NCAR/TN-126+STR
NCAR TECHNICAL NOTE

December 1977

Sobre el Estado del Tiempo en Venezuela: Resumen del Estudio de los Experimentos Realizados en Venezuela en 1969 y 1972

Herbert Riehl

Anexo por Alan K. Betts

Traducción al Español por
Martha P. de Mata

On the Weather of Venezuela: A Summary Report on the Venezuela Experiments of 1969 and 1972

Herbert Riehl

Appendix by Alan K. Betts

Spanish translation by
Martha P. de Mata

ATMOSPHERIC ANALYSIS AND PREDICTION DIVISION

NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH
BOULDER, COLORADO

NCAR TECHNICAL NOTES

The Technical Note series provides an outlet for a variety of NCAR manuscripts that contribute in specialized ways to the body of scientific knowledge but which are not suitable for journal, monograph, or book publication. Reports in this series are issued by the NCAR Scientific Divisions; copies may be obtained on request from the Publications Office of NCAR. Designation symbols for the series include:

EDD - *Engineering, Design, or Development Reports*
Equipment descriptions, test results, instrumentation, and operating and maintenance manuals.

IA - *Instructional Aids*
Instruction manuals, bibliographies, film supplements, and other research or instructional aids.

PPR - *Program Progress Reports*
Field program reports, interim and working reports, survey reports, and plans for experiments.

PROC - *Proceedings*
Documentation of symposia, colloquia, conferences, workshops, and lectures. (Distribution may be limited to attendees.)

STR - *Scientific and Technical Reports*
Data compilations, theoretical and numerical investigations, and experimental results.

The National Center for Atmospheric Research is operated by the University Corporation for Atmospheric Research and is sponsored by the National Science Foundation.

CONTENTS

Resumen	Abstract	1
Los Experimentos	The Experiments	3
Balance de Energía y Caudal	Energy Balance and Streamflow	5
Precipitación y Observaciones del Radar	Precipitation and Radar Observations	7
Precipitación	Precipitation	7
Observaciones del Radar	Radar Observations	10
Modelo de Sistema de Mesoescala	Model Mesoscale System	14
Envolventes Sinópticas	Synoptic Envelopes	15
Aspectos a Largo Plazo	Longer Term Aspects	25
Conclusión	Conclusion	28
Investigacion sobre Conveccion (por Alan K. Betts)	Convection Research (by Alan K. Betts)	30
Organizaciones y Personas Relacionadas con los Experimentos	Organizations and Individuals Concerned with the Experiments	37
Publicaciones de Observaciones	Publications of Observations	40
Publicaciones Scientificas	Research Publications	40

SOBRE EL ESTADO DEL TIEMPO EN VENEZUELA

por

Herbert Riehl

RESUMEN

En la Nóta Técnica, Sobre el Estado del Tiempo en Venezuela, se discuten inicialmente la metodología y ejecución de los experimentos meteorológicos e hidrológicos de 1969 y 1972 en Venezuela. Luego se presentan y analizan el balance de radiación y el balance de agua superficial para un área de aproximadamente 100 Kms de radio, se prosigue con una descripción de los modelos de precipitación, los sistemas de lluvia en mesoescala y sus observaciones con radar. Se señalan los distintos tipos de sistemas sinópticos, incluyendo aquellos que llegan desde el Atlántico y desde Suramérica, su estructura vertical y su impacto sobre el tiempo en Venezuela. Finalmente se hacen consideraciones para pronósticos a largo plazo, especialmente en lo que se refiere a las temporadas seca y lluvosa relacionadas con la estructura de la corriente básica; se resumen las herramientas disponibles para el pronóstico.

Desde hace varios siglos se conoce el hecho de que las regiones tropicales del mundo proveen la fuente de calor y momentum para el mantenimiento de la circulación general de la atmósfera y los climas del mundo. Recientemente se ha vuelto cada vez mas aparente el hecho de que esta fuente no es tan constante, tan confiable ni está "siempre dispuesta" como se pensó anteriormente. Los países tropicales tienen días con lluvia y días claros en una sucesión irregular. Ocurren sequías que pueden durar semanas, meses y años. Por otro lado, durante la estación lluviosa las inundaciones constituyen una penalidad perenne. Estas grandes anomalías, principalmente en el ciclo del agua, pero algunas veces asociadas con temperaturas notablemente frías o calientes en el ecuador, tienen un impacto importante y en algunos casos dominante en la economía de las naciones tropicales.

ON THE WEATHER OF VENEZUELA

by

Herbert Riehl

ABSTRACT

In the Technical Memo, On the Weather of Venezuela, the methodology and execution of the Venezuela meteorological and hydrological experiments of 1969 and 1972 are discussed first. Then the radiation balance and water balance at the ground are presented and analyzed for an area with about 100 km radius, followed by a description of the modes of precipitation, the mesoscale rainfall systems and their observation by radar. The various types of synoptic weather systems are shown, including those arriving from the Atlantic and from South America, their vertical structure and impact on Venezuela weather. Finally, longer term considerations are offered, especially wet and dry seasons as related to basic current structure; the tools available for forecasting are summarized.

It has been known for centuries that the tropical regions of the world provide the source of heat and momentum for maintaining the general circulation of the atmosphere and the world climates. In recent times it has become more and more apparent that this source is not as constant, reliable, and ever-ready as was once thought. Tropical countries have days with rain and days that are clear in irregular succession. Droughts occur that may last weeks, months, and years. On the other hand, floods provide an ever-present threat during the rainy seasons. These large anomalies, mainly of the water cycle but sometimes also coupled with noticeably cool or hot weather under the equator, have an important and sometimes dominant impact on the economies of tropical nations.

En un intento por mejorar la calidad de la vida para todos, la ciencia METEOROLOGIA se ha propuesto la tarea de ayudar a las personas del mundo a tratar con las anomalías del tiempo y del clima y sus catástrofes. Las herramientas usadas son dos: 1) Análisis estadístico y de probabilidades para evaluar el peligro de recurencia de condiciones severas que traerían depresiones económicas; y 2) pronóstico, para dar un estimado de los factores del tiempo que puedan occurir en alguna región tanto en el futuro inmediato como en períodos a largo plazo. Para poder lograr avances sustanciales en estas tareas se invoca a los métodos científicos del pensamiento básico, conjuntamente con la investigación en la naturaleza, para obtener evidencias de principios físicos en acción.

En los trópicos la exploración de la atmósfera es especialmente importante ya que en esta región, fuente de calor y momentum, se encuentra la clave para comprender y predecir el tiempo en el mundo. Venezuela está situada favorablemente para ayudar a lograr este objetivo: situada entre el ecuador y el Caribe en el corazón del cinturón tropical; una nación bien desarrollada, capaz de proveer las bases técnicas para la ejecución de experimentos de campo modernos y sofisticados; dirigida por un cuerpo administrativo y personal científico que comprende los métodos científicos y las bases filosóficas para lograr sus objetivos al encarar problemas difíciles; quienes, por consiguiente, están favorecidos para tomar las directrices en cuanto a ayudar a mejorar el status económico de las poblaciones en los trópicos, mucho mas allá de las fronteras de Venezuela.

Fué un gran placer para el autor haber sido capaz de programar, junto con Dependencias del Gobierno Venezolano, dos experimentos de campo, meteorológicos e hidrológicos en Venezuela, ejecutados durante las estaciones lluviosas de 1969 y 1972. Estos experimentos, llevadas a cabo conjuntamente con dependencias Venezolanas y con la participación de varias Universidades Europeas, serán descritos brevemente en las páginas siguientes. Se presentará un análisis de los

In an attempt to improve the quality of life for everyone the science of METEOROLOGY has taken on the task of assisting the peoples of the world in dealing with weather and climate anomalies and catastrophes. The tools used are twofold: 1) statistical probability analysis to assess the danger of recurring severe conditions that will depress economies; and 2) prediction, to give an estimate of weather factors likely to be experienced in any region in the immediate future as well as longer time scales, so far as this is possible. In order to make substantial advances in these tasks, the scientific method of basic thinking in conjunction with the search, in nature, for evidence of physical principles in action is invoked.

Exploration of the atmosphere is especially important in the tropics since in this source region of heat and momentum lies a major key for understanding and predicting world weather. Venezuela is favorably located for furthering this objective: situated between the equator and the Caribbean in the heart of the tropical belt; a well developed nation capable of providing the technical basis for the conduct of modern sophisticated field experiments; directed by a body of administrative and scientific personnel who understand the scientific method and the philosophical basis for achieving advances in the face of difficult problems; who, therefore, are well placed to take a leading role in helping to improve the economic status of the populations in the tropics far beyond the national borders of Venezuela.

It was a great pleasure for the author to have been able to arrange with agencies of the Venezuelan Government two meteorological and hydrological field experiments in Venezuela conducted during the rainy seasons of 1969 and 1972. In the following pages these experiments, carried out jointly with Venezuelan agencies and with participation by several European universities, will be briefly described. An analysis of the meteorological events will be presented, and of the

eventos meteorológicos y de la contribución al conocimiento general de la atmósfera tropical adquirido por éstos experimentos. Se hace hincapié en la descripción del hecho físico y en sugestiones concernientes a principios fundamentales con posibles aplicaciones en Venezuela. Los resultados mas teóricos, que tienen interés solo para un grupo limitado de científicos, no están incluídos sino en el Anexo. Esta presentación esta basada principalmente en los reportes derivados de los dos experimentos, los cuales se mencionan al final de esta Nota Técnia, Igualmente, por supuesto, se han utilizada conocimientos generales de meteorología, especialmente de los tropicos, para llevar a cabo estas investgaciones.

También al final de este Reporte se hace un reconocimiento a todas las dependencias Venezolanas, Norteamericanas, Europeas y a individuos, que contribuyeron en la programación y ejecución de los experimentos.

contribution to the general knowledge about the tropical atmosphere achieved by the experiments. Stress will be laid mostly on the description of the physical evidence and suggestions concerning underlying principles with possible applications in Venezuela. More theoretical results, of interest only to limited groups of scientists, will not be included, except in the Appendix. The presentation is based mainly on the research papers derived from the two experiments listed at the end of this Technical Note. General current knowledge of meteorology especially of the tropics, has, of course, been used in carrying out the researches.

Acknowledgment of all the contributions made by Venezuelan, United States, and European agencies and individuals in bringing about the experiments and their execution also will be found at the end of the paper.

Los Experimentos

Ambos experimentos siguieron el mismo plan. Se estableció una central de análsis y observación en Anaco (9.5°N, 63°W) desde Junio hasta Octubre de 1969; y en Carrizal (9.5°N, 67°W) desde Mayo hasta Septiembre de 1972. Alrededor de las estaciones centrales se instaló una red de estaciones pluviográficas y de limnígrafos, en un círculo de aproximadamente 100 Kms de radio, para complementar las observaciones del Ministerio de Obras Públicas. Es de especial interés en los trópicos, el ciclo de humedad en la atmósfera y en la superficie. La red de estaciones superficiales muestra la cantidad que se ha transpirado en la atmósfera; el principal objetivo es predecir el caudal y la precipitación. Determinadas nubes fueron observadas mediante un radar capaz de medir la altura y área de las gotas de agua y partículas de hielo en grandes nubes productoras de lluvia. El movimiento de estas nubes a lo largo de la superficie, al igual que su crecimiento y decrecimiento fueron medidos mediante la operación contínua del radar. El agua en forma de vapor contenida en la atmósfera fué observada mediante instrumentación incorporada a

The Experiments

Both experiments were laid out along the same plan. A central observing and analysis station was established at Anaco (9.5°N, 63°W) during June to October 1969; and at Carrizal (9.5°N, 67°W) during May to September 1972. Around the headquarter stations a network of rainfall and river gauging stations was installed in a circle with about 100-km radius to supplement the observations of the Ministerio de Obras Públicas. In the tropics, the main concern is the moisture cycle in the atmosphere and on the ground. The ground network shows the result of what has transpired in the atmosphere; a major aim is to predict streamflow and rainfall. The rain clouds were observed by a radar set capable of measuring the height and area of raindrop-size water and ice particles in large rain-bearing clouds. By operating the radar continuously, the movement of these clouds across the ground as well as their growth and decay was measured. Water vapor within the atmosphere was observed by instrumentation attached to balloons rising from the ground to about 14-km height.

a globos que se elevan desde la superficie hasta una altura de 14 Kms.

Habiendo establecido los hechos respecto a los ciclos de agua y de vapor de agua, las principales incógnitas que surgen son: Cuándo se forman las grandes nubes que producen la mayor cantidad de lluvia? y, Cuándo no se forman? Estas nubes son escasas, ocurriendo solo alrededor de un uno porciento del tiempo. Circunstancias especiales en la circulación atmosférica (viento, presión, temperatura) las producen y pueden igualmente dejarlas crecer o impedir su crecimiento. La instrumentación a bordo de los globos también incluye sensores para medir presión y temperatura; los equipos de radio para perseguir el globo desde la superficie, señalan la ruta del globo, por lo tanto muestran también el movimiento del viento. Sin embargo, mediciones hechas en un solo punto no son suficientes. Para determinar las presencia de movimientos tales como ondas y vórtices, los cuales en su movimiento llegan cerca de Venezuela y tienen impacto en el crecimiento o decrecimiento de las nubes en al área, se necesitan mapas sinópticos a varias alturas en la atmósfera, que cubran por los menos la parte Norte de Suramérica y el Caribe. Para esta parte importante de los experimentos, se dibujaron diariamente mapas sinópticos de estas áreas con la ayuda del Servicio de Meteorología (FAV: Fuerzas Aéreas de Venezuela) y sus radiocomunicaciones, y también del Centro Nacional de Huracanes de Miami, que enviaba diariamente por avión, una copia de sus mapas de altura, en 1969.

Las 21 estaciones de superficie del Servicio Meteorológico proveían información de presión, temperatura, humedad y precipitación sobre Venezuela. Estaciones de globos pilotos de este Servicio daban información de vientos en la baja atmósfera (hasta 3 Kms) y la estación permanente de radiosondeo en Maracay, brindaba información sobre la atmósfera completa, una vez al dia. Mediante una estación receptora de Satélite se obtuvo alguna ayuda al perseguir masas de nubes; un equipo mejor para este propósito debe estar ahora disponible. Vuelos especiales de investigación fueron llevadas a cabo con aeroplanos pertenecientes al Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas de Boulder, Colorado, Estados Unidos de América.

Having established these facts about the water and water vapor cycle, the main questions that arise are: When do large clouds form which deliver most of the rain? and, When do they not form? They are rare, occurring only about one percent of the time. Special circumstances in the atmospheric circulation (winds, pressure, temperature) produce them and either let them grow or prevent their occurrence. The balloon instrumentation also carries sensors for pressure and temperature; ground tracking with radio finding equipment shows the balloons' travel, thereby showing the travel of the wind. But measurements at one location are not enough. Weather charts covering at least northern South America and the Caribbean at various heights in the atmosphere are needed to be aware of the presence and motion of features such as waves and revolving vortices which, in their travel, arrive near Venezuela and have an impact on cloud growth or decay in the area. For this important part of the experiments, weather maps covering these areas were constructed daily with the aid of the Venezuela Weather Service (FAV: Fuerzas Aéreas de Venezuela) and their radio communications facilities, and also the National Hurricane Center, Miami, which sent a copy of their upper air charts by aircraft every day in 1969.

The 21 surface stations of the Weather Service furnished information on pressure, temperature, humidity, and rainfall over Venezuela itself. Balloon stations maintained by the Service gave information on winds in the lower atmosphere (up to 3 km) and their permanent upper-air station at Maracay furnished information on the entire atmosphere once daily. Some help in tracking cloud masses also was obtained by a satellite receiving station; better equipment for this purpose would now be available. Special research missions were carried out with aircraft from the National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, U.S.A.

Balance de Energía y Caudal

Premieramente se dara un vistazo a los intercambios de energía en superficie y al caudal para el experimento de 1969 en Anaco, como antecedente para la investigación de los cambios de dia a dia. Los resultados deben ser ampliamente aplicables, por lo menos en las llanuras al Norte de Venezuela. La energía recibida por el sol es parcialmente reflejada por la tierra, ademas de por las nubes y por las partículas existentes en el aire; la tierra irradia parte de esta energía. La tierra tambien calienta directamente la atmósfera y utiliza mucha de su energía excedente proveniente del sol en evaporar agua en el aire, mayormente a través de la transpiración de las plantas, siendo ésto de una gran importancia para el ciclo biológico. Bajo condiciones normales el agua evaporada es abastecida por la precipitación de las nubes convectivas. Generalmente la precipitación excede a la evaporación; el excedente de agua se transforma en flujo superficial y aguas subterráneas.

La Figura 1 muestra el ciclo de radiación promedio diaria. La radiación recibida es máxima cerca del mediodía; en los dias húmedos con lluvia por la tarde la radiación recibida se reduce mucho después de las 1100 hora local, si se compara con la curva de la Figura 1. La radiación reflejada también es máxima alrededor del mediodía al igual que la radiación proveniente de la

Energy Balance and Streamflow

As background for the investigation of day-to-day changes, an overview of surface energy exchanges and streamflow for the 1969 experiment at Anaco will first be given. Results should be widely applicable, at least in the plains areas of northern Venezuela. The energy received by the sun is partly reflected from the ground, in addition to clouds and particles in the air; the ground re-radiates part of this energy. The ground also warms the atmosphere directly and uses much of the surplus energy from the sun in evaporating water into the air, mainly through plant transpiration -- of major importance in the biological cycle. Under normal conditions the evaporated water is replenished by rainfall from the large clouds. Usually, rainfall exceeds evaporation; the surplus water is carried off by surface and underground streams.

Figure 1 shows the average daily radiation cycle. Incoming radiation is largest near noon; on wet days with rain in the afternoon the incoming radiation is much reduced after 1100 local time, as compared to the curve of Figure 1. Reflection of radiation also is largest near noon as well as radiation from the ground at high temperatures (over 30°C) which are usually measured

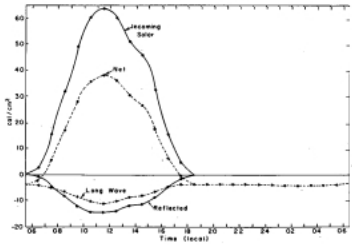


Fig. 1 Curva promedio diaria de radiación solar recibida, reflejada y de onda larga y de radiación neta absorvida en la superficie, para el noreste de Venezuela, durante el verano.

Fig. 1 The average daily course of incoming solar radiation, reflected solar radiation, outgoing long wave radiation and of net radiation absorbed in soil in northeastern Venezuela during summer.

tierra o irradiación, para altas temperaturas de la superficie (mayores de 30°C), las cuales son generalmente observadas a tempranas horas de la tarde. La irradiación continúa toda la noche, reduciendo así la radiación neta acumulada en la tierra durante el día. El balance de radiación diaria se muestra en la Tabla 1, en la cual se utiliza un valor del 20% para el albedo (radiación reflejada), obtenido mediante los vuelos efectuados sobre toda el área del Noreste Venezolano. Existe una reducción de un 13% en los días húmedos comparado con los secos y en los días muy lluviosos esta reducción es aun mayor. Alrededor de la mitad de la radiación recibida permanece en la tierra y está disponible para calentar la atmósfera y evaporar agua. En el regimen climático del Noreste Venezolano la energía utilizada en evaporación excede la utilizada para calentar la tierra. La relación es de cerca del 160 porciento. La fracción de energía usada para calentar la atmósfera aumenta durante los períodos de sequía prolongados; así como también la temperatura de superficie, a medida que disminuye el agua disponible para la evaporación y se desarrollan las condiciones de sequía. La evapotranspiracion potencial puede llegar a ser aproximadamente 150 cal/cm^2/dia, durante los períodos húmedos.

in the early afternoon. The radiation from the ground continues all night reducing the net radiation accumulated in the ground in daytime. The daily radiation budget is given in Table 1, using an albedo (reflected radiation) value of 20 percent obtained from aircraft flights over all of northeastern Venezuela. There is a 13-percent reduction of radiation on wet days as compared to dry days, and on very rainy days it is much larger. About half of the incoming radiation remains in the ground and is available for heating the atmosphere and evaporating water. In the climatic regime of Northern Venezuela energy expended in evaporation exceeds that used in ground warming. The ratio is near 160 percent. During long dry spells the fraction of energy used to heat the atmosphere increases; therewith also surface temperature, as water available for evaporation diminishes and drought conditions occur. During wet spells, potential evapotranspiration will be approached at perhaps 150 cal/cm^2/day.

TABLA 1

Balance de Radiación Promedio en Anaco
(calorias/cm^2/dia)

	Total Días	Días Secos	Días Húmedos
Radiación de onda corta recibida en la tierra	433	456	393
Menos radiación reflejada (20%)	- 87	- 91	- 79
Radiación absorvida en la tierra	346	365	314
Menos radiación de onda larga	-130	-133	-125
Radiación neta	216	132	189
Porcentaje de radiación solar	50	51	48
Calentamiento de la atmósfera por la tierra	- 81	- 87	
Evaporación	-135	-145	
Total	-216	-232	
Relación del calor sensible al calor latente transferido a la atmósfera por el suelo (%)	60	60	

Table 1

Average Radiation Balance at Anaco
(calories/cm^2/day)

	All Days	Dry Days	Wet Days
Short wave radiation reaching ground	433	456	393
Less reflected radiation (20%)	- 87	- 91	- 79
Radiation absorbed in ground	346	365	314
Less longwave radiation	-130	-133	-125
Net radiation	216	232	189
Percent of solar radiation	50	51	48
Warming of atmosphere from ground	- 81	- 87	
Evaporation	-135	-145	
Total	-216	-232	
Ratio sensible to latent heat transfer from ground to atmosphere (%)	60	60	

Ahora se puede computar el balance de agua en la superficie (Tabla 2). El agua equivalente a la evaporación determinada en la Tabla 1 es de 0.23 cm/día. Dada la precipitación promedio de 0.44 cm/día obtenida según la red de pluviómetros y el caudal medido de 0.09 cm/día, el escurrimiento subterráneo residual debe ser de 0.12 cm/día. Este escurrimiento subterráneo tan grande puede ser posible debido a los suelos arenosos que absorven mucha lluvia y que se encuentran especialmente en la parte sur del área del Proyecto, hacia el Río Orinoco. En este sitio se encuentran corrientes subterráneas de flujo invariable.

The water balance at the ground now can be computed (Table 2). The water equivalent of the evaporation determined in Table 1 is 0.23 cm/day. Given the average precipitation of 0.44 cm/day measured by the rain gauge network and the measured streamflow of 0.09 cm/day, the residual underground runoff must be 0.12 cm/day. The large underground runoff is made plausible in view of sandy, rain-absorbing soils, especially in the southern part of the project area toward the Orinoco River. Underground streams of unvarying flow throughout the year are found there.

Precipitación y Observaciones del Radar

Precipitación. Como es común en los tropicos, la mayor cantidad de precipitación cae en muy pocos dias en lo que se conoce como sistemas organizados o sistemas "sinópticos" del tiempo. Ya que la precipitación en un sitio está frecuentemente sujeta al azarpuede que una gran nube pase por el sitio o puede que no pase -- es siempre mejor analizar redes pequeñas. Considérese por ejemplo, la red de 15 estaciones del Ministerio de Obras Públicas, situadas alrededor de la parte norte del Lago Valencia (las estaciones de montaña se omiten). En la Figura 2 se observa la concentración de precipitación en esta red

Precipitation and Radar Observations

Precipitation. As is common throughout the tropics, most precipitation falls on a very few days in what is known as the organized or "synoptic" weather systems. Since rainfall at one location is often subject to accident -- whether a large cloud passes over it or just misses it -- it is always best to analyze at least small networks. Consider, for instance, a network of 15 stations of the Ministerio de Obras Públicas around the north side of the Lago de Valencia (high mountain stations omitted). The concentration of rainfall in this network for June 1969 is seen in Figure 2. There were four major rain events,

para Junio de 1969. Se notan cuatro eventos pluviosos importantes, asumiendo que la lluvia del 7-8 de Junio fue un solo evento, extendido sobre el período de medición diario, las 0800 hora local. Estos cuatro eventos convirtieron el mes de Junio de 1969 en un mes lluvioso para esta área, con una precipitación promedio diaria de 7 milímetros. Si estos casos no son tomados en cuenta, la precipitación promedio es de 2.6 milímetros en todos los otros días, siendo todavía este valor suficiente para balancear la evaporación tal como se muestra en la Tabla 2, pero insuficiente para el crecimiento completo de la vegetación. Como se observa frecuentemente, la lluvia máxima ocurrida el 22 de Junio, fué precedida por un dia totalmente seco (Fig. 3). En este día con gran precipitación, la lluvia varía entre 20 y 78 milímetros, mostrando así el carácter irregular de la lluvia en distintos sitios, aún durante la ocurrencia de eventos máximos. Tomando en cuenta el mes completo, 10 porciento de los días (ó 3 días) produjeron la mitad de la precipitación; 50 porciento de los días (ó 15 días) produjeron solo un 10 porciento (Figura 4). Sin contar los días de precipitación fuerte, el caudal se secaría. El interes meteorológico está centrado en la ocurrencia o no ocurrencia de estos eventos máximos en un mes o en toda la temporada pluviosa, ya que éllos determinan el hecho de que la mencionada temporada pluviosa tenga precipitaciones por encima o por debajo del promedio. Las cantidades pequeñas de precipitación se consideran despreciables ya que son producto principalmente de aguaceros locales en la tarde y noche.

assuming that the rainfall of 7-8 June was a single event extending over the daily time of measurement at 0800 local time. These four episodes made June 1969 a rainy month in the area with daily average rainfall of 7 millimeters. Subtracting these cases, precipitation averaged 2.6 mm on all other days, still enough to balance evaporation as given in Table 2 but insufficient for full vegetation growth. As is also often experienced, the heaviest rain day precipitation ranged from 20 to 78 mm showing the irregular character of rainfall at individual locations, even during such a major event. For the month as a whole, 10 percent of the days (or 3 days) delivered half of the precipitation; 50 percent of the days (or 15 days) delivered only 10 percent (Figure 4). Without the heavy rain days streamflow would dry up. All meteorological interest centers on occurrence or non-occurrence of the major events in a month or in a whole rainy season, since these events determine whether a rainy season will have above or below average rainfall. The small amounts are considered "noise," mostly resulting from local afternoon and evening rain showers.

TABLA 2

Balance de Agua en la Superficie
(cm/dia)

	+	-	
Precipitación	0.44		
Evaporación		0.23	
Caudal		0.09	
Escorrentia Subterránea		0.12	0.21

TABLE 2

Water Balance at Ground
(cm/day)

	+	-	
Rainfall	0.44		
Evaporation		0.23	
Streamflow		0.09	
Underground runoff		0.12	0.21

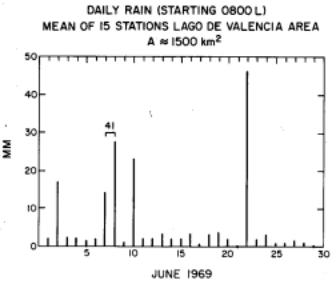
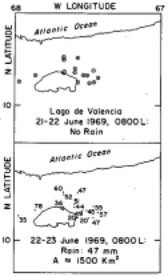


Fig. 2 Precipitación diaria durante Junio de 1969 para la red mostrada en la Figura 3. La lluvia del 7-8 de Junio fué probablemente un solo evento, con 41 mm de precipitación.

Fig. 2 Daily precipitation in the network shown in Figure 3 during June 1969. The rain of 7-8 June probably was a single event of 41 mm.



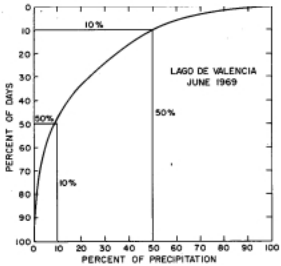


Fig. 3 Precipitación para la red de estaciones del Ministerio de Obras Públicas al norte del Lago de Valencia, para el 21-22 de Junio, seguida por el evento de mayor lluvia en el mes, el 22-23 de Junio (en mm).

Fig. 3 Precipitation in the network of the Ministerio de Obras Públicas north of the Lago de Valencia on 21-22 June, followed by the largest rain event in the month on 22-23 June (in mm).

Fig. 4 Porcentaje de la distribución acumulada de días con lluvia contra porcentaje de precipitación accumulada en Junio 1969. Sólo un 10 porciento de los días (3 días) son responsables de la mitad de la precipitación, mientras que 50 porciento de los días produjeron solo un 10 porciento (la parte aleatoria despreciada) de la precipitación.

Fig. 4 Cumulative percent distribution of days with rain in June 1969 vs. cumulative percent precipitation. Only 10 percent of the days (3 days) accounted for half of the precipitation, while 50 percent of the days produced only 10 percent (the noise) of rainfall.

Como la mayor parte de la precipitación -- más del 70 porciento -- se deriva de nubes cumulonimbus, las estadísticas anteriores se acentúan cuando el tiempo se cuenta en horas y minutos y no en días. Durante el experimento, el 50% de la precipitación fue producida en un 0.5 porciento de las horas y el 90 porciento de la precipitación en un 2.1 porciento de las horas. Contando los minutos, 0.15 porciento produjeron la mitad y 1 porciento casi el 97 porciento de la precipitación total. En realidad, casi nunca llueve! También se encontró que el 78 porciento de la precipitación en un día es producida por un sólo chaparrón en cualquier estación y el 20 porciento por dos chaparrones. La ocurrencia de tres chaparrones es muy rara. La precipitación total de una temporada en cualquier estación está determinada por muy pocas nubes convectivas.

Observaciones del Radar. El radar operado durante los dos experimentos era capaz de determinar principalmente el área y la altura de las gotas de agua cuyo tamaño es propicio para la precipitación (1 mm ó mayor), en una nube determinada. Se efectuaba una observación completa cada 15 minutos, desde el tope hasta la base de la nube de forma tal que el movimiento de las nubes y su cambio tanto en altura como en área, podía ser seguido con precisión considerable. La Figura 5 muestra un "eco de radar" seguido desde Carrizal en la mañana del 22 de Julio de 1972. El mismo se estaba moviendo hacia el noroeste a una rata de 30 Kms/hora. En la Figura 6 se observa la secuencia del tiempo para este eco y también la de un eco anterior, en el mismo día. Los ecos duraron como mínimo de 3 a 4 horas; las etapas de crecimiento y de decaimiento ocuparon alrededor de la misma cantidad de tiempo. La precipitación mas activa estuvo confinada a dos horas, pero la mayor cantidad de lluvia se produjo durante los 30 a 60 minutos antes de que el eco alcanzara su mayor área. Esto se indica en la parte izquierda de la Figura 6, mediante las cantidades de precipitación para cada estación. Aquí, la coordenada S_r indica distancia a partir del centro del eco (marcada cero), a lo largo de las trayectorias como se muestra en la Figura 5; números negativos indican lluvia que precede al centro del eco. Evidentemente, la mayor cantidad de lluvia cae cerca del límite exterior de las nubes de lluvia.

Since most precipitation -- over 70 percent -- is derived from cumulonimbus clouds, the preceding statistic is accentuated when time is counted not in days but in hours or minutes. During the experiment 50 percent of precipitation was produced by 0.5 percent of hours and 90 percent of precipitation by 2.1 percent of hours. Counting minutes, 0.15 percent produced half and one percent almost 97 percent of total precipitation. Actually, it almost never rains! It was found that the precipitation of a day at any station was produced by a single shower in 78 percent of the cases and in only 20 percent by two showers. Occurrence of three showers was rare. Very few large clouds determine the rainfall totals of a season at any station.

Radar Observations. The radar operated during the two experiments was capable mainly of determining the area and height, in a given cloud, of that portion containing precipitation-size water drops (1 mm and greater). A complete observation from top to bottom of the clouds was made every 15 minutes, so that the movement of the clouds, and their change in height and area, could be followed with considerable precision. Figure 5 shows a "radar echo" followed from Carrizal on the morning of 22 July 1972. It was moving toward the northwest at a rate of 30 km/hour. In Figure 6 the time history of this echo, as well as that of an earlier echo on the same day, is given. The echoes lasted at least 3 to 4 hours; growth and decay stages occupied about the same amount of time. Active precipitation was confined to two hours; but, most rain occurred in 30 to 60 minutes just before the echoes attained their greatest area. This is indicated by the rainfall amounts for individual stations on the left side of Figure 6. Here the coordinate S_r indicates distance from the echo center (marked zero) along tracks as shown in Figure 5; negative numbers indicate rain preceding the echo center. Evidently, most rain falls near the forward edge of the rain clouds.

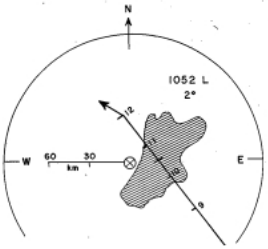


Fig. 5 Contorno y trayectoria de uno de los dos ecos del radar, pasando sobre Carrizal, en el centro de Venezuela, el 22 de Julio de 1972. Elevación de antenna a 2°.

Fig. 5 Outline and path of one of two radar echoes passing near Carrizal in central Venezuela on 22 July 1972. Elevation of antenna is 2°.

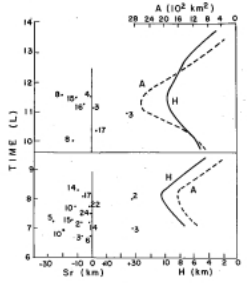


Fig. 6 Sección de tiempo para altura (Km, líneas enteras) y área (10^2 Km^2, líneas intermitentes) correspondientes a los dos ecos del radar, pasando sobre Carrizal, el 22 de Julio de 1972. También precipitación (mm) de las estaciones individuales en coordenas relativas, con respecto a los ecos en el lado izquierdo. Los puntos marcan el centro de la hora de la precipitación mas fuerte. La distancia a lo large de la coordenada relativa (S_r) siguiendo las trayectorias del eco, indican la posición de la lluvia mas fuerte, por delante (S_r negativa) o por detrás del centra del eco.

Fig. 6 Time section of height (km, solid) and area (10^2 km^2, dashed) for the two echoes passing Carrizal on 22 July 1972. Also precipitation (mm) at individual stations in relative coordinates with respect to echoes on left side. Dots denote center of time of heaviest precipitation. Distance along the relative coordinate (s_r) following the echo tracks indicates position of heaviest rain ahead (negative s_r) or behind echo center.

En 1969 en Anaco hubo un control diurno muy marcado sobre el tiempo de ocurrencia de los ecos (Figura 7); las mayores alturas ocurrieron cerca de la puesta del sol; la actividad disminuye gradualmente durante las primeras horas de la noche. Este máximo coincide con la acumulación de radiación neta en la atmósfera (Figura 8), en la cual se integra la radiación neta de la Figura 1 para días húmedos. Las nubes mas grandes también se desarrollaron cerca de la puesta del sol. El mismo patrón se encontró en Carrizal, en 1972, para la mayoría de los días. Sin embargo, cuando se trata de fuertes sistemas sinópticos del tiempo que llegan al sitio, la precipitación comienza a cualquier hora del día o de la noche, tal como se

At Anaco in 1969 there was a marked diurnal control on the time of occurrence of echoes (Figure 7); the largest heights occurred near sunset; activity tapered off during the early evening. This maximum coincided with the accumulation of net radiation in the atmosphere (Figure 8), which integrates the net radiation of Figure 1 for moist days. The largest clouds also occurred near sunset. At Carrizal, in 1972, the same pattern held for most days. But, when strong synoptic weather systems arrived the precipitation began at any time of day or night, just as in Figures 5 and 6, when rain started before sunrise and ended at noon. These systems thus supersede the control imposed by the daily heating period. In the Carrizal

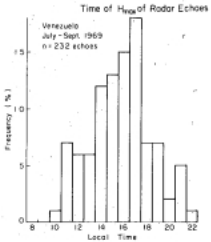


Fig. 7 Porcentaje de la distribución de frecuencia de la hora del día cuando los ecos del radar obtuvieron su máxima altura, durante el experimento de Anaco, en 1969.

Fig. 7 Percent frequency distribution of the time of day when radar echoes attained their greatest height during the Anaco experiment of 1969.

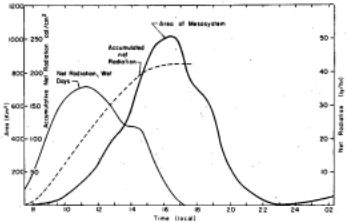


Fig. 8 Curva diaria del área de los ecos del radar (mesoescala solamente), comparada con la radiación solar neta absorvida en la superficie y con la radiación neta acumulada en 1969. La radiación horaria está dada en langleys (cal/cm^2).

Fig. 8 The daily course of the area of radar echoes (mesoscale size only) compared to the net solar radiation absorbed in soil and to the accumulated net radiation in 1969. Hourly radiation in langleys (calories/cm^2).

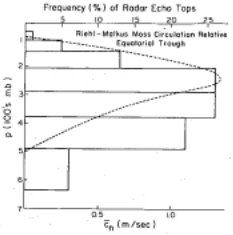


Fig. 9 Distribución de frecuencia del tope de los ecos del radar en términos de presión (escala superior) en 1969 y flujo neto de masa (c_n) hacia afuera de la zona de la vaguada ecuatorial alrededor del globo (escala inferior).

Fig. 9 Frequency distribution in 1969 of the top of radar echoes in terms of pressure (upper scale) and net mass flow (c_n) out of the equatorial trough zone around the globe (lower scale).

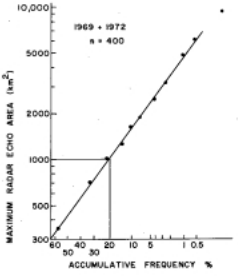


Fig. 10 Frecuencia acumulada de las áreas máximas de los ecos del radar (contados a partir de los mas grandes). La escala de los ecos es logarítmica, la escala de frecuencia es Gausiana, indicando una distribución "normal".

Fig. 10 Cumulative frequency of maximum radar echo areas (counted from the largest). The echo scale is logarithmic, the frequency scale is Gaussian indicating a "normal" distribution.

muestra en las Figuras 5 y 6, cuando la lluvia comenzó antes del amanecer y terminó al mediodía. Por lo tanto estos sistemas reemplazan el control impuesto por el período de calentamiento diurno. En la red de Carrizal la proporcion de lluvias durante noches + mañanas contra lluvias en la tarde fue de 1.6, un fuerte indicativo del dominio sinóptico sobre el control termal.

Las lluvias tropicales generalmente se dividen en lluvias "calientes", donde la nube activa no alcanza el nivel de congelamiento localizado entre 4 y 5 Kms, y lluvias "frías" en las cuales el proceso de congelamiento juega un papel importante para generar la precipitación. Las nubes que producen lluvias frías son los cumulonimbos, que se extienden hasta alturas de 8 a 16 kilómetros. En la Figura 9 se muestra la distribución de frecuencia de la altura máxima de los ecos. Sólo 28 porciento de cerca de 200 ecos del radar finalizaron por debajo de los 8 kilómetros. Todos los otros ecos indicaron nubes cumulonimbos con topes entre 300 y 100 mb, o 9 a 16 Kms de altura. Por consiguiente, la mayoría de las lluvias en Venezuela son lluvias frías. La Figura 9 también muestra la relación entre tope de los ecos y flujo de masas de aire fuera de los trópicos hacia altas latitudes; éllos tienen muy buena correlación. A través de este flujo exterior es que los trópicos actúan en parte para mantener el balance de energía de los sitios fríos del globo.

La distribución de frecuencia de áreas máximas se muestra en escala logaritmica en la Figura 10, en una escala correspondiente a una distribución "normal" o Gausiana. La línea recta indica que esta distribución es la apropiada y que la probabilidad de que un eco tenga un área máxima igual o mayor de 5000 Kms^2 es 1 porciento para un área tal como se observa en el círculo del radar durante dos temporadas pluviosas. Esto es importante ya que la precipitación está mas frecuentemente relacionada con el área y no con la altura del eco. Se encontró que ecos con áreas máximas de menos de 100 Kms^2 contribuyen muy poco con la lluvia promedio del area, aunque en cualquier localidad se puede producir lluvia muy fuerte con ecos pequeños. Estos ecos grandes que corresponden a los cuatro dias de lluvias fuertes de la Figura 2, comprenden el 20% de todos los

network the ratio of night + morning to afternoon rainfall was 1.6, a strong indication of the dominance of synoptic over thermal control.

Tropical rains are generally divided into "warm" rains where the active cloud does not reach the freezing level located between 4 and 5 km, and "cold" rains in which freezing processes play an important role in generating precipitation. The clouds producing cold rain are the cumulonimbi, extending in height from about 8 to 16 kilometers. In Figure 9 the frequency distribution of maximum echo height is given. Only 28 percent of over 200 radar echoes terminated below 8 kilometers. All other echoes indicated cumulonimbus clouds with topes mainly between 300 and 100 mb, or 9 to 16 km height. Thus, most Venezuela rains are cold rains. Figure 9 also shows the relation between echo tops and mass flow of air out of the tropics toward higher latitudes; they are in very good correspondence. Through such outflow do the tropics act in part to maintain the energy balance of the colder parts of the globe.

The frequency distribution of maximum area on a logarithmic scale is seen in Figure 10 on a scale which corresponds to a "normal" or Gaussian distribution. The straight line indicates that this distribution holds well and that the chance of an echo with greatest area of 5000 km^2 or more is 1 percent for an area as seen by the radar circle in two rainy seasons. This is important since rainfall is mostly related to echo area, not height. It was found that echoes with a maximum area of less than 1000 km^2 contribute very little to area-averaged rainfall, though at any station very heavy rain may be experienced from small echoes. These large echoes, which correspond to the four heavy rain days in Figure 2, comprise 20 percent of all echoes. They are of principal interest for further analysis. The area of 1000 km^2 may be defined roughly as the limit of what are termed "mesoscale"

ecos. Ellos son de especial interés para análisis posteriores. El área de 1000 Kms^2 puede ser definida aproximadamente como el límite de los que se conoce como sistemas del tiempo en "mesoescala". Las grandes nubes en los sistemas sinópticos mencionadas anteriormente, están concentradas en varios sistemas de mesoescala, algunas veces diez y aún más, de forma tal que en evento de gran escala puede producir precipitación sobre todo o la mayor parte de Venezuela durante su paso a través del país. Los sistemas de mesoescala combinados, raramente excederán el 10 porciento del área de la "envolvente" sinóptica en algún momento. Sin embargo como ellos se mueven, crecen y decaen en diferentes sitios de la envolvente, la mayor parte del país puede sentir su impacto durante un día.

Modelo del Sistema de Mesoescala. Los sistemas de mesoescala definidos en la Figura 10 varían su área máxima entre 1000 y 10,000 Kms^2. Areas menores son frecuentes, pero mayores son muy raras. Para muchos cálculos es conveniente definir un sistema "modelo" basada en frecuencia y área. La siguiente definición de modelo fué adoptada, luego de tomar en cuenta el hecho de que en ambos experimentos se obtuvo una precipitación por debajo de los normal y de que el radar utilizada no tenía el rango necesario para rastrear todos los sistemas de mesoescala. El sistema modelo tiene un área de 2000 Kms^2 y precipitación de 2.5 cm/2 hr, el cual es su tiempo de vida activa. Esta definición está basada también en observaciones de lluvia en otras áreas, especialmente durante un evento muy importante de lluvia en las Islas Filipinas, el cual produjo casi 1 metro de precipitación en cuatro días. Si este modelo es válido, 300 sistemas de mesoescala deben estar continuamente activos en un cinturón de 10^0 de latitud de ancho y que se extiende alrededor del globo en la zona de convergencia ecuatorial.

weather systems. The heavy clouds in the synoptic systems referred to earlier are concentrated in several, sometimes ten and more, mesoscale systems so that one large-scale event can produce precipitation over all or most of Venezuela during its passage across the country. The combined mesoscale systems will seldom exceed more than 10 percent of the area of the synoptic "envelope" at any time. But since they move, grow, and decay in different portions of the envelope, most of the country may feel their impact during one day.

Model Mesoscale System. The mesoscale systems defined in Figure 10 range from 1000 to 10,000 km^2 in maximum area. The smaller sizes are frequent, the large ones increasingly rare. For many calculations it is convenient to define a "model" system based on frequency and area. After allowance for the fact that both experiments had below average precipitation and that the radar did not have the range usually necessary to "see" whole mesoscale systems, the following model definition was adopted. The model system has an area of 2000 km^2 and precipitation of 2.5 cm/2 h which is its active life time. This definition is based also on rainfall observations in other areas, especially during a major rain event in the Philipine Islands which yielded nearly 1 meter of precipitation in four days. If it is valid, 300 mesoscale systems should be active continuously in a belt 10^0-latitude wide and extending around the globe in the equatorial convergence zone.

Envolventes Sinópticas

Regresemos ahora a las envolventes sinópticas, las cuales pueden ser vistas pasando sobre el país, durante varios días y constituyen la herramienta principal para el pronóstico. Primeramente se presentan las observaciones de los globos desde Maracay, situada en el borde este del Lago de Valencia, para determinar lo que ha sucedido antes y durante el gran evento de lluvia del 22-23 de Junio de 1969 (Figuras 2-3). La estación de Maracay (FAV) hace un sondeo diario de la alta-atmósfera, comenzando a las 0800 hora local.

En primer lugar se pueden observar los vientos de altura para los días 20 al 24 de Junio, desde el nivel de superficie hasta los 12 Kms de altitud, o hasta 200 milibares (Figura 11). En la baja atmósfera los vientos del este-sureste son reemplazados por un empuje de vientos fuertes provenientes del sur-sureste, el 22 de Junio, y

Synoptic Envelopes

We now turn to the synoptic envelopes which can be seen passing over the country during several days and which are the primary tool for prediction. At first the balloon observations from Maracay, located on the eastern end of Lago de Valencia, will be presented to see what took place before and during the large rain event of 22-23 June 1969 (Figures 2-3). The Maracay station (FAV) made one-upper air sounding daily, starting about 0800 local time.

We see in first place the upper winds on 20 to 24 June from the ground level to 12 km altitude, or up to 200 millibars (Figure 11). East-southeast winds in the lower atmosphere are replaced by a surge of strong winds from south-southeast on 22 June, and then they return to east-southeast. The heavy line marks the onset of

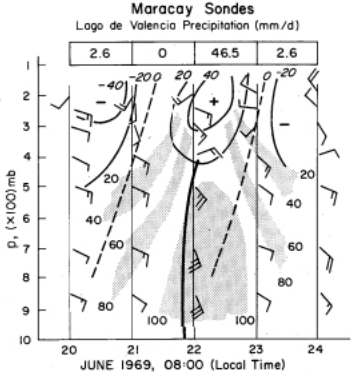


Fig. 11 Sección de tiempo de los vientos de altura en Maracay, para el período de precipitación fuerte en el Laga de Valencia, mostrado en las Figuras 2 al 4. Sombreado: humedad relativa con gran centro de 100 porciento en el dia lluvioso. También: isolíneas de cambio de altura en 24 horas, de las superficies isobáricas, en metros, indicando los mayores cambios en la tropósfera superior. La precipitación para los distintos dias se señala arriba.

Fig. 11 Time section of upper winds at Maracay for the heavy precipitation period at Lago de Valencia shown in Figures 2-4. Shaded: relative humidity with large center of 100 percent on rain day. Also: isolines of 24-hour height change of isobaric surfaces in meters, indicating largest changes in the upper troposphere. Precipitation for individual days marked on top.

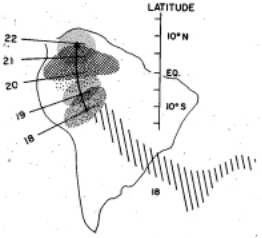


Fig. 12 Origen del evento de lluvia fuerte en el Lago de Valencia: un gran masa de nubes que ha sido observada por el ATS III desde Brasil, cruzando el ecuador. Sombreado intermitende: frente frío del dual se desmembró la masa de nubes el 18 de Junio de 1969.

Fig. 12 The origin of the heavy rain event at Lago de Valencia: a large cloud mass traced by ATS III from Brazil across the equator. Open shading: cold front from which cloud mass broke loose on 18 June, 1969.

luego vuelvan al este-sureste. La línea gruesa denota el comienzo de este gran evento de lluvia. En los niveles altos persisten los vientos del sureste, alcanzando los 250 mb, hasta el 23 de Junio. A 200 mb la dirección inicial es sur-suroeste y después de la lluvia se transforman en vientos ligeros del noroeste. Como es de esperarse, la humedad relativa aumenta hasta alcanzar su máximo durante el período de lluvia fuerte, hay reportes de saturación muy por encima de la tropósfera media y gran humedad hasta los 300 mb, el nivel mas alto para el cual se puede medir la humedad. Luego decrece nuevamente la humedad, especialmente en los niveles altos, indicando el final de las nubes cumulonimbos. El otro grupo de líneas denotan cambios en la altura de las superficies de presión; valores positivos pueden ser considerados como subidas de presión y valores negativos como bajas de presión. Los cambios son mucho mas grandes en los niveles altos y ésto demuestra la gran importancia del nivel de 200 mb, especialmente para el análisis del tiempo y su predicción. Al principio las alturas decrecen considerablemente con cambios de viento del sureste al sur en los 300-250 mb el 20-21 de Junio. Esto también indica la llegada de aire frío en la

the heavy rain event. In the high levels, southeast winds persist to 250 mb until 23 June. At 200 mb the initial direction is south-southwest and then it turns to light northwest after the rains. Relative humidity, as would be expected, rises to a great maximum during the heavy rain period with saturation reported well above the middle of the troposphere and high humidities to 300 mb, the uppermost level for which humidity could be measured. Afterwards, humidity decreased again, especially at high levels, indicating the end of cumulonimbus clouds. The other set of lines are changes in the height of pressure surfaces; positive values may be considered as rising pressure and negative values seen as falling pressure. Changes are by far the largest in the upper levels, and this brings out the great importance of the 200-mb level especially for weather analysis and prediction. At first heights decreased considerably with windshift from southeast to south at 300-250 mb on 20-21 June. This also indicates the arrival of colder air in the upper troposphere. Then, on 22-23 June, upper heights rose strongly while the 200-mb wind turned clockwise from southwest to northwest denoting passage of an upper high pressure ridge over the area from

alta tropósfera. Luego, el 22-23 de Junio, las alturas superiores incrementaron fuertemente a medida que el viento en 200 mb cambió en sentido de las agujas del reloj, desde el suroeste hacia el noroeste, indicando el pasaje de un domo de alta presión sobre el área, proveniente del este o del sureste, acoplado con calentamiento superior el cual, en la capa del tope y salida de flujo de los cumulonimbos (Figura 9), puede ser debido en parte, el propio calentamiento de las nubes de lluvia. En el último dia, las alturas superiores nuevamente caen, a medida que el sistema pluvioso va pasando; y en realidad muere, como lo muestran las fotografías tomadas por el Satélite de Aplicaciones Tecnológicas (ATS) III.

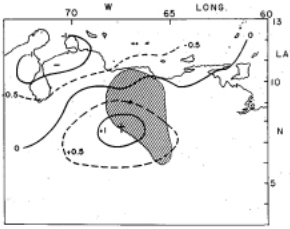
De esta forma, el evento sinóptico consistió en la llegada de cambios fuertes de dirección del viento en sentido contrario a las agujas del reloj en los niveles bajos y cambios de dirección del viento en el sentido de las agujas de reloj con subida de presión en los niveles altos. Como este sistema no se observó pasando a través de la parte este de Venezuela, no ha podido llegar desde el este (como es lo normal), así que ha debido llegar proveniente de la zona ecuatorial al sur. La secuencia de observaciones de viento, presión y humedad es típica para sistemas con este origen. Debido a la falta de datos meteorológicos convencionales en la zona ecuatorial, se debe volver a las fotografías del ATS III para determinar si alguna masa de nubes ha avanzado hacia Venezuela proveniente del ecuador o desde más al sur. En realidad, tal secuencia ha existido (Figura 12) y ha sido observada por el satélite varias veces durante la temporada pluviosa e igualmente en otras estaciones del año. El dia 18 de Junio una masa de nubes, asociada originalmente con un frente frío del Hemisferio Sur, se desmembró y avanzó hacia el norte siguiendo vagamente el borde este de los Andes. Moviéndose a una rata de cerca de 5^{o} de latitud diarios, atravezó el ecuador el 20 de Junio y llegó al norte de Venezuela el 22 de Junio. Por lo tanto; con mucha anticipación se obtuvo el pronóstico de evento lluvioso para tres dias después de que la masa de nubes se desmembró de las nubes originales, cerca de 12^{o}S de latitud y y comenzó a moverse hacia el norte; seguida por subsidencia y cielos muy claros sobre el Brazil.

east or southeast, coupled with upper warming which, in the layer of cumulonimbus tops and outflow (Figure 9), may be due in part to warming by the rain clouds themselves. On the last day upper heights again fell as the rain system passed away, in fact died out, as shown by photos from the Applications Technology Satellite (ATS) III.

The synoptic event thus consisted of arrival of a strong counterclockwise wind shift in low levels and a clockwise wind shift with rising pressure at high levels. Since this system was not observed to pass over eastern Venezuela it could not have arrived from the east (the normal occurrence), but it must have come from the equatorial zone in the south. The sequence of wind, pressure, and humidity observations is typical for systems with such origins. Lacking conventional weather data in the equatorial zone, we must turn to the ATS III to determine whether any cloudmass has advanced from the equator or from farther south toward Venezuela. Indeed, a sequence did occur (Figure 12) which the satellite has shown at least several times during a rainy season and at other times of the year as well. On 18 June a cloudmass, originally associated with a cold front of the Southern Hemisphere, broke loose and advanced northward roughly following the eastern edge of the Andes. Moving at a rate of about 5^{o}-latitude per day it crossed the equator on 20 June and arrived in northern Venezuela on 22 June. Thus, early warning of the rain event was available for three days after the cloud mass broke off from its parent cloud near latitude 12^{o}S and started toward the north, followed by subsidence and very clear skies over Brazil.

Fig. 13 Anomalías en la presión de superficie (milibares) para 12 horas, y contorno de la nube del satélite alrededor la Carrizal (punto negro), en la mañana del 22 de Julio de 1972.

Fig. 13 Twelve-hour surface pressure anomalies (millibars) and outline of satellite photo around Carrizal (heavy dot) on the morning of 22 July, 1972.



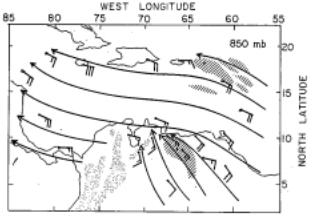


Fig. 14 Líneas de corriente a 850 mb, 22 de Julio de 1972, 1200 GMT, para Venezuela y el Caribe. Punteado: los Andes. Sombreado interminente: nube del satélite (ATS III). Velocidad del viento en nudos.

Fig. 14 Streamlines at 850 mb, 22 July 1972, 1200 GMT, for the Caribbean and Venezuela. Dotted: Andes. Shaded: satellite cloud (ATS III). Wind speed in knots.

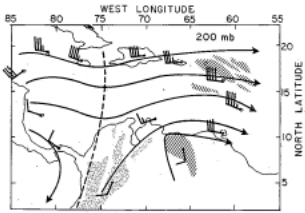


Fig. 15 Líneas de corriente a 200 mb, 22 de Julio de 1972, 1200 GMT. Las líneas de corriente sobre Venezuela son hipotéticas.

Fig. 15 Streamlines at 200 mb, 22 July 1972, 1200 GMT. Streamline over Venezuela hypothetical.

Datos mas detallados del caso del Lago de Valencia el 22 de Junio, no están disponibles. Sin embargo, los ecos del radar de las Figuras 5-6 ocurrieron bajo circunstancias muy similares, exceptuando el hecho de que la masa de nubes generadora se originó en la Cuenca del Amazonas y por lo tanto no pudo se perseguida en el centro o sur del Brazil. La rata de movimiento de la nube fué la misma. Le tomó dos dias el viajar desde el ecuador hasta la costa norte. Las Figuras 13 a 15 muestran los mapas sinópticos correspondientes al tiempo en que esta masa de nubes pasaba por el área de Carrizal el 22 de Julio de 1972.

El mapa de superficie (Figura 13) muestra la distribución de presión utilizando una técnica sofisticada, la cual se supone necesaria si la presión de superficie va a ser realmente útil en el pronóstico del tiempo. Primeramente la variación semi-diurna promedio de presión se resta de la presión de la estación (no la presión al nivel del mar), para cada estación. Luego se computan las diferencias entre la presión actual y la promedio para las 21 estaciones de la red Venezolana, para cualquier hora del dia (generalmente cada 6 horas). Estas diferencias constituyen la suma de todos los sistemas sinópticos que ocurren en Maracay y ondas largas de presión qui no se consideran muy relacionadas con sistemas de nubes ni del tiempo. Estas ondas son eliminadas tomando la desviación de la presión media del promedio para las 21 estaciones del país y restando esta desviación de todas las estaciones antes mencionadas. El patrón de la desviación residual muestra el efecto de la situación sinóptica en el campo de la presión superficial. En la Figura 13 la presión se encuentra por debajo del promedio alrededor del Lago de Maracaibo y muy por encima del promedio en el centro-sur de Venezuela. Esta área de relativa alta presión, que continúa hacia el norte, es bién conocida mediante estudios Venezolanos anteriores. Sin embargo, aquí se ofrece un metodo de cómputo mas preciso, mediante el cual esta alta presión puede ser seguida y relacionada con todo el campo presión de superficie. En este caso, la masa de nubes vista por el satélite, la cual se muestra sombreada en la Figura 13, está situada con su centro en el gradiente entre las altas y bajas presiones. Esta no está asociada con la mínima presión tal

Further detailed data from the 22 June case at Lago de Valencia are not available. But, the radar echoes of Figures 5-6 occurred under very similar circumstances, except that the generating cloud mass originated in the Amazonas Basin and could not be traced back to central or southern Brazil. The rate of cloud motion was the same. It took two days to travel from the equator to the north coast. Figures 13 to 15 show synoptic maps at the time this cloud mass passed the Carrizal area on 22 July 1972.

The surface chart (Figure 13) gives the pressure distribution using a sophisticated technique, believed necessary if surface pressure is to be really useful in weather forecasting. At first the average semi-diurnal pressure variation is removed from the station pressure (not sea level pressure) at each station. Then the differences between the actual and the average pressure of all 21 stations in the Venezuelan network is computed for any time of day (usually 6-hourly). These differences are the sum of synoptic systems as just seen for Maracay and long pressure waves not considered closely related to weather and cloud systems. These latter waves are eliminated by forming the mean pressure departure from average for the whole country from all 21 stations and subtracting this deviation from all these stations. The residual deviation pattern shows the effect of the synoptic situation in the surface pressure field. In Figure 13 pressure is below average around Lago de Maracaibo and well above average in south-central Venezuela. This relatively high pressure area, which tracks northward, is well known from earlier Venezuelan studies. However, a precise computation method has been given here by which this high can be followed and related to the whole surface pressure field. The satellite cloud mass on this occasion, shown shaded in Figure 13, is situated with its center on the gradient between high and low pressure. It is not associated with the lowest pressure as has so often been postulated in theories. All major rain events during the experiments -- connected with the upper 20 percent of mesoscale radar echoes in Figure 10 -- occurred with a pressure pattern similar

como ha sido postualado por varias teorías. Todos los eventos lluviosos importantes durante los experimentos -- asociados con el 20 porciento de los ecos del radar en mesoescala en la Figura 10 -- se desarrollaron con un patrón de presión similar a los de la Figura 13. Anormalmente bajas presiones muy prolongadas, fueron asociadas con sequía.

En 850 milibares (Figura 14) todos los vientos en Venezuela mostraban componentes sureste a sur-sureste que convergen cerca de la costa, precedidos de vientos este-sureste, tal como lo muestra la Figura 11 para Maracay. Sobre el Caribe los vientos alisios estaban ondulantes con dirección sureste y la masa de nubes del satélite, proveniente del Océano Atlántico, estaba sobre las Antillas Menores y llegaba hasta Puerto Rico. Se piensas que esta onda haya intensificado la baja presión de la costa norte Venezolana, tal como se muestra en la Figura 13, suministrando así la "fuerza de empuje" capaz de mover la masa ecuatorial de nubes hacia el norte. En 200 milibares (Figura 15) el flujo es generalmente del oeste excepto cerca de la masa de nubes del centro de Venezuela. Las líneas de corriente dibujadas allí, corresponden a la dirección del flujo para niveles altos de la Figura 11.

Las líneas de nubes provenientes del ecuador o del Hemisferio Sur, contituyen una componente muy importante, aunque no única, de las distintas clases de envolventes sinópticas que afectan a Venezuela durante la temporada pluviosa. La siguiente Table 3, es un cálculo de todos los tipos de estas envolventes que se produjeron durante los dos experimentos.

to those of Figure 13. Prolonged low pressure anomalies were associated with dryness.

At 850 millibars (Figure 14) the Venezuelan winds all show southeast to south-southeast winds converging near the coast, preceded by east-southeasterly winds as in Figure 11 at Maracay. Over the Caribbean at large the trade winds were wavy, with southeasterly winds and a satellite cloud mass from the Atlantic Ocean apparent over the Lesser Antilles and as far as Puerto Rico. This wave is thought to have intensified the low pressure at the Venezuelan north coast shown in Figure 13, thus providing a "forcing function" to pull the equatorial cloud mass northward. At 200 millibars (Figure 15) the flow is generally westerly except near the cloud mass of central Venezuela. The streamline drawn there corresponds to the indication of the high level flow in Figure 11.

The cloud lines from the equator of the Southern Hemisphere form an important, but by no means the only, component of the classes of synoptic envelopes affecting Venezuela during the rainy season. The following, Table 3, is a tabulation of all types of such envelopes experienced during the two experiments.

TABLA 3

Sistemas Sinópticos sobre Venezuela en 1969 y 1972

Avance de línea de nubes desde el Hemisferio Sur	4 (1972) (también 4 en 1969)
Vaguadas de vientos oestes retrocediendo, ondas de vientos estes inferiores	13
Vaguadas de vientos oestes con empuje (surges) de los alisios	5
Masa de nubes desde zona ecuatorial con flujo anticiclónico superior	3
Huracanes incipientes	1
	30

TABLE 3

Synoptic Systems over Venezuela 1969 and 1972

Advance of cloud line from Southern Hemisphere	4 (1972) (also 4 in 1969)
Troughs in westerlies retrograding, wave in lower easterlies	13
Troughs in westerlies with surges of the trade	5
Cloud mass from equatorial zone with upper anticyclonic flow	3
Incipient hurricane	1
	30

El grupo mayor de sistemas sinópticos observados estuvo indicado por la llegada de una vaguada en la alta tropósfera proveniente del este, o extendiéndose desde el Atlántico Occidental hacia Venezuela. Luego, ó aparecía una deformación ondular o ésta fué transportada hasta el sitio por los vientos alisios. Las vaguadas superiores también estuvieron acompañadas por empuje (surges) de los alisios en, por lo menos, cinco casos en 1972, ocasionando tormentas de viento espectaculares y aguaceros fuertes en el norte de Venezuela. Estos empujes (surges), ampliamente conocidos en los meses de invierno, están asociadas con el reenforzamiento del anticiclón subtropical de superficie sobre el Océano Atlántico. Un gran masa de nubes viaja a lo largo del borde que dirige el empuje (surge); las velocidades del viento pueden llegar a 50 nudos ó más en la baja tropósfera, hasta los 700 milibares. En 1969 no hubo ningún sistema de este tipo, el cual es llamado algunas veces "línea de chubasco"; en 1972 se encontraron por lo menos cinco, uno de ellos suficientemente fuerte para derribar muchas palmeras. El tránsito vespertino fué interrumpido en Maracay, a medida que los árboles caían sobre las vías que llevan hacia las salidas del centro de la ciudad. Considerando estas grandes diferencias, ha sido evidentemente satisfactorio el haber tenido dos temporadas de observaciones. Esto no significa que todos los elementos importantes ya se han establecido, especialmente si se considera que no se produjeron lluvias realmente importante durante los experimentos.

The largest observed class of synoptic systems was marked by the arrival of a high-tropospheric trough from the east, or extension from the West Atlantic toward Venezuela. A wavelike deformation then appeared or was carried in the trade winds. Upper troughs were also accompanied by surges of the trade on at least five occasions in 1972, leading to spectacular wind storms and heavy showers in northern Venezuela. These surges, long known for winter months, are coupled with a strengthening of the surface subtropical anticyclone over the Atlantic Ocean. A heavy cloud mass travels along the leading edge of the surge; wind speeds may attain 50 knots and more in the low troposphere up to 700 millibars. In 1969 there was not a single such system, sometimes called "squall line"; in 1972 at least five were encountered, one strong enough to overthrow many old palm trees. Afternoon traffic in Maracay was disrupted as the trees fell over roads leading out from the city center. Considering the large differences, it was evidently good to have had two observing seasons. It is by no means certain that everything of importance has been seen yet, especially since no really large rainfall occurred during the experiments.

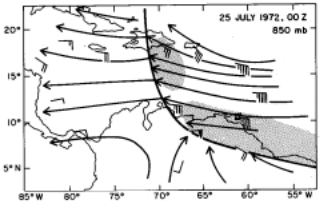


Fig. 16 El empuje de los alisios: mapa de 850 mb, 25 de Julio de 1972, 0000 GMT. Línea gruesa: borde delantero de la ondulación (surge). Sombreado: masas de nubes vistas por el satélite, avanzando hacia el oeste a una velocidad de 27 nudos.

Fig. 16 The surge of the trades: 850-mb chart, 25 July 1972, 0000 GMT. Heavy line: forward edge of surge. Shaded: satellite-seen cloud masses advancing westward at 27 knots.

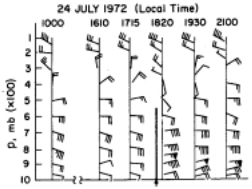


Fig. 17 Seción de tiempo de los vientos supriores en Carrizal durante la llegada del empuje de los alisios, mostrada en la ilustración anterior.

Fig. 17 Time section of upper-winds at Carrizal during the arrival of the surge of the trades shown in last illustration.

La Figura 16 ilustra dramáticamente la hora de llegada del fuerte frente del empuje (surge) al centro de Venezuela, cerca de las 1800 hora local, el 24 de Julio de 1972. La velocidad del viento súbitamente alcanzó los 50-60 nudos a 1 Km sobre la superficie y las ráfagas llegaron hasta la superficie. A 850 milibares la mayoría de las estaciones del Caribe reportaron vientos de mas de 50 nudos durante la noche y el dia siguiente. Una masa muy grande maciza de nubes, que fué seguida de cerca por el ATS III, avanzó a una rata de 27 nudos desde el Atlántico a lo largo de la parte este y central de Venezuela, siendo una excelente herramienta para la predicción del tiempo a corto plazo. La noche del 24-25 de Julio fué la mas lluviosa de Venezuela, durante el segundo experimento. Cantidades de 20-50 mm cayeron vastamente. Aún antes de la llegada del borde del empuje (surge), aparecieron muchas nubes pequeñas en el cielo, indicando convergencia delante del sistema principal, desde las 1600 horas local en adelante. La Figura 17 señala la violencia del sistema y está documentada por una sirie de ascensos horarios de radio-viento-sonda. A medida que el empuje general de los alisios avanza hacia el oeste líneas de chubasco individuales, tal como la señala el radar de Carrizal, se

Figure 16 dramatically illustrates the time of arrival of the powerful front of the surge in central Venezuela, near 1800 local time on 24 July 1972. Wind speed suddenly rose to 50-60 knots at 1 km above the surface and the gusts penetrated to the surface. At 850 millibars most eastern Caribbean stations measured winds above 50 knots during the night and the following day. A very large and massive cloud mass closely followed by the ATS III advanced at a rate of 27 knots from the Atlantic across eastern and central Venezuela and offered an excellent tool for short term weather prediction. The night of 24-25 July was the rainiest one experienced by all of Venezuela during the second experiment. Amounts of 20-50 mm were widespread. Even before arrival of the edge of the surge itself many small shower clouds appeared in the sky indicative of convergence ahead of a main system from 1600 local time onward. Figure 17 depicts the great violence of the system documented by a fine series of hourly rawinsonde ascents. As the general surge of the trades advanced toward west individual squall lines, as depicted by the Carrizal radar, moved from east-northeast toward west-southwest at 27 knots. The air motion relative to the surge was toward the squall near the ground and it produced most of the heavy rain. Shear of

mueven desde el este-noreste hacia el oeste-suroeste a 27 nudos. Por lo tanto, el movimiento del aire relativo a la línea de chubasco fué hacia el chubasco, cerca de la superficie y ésto produjo la mayor parte de la fuerte precipitación. El corte del viento con la altura fué extremo en el más bajo; ya a 500 metros el aire detrás de la línea de chubasco se apoderó del sistema. La altura de las nubes bajó desde más de 10 Kms hasta 8 e incluso 6 Kms a medida que línea pasó sobre el área del radar.

El tipo general de sistemas sinópticos con una gran vaguada de aire en la altura, incidiendo en los trópicos desde el norte, se muestra en las Figuras 18 hasta 20. En este ejemplo la masa de nubes pudo ser rastreada moviendose rápidamente hacia el oeste, a lo largo de todo el Océano Atlántico. El 27 de Agosto pudo ser vista a 20° de longitud Oeste, el 30 a 40°W, el 31 más alla de los 50°W, llegando sobre las Antillas Menores el 1 de Septiembre. Allí, este poderoso sistema incidio en un flujo anticiclónico de la alta troposfera, proveniente de un huracán en el Caribe occidental, el cual había pasado sobre Venezuela el 28-29 Agosto, cuando se encontraba en sus etapas iniciales. Una deformacion ondular de los vientos alisios inferiores precedieron a esta vaguada (Figura 19), con la nube principal del satélite localizada entre las líneas inferiores y superiores de la vaguada. Otra masa de nubes elongada hacia el suroeste-noreste, siguió al este del eje de la vaguada como es típico también. La vaguada continuó hacia el oeste. Luego de haber pasado en 200 mb, toda el área de lluvia desapareció de Venezuela, siendo ésto nuevamente parte del modelo para tales avances de vaguadas hacia el oeste. El mapa de 200 mb de altura (Figura 20), cuyo dibujo ha sido dificultoso debido a muchos reportes errados, también revela la profunda intrusión de la vaguada en los trópicos. El gradiente occidental de los 200 mb de altura, a lo largo del eje, se desvanece hacia de los 10° de latitud y se piensa que ésto también es parte del mecanismo esencial para generar grandes área de lluvia sobre Venezuela. Las Figuras 11 al 20 ofrecen los modelos mas importantes para el principio y final de sistemas de lluvia fuerte para Venezuela.

the wind with height was extreme in the lowest km; already at 500 meters the air behind the line vertook the system from the rear. The height of the clouds lowered from over 10 km to 8 and even 6 km as the system passed over the radar area.

The general class of synoptic systems with a large upper-air trough impinging on the tropics from the north is shown in Figures 18 through 20. In this example the cloud mass could be tracked moving rapidly westward across the whole Atlantic Ocean. It could be seen as early as 27 August at longitude 20°W, on the 30th at 40°W, on the 31st beyond 50°W, arriving over the Lesser Antilles on 1 September. There, this very powerful system impinged on large high-tropospheric anticyclonic outflow from a hurricane in the western Caribbean which had passed Venezuela on 28-29 August in its very early stages. A wavelike deformation of the lower trade winds preceded this trough (Figure 19) with the principal satellite cloud located between the lower and upper trough lines, as closely as can be ascertained. Another cloud mass elongated southwest-northeast followed the trough axis as is also typical. The trough continued westward. After its passage, the whole rain area cleared out of Venezuela; again a part of the model for such westward trough advances. The 200-mb height chart (Figure 20), difficult to draw because of many bad reports, also reveals the deep trough intrusion into the tropics. The westerly gradient of 200-mb height across the axis vanishes up to latitude 10° and this also is thought to be part of the essential mechanism to generate a large rain area over Venezuela. Altogether, Figures 11 through 20 offer the principal models for onset and termination of heavy rain systems for Venezuela.

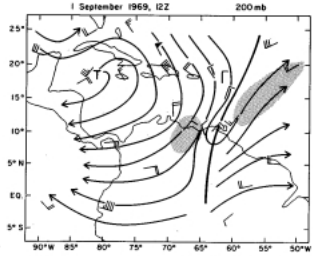


Fig. 18 Líneas de correinte a 200 mb, 1° de Septiembre de 1969, 1200 GMT. La masa de nubes y la vaguada superior llegaron desde el Atlántico.

Fig. 18 Streamlines at 200 mb, 1 September 1969, 1200 GMT. The cloud mass and high-level trough arrived from the Atlantic.

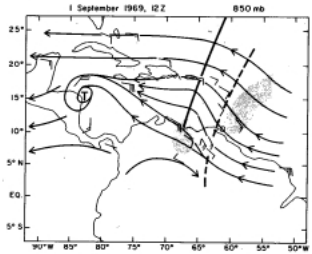


Fig. 19 Líneas de corriente a 850 mb, para el mismo período. Una onda en el flujo de los vientos alisios es evidente para la parte este del Caribe, precediendo la vaguada en los 200 mb que se muestra con la línea intermitente.

Fig. 19 Streamlines at 850 mb for the same period. A low-level wave in the trade wind flow is apparent in the eastern Caribbean preceding the 200-mb trough entered dashed.

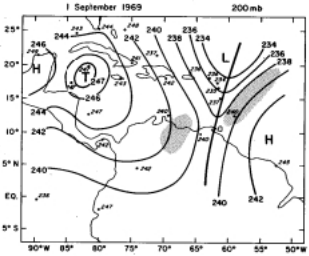


Fig. 20 Alturas de 200 mb (décimos de metros por encima de los 10,000 m), y análisis de contorno para el mismo período.

Fig. 20 200-mb height (10's meters above 10,000 m) and contour analysis for the same period.

Aspectos a Largo Plazo

El agua que cae en las temporadas pluviosas de distintos años está frecuentemente determinada por anomalías en la circulación general, las cuales persisten sobre gran parte de la temporada lluviosa o recurren con interrupciones temporales. Tal fué el caso durante los dos experimentos, y algunos de los participantes en ambos experimentos piensan que ha sido casi increíble que las observaciones hubieran sido tomadas en la misma región y en la misma temporada. Así de diferente fue la circulación general básica.

Longer Term Aspects

The water yield of rainy seasons in different years is often determined by anomalies of the general circulation which persist over a large fraction of a rainy season or which recur with only temporary interruptions. Such was the case during the two experiments, and some participants in both experiments felt that it was almost incredible that they were taking observations in the same region and season. So different was the basic general circulation.

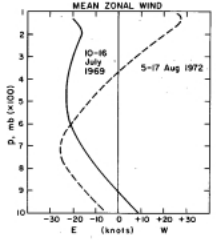


Fig. 21 Se ilustra la diferencia más importante en la corriente zonal básica entre las estaciones de 1969 y 1972.

Fig. 21 Illustrating the major difference in basic zonal current between the 1969 and 1972 seasons.

La temporada pluviosa de 1972 estuvo determinada por fuertes vientos estes de bajo nivel con el máximo cerca de 700 mb, igualando el observado en Africa Occidental, pero cubiertos por vientos oestes que alcanzan los 150 mb (Figura 21) y con una vaguada muy persistente en los niveles superiores con orientación este-oeste sobre el Caribe. Este tipo de corriente básica conduce altamente a sequías en el norte de Venezuela. La zona de la vaguada ecuatorial permanece presionada contra el ecuador, donde ocurren lluvias muy fuertes. Este patrón persistió durante toda la temporada de 1972. Tal como se vé claramente, no se formó ningun huracán en el Atlántico occidental y la sequía fue parte de un cinturón de sequía muy largo y severo que se extendió desde la India hasta Africa occidental y desde allí hasta America. En el área experimental de Carrizal, la precipitación promedio fue de sólo 3.3 mm/dia (balanceando escasamente la radiación) exceptuando un evento de lluvia muy grande a principios de Septiembre. Una gran anomalía negativa de precipitación persistió durante

The rainy season of 1972 was marked by strong low-level easterlies, with a maximum near 700 mb equalling that observed in West Africa, but overlain by westerlies increasing to 150 mb (Figure 21) and a persistent high-level trough with east-west orientation over the Caribbean. This type of basic current is highly conducive to drought in northern Venezuela. The equatorial trough zone remains pressed against the equator where very heavy rains will occur. This pattern persisted throughout the 1972 season. As widely noted, no hurricanes formed in the western Atlantic and the drought was part of a very long severe-drought belt extending from India to West Africa and from there to the Americas. In the experimental area of Carrizal, average precipitation was only 3.3 mm/day (barely balancing radiation) excepting one large rain event in early September. A large negative precipitation anomaly persisted during the experiment as well as in the following months.

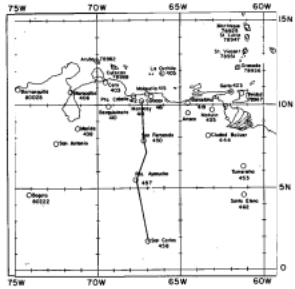


Fig. 22 Trayectoria de los vuelos de investigación explorando la zona de la vaguada ecuatorial sobre Venezuela, desde el norte hacia el sur.

Fig. 22 Path of research aircraft exploring the equatorial trough zone over Venezuela from north to south.

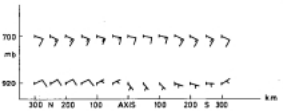


Fig. 23 Vientos a 900 y 700 mb con eje relativo a la vaguada ecuatorial localizada cerca de 5-6°N; compuesto para diez casos.

Fig. 23 Winds at 900 and 700 mb relative axis of equatorial trough located near 5-6°N; composite for ten cases.

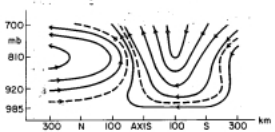


Fig. 24 Función de corriente en una sección vertical cruzada a través de la vaguada ecuatorial.

Fig. 24 Streamfunction in the vertical cross section through the equatorial trough.

el experimento y también en los meses siguientes.

La precipitación aumenta a medida que los vientos estes inferiores también se debilitan, con lo cual se reduce el fuerte corte vertical del viento en la parte media de la tropósfera, que frena el crecimiento vertical de las torres de nubes. En 1972, durante 10 misiones ejecutadas por el aeroplano Queen Aire, del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas, la zona de la vaguada ecuatorial estuvo situada cerca de 5-6°N durante los vuelos norte-sur a lo largo de los 67°W desde Maracay hasta San Carlos en el extremo sur de Venezuela (Figura 22). Cerca de la base de la nube, alrededor de 900 mb, los vientos cambian del noreste al suroeste y luego de vuelta al sureste, cerca de la frontera Brasileña. En el promedio, solo se nota un cambio del noreste al sureste (Figura 23), y, en compensación, a los

Rainfall increases as the upper westerlies weaken or disappear and as the lower easterlies also weaken which reduces the strong vertical wind shear in the middle part of the troposphere eroding cloud towers trying to grow vertically. In 1972, during 10 missions executed by the Queen Aire plane of the National Center for Atmospheric Research, the equatorial trough zone was located near 5-6°N during north-south flights along 67°W from Maracay to San Carlos at the southern extremity of Venezuela (Figure 22). Near cloud base, around 900 mb, winds shifted from northeast to southwest and then again back to southeast near the Brazilian border. On the average only a shift from northeast to southeast is seen (Figure 23), and on the return leg at 700 mb the easterlies were almost undisturbed denoting the low-level

700 mb los vientos estes estuvieron casi imperturbales denotando el nivel tan bajo en que actúa la zona de convergencia. El flujo de masa resultante (Figure 24) mostró un ascenso de aire al norte y encima de la línea de cambio del viento de superficie, con bandas extensas de nubes decreciendo rápidamente hacia el norte y sur con cielos despejados.

Cuando esta situacion estable se rompe por algunas dias, a principios de Septiembre, con desaparición intermitente de los vientos oestes superiores y avance de una línea de nubes desde Brasil, como lo muestra la Figura 12, la zona de convergencia ecuatorial se movió hacia el norte y se produjo un cuarto de la precipitación total de los 100 dias del experimento en el período de 0400-1000 HLV, el 2 de Septiembre. Vientos oestes ecuatoriales se establecieron por varios dias en el norte; los vientos estes se confinaron al Caribe. En 1969 los vientos oestes superiores estuvieron muy debiles o no existieron, durante Julio y Agosto, pero regresaron en Septiembre. Por lo tanto Julio y Agosto fueron meses realmente húmedos, con precipitación por encima del promedio; Septiembre fué tan seco como el medioverano en 1972. La segunda curva de la Figura 21 muestra la estructura de la corriente básica típica durante el período lluvioso, el cual corresponde con lo que se conoce en Venezuela como "invierno". Este tipo de modelo de flujo comienza abruptamente el 9-10 de Julio y termina el 1-2 de Septiembre, con la vaguada señalada en las Figuras 18-20. Los vientos oestes ecuatoriales siguen ocurriendo durante Julio y Agosto de 1969, aún cuando la distribución geográfica de Venezuela no favorece el flujo del monzón. Para el mayor desarrollo, la región ecuatorial debería ser oceánica, con el continente comenzando a los 10-15° de latitud del ecuador. Sin embargo, durante los episodios lluviosos, la atmósfera sobre Venezuela trata de adquirir la corriente básica monzónica -- vientos oestes en niveles bajos y estes en niveles altos. De este modo, este patrón se establece como el modelo para episodios de lluvias tropicales y, apartando el empuje de los alisios, su ocurrencia debe ser tomada como precursor de períodos prolongados de lluvia.

character of the convergence zone. Resultant mass flow (Figure 24) showed an upsurge of air over, and north of, the surface wind-shift line with extensive cloud bands, decreasing rapidly north and south with clearing skies.

When this stable situation broke up for a few days in early September, with intermittent disappearance of the upper westerlies and advance of a cloud line from Brazil as in Figure 12, the equatorial convergence zone surged northward and one-quarter of the total rainfall experienced during the 100-day experiment occurred in the period 0400-1000 L on 2 September. Equatorial westerlies became established for several days in the north; the easterlies were confined to the Caribbean. In 1969 the upper westerlies were weak or nonexistent in July and August, but they returned in September. Thus, July and August were really wet months with precipitation above average; September was as dry as mid-summer in 1972. The second curve of Figure 21 shows the typical basic current structure during the rainy period which corresponded well to what is known in Venezuela as "invierno." This type of flow pattern began abruptly on 9-10 July and it ended in 1-2 September with the trough depicted in Figures 18-20. Equatorial westerlies kept recurring during July and August 1969, even though the geographical arrangement of Venezuela is unfavorable for monsoon flow. For greatest development the equatorial region should be oceanic with the continent starting 10-15° latitude from the equator. Nevertheless, the atmosphere over Venezuela tried to achieve the monsoonal basic current -- low level westerlies, upper easterlies -- during rain episodes. This pattern thereby is established as the model of tropical rain episodes and, surges of the trade apart, its appearance must be looked for as a precursor of prolonged rainy periods.

Conclusión

Aquí han sido expuestas todas las condiciones principales para predecir lluvias o sequías, tal como se desprende de los experimentos:

(1) Una corriente básica de vientos estes intensos, favorece el desarrollo de episodios de lluvia en el norte; fuertes vientos oestes superiores inhiben la lluvia en el norte (exceptuando empujes (surges) de los alisios), y confina la lluvia fuerte al sur del Orinoco y cuenca del Amazonas, donde ocurrirán grandes inundaciones.

(2) Cuando prevalece el régimen de vientos oestes superiores, los sistemas lluviosos provenientes del Atlántico tienden a desaparecer ó a producir poca lluvia a su paso, a lo largo del norte de Venezuela, Interrupciones de este regimen, las cuales pueden durar un solo dia, producirán la aparición de nubes de lluvia y ecos del radar en mesoescala, aunque sea en partes del cinturón norte.

(3) En base a corto plazo, los episodios de lluvia ocurren principalmente por el acercamiento de vaguadas largas y delgadas de los vientos oestes superiores, tal como se muestra en la Figura 18, y por el movimiento de grandes masas de nubes desde el Brasil o la Cuenca del Amazonas, fácilmente visibles en las fotografías del satélite. En estas fotografías, los eventos pueden ser seguidos por 2 dias ó más. Los sistemas sinópticos serán mas efectivos en el establecimiento básico de la intensa corriente del este.

(4) La formación o llegada de un área de subida presión en el mapa de superficie, determinada a través de análisis de presión tal como se describe en el texto, sirve como indicativo de la llegada de la precipitación (Figura 13).

(5) Excepto para indicar la coincidencia de combinaciones de factores favorables y desfavorables, la intensidad de la precipitación solo puede ser estimada probabilísticamente, utilizando la Figura 10.

Las observaciones para determinar los factores de predicción antes mencionados han mejorado ampliamente desde que se tomaron las observaciones de los experimentos. Con la adquisición del Satélite Geoestacionario (Geostationary

Conclusion

Here the principal conditions for predicting rain or drought, as apparent from the experiments, have all been laid down:

(1) A basic current of deep easterlies favors the development of rain episodes in the north; strong lower easterlies topped by upper westerlies inhibits rain in the north (excepting surges of the trade) and confines high rainfall to the southern Orinoco and the Amazonas basins where heavy flooding will occur.

(2) During prevalence of the upper westerly regime rain systems from the Atlantic will tend to die out or will produce only little rain in transit across northern Venezuela. Interruptions of this regime, which may last only one day, will lead to the appearance of rain clouds and mesoscale radar echoes, at least in parts of the northern belt.

(3) On the short-term basis rain episodes are brought on mainly by the approach of long narrow troughs in the upper westerlies, as in Figure 18, and by the motion of a large cloud mass from Brazil or the Amazonas Basin, easily seen on satellite photos as in Figure 12. In these photos events can be followed for 2 days and more. Synoptic systems will be most effective in the basic setting of the deep easterly current.

(4) The formation or arrival of a pressure-rise area on the surface map, determined through pressure analysis as detailed in the text. serves as indication of impending precipitation (Figure 13).

(5) Except for noting the coincidence of combinations of favorable and unfavorable factors, the intensity of precipitation can only be estimated on a probability basis using Figure 10.

In the time since the experiments, opportunities for observing the factors for prediction just named have improved greatly. With the arrival of Geostationary Operational Environmental Satellite, better remembered as GOES, and other

Operational Environmental Satellite), mas comunmente conocido como GOES, y otros satélites nuevos, las masas de nubes provenientes del Atlántico y de Suramérica pueden ser seguidas de noche ye de dia. Análisis numérico del campo de viento sobre el Caribe y áreas adyacentes son preparados y diseminados por el Centro Meteorológico Nacional, Washington, D.C., USA. La estructura del flujo básico sobre Venezuela puede ser determinada rápidamente, con la ayuda de las estaciones nuevas de sondeos superiores, las cuales han sido puestas en funcionamiento en Santa Elena y San Antonio. La técnica para el análisis de presión de superficie puede ser mecanizada y puede estar lista para el pronóstico cada 6 ó 12 horas, sin ninguna dificultad.

Sin embargo, se necesitan mayores progresos para poder llegar a un pronóstico completamente cuantitativo, el cual, con los modelos de predicción numéricos actuales o otros métodos, aún no ha podido ser obtenido. Pero con los avances hechos en modelaje, ademas de la visión física adquirida de los experimentos descritos, las probabilidades para lograr progresos sustanciales posteriores pracen excelentes. La próxima oportunidad importante será en 1978-9, cuando se llevará a cabo un gran experimento meteorológico internacional y mundial. Los análisis de los resultados de este experimento y su aplicación en Venezuela mejorarán probablemente la calidad de los pronósticos del tiempo, por encima del presente status, para beneficio económico y progreso del pais.

new satellites, cloud masses from the Atlantic and from South America can be followed day and night. Excellent numerical analyses of the wind field over the Caribbean and adjacent areas are being prepared and disseminated by the National Meteorological Center, Washington, D.C., U.S.A. The basic flow structure over Venezuela can be determined readily with aid of new upper sounding stations which have opened up at Sta. Elena and San Antonio. The technique for surface pressure analysis can be routinized and made available for prediction every 6 or 12 hours without difficulty.

Nevertheless, further progress is desired in order to arrive at fully quantitative forecasts which, with present numerical prediction models or other methods, cannot as yet be achieved. But with advances made in modeling, plus the physical insight gained from the experiments just described, the chances for further substantial progress appear excellent. The next major opportunity will arise in 1978-9 when a great international and worldwide meteorological experiment will be carried out. Analysis of the results of this experiment and their application to Venezuela most likely will enhance the quality of weather forecasts beyond the present status quo for the economic benefit and advance of the country.

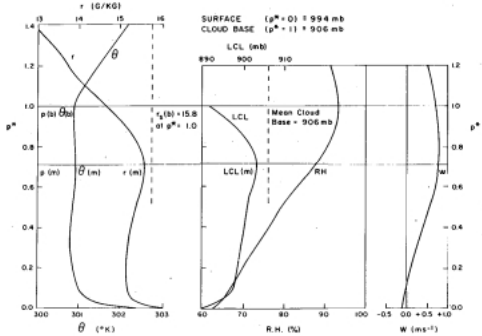


Fig. 25 Perfil medio para 14 ascensos de radiosondas a través de la base de la nube, de temperatura potencial (θ), relación de mezcla (r), nivel de condensación de elevacion (LCL), humedad relativa (RH), velocidad vertical de perturbacion (w).

Fig. 25 Mean profile for 14 radiosonde ascents through cloud-base of potential temperature (θ), mixing ratio (r), lifting condensation level (LCL), relative humidity (RH), perturbation vertical velocity (w).

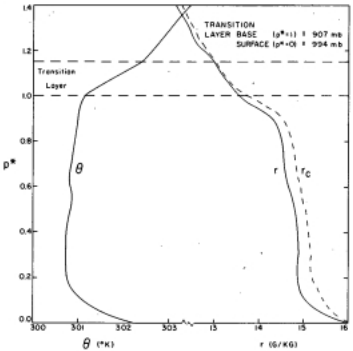


Fig. 26 Promedio de 25 ascensos de radiosondas que muestra una capa de transición muy marcada, mostrando perfiles de θ, r y r_c (la relación de mezcla está corregida para el atraso termal de 3-mb del higrómetro).

Fig. 26 Average of 25 radiosonde ascents which showed a marked transition layer, showing profiles of θ, r and r_c (mixing ratio corrected for 3-mb thermal lag of the hygristor).

INVESTIGACION SOBRE CONVECCION

por Alan K. Betts

Estructura de la Capa debajo de la Nube

Se hicieron estudios de la estructura promedio de la capa debajo de la nube en condiciones de supresión. Las Figuras 25 y 26 muestran perfiles promedios para un grupo de ascensos de radiosondas que penetraron la base de la nube, y para un grupo que ascendió por entre las mismas. La Figura 25 muestra que las nubes tienen su origen en la capa debajo de las mismas, mientras la Figura 26 muestra la capa de transición cerca de la base de la nube (una capa estable que atrapa la mayor parte de la convección seca, en la capa debajo de la nube). La Figura 27 es un perfil promedio de todos los sondeos lanzados en condiciones de convección suprimida. Se nota la capa de mezcla característica en la energía estática (ó temperatura potencial), mientrás que la humedad se mezcla menos y muestra un gradiente marcado a lo largo de la capa debajo de la nube. Se desarrolla un modelo para estudiar la dependencia con el tiempo de la capa debajo de la nube, en términos de dos parámetros que permiten completar los cálculos. Uno, α, es el cociente entre la profundidad de la capa de transición modelo y la profundidad de la capa de la nube. El segundo, β, es el cociente entre

CONVECTION RESEARCH

by Alan K. Betts

Subcloud Layer Structure

Studies were made of the mean structure of the subcloud layer in suppressed conditions. Figures 25 and 26 show average profiles for a set of rawinsonde ascents which entered cloud base and for a set which rose between clouds. Figure 25 shows that the clouds have roots in the subcloud layer while Figure 26 shows the transition layer near cloud base (a stable layer which traps most of the dry convection in the subcloud layer.) Figure 27 is a mean profile for all soundings launched in suppressed convection. The characteristic mixed layer in static energy (or potential temperature) is visible, while moisture is less mixed and shows a marked gradient across the subcloud layer. A model for the time dependence of the subcloud layer in terms of two closure parameters is developed. One, α, is the ratio of the depth of a model transition layer to the depth of the subcloud layer. The second, β, is the ratio of a model turbulent heat flux below cloud base to the surface flux. These two parameters control the mass flux into shallow cumulus clouds, and the time development of the subcloud layer. Figure 28 shows the convective energy fluxes in the subcloud layer derived from the data and model.

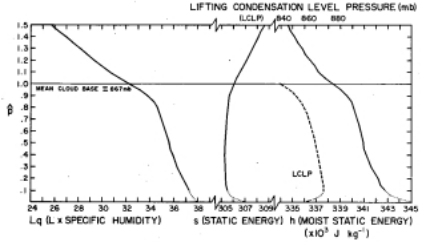


Fig. 27 Promedio de 135 sondeos asociados con convección no-precipitante, mostrando perfiles de energía latente, energía estática, energía estática húmeda (perfil de línea entera) y presiones del nivel de condensación de elevación (perfil de línea intermitente).

Fig. 27 Average of 135 soundings associated with nonprecipitating convection showing profiles of latent energy, static energy, moist static energy (solid profiles) and pressure of the lifting condensation level (dashed profile).

el modelo del flujo turbulento de calor, por debajo de la base de la nube y el flujo de superficie. Estos dos parámetros controlan el flujo de masa dentro de nubes cúmulos poco profundas y el tiempo de desarrollo de la capa debajo de la nube. La Figura 28 muestra los flujos de energía convectiva en la capa debajo de la nube, derivados de los datos y del modelo.

En condiciones de perturbación, la capa mezclada debajo de la nube, está completamente volteada. Las tormentas convectivas en movimiento

In disturbed conditions, the well mixed subcloud layer is completely overturned. Travelling convective storms (like squall lines) sweep up

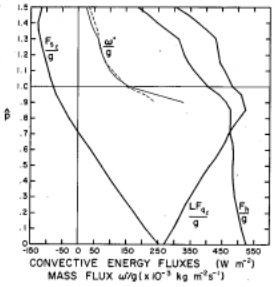


Fig. 28 Perfiles de flujo de la energía estática húmeda, del agua total y energía estática del agua líquida para un período de cuatro horas, centrados en el mediodía local, sobre tierra en Venezuela (líneas enteras). También se muestran los perfiles de flujo de masa convectiva (w^*_c/g, línea entera clara; w^*_d/g, línea intermitente clara) derivados a partir de un modelo para nube sencilla. $\hat{p} = 1$ corresponde a la base de la nube.

Fig. 28 Energy flux profiles of moist static energy, total water and liquid water static energy for a four-hour period centered on local noon over land in Venezuela (heavy lines). Also shown are the convective mass flux profiles (ω^*_c/g, light solid; ω^*_d/g, light dashed) derived from a simple cloud model. $\hat{p} = 1$ corresponds to cloud base.

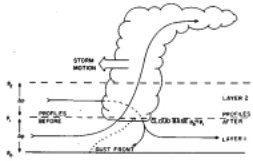


Fig. 29 Flujo esquemático del aire relativo a los mesosistemas en movimiento, mostrando el modelo de dos capas de intercambio: la capa del flujo que entra p_0 a p_1 asciende en corrientes hacia arriba y la capa de flujo que entra p_1 a p_2 desciende en corrientes hacia abajo, como reemplazo.

Fig. 29 Schematic airflow relative to travelling mesosystem, showing two-layer model exchange: inflow layer p_0 to p_1 ascends in updrafts and inflow layer p_1 to p_2 descends in downdrafts in replacement.

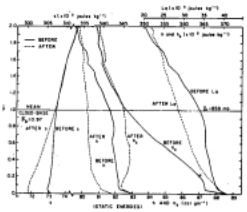


Fig. 30 Perfiles medios antes y después del pasaje del sistema convectivo. Las curvas son promedios de 21 pares de sondeos (antes y después).

Fig. 30 Mean profiles before and after the passage of a convective system. The curves are averages of 21 before-after sounding pairs.

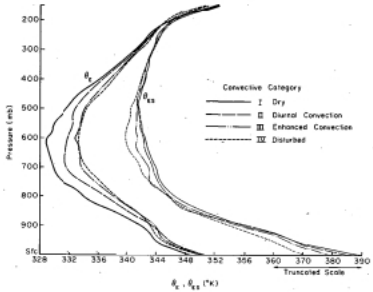


Fig. 31 Perfiles verticales de temperatura potencial equivalente (θ_e) y temperatura potencial equivalente de saturación (θ_{es}), para cuatro regímenes convectivos: seco, de convección diurna, convección acentuada y perturbado.

Fig. 31 Vertical profiles of equivalent potential temperature (θ_e) and saturation equivalent potential temperature (θ_{es}) for four convective regimes: dry, diurnal convection, enhanced convection, and disturbed.

(tal como las líneas de chubasco), arrastran esta capa mezclada y la reemplazan con aire mas frío y seco, el cual ha bajado en corrientes descendentes de aire no saturadas, empujado por la evaporación de la lluvia que está cayendo (Figura 29). La Figura 30 muestra la transformación promedio de la capa debajo de la nube, observada sobre Venezuela. Encima de una capa delgada cerca de la superficie, donde el aire es enfriado pero permanece húmedo, existe una capa profunda de enfriamiento y sequedad, debido a corrientes descendentes de aire.

Convección Profunda

En la Figura 31 se muestran los perfiles promedios de temperatura potencial equivalente y temperatura potencial equivalente de saturación, señalando cómo la atmósfera media se torna mas fría y mas húmeda en condiciones de perturbación. Los flujos de masa convectiva en mesoescala han sido derivados por medio de composiciones de radiosondeos con respecto a los ecos del radar en movimiento. La Figura 32 muestra que el flujo de masa en la nubes es hacia arriba durante su fase de crecimiento y hacia abajo cuando éstas decaen y dominan las corrientes descendentes. Sin embargo, el transporte de masa neta por las nubes muy grandes, es hacia arriba.

the well mixed layer, and replace it with cooler drier air which has descended in unsaturated downdrafts driven by the evaporation of falling rain (Figure 29). Figure 30 shows the mean transformation of the subcloud layer observed over Venezuela. Above a shallow layer near the surface where the air is cooled but remains moist, there is a deeper layer of cooling and drying by downdrafts.

Deep Convection

In Figure 31 we see mean profiles of equivalent potential temperature and saturation equivalent potential temperature, showing how the mean atmosphere becomes cooler and moister in disturbed conditions. Convective mass fluxes on the mesoscale have been derived by compositing rawinsondes with respect to moving radar echoes. Figure 32 shows that the mass flux in clouds is up during their growth phase and down as they decay and downdrafts dominate. The net mass transport by the deep clouds is, however, upward.

Se ha estudiado, tanto la transformación termodinámica como la de momentum, en la atmosfera (Figura 33), mediante las tormentas convectivas en movimiento. Estas tormentas, que algunas veces viajan tan rápido ó aún mas rapido (velocidad promedio de 13 m/s) que el aire en cualquier nivel (tal como sucede en Africa), al igual que introducen corrientes descendentes de aire frío dentro de la capa por debajo de las nubes, aceleran el viento horizontal en su dirección de movimiento. Se notan cambios promedios en el viento zonal de 5-10 m/s, a medida que la tormenta pasa sobre el sitio de observación. La velocidad de movimiento de la tormenta se ha relacionado con la velocidad de esparcimiento de la corriente de densidad de superficie, formada por el conjunto de aire frío descendente. También hay alguna indicacion de que mientras mas rápido se mueve la

Both the thermodynamic and momentum transformation (Figure 33) of the atmosphere by travelling convective storms have been examined. As well as introducing cool dry downdraft air into the subcloud layer, these storms, which sometimes travel as fast or faster (average speed 13 m/s) than the wind at any level (as in Africa), accelerate the horizontal wind in their direction of travel. Mean changes in the zonal wind of 5-10 m/s are seen as the storm passes over the observation site. The travel speed of the storm was related to the speed of spreading of the surface density current formed by the pool of cold downdraft air. There is also some indication that the faster the storms travel the stronger the peak surface gusts.

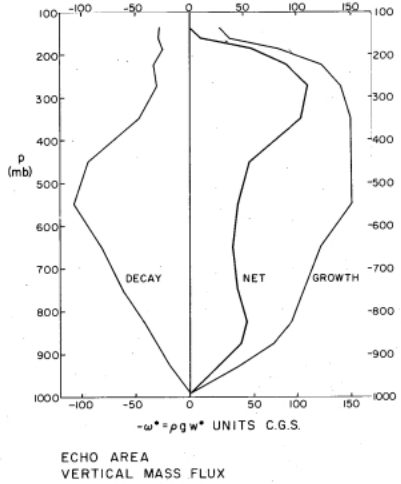


Fig. 32 Flujo vertical de masa ($-\omega^*$) contra presión, para las fases de crecimiento y decrecimiento, y la suma de éstos (representando el flujo neto de masa).

Fig. 32 Vertical mass flux ($-\omega^*$) vs pressure for growth and decay phases, and their sum (representing the net mass flux).

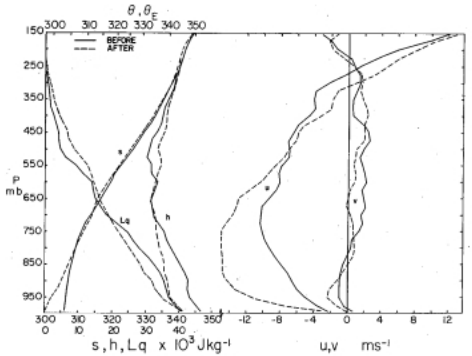


Fig. 33 Perfiles troposféricos medios de energía estática, s, energía estática húmeda, h, vapor de agua (como energía latente, Lq), y componentes del viento u, v; antes y después del pasaje de una tormenta convectiva que se movía sobre sitio de la radiosonda. La escala superior muestra temperaturas potenciales θ, θ_e correspondientes (con una pequeña aproximación) a s y h.

Fig. 33 Mean tropospheric profiles of static energy, s, moist static energy, h, water vapor (as latent energy, Lq), and wind components u, v before and after the passage of a travelling convective storm over the rawinsonde site. The upper scale shows potential temperatures θ, θ_e corresponding (with slight approximation) to s and h.

tormenta, mas fuertes son las ráfagas en la superficie.

Un modelo tridimensional no-hidrostático es utilizado para demostrar cómo fluye el aire a través de las celdas de cumulonimbos en una línea de chubasco. Se notan dos escalas de aire descendentes: la primera es una corriente descendente fría a escala de nube, la cual nutre la corriente fría de densidad, la cual a su vez fuerza el desarrollo de nuevas celdas de cumulonimbos en su límite anterior. La segunda corriente descendente es a mesoescala y se hunde por detrás de la línea de chubasco en movimiento; probablemente esta corriente es empujada por la dinámica de la tormenta. La Figura 34 muestra algunos de estos modelos de trayectorias.

A non-hydrostatic three-dimensional model is used to show how air flows through the cumulonimbus cells in a squall line. Two scales of downdraft can be seen: the first is a cold cloud scale downdrafts which feeds the cool density current which in turn forces the development of new cumulonimbus cells at its leading edge. The second downdraft is a mesoscale sinking behind the travelling squall line which is probably driven by the storm dynamics. Figure 34 shows some of these model trajectories.

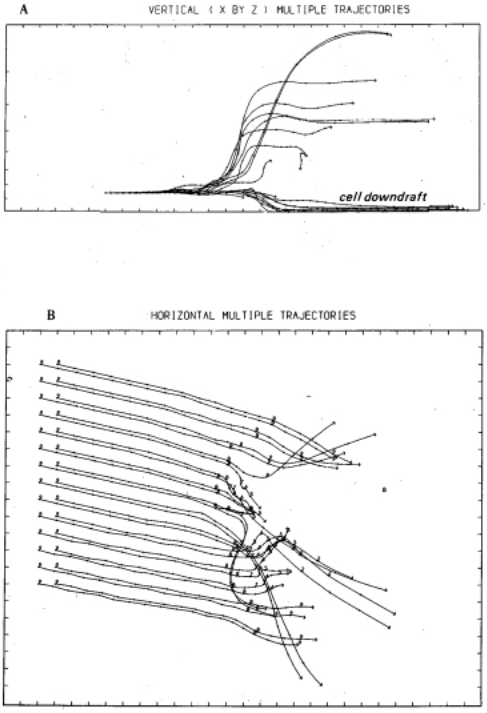


Fig. 34 a) Simulación del computador para una familia de trayectorias a través de una tormenta convectiva moviéndose sobre Venezuela, comenzando en 950 mb después de 64 min de tiempo simulado.
b) Igual que antes pero para una familia diferente de trayectorias comenzando en 850 mb. Los números en la proyección (x-y) indican el nivel de presión inicial donde una trayectoria pasa a otro nivel de presión (en cientos de milibares).

Fig. 34 a) Computer simulation of a family of trajectories through a travelling Venezuelan convective storm, starting at 950 mb after 64 min of simulated time.
b) As above but for a different family of trajectories starting at 850 mb. The numbers on the (x-y) projection indicate the starting pressure level where a trajectory passed another pressure level (in hundreds of millibars).

ORGANIZACIONES Y PERSONAS RELACIONADAS CON LOS EXPERIMENTOS

Herbert Riehl,	Investigador Principal
Daryl B. Simons,	Investigador Principal (Hidrología)
Alan Betts,	Investigador Asociado (Meteorología)
E. V. Richardson,	Investigador Asociado (Hidrología)

Organizaciones Norteamericanas

Contratista:

Universidad del Estado de Colorado (CSU), Fort Collins, Colorado.

Patrocinante:

Departamento de Defensa, Proyecto THEMIS: "Perturbaciones del Tiempo sobre Continentes Tropicales y sus Efectos sobre Condiciones de Superficie" (se administra a través de la Oficina de Investigación Naval).

Fundación Nacional para la Ciencia.

Administratión de Campo:

Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas, Boulder, Colorado,

Daniel F. Rex, Director Asociado de la División de Facilidades.

Organizaciones Venezolanas

Los preparativos necesarios para llevar a cabo los experimentos de campo se hicieron con:

El Comandante General, Fuerzas Aéreas de Venezuela.

El Ministro, Ministerio de Obras Públicas.

El Jefe del Servicio Meteorológico Nacional (Fuerzas Aéreas de Venezuela), Coronel: Orlando Coronel Parra.

Otras Dependencias y Personal, Estados Unidos de America

Universidad del Estado de Colorado (CSU):

M.A. Stevens, Investigador Asociado (Hidrología).

James L. Rasmussen, Investigador Asociado (Meteorología).

Wm. Green, Jefe Técnico (Meteorología).

John Vetter, Gerente de Empresa (Meteorología).

ORGANIZATIONS AND INDIVIDUALS CONCERNED WITH THE EXPERIMENTS

Herbert Riehl,	Principal Investigator
Daryl B. Simons,	Principal Investigator (Hydrology)
Alan Betts,	Associate Investigator (Meteorology)
E. V. Richardson,	Associate Investigator (Hydrology)

United States Organizations

Contractee:

Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Sponsors:

Department of Defense THEMIS Grant: "Weather Disturbances over Tropical Continents and their Effect on Ground Conditions" (administered through the Office of Naval Research).

National Science Foundation.

Field Management:

National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, Daniel F. Rex, Associate Director for Facilities Division.

Venezuelan Organizations

Arrangements to conduct the field experiments were made with:

The Commanding General, Venezuela Air Force.

The Minister, Public Works Ministry.

The Chief of the Venezuela Weather Service (Venezuelan Air Force), Coronel Orlando Coronel Parra.

Other Agencies and Personnel, United States

Colorado State University:

M.A. Stevens, Research Associate (Hydrology)

James L. Rasmussen, Research Associate (Meteorology)

Wm. Green, Chief Technician (Meteorology)

John Vetter, Business Manager (Meteorology)

William Kamm, Programador y Analista de Sistema

Patricia Johnson, Secretaria

Centro Nacional de Investigaciones Atmosphéricas (NCAR):

Henry van de Boogaard, Investigador Asociado

Administradores de Campo:

Walter Records

Richard Sanborn

Jack Warren

Nelder Medrud

Facilidades de Vuelo:

J. W. Hinkelman, Jefe

Al Rodi, Ingeniero

Pilotos:

Loyd Newcomer

Robert H. Burris

James E. Covington

Thomas H. McQuade

Clay A. Orum

Lester M. Zinser

Mucho material de campo y el mantenimiento de los aviones fue provisto por NCAR. Oficina Norteamericana de la Guardia Nacional: Facilidades de Transporte al Exterior en 1969.

Otras Dependencias y Personal, Venezuela

IBIDEM Co.:

Gerente de Empresa en al País, por la Universidad del Estado de Colorado, Ernesto Ibe, Presidente, también Investigador Asociado (Meteorología).

Servicio Meteorológico Nacional (FAV):

Antonio Goldbrunner

Capitán: Omar Ruíz Rodríguez

M.M.: Pedro Pablo Pacheco (después estudiante de la Universidad del Estado de Colorado)

H. Palencia, Investigador Asociado (Oficina Principal de Meteorología en el Aeropuerto de Maiquetía)

Un gran numero de personas por su participación en la preparación y análisis de los mapas del tiempo, operación de la estación de radiosonda, y muchas otras labores.

William Kamm, Computer Specialist and Programmer

Patricia Johnson, Secretary

National Center for Atmospheric Research:

Henry van de Boogaard, Research Associate

Field Managers:

Walter Records

Richard Sanborn

Jack Warren

Nelder Medrud

Flight Facility:

J. W. Hinkelman, Chief

Al Rodi, Engineer

Pilots:

Loyd Newcomer

Robert H. Burris

James E. Covington

Thomas H. McQuade

Clay A. Orum

Lester M. Zinser

Much field equipment and aircraft support was provided by NCAR. U. S. National Guard Bureau: Overseas Transport Facilities in 1969.

Other Agencies and Personnel, Venezuela

IBIDEM Co.:

In-country business manager for Colorado State University, Ernesto Ibe, President, also Research Associate (Meteorology).

Venezuelan Weather Service (FAV):

Antonio Goldbrunner

Captain Omar Ruíz Rodríguez

Pedro Pablo Pacheco (later Colorado State University)

H. Palencia, Research Associate

A large number of personnel for participation in preparation and analysis of weather charts, operation of the rawinsonde station, and many other duties.

Ministerio de Obras Públicas:

Hector Silva, Jefe de la División de Hidrología

J. Narvaez

L. Villalba

L. Ramiro

Mobil Oil Co. de Venezuela:

Alojamiento del Proyecto en 1969

Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS)

Universidad de Oriente (nucleo Jusepin)

Estudiantes Graduados

Universidad del Estado de Colorado:

R. W. Grover

Wm. Kininmonth (Australia)

David S. Renné

Universidad Central de Venezuela:

Luis Cruz (después estudiante de la Universidad del Estado de Colorado)

Luis García

Martha Perdomo de Mata (después estudiante de la Universidad del Estado de Colorado; Investigador Asociado en 1972)

Investigadores Asociados de Universidades Europeas

Universidad de Reading, R. P. Pearce, Jefe de Departamento:

Alan Betts (después Investigador Asociado en la Universidad del Estado de Colorado)

R. D. Miller

Michael Pedder

Universidad de Bonn, Hermann Flohn, Jefe de Departamento:

Klaus Fraedrich (después Investigador Asociado en la Universidad del Estado de Colorado)

Christa Muster

Universidad Libre de Berlin, mediante arreglos con Guenter Warnecke, Profesor Asociado de Meteorología:

Wolfgang Lueckefedt

El investigador principal y los investigadores asociados, desean expresar su agradecimiento a todas las organizaciones y personas que han hecho posible la ejecución de estos dos experimentos.

Venezuelan Ministry of Public Works:

Hector Silva, Director of Hydrology

J. Narvaez

L. Villalba

L. Ramiro

Mobil Oil Co. of Venezuela:

Housing of Project in 1969

Venezuelan National Institute of Sanitation (INOS)

Eastern University (Jusepin)

Graduate Students

Colorado State University:

R. W. Grover

Wm. Kininmonth (Australia)

David S. Renné

Central University of Venezuela:

Luis Cruz (later Colorado State University)

Luis García

Martha Perdomo de Mata (later Colorado State University and Research Associate in 1972)

Research Associates from European Universities

University of Reading, R. P. Pearce, chairman:

Alan Betts (later Associate Investigator at Colorado State University)

R. D. Miller

Michael Pedder

University of Bonn, Hermann Flohn, Department Head:

Klaus Fraedrich (later Research Associate at Colorado State University)

Christa Muster

Freie Universitaet, Berlin, by arrangement with Guenter Warnecke, Associate Professor of Meteorology:

Wolfgang Lueckefedt

The principal and associate investigators wish to express their great appreciation to all organizations and persons who have made the execution of the two experiments possible.

PUBLICATIONS OF OBSERVATIONS

Betts, A.K., and M.A. Stevens, 1974: Rainfall and radar echo statistics. Tech. Rep., Dept. Atmos. Sci., Colorado State University, Fort Collins, 150 pp.

Betts, A.K., and R.D. Miller, 1975: VIMHEX-72 rawinsonde data, tropospheric 25 mb wind and thermodynamic data. Low-level 10 mb thermodynamic data. Colorado State University, Dept. of Atmospheric Science, Research Report, 140 pp.

Miller, R.D., and A.K. Betts, 1976: Miscellaneous rawinsonde, radar echo and aircraft data processing programs VIMHEX, 1972. Colorado State University, Dept. Atm. Sci., Res. Rep., 146 pp.

Simons, D.B., E.V. Richardson, M.A. Stevens, J.H. Duke, V.C. Duke, and H. Riehl, 1971: VIMHEX Hydrology Report I: Precipitation Data and Analysis. Civil Engineering Dept., Colorado State University, Fort Collins.

Simons, D.B., E.V. Richardson, M.A. Stevens, J.H. Duke, and V.C. Duke, 1971: Hydrology Report II: Streamflow, groundwater, and ground response data. Civil Engineering Dept., Colorado State University, Fort Collins

_____, Hydrology Report III: Geometric and hydraulic properties of the rivers. Dept. of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins

Stevens, M.A., D.B. Simons, and E.V. Richardson, 1971: Hydrology Report IV, Soil temperatures and heat content. Dept. of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins.

RESEARCH PUBLICATIONS

Betts, A.K., 1973: A composite mesoscale cumulonimbus budget. J.Atm.Sci. 30, 597-610.

_____, 1974: Thermodynamic classification of tropical convective soundings. Mon.Wea.Rev. 102, 760-764.

_____, 1976: The thermodynamic transformations of the tropical subcloud layer by precipitation and downdrafts. J.Atm.Sci. 33, 1008-1020.

_____, 1976: Modeling subcloud layer structure and interaction with a shallow cumulus layer. J.Atm. Sci. 33, 2363-2382.

_____, R.W. Grover, and M.W. Moncrieff, 1976: Structure and motion of tropical squall lines over Venezuela. Quart.J.Roy.Meteor.Soc. 102, 395-404.

Bläsing, Jochen, 1975: The thermal and dynamic conditions in the inter-tropical convergence zone over Venezuela in 1972. M.S. Thesis, Institut fuer Meteorologie, Freie Universitaet, Berlin, 18pp.

Cruz, L.A., 1973: Venezuelan rainstorms as seen by radar. J.Appl.Meteor. 6, 1066-1096.

Fraedrich, K., 1973: On the parameterization of cumulus convection by lateral mixing and subsidence, Part I. J.Atm.Sci. 30, 408-413.

_____, 1974: _____, Part II. J.Atm.Sci. 31, 1838-1849.

Frömmke, Alexis, 1976: Auswertung der Bodendruckkarten des Venezuela Experiments 1972 und Vergleich mit Wind und Niederschlag. M.S. Thesis, Institut fuer Meteorologie, Freie Universitaet, 33pp.

Miller, M.J., and A.K. Betts, 1977: Traveling convective storms over Venezuela. Mon.Wea. Rev. 105, 833-848.

Renné, David S., 1970: Surface-air energy exchange over eastern Venezuela as related to streamflow and cumulonimbus systems. Dept. Atm. Sci. Paper No. 166, Colorado State University, Fort Collins, 32 pp.

Riehl, H., 1972: Surface temperature and humidity observations in the tropics. World Meteor. Org. Bulletin, October, 227-229.

_____, 1973: Controls of the Venezuela rainy season. Bull.Amer.Meteor.Soc. 54, 9-12.

_____, and W. Lueckefedt, 1973: Tropical convective cloud masses and atmospheric circulation. Beilage zur Berliner Wetterkarte 96/73 SO 25/73, 15 pp.

_____, L. Cruz, Martha Mata and Christa Muster, 1973: Precipitation characteristics of the Venezuela rainy season. Quart.J.Roy.Meteor. Soc. 99, 746-757.

_____, 1974: Some aspects of surface observations in the tropics. Preprints, Intern. Trop. Meteor. meeting, Nairobi, Kenya. Amer. Meteor.Soc., Boston, Mass. 15-20.

_____, and W. Lueckefedt, 1976: Precipitation and thermodynamic structure of rain events in Venezuela. Mon.Wea.Rev. 104, 1162-1166.

_____, 1977: Vertical distribution of energy transfer and radar echo tops in the equatorial trough zone. Mon.Wea.Rev. 105, 230-231.

_____, and R. Meitín, 1977: "Dry Hole" in Venezuelan mesoscale cyclone. Mon.Wea.Rev. 105, 363-367.

_____, 1977: Venezuelan rain systems and the general circulation of the summer tropics, Part I: Rain systems. Mon.Wea.Rev. 105, (November).

_____, 1977: Venezuelan rain systems and the general circulation of the summer tropics, Part II: Relations between high and low latitudes. Mon.Wea.Rev. 105, (November).

Ruiz, O., 1975: Mesoscale study of the tropical subcloud layer. Dept. Atmos. Sci. Paper No. 237, Colorado State University, Fort Collins, 133 pp.