

ESTUDIO DE LA FISICA DE LAS NUBES TORMENTOSAS

I. La lucha antigranizo en la región de Albacete (España) por:

M. Dávila-Zurita^x, R. San José^{xx} y J. Casanova^{xx}

1. Introducción

Desde que en el año 1946, Schaefer (1), realizó la primera experiencia de modificación de nubes naturales, sembrando 1,5 Kg. de hielo seco finamente pulverizado en una capa de estratos, logrando la primera nevada artificial, hasta nuestros días, han sido cientos y quizás miles las experiencias que se han realizado tratando de intervenir en los procesos físicos responsables de la evolución de las nubes y en la formación de las precipitaciones con el fin de modificar artificialmente su desarrollo. Las numerosas tentativas hechas en este sentido han tenido principalmente como finalidad: la dispersión de las nubes estratiformes junto al suelo, o sea las nieblas, para aumentar la visibilidad; el incremento de las precipitaciones con el fin de interrumpir un período de sequía o de aumentar las reservas de agua en un lugar determinado y la supresión del granizo o bien la transformación de los gránulos en otros más pequeños que ocasionen menores daños.

Aunque todavía se está muy lejos, tanto en el plano científico como operacional, de conseguir acciones seguras por siembra de sustancias como el yoduro de plata, el yoduro de plomo o el sulfuro de cobre que han sido utilizados con la misma finalidad, sin embargo, por tratarse de tres modificaciones que serían altamente beneficiosas para la humanidad, parece obvio el que se lleven a cabo esfuerzos considerables de investiga-

ción en un medio natural para obtener la simple confirmación de su posibilidad. Es por esto por lo que las campañas promovidas por el Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológica del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en la zona de Albacete durante los años entre 1978 y 1983, merecen ser estudiadas y analizadas, bajo el punto de vista científico.

Ya con anterioridad y visto que los daños causados a la agricultura por causa del granizo se podían cifrar en unos 15.000 millones de pesetas anuales, se firmó el Decreto 2201/72 con la finalidad de seleccionar un método para proteger las cosechas contra los factores meteorológicos basados en su eficacia y economía. Como consecuencia del mismo se inició una campaña de recogida de información acerca de la frecuencia de las nubes con presencia de granizo, a la que contribuyeron el Servicio Meteorológico así como las compañías aseguradoras en lo referente a los daños evaluados. En el año 1973 el Ministerio de Agricultura decidió instalar tres radares para seguir la evolución de las tormentas, seleccionándose emplazamientos en el Este y el Norte de nuestra península que, según las informaciones recogidas, eran las zonas más afectadas.

Toda la serie de intensos y extensos trabajos realizados por el Ministerio de Agricultura, bien solos o en colaboración con otras entidades, durante el período que media entre el año 1972 y el 1978, les decidieron en este último año a abordar con mayor intensidad y medios un estudio sobre la evolución de las células tormentosas y a la realización de los primeros intentos de siembra con el fin de tratar de luchar contra la plaga del granizo, para eliminar o al menos paliar, sus

x. Servicio de Defensa contra Plagas. Min. de Agricultura. Madrid.

xx. Facultad de Ciencias. Universidad de Valladolid.

perniciosos efectos. Dado los éxitos que se obtuvieron, de acuerdo con ciertos análisis estadísticos realizados, esto les movió a continuar dichas experiencias durante los años siguientes, hasta el año 1983, pasando al siguiente, a continuarlos en la zona de Zaragoza, pues se consideró que se había alcanzado experiencia suficiente y, dado lo costoso de estas experiencias, valía la pena proteger una zona de cosechas de más valor que las que se dan en Albacete.

En estos cinco años se han realizado las siguientes operaciones:

- N.º de nubes observadas..... 551
- De ellas se sembraron..... 193
- Simultáneamente se realizaron radio-sondeos en n.º de 151
- El n.º de días en que hubo riesgo de granizo fue de 89
- El n.º de vuelos efectuados fue de..... 119

Estas campañas se realizaron por adjudicación en concurso público a la empresa Informes y Proyectos, la cual, como se deduce del cuadro anterior, realizó un trabajo muy concienzudo y acumuló una información muy amplia de la que se puede intentar un análisis más minucioso de las medidas tratando de hacer aportaciones hacia esa meta que todos deseamos alcanzar cual es la de profundizar en el conocimiento del comportamiento de las células tormentosas. Ese ha sido el objeto del trabajo que hemos realizado y que presentamos en esa Memoria.

2. La eficacia de la lucha antigranizo

La evolución de la eficacia de las operaciones de modificación de las nubes consiste en buscar la correlación entre la causa y los efectos que ella produce. Ello puede hacerse por control final de la cadena de procesos que se trata de modificar, por ejemplo midiendo las propiedades de la precipitación en el suelo (intensidad o granulometría como consecuencia de las operaciones antigranizo) y/o por observación directa en la nube de las consecuencias físicas de la intervención. En uno y otro caso, el radar es un instrumento particularmente adaptado a la realización de las medidas necesarias. Además, él interviene también en la caracterización de la situación antes

de la intervención y en la conducción de las operaciones de modificación: por ejemplo en la elección de las nubes que se han de tratar. Afortunadamente en nuestro caso disponemos de abundantes medidas de los ecos, tanto de los correspondientes a los barridos azimutales de la antena a altura constante, en los que se obtienen sobre la pantalla los PPI (Plan Position Indicator), así como los barridos a azimut constante, con las presentaciones del tipo RHI (Range-Height-Indicator).

El estudio de la eficacia de la siembra con yoduro de plata se ha hecho a partir de la observación por radar de la altura del primer eco, de la velocidad creciente y las alturas máximas alcanzadas por los ecos procedentes de las poblaciones de cúmulos orográficos (2) (BATTAN, 1967, Silver Iodine seeding and precipitation initiation in convective clouds. *J. Appl. Meteor.*, 6, 317-322) o de cumulonimbus de las latitudes tropicales (3) (SIMPSON, 1967, Photographic and radar study of the Stormfury 5 August 1965 seeded cloud. *J. Appl. Meteor.*, 6, 82-87; SIMPSON et al, 1967, Stormfury Cumulus seeding experiment 1965; Statistical analysis and main results. *J. Atmos. Sci.*, 24, 508-521) y en las latitudes medias (5) (WEINSTEIN y Mac Cready, 1969. An isolated cumulus cloud modification project. *J. Appl. Meteor.*, 8, 936-947).

Estas experiencias tratan de demostrar que la acción de la siembra crea un aumento del desarrollo de los cúmulos tratados con relación a las nubes que sirvieron de referencia, y esto por efecto del calor latente de congelación liberado en mayor cantidad. En nuestro caso no nos es posible realizar este tipo de estudio debido a que no se dispone de nubes sin tratar simultáneamente a otras tratadas y esto de acuerdo con una operación aleatoria.

El radar se emplea ampliamente en la Unión Soviética en la lucha antigranizo que allí se desarrolla habitualmente desde hace varios años; mediante el mismo se eligen y seleccionan las nubes a sembrar y además mediante el radar se dirige el tiro de los cohetes que dispersan un aerosol glaciógeno de yoduro de plomo precisamente hacia las zonas en que se supone que hay una acumulación de gotitas subfrías (6) (SU-

LAKVELIDZE et al., 1965. Formacion of precipitation and modification of hail process. Hydromet. publi. House. Leningrado).

3. Area de protección e instrumentación utilizada

La zona protegida ha estado situada en la parte este de la Península Ibérica con base de operaciones en Albacete y, según se representa en la figura 1, a partir del año 1982, quedó comprendida entre Requena y Utiel por el N., con una franja paralela de 20 Km. de ancho hasta Hellín y Yeste por el centro, con un ensanchamiento por el S. hasta Lorca y Alhama en la provincia de Murcia.

Las razones que impulsaron a la elección de esta zona fueron debidas a que, según se desprendía de las observaciones realizadas con el radar que el Ministerio de Agricultura había instalado con anterioridad en Silla (Valencia), se había producido una media de 27 granizadas entre los meses de mayo y octubre ya que las tormentas seguían unas trayectorias que se iniciaban en esta zona. Por otra parte, en esta región hay una variedad de cultivos que va desde los cereales que se siegan en julio y agosto hasta los viñedos que se vendimian en octubre.

Para el seguimiento de las masas nubosas se utilizó un radar de 250 kw y 5 cm, equipado para observación horizontal (PPI) y vertical (RHI). La salida de datos del radar se analizaba con un microprocesador Z-80 con sistema de diskette de doble entrada. Además, como periféricos, se disponía de un terminal de vídeo Hazeltime 1420, una impresora Anadex, una pantalla NEC y su correspondiente vídeo cassette de grabación y reproducción.

Todos los PPI y RHI realizados los días de operaciones, se registraron tanto en los diskettes como en los vídeos. Mediante la vía Hazeltime se transmitían o recibían la órdenes que impartía o debía operar el ordenador Z-80. Las imágenes correspondientes a los sucesivos PPI y RHI aparecían convenientemente digitalizadas, en tiempo real, en la pantalla del NEC y con ayuda de la impresora se obtenían los registros sobre los que hemos realizado los análisis. De la

misma forma, los datos de los radiosondeos se almacenaban en diskette, después de ser procesados en el Hazeltime.

4. Método experimental

En las cinco campañas desarrolladas durante los veranos comprendidos entre el año 1979 al 1983 se ha seguido una metodología similar que consistía:

— En una evaluación del riesgo de granizo estimado utilizando un modelo numérico obtenido a partir de los datos suministrados por el sondeo realizado en el Centro de Operaciones.

— Se realizó el seguimiento de las masas nubosas mediante el radar, el cual transmite sus informaciones al conjunto de analizadores que toma las decisiones oportunas.

En los casos en que había que sembrar las nubes, se dispuso de dos o tres aviones del tipo Azteca, con sistema de lanzamiento de cartuchos de Agl, que iban convenientemente alojados en su panza.

5. Análisis de los episodios tormentosos en función de la dirección del viento y temperatura a 500 mb.

Vamos a estudiar la frecuencia de determinadas direcciones de viento en presencia de diversos episodios tormentosos y la temperatura a 500 mb de los mismos. En este trabajo hemos estudiado los años 1981, 1982 y 1983, asociando las direcciones de viento medias y las temperaturas a 500 mb medias correspondientes a cada día donde se han observado tormentas debido a la indiscernibilidad de estos datos para diferentes episodios tormentosos correspondientes a un mismo día. Para las tormentas del año 1981 se ha realizado un estudio particular en función de la siembra o no de las diversas tormentas observadas.

Durante el año 1981, se han catalogado un total de 94 tormentas correspondientes a los meses de junio, agosto y septiembre de un total de 22 días. En la Tabla I se ha representado el porcentaje de tormentas catalogadas dentro de las ocho direcciones de viento correspondientes.

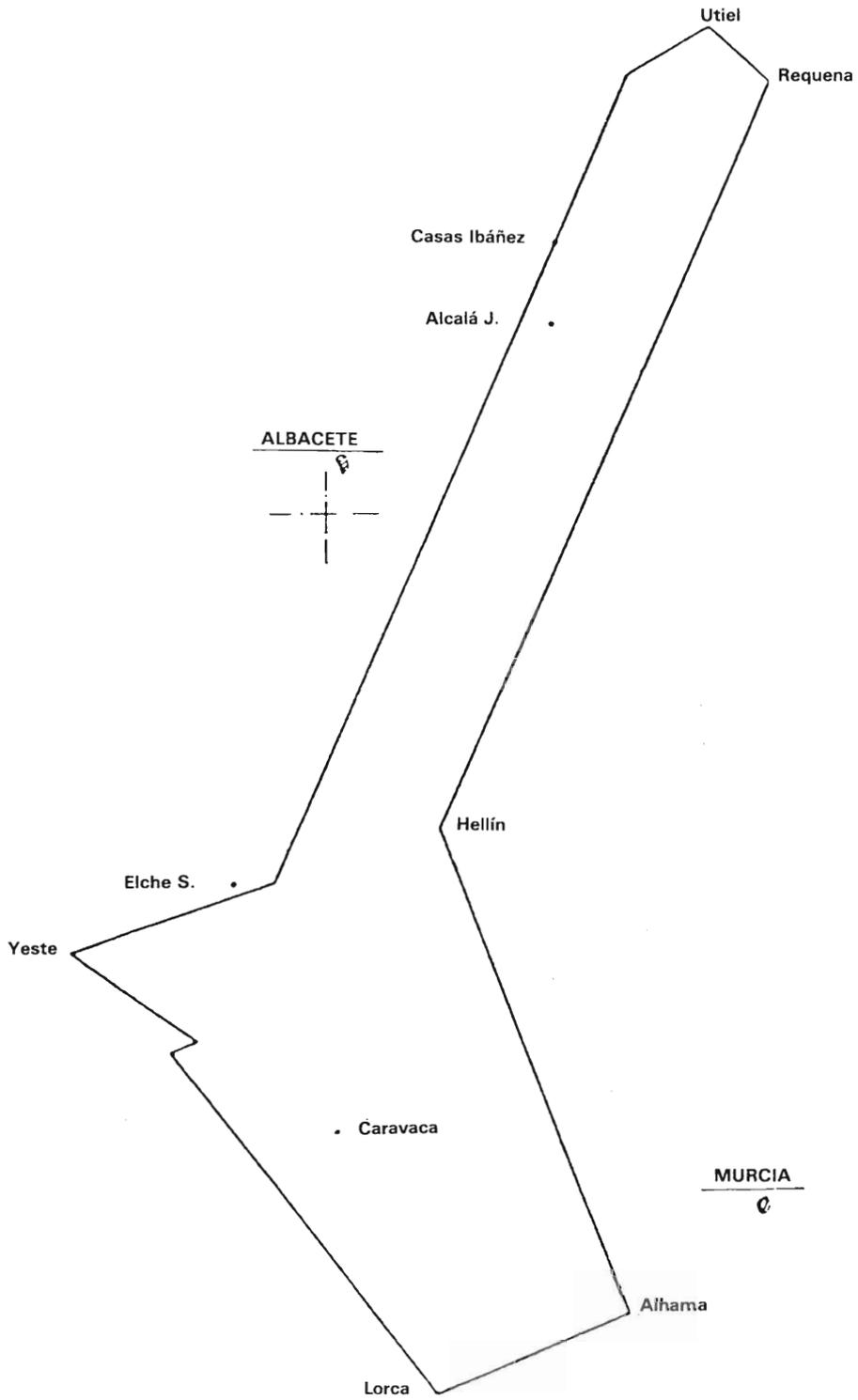


Figura 1: Zona protegida donde se han realizado las experiencias de lucha antigranizo.

TABLA I

Dirección viento	% Total	% Subtotal sembrado	% Subtotal no sembrado
N	12	—	14
NE	18	38	15
E	—	—	—
SE	—	—	—
S	5	—	6
SW	30	8	33
W	20	16	21
NW	15	38	11

Porcentajes de casos de dirección de viento predominante para el conjunto total de tormentas y para los subtotales de tormentas sembradas y no sembradas.

TABLA II

	N %	NE %	E %	SE %	S %	SW %	W %	NW %
Moderada	18	—	—	—	—	65	—	18
Cálida	10	22	—	—	7	22	25	14

TABLA III

	N %	NE %	E %	SE %	S %	SW %	W %	NW %
Moderada	—	—	—	—	—	100	—	—
Calidas	—	5	—	—	11	47	32	5

Asimismo, pueden observarse los porcentajes en función de la dirección del viento pero correspondientes a los subtotales de tormentas sembradas y no sembradas. La región NW-SW se destaca como aquella que acumula el 65% de los episodios tormentosos estudiados, sin embargo, el mayor porcentaje (38%) de tormentas sembradas acaecieron cuando el viento soplaba de la dirección NE, correspondiendo éstas únicamente al 18% del total de tormentas analizadas.

Para el estudio de la temperatura a 500 mb durante las tormentas se ha seguido una representación standard: $T < -25^{\circ}\text{C}$; $-25 \leq T < -15^{\circ}\text{C}$ y $T \geq -15$, correspondiéndose con tormentas frías, moderadas y cálidas, respectivamente. Según

esta clasificación de las 94 tormentas catalogadas durante el año 1981, el 82% de las mismas fueron de las denominadas cálidas, no habiéndose encontrado ningún caso de las frías.

En la Tabla II pueden observarse las diversas distribuciones porcentuales de las temperaturas de las tormentas en función de la dirección del viento. El tercer cuadrante (SW) acumula un 64% de las tormentas moderadas y un 53% de las cálidas.

Respecto al año 1982, el análisis de las temperaturas a 500 mb de los 20 días, correspondientes a los meses de julio, agosto y septiembre, donde fueron catalogadas diversas tormentas arroja el resultado expuesto en la Tabla III. De

nuevo la dirección SW concreta el 100% de los días con tormentas moderadas y el 90% de los días con tormentas cálidas. Ningún día con tormentas fue catalogado como "frío", pues el 95% de los días tormentosos correspondieron con el caso cálido y el resto de días con tormentas moderadas (1 caso).

El año 1983 arrojó un total de 27 días con tormentas, que fueron analizados en función de la dirección del viento predominante y la temperatura a 500 mb media. La Tabla IV muestra los resultados para este año, confirmando en líneas generales los resultados anteriores. Conviene hacer hincapié en que los resultados correspondientes a los porcentajes de días con tormentas moderadas en función de la dirección del viento son poco significativos debido al bajo número de casos de este tipo; en concreto, el año 1983 reflejó un 19% de días con tormentas moderadas (5 casos).

El análisis global para los tres años, de la temperatura a 500 mb de los días con tormentas catalogadas puede verse en la Tabla V. El 64% de los días con tormentas cálidas corresponden con direcciones de viento dentro del tercer cuadrante. La mayor dispersión para las tormentas moderadas se ve compensada por la menor significación de este grupo dentro del total pues sólo un 14% de los días correspondieron con tormentas moderadas.

Finalmente en la figura 2, se muestra un diagrama porcentual de la variable dirección de viento para los años 1981, 1982 y 1983. Los porcentajes corresponden con los días donde se catalogaron las tormentas dentro de cada año y se corresponden con los estudiados en la temperatura a 500 mb. El sector NW-SW concentra prácticamente todos los días con tormentas estudiadas. En la figura 3 puede observarse el diagrama global para el conjunto 81-83 (69 días).

TABLA V

	N %	NE %	E %	SE %	S %	SW %	W %	NW %
Moderadas	-	20	-	40	-	-	20	20
Cálidas	7	5	-	2	7	37	20	22

TABLA IV

	N %	NE %	E %	SE %	S %	SW %	W %	NW %
Moderadas	-	40	-	-	-	-	40	20
Cálidas	9	-	-	5	4	41	9	32

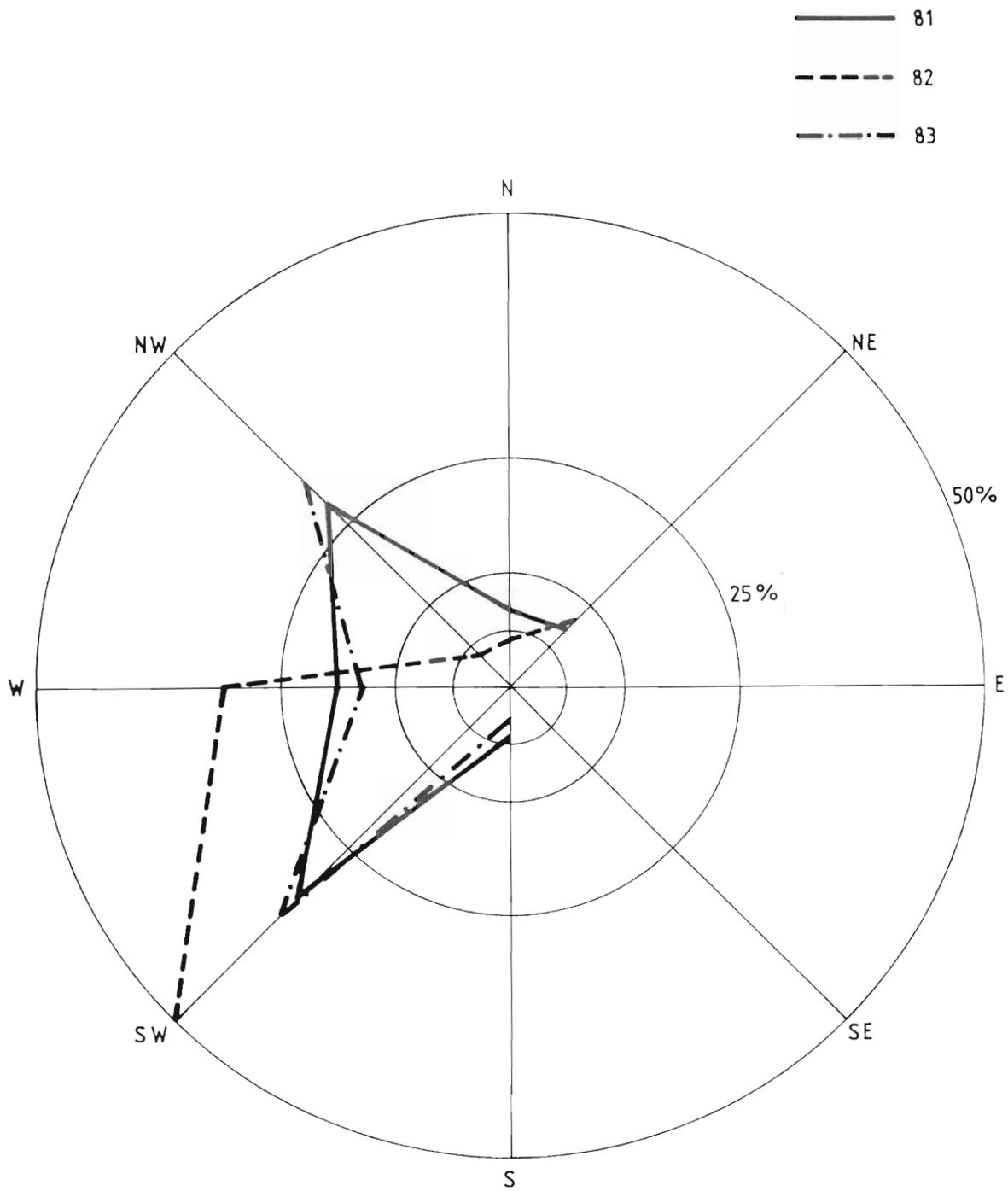


Figura 2: Diagrama porcentual de la variable dirección del viento.

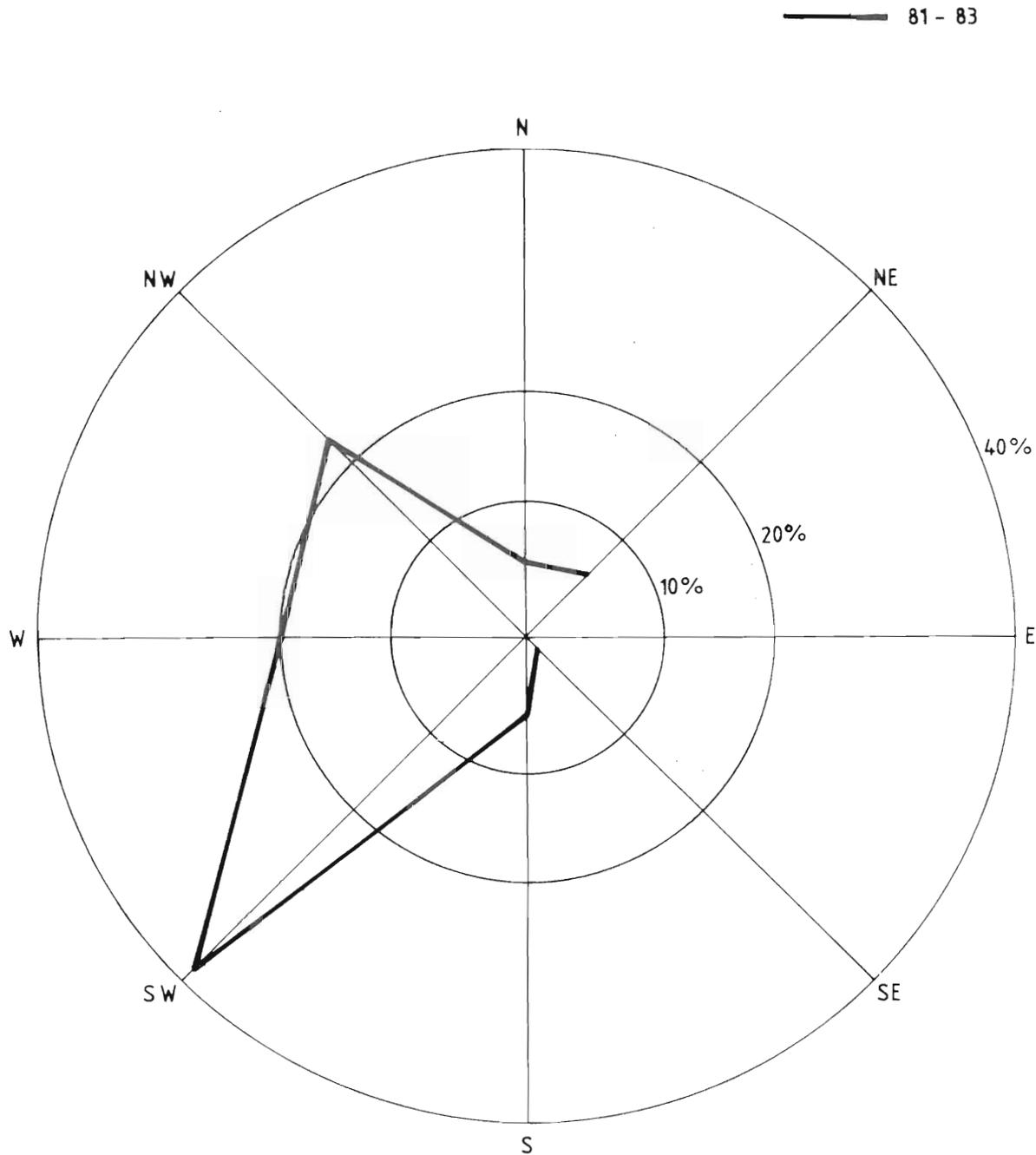


Figura 3: Diagrama global de direcciones de viento.