINUACION

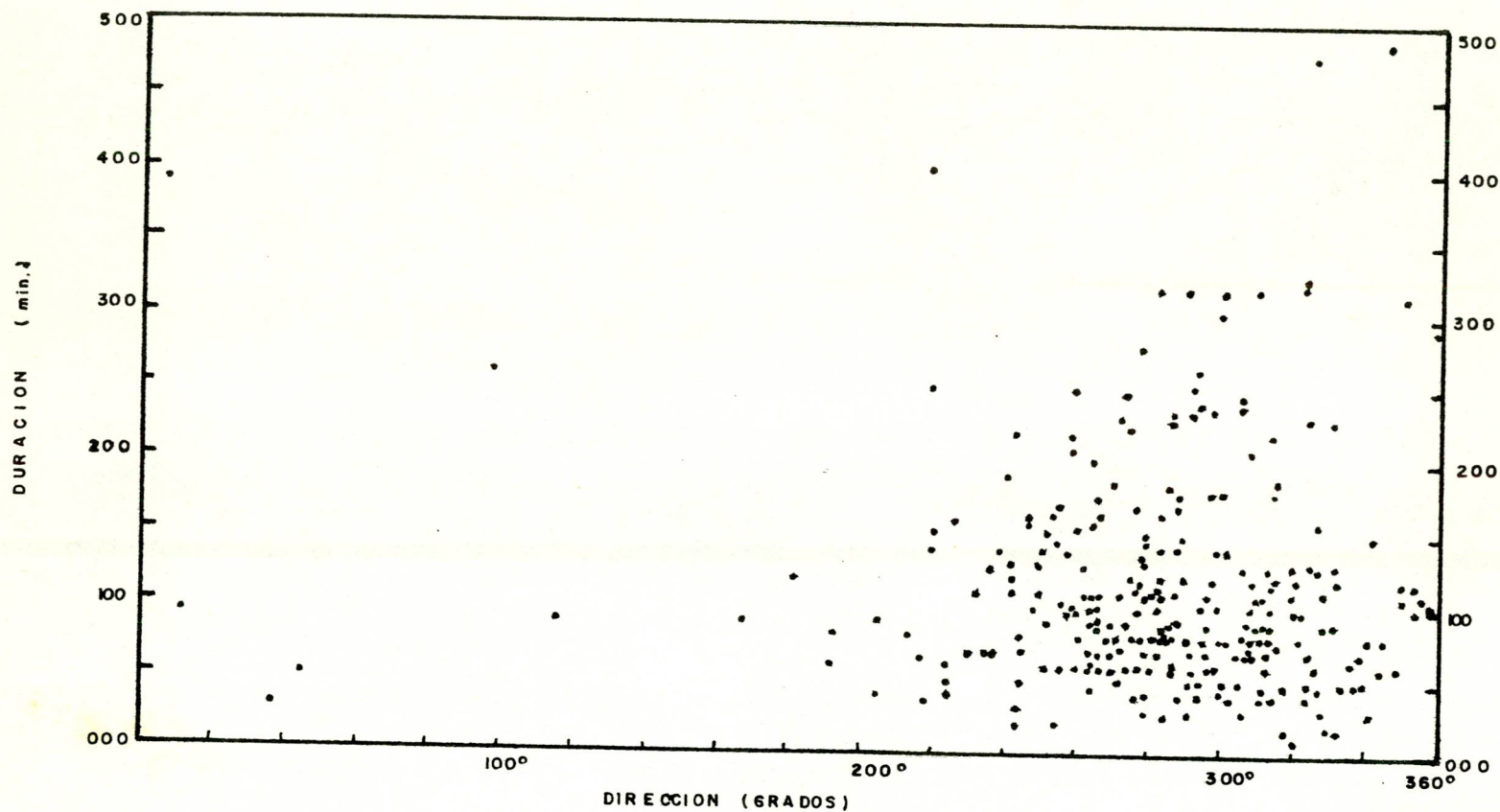


FIG. 8- CORRELACION ENTRE LA DIRECCION DEL MOVIMIENTO DE LOS ECOS Y SU DURACION (263 CASOS)

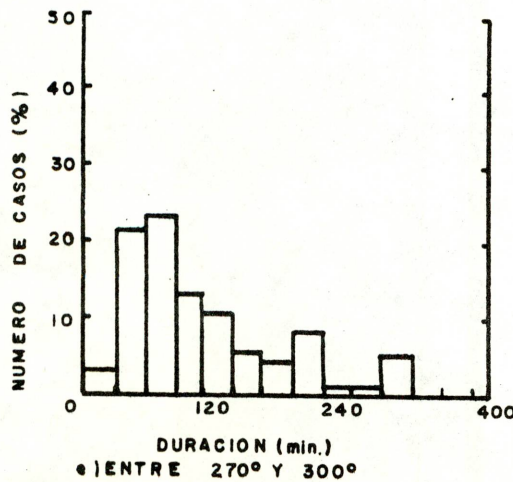
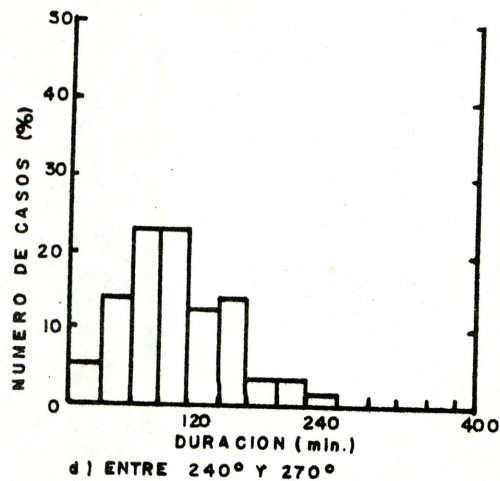
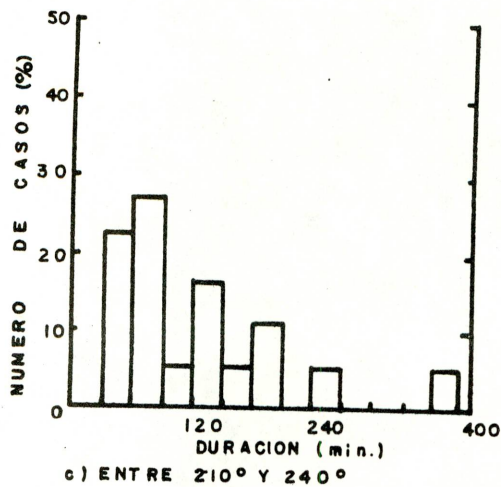
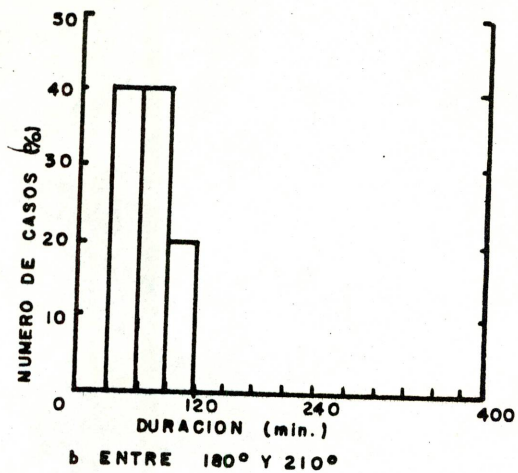
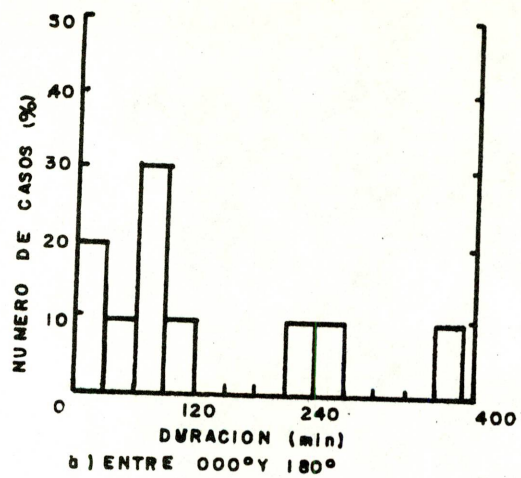


FIG. 9 - DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE LAS DURACIONES DE LAS TORMENTAS (263 CASOS)

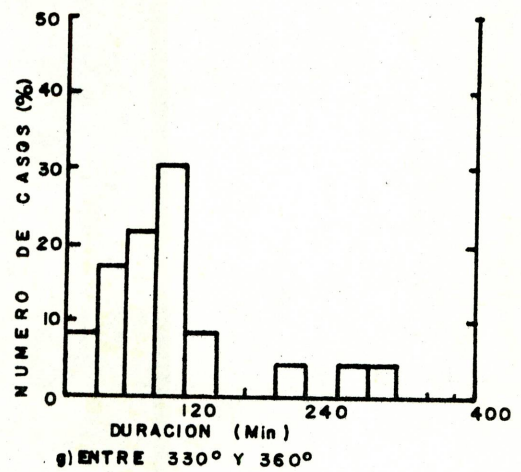
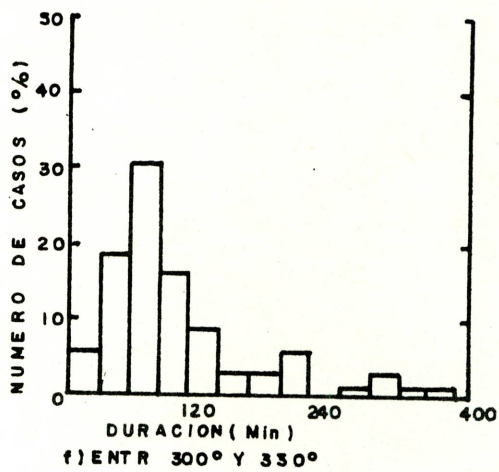


FIG. 9- CONTINUACION

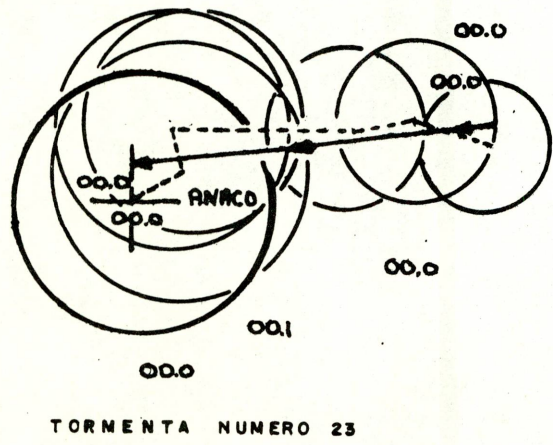
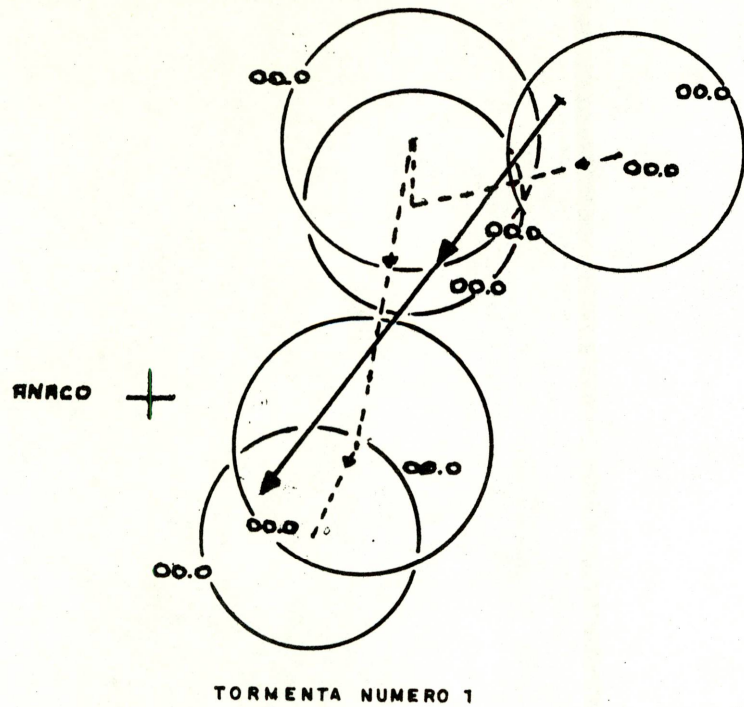


FIG. 10- GRAFICOS DE ALGUNAS TORMENTAS DONDE SE PUEDE APRECIAR LA DEFICIENCIA DE LOS DATOS DE PRECIPITACION

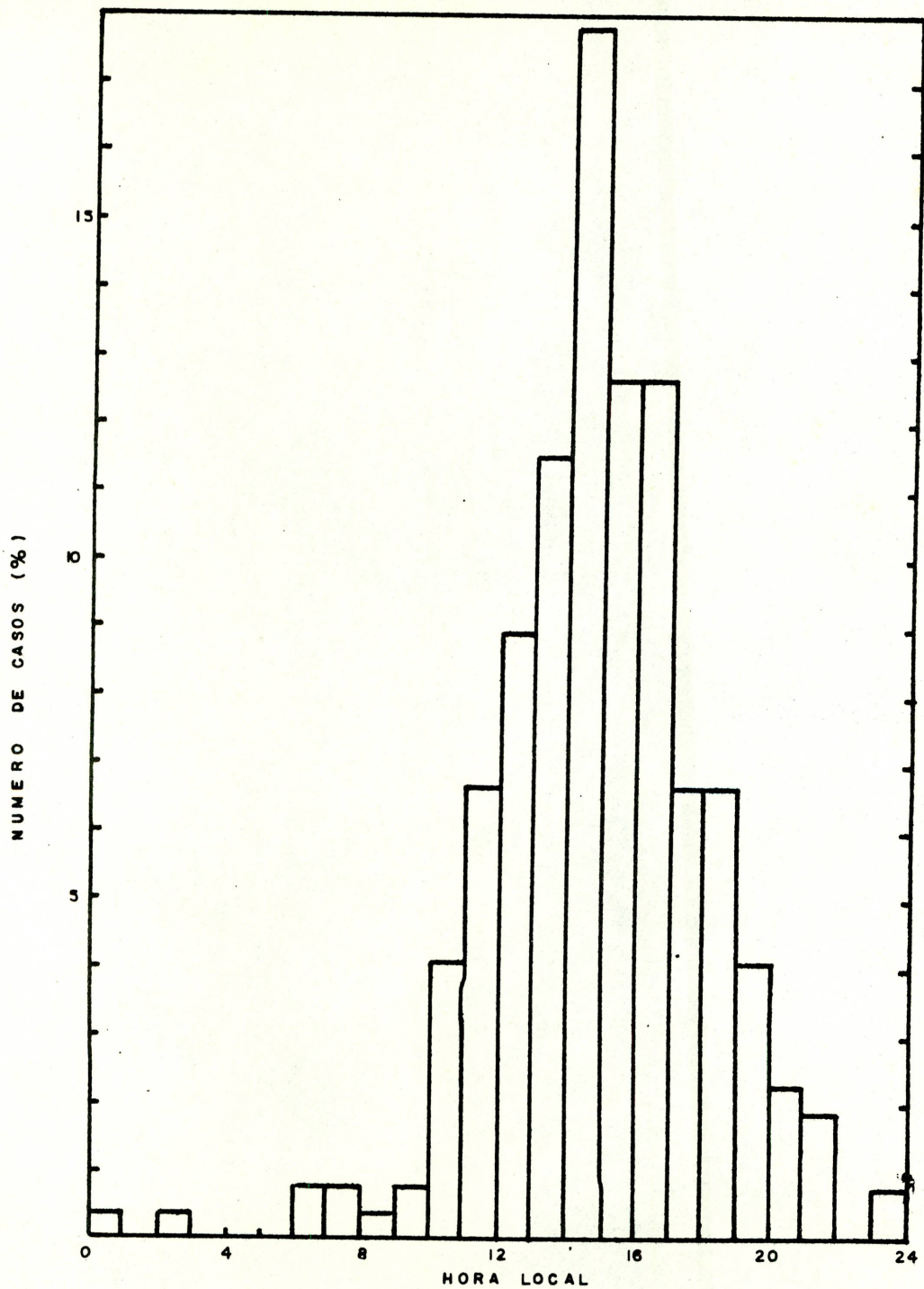


FIG. 11- GRAFICO DE VARIACION DIURNA PARA EL INICIO DE TORMENTAS (269 CASOS)

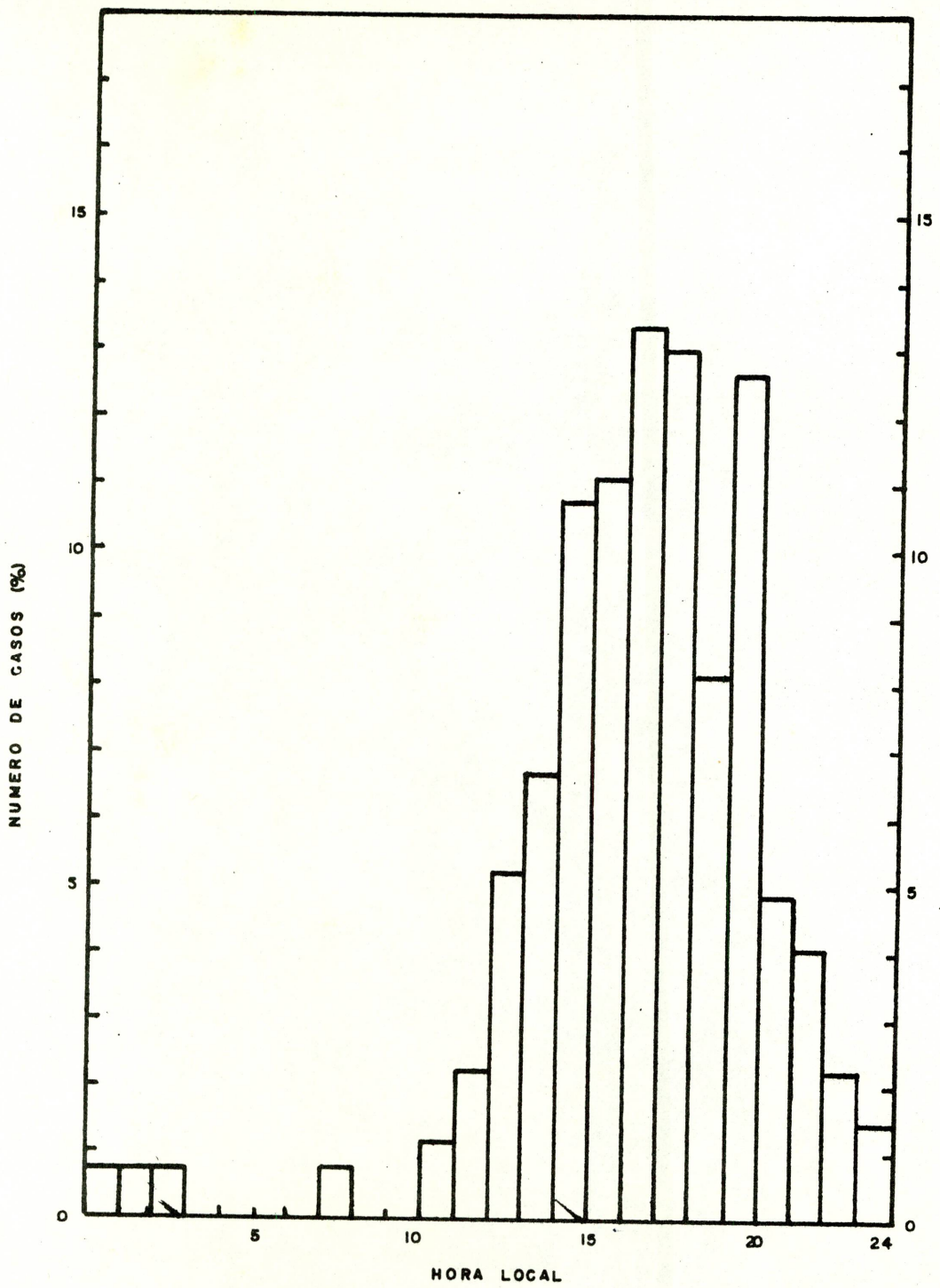


FIG. 12- GRAFICO DE VARIACION DIURNA DE FRECUENCIA DE FINALIZACION DE TORMENTAS (269 CASOS)

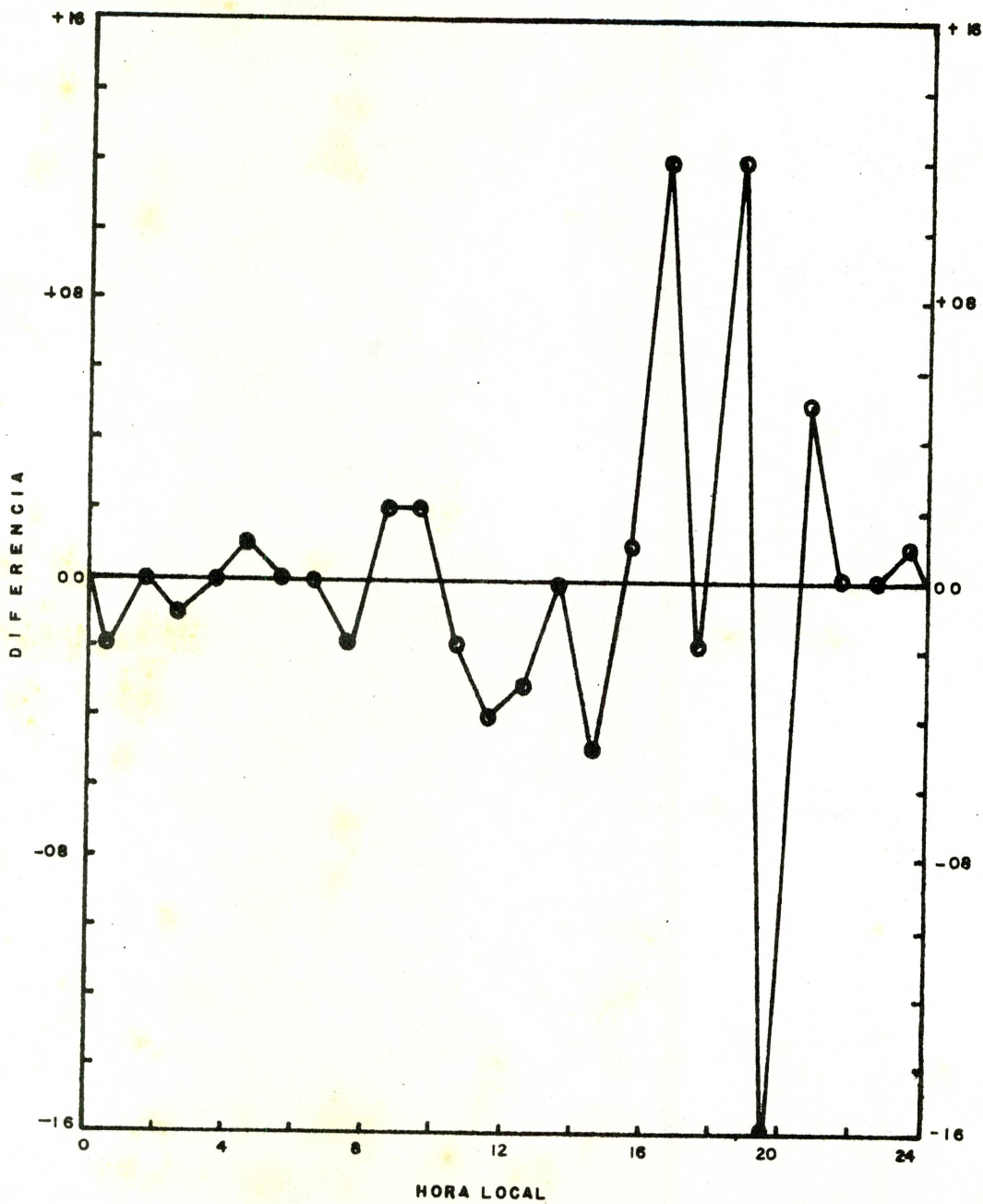


FIG. 13- DIFERENCIA ENTRE EL NUMERO DE TORMENTAS QUE SUPUESTAMENTE DEBERIAN FINALIZAR Y LAS QUE FINALIZARON (269 CASOS)

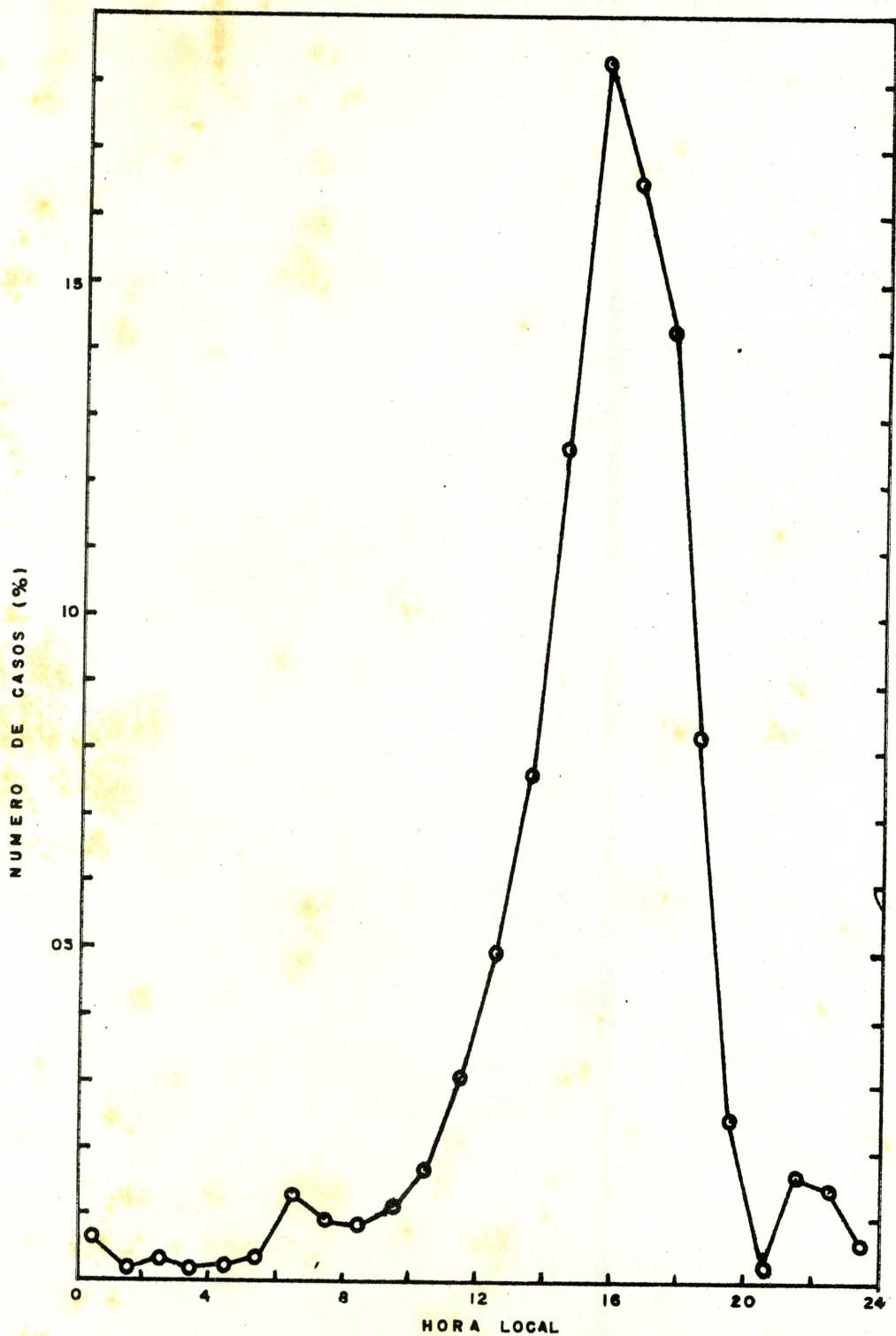
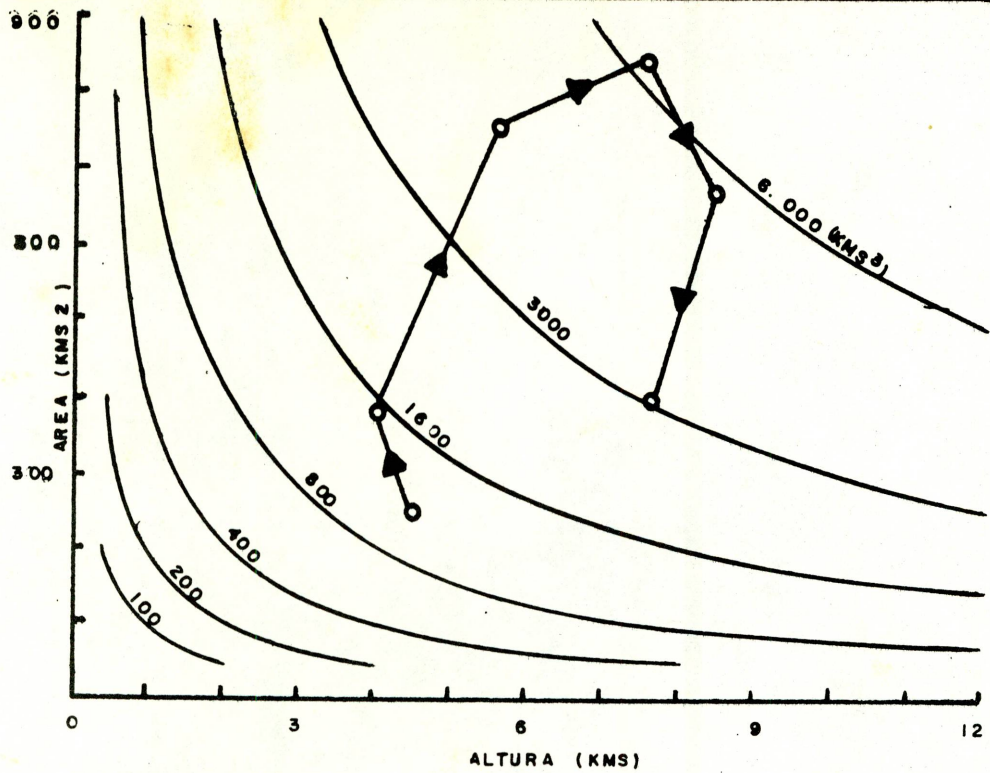
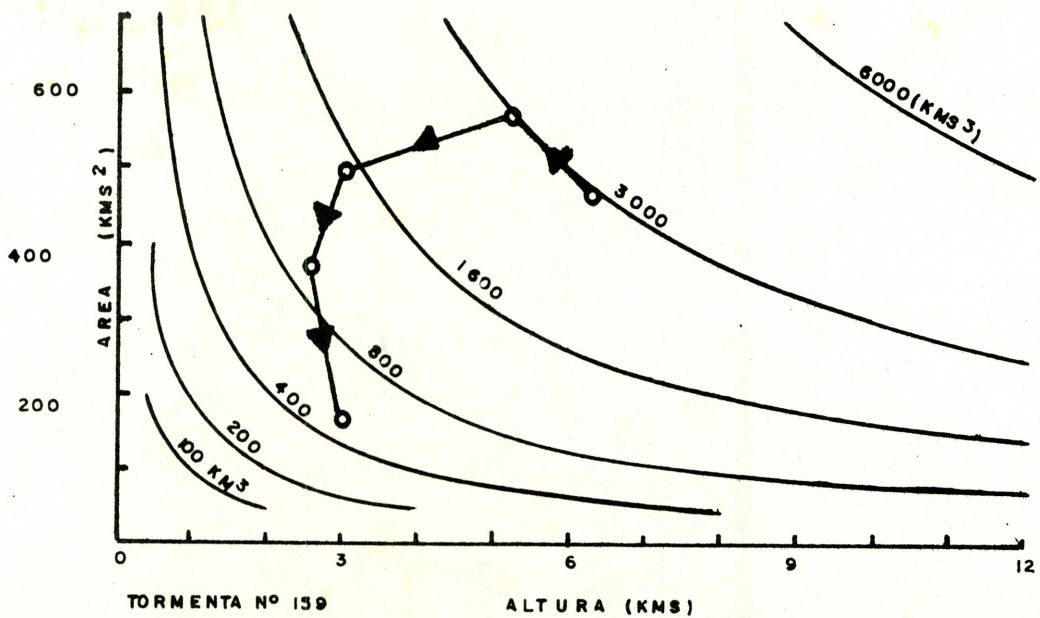


FIG. 14 - GRAFICO DE VARIACION DIURNA DE FRECUENCIA DE ACTIVIDAD DE TORMENTAS (269 CASOS)

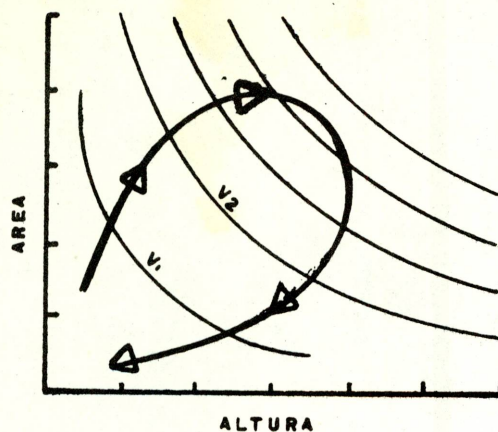


TORMENTA N° 80

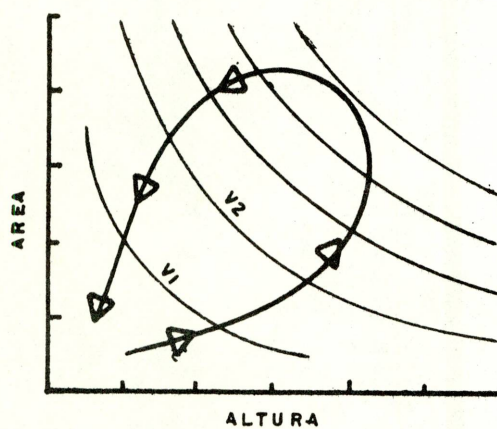


TORMENTA N° 159

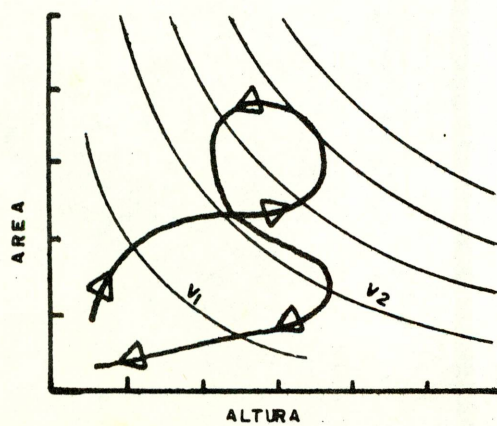
FIG. 15 EJEMPLOS DE GRAFICOS QUE REPRESENTAN LA VARIACION DE LAS AREAS VS ALTURAS A TRAVES DE LA VIDA DE LAS TORMENTAS



A - PRIMER CICLO DE DESARROLLO



B - SEGUNDO CICLO DE DESARROLLO



C - CICLO INDEFINIDO

FIG. 16- ESQUEMAS IDEALIZADOS DE LOS DIFERENTES CICLOS DE DESARROLLO DE LAS TORMENTAS

ANEXO 3

VELOCIDAD (mps)	000°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	TOTALES DEL GRUPO
	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	
00.0-02.0	4	1	1	2	7	5	5	25
02.1-04.0	2	1	2	9	14	12	11	51
04.1-06.0	0	2	8	21	21	18	4	74
06.1-08.0	1	1	3	14	26	14	1	60
08.1-10.0	0	0	2	7	10	9	0	28
10.1-12.0	0	0	0	0	1	3	0	04
12.1-14.0	0	0	0	1	0	1	0	02
14.1-16.0	0	0	0	1	0	0	0	01
16.1-18.0	1	0	0	0	0	0	0	01
18.1-20.0	0	0	1	0	0	0	0	01
TOTALES	8	5	17	55	79	62	21	247
% TOTALES	03.24	02.02	06.88	22.25	32.00	25.10	08.51	100.0

TABLA 1 Frecuencias de las Velocidades de las Tormentas (247 casos)

DURACION (min)	000°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	TOTALES DEL GRUPO
	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	
000-030	2	0	0	3	3	4	2	14
031-060	1	2	4	8	18	12	4	49
061-090	3	2	5	13	20	20	5	68
091-120	1	1	1	13	11	11	7	45
121-150	0	0	3	7	9	6	2	27
151-180	0	0	1	8	5	2	0	16
181-210	0	0	2	2	4	2	0	10
211-240	1	0	0	2	7	4	1	15
241-270	1	0	1	1	1	0	0	4
271-300	0	0	0	0	1	1	1	3
301-330	0	0	0	0	5	2	1	8
331-360	0	0	0	0	0	1	0	1
361-390	1	0	1	0	0	1	0	3
TOTALES	10	5	18	57	84	66	23	263

TABLA 2 Frecuencias de las Duraciones de las Tormentas (263 casos)

HORA LOCAL	TORMENTAS INICIADAS	PORCENTAJE	
00-01	01	00.37	
01-02	00	00.00	
02-03	01	00.37	
03-04	00	00.00	
04-05	00	00.00	
05-06	00	00.00	
06-07	02	00.74	
07-08	02	00.74	
08-09	01	00.37	
09-10	02	00.74	
10-11	11	04.09	
11-12	18	06.69	
12-13	24	08.92	
13-14	31	11.52	
14-15	48	17.84	
15-16	34	12.64	
16-17	34	12.64	
17-18	18	06.69	
18-19	18	06.69	
19-20	11	04.09	
20-21	06	02.23	
21-22	05	01.86	
22-23	00	00.00	
23-24	02	00.74	
TOTAL	00-24	269	100.00

TABLA 3 Frecuencias de Inicio de Tormentas (269 casos)

HORA LOCAL	TORMENTAS FINALIZADAS	PORCENTAJE
00-01	02	00.74
01-02	02	00.74
02-03	02	00.74
03-04	00	00.00
04-05	00	00.00
05-06	00	00.00
06-07	00	00.00
07-08	02	00.74
08-09	00	00.00
09-10	00	00.00
10-11	03	01.12
11-12	06	02.23
12-13	14	05.20
13-14	18	06.69
14-15	29	10.78
15-16	30	11.15
16-17	36	13.38
17-18	35	13.01
18-19	22	08.18
19-20	34	12.64
20-21	13	04.83
21-22	11	04.09
22-23	06	02.23
23-24	04	01.49
TOTAL 00-24	269	100.00

TABLA 4 Frecuencia de Finalización de Tormentas (269 casos)

HORA LOCAL	DEBEN FINALIZAR	FINALIZARON	DIFERENCIA	
00-01	00	02	- 02	
01-02	02	02	00	
02-03	01	02	- 01	
03-04	00	00	00	
04-05	01	00	+ 01	
05-06	00	00	00	
06-07	00	00	00	
07-08	00	02	- 02	
08-09	02	00	+ 02	
09-10	02	00	+ 02	
10-11	01	03	- 02	
11-12	02	06	- 04	
12-13	11	14	- 03	
13-14	18	18	00	
14-15	24	29	- 05	
15-16	31	30	+ 01	
16-17	48	36	+ 12	
17-18	34	35	- 01	
18-19	34	22	+ 12	
19-20	18	34	- 16	
20-21	18	13	+ 05	
21-22	11	11	00	
22-23	06	06	00	
23-24	05	04	+ 01	
TOTAL	00-24	269	269	± 00.00

TABLA 5 Diferencias entre el Número de Tormentas que Supuestamente Deberían Finalizar y las que Finalizaron (269 casos)

HORA LOCAL	VOLUMEN ACUMULADO (Kms ³)	TORMENTAS PROMEDIO HORARIA	PORCENTAJE
00-01	444199.55	01.53	00.60
01-02	90936.27	00.31	00.12
02-03	227951.98	00.78	00.31
03-04	93076.80	00.32	00.12
04-05	168464.40	00.58	00.23
05-06	282348.00	00.97	00.38
06-07	999178.80	03.43	01.34
07-08	685572.82	02.36	00.92
08-09	653548.00	02.55	00.88
09-10	835339.20	02.87	01.12
10-11	1284559.87	04.41	01.72
11-12	2318531.07	07.97	03.11
12-13	3691429.34	12.69	04.95
13-14	5711902.72	19.63	07.65
14-15	9334627.67	32.08	12.51
15-16	13686576.30	47.03	18.34
16-17	12340655.79	42.41	16.53
17-18	10712058.31	36.81	14.35
18-19	6173493.01	21.21	08.27
19-20	1867457.60	06.42	02.50
20-21	160675.08	00.55	00.22
21-22	1256867.55	04.32	01.68
22-23	1116231.61	03.84	01.50
23-24	505300.74	01.74	00.68

TABLA 6 Frecuencias de Existencia de Tormentas (269 casos)

ALTURA MAXIMA

	1° CICLO	2° CICLO	CICLO INDEFINIDO	TOTALES
- 5 Kms	03 (30%)	03 (30%)	04 (40%)	10 (100%)
5 - 10 Kms	49 (47%)	37 (35%)	19 (18%)	105 (100%)
- 10 Kms	13 (52%)	09 (36%)	03 (12%)	25 (100%)
TOTALES	65 (46.5%)	49 (35.0%)	26 (18.5%)	140 (100%)

TABLA 7 Ciclo de Vida de las Tormentas (140 casos)

		TORMENTAS SECUNDARIAS				
		ETAPA 1.	ETAPA 2	ETAPA 3	TOTAL	%
TORMENTAS PRINCIPALES	Etapa 1	1	6	14	21	51.0 %
	Etapa 2	0	6	10	16	39.0 %
	Etapa 3	2	0	2	4	10.0 %
	TOTAL	3	12	26	41	
	%	07.0	29.0	64.0		100.0 %

		TORMENTAS SECUNDARIAS				
		ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	TOTAL	%
TORMENTAS RESULTANTES	Etapa 1	2	9	15	26	63.4 %
	Etapa 2	0	2	6	8	19.5 %
	Etapa 3	1	1	5	7	17.1 %
	TOTAL	3	12	26	41	
	%	07.3	29.3	63.4		100.0 %

TABLA 8 Interacciones entre las Tormentas (41 casos)