

III CONFERENCIA TÉCNICA SOBRE HURACANES Y METEOROLOGÍA TROPICAL TECHNICAL CONFERENCE ON HURRICANES AND TROPICAL METEOROLOGY

México, D. F., Jun. 6-12, 1963

8a. SESIÓN

8th. SESSION

PRECIPITACIÓN Y MODIFICACIÓN DEL TIEMPO PRECIPITATION AND WEATHER MODIFICATION

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LA PRECIPITACION PLUVIAL EN LADERAS DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL DE MEXICO

E. PÉREZ SILICEO *

En relación con las experiencias de estimulación de lluvia en la cuenca del Río Necaxa, Estado de Puebla, México, se han llevado a cabo algunos estudios acerca de características de la precipitación en dicha área, que podrían tomarse como representativas de laderas de la Sierra Madre Oriental de México, a lo menos al sur del Trópico de Cáncer.

Tal como se indica en la Fig. 1, la estación lluviosa principia en Junio, al establecerse la circulación de los alisios, ya que en Mayo es altamente irregular y sólo produce aguaceros aislados. En Noviembre los temporales están ya íntimamente relacionados con la advección de aires polares conocidos como "Nortes" en Texas y el Golfo de México. Por lo tanto, de Junio a Octubre se extiende la estación de lluvias, durante la cual caen en el área casi un 78% de la precipitación anual total.

Las curvas en la Fig. 1 indican los promedios diarios de la lluvia de 1921 a 1958; la superior corresponde al terreno alto de la cuenca con altitud de 2,300 metros sobre el nivel del mar y la inferior es del terreno bajo, con altitud de 1,500 metros sobre el nivel del mar. Las ocho estaciones pluviométricas del área de Necaxa han trabajado de manera continua.

Aunque las dos curvas son similares, nótase fácilmente que el efecto topográfico actúa con mayor eficiencia en la zona baja (curva superior). Pero, la importancia que puede tener el estudio de las lluvias en esta zona deriva de su posible dependencia con el estado del mar en el Golfo de México y en el Mar Caribe. Ya que no hay durante la estación lluviosa advecciones polares, queda sólo el efecto topográfico como un factor fijo para la producción de la lluvia.

En ambas curvas nótanse claramente los dos máximos correspondientes a los dos pasos del sol (con el retraso respectivo), centrados alrededor del 28 de Junio y 20 de Septiembre y un mínimo a principios de Agosto. Durante el primer máximo, los ciclones se generan bastante al sur.

* México, D. F., México.

SOME CHARACTERISTICS OF THE RAINFALL OVER THE SLOPES OF THE SIERRA MADRE ORIENTAL IN MEXICO

E. PÉREZ SILICEO *

In connection with experiments on rain stimulation that have been made in the Necaxa River watershed, State of Puebla, Mexico, the characteristics of rainfall in that area that might be taken as representative of the Sierra Madre Oriental slopes in Mexico, at least south of the Tropic of Cancer, were investigated.

As indicated in Fig. 1, the rainy season begins in June with the onset of the trade wind circulation, which in May is highly irregular, and produces a small number of isolated showers. In November the storms are in close connection with the polar outbreaks known as "Northers" in Texas and the Gulf of Mexico. Therefore, the rainy season extends from June to October, and during that period over that precipitation area amounts to 78% of the total annual rainfall.

Curves in Fig. 1 indicate the mean of the daily rainfall, from 1921 to 1958; the upper curve corresponds to the lower terrane of the watershed at an altitude of 1,500 meters above sea level, and the lower curve to the upper terrane at an altitude of 2,300 meters above sea level. There is a continuous record from eight raingage stations in the area of Necaxa.

Although the two curves close by resemble each other, it is easy to observe that the topographical effect shows a higher efficiency in the lower zone (upper curve). However, the importance of a rainfall study in this zone comes from the possible dependance of the precipitation mechanisms to the state of the sea in the Guf of Mexico or the Caribbean sea. Since during the rainy season there are no outbreaks of polar air, only the effect of topography as a fixed factor for the production of rain remains.

In both curves one can clearly observe the two maxima corresponding to the two passages of the sun (with the corresponding delay) that appear centered about June 28th and September 20th, and one minimum at the beginning of August. During the first maximum, tropical cyclones are gen-

* México, D. F., México.

como ondas del este y afectan primordialmente la costa del Pacífico. La lluvia del segundo máximo proviene de ciclones que entran o se forman en el Golfo de México y también como ondas del este. El mínimo de Agosto está asociado a la formación de depresiones barométricas débiles en la parte norte del Golfo de México, que producen un flujo boreal sobre la parte oriental de México, escaso de humedad.

Con objeto de darse cuenta de si alguno de los numerosos máximos y mínimos que aparecen en las curvas tiene significación estadística, se ordenaron al azar los datos diarios con que están formadas las curvas reales. De la comparación con la resultante de la ordenación al azar (Fig. 2). Comparando ambas curvas puede verse que no hay fechas significativas, pues la amplitud e intensidad de las oscilaciones son muy parecidas.

Más interesante resulta una división en años lluviosos, secos y ciclónicos (Fig. 3). Ordenando las lluvias totales de la estación se dividieron en tres grupos, eliminando las que tuvieren valores de precipitación cercana a la normal. Por otra parte, se tomaron como años ciclónicos cuando abundaron precipitaciones de más de 50 mm por día.

En esta Fig. 2 puede apreciarse que los años lluviosos presentan esta característica desde el principio de la estación en contraste con los secos y ciclónicos, que dan en Junio y Julio precipitaciones escasas.

Sin embargo, estos años que principian secos pueden tener abundante precipitación en el segundo máximo si la actividad ciclónica es intensa. La diferencia entre un año que va a continuar seco y otro ciclónico principia a notarse en la última decena de Julio, ya que en los lluviosos aparece un máximo que no se registra en los secos. Este máximo es el inicio de la temporada ciclónica, que se ve interrumpida en Necaxa por las formaciones depresionarias en la parte norte del Golfo de México, pero se reanuda al final de Agosto. Entonces pueden llegar nuevamente los alisios a las costas mexicanas y las condiciones son buenas para el desarrollo de ciclones. Si el máximo de final de Julio no se presenta, el año probablemente continuará seco.

Al estudiarse la precipitación sobre Necaxa por meses, llamó la atención en las curvas de Junio y Julio la constancia con que se presentaban, desde 1909 hasta 1948, años marcadamente secos cada 6 ó 7 años. En la gráfica (Fig. 4) aparecen las curvas de Junio y Junio más Julio.

Aun cuando los ciclos en Meteorología son muy poco confiables porque cambian de período y desaparecen del todo, la persistencia de la característica anterior nos llevó a analizar armónicamente la curva por series de Fourier, que aparecen en la parte inferior de la figura. De las 9 curvas cíclicas que la componen, nótase que sólo destacan algunas que tienen un período de 6.3 años y 38 años, teniendo las demás una amplitud que sugiere que provienen del azar. Pero, la de curva 6.3 años tiene una amplitud casi tan grande como las oscilaciones de la curva original. Aun cuando este ciclo ha servido para estimar los dos mínimos siguientes fuera de la curva con que fueron calculados los ciclos, es imposible decir si se repetirán en el futuro.

erated at a lower latitude as easterly waves that affect mainly the Pacific coast. Rainfall of the second maximum comes from cyclones born in, or entering, the Gulf of Mexico, and also as easterly waves. The minimum of August is associated with the development of weak barometric disturbances in the northern Gulf of Mexico, that produce a northerly flow over the slopes and eastern coasts of Mexico, with low humidity.

In order to know whether any of the numberless maxima and minima that appear in the curves have any statistical significance, the daily data with which the real curves were drawn, were scattered at random (Fig. 2). Comparison between both curves shows that there are no significant dates considering that the amplitude and wave length of the oscillations are about the same.

The resulting division into rainy, dry, and cyclonic years is more interesting (Fig. 3). The total rains for the season were classified into three groups, eliminating those whose rainfall values were more or less close to the normal. On the other hand, years in which there were many downpours of 50 mm or more per day, were taken as cyclonic years.

This characteristic begins early in the season in rainy years, as shown in Fig. 2, in sharp contrast with dry and cyclonic years with only small amounts in June and July.

However, years beginning as dry seem to produce a great amount of rainfall in the second maximum, when there is a high cyclonic activity. The difference between a year with cyclonic activity and a dry one can be appreciated in the last third of July when appears a maximum in the cyclonic years, not observed in the dry years. This maximum shows the beginning of the cyclonic season, which in Necaxa data appears to be interrupted or discontinued by the development of "lows" in the northern Gulf of Mexico until the last days of August. Once the trade winds blow again undisturbed over the Mexican coast, conditions are good for the development of cyclonic disturbances again. When the maximum of the last days of July does not appear, the year probably will remain dry.

It is very remarkable in the monthly study of rainfall over Necaxa to see the steadiness of appearance in the curves of June and July from 1909 to 1948, of an extremely dry year every 6 or 7 years. In Figure 4 curves of June and of June plus July are shown accumulated.

Although cycles in Meteorology are not very trustworthy because they often change their period or abruptly disappear, the persistence of the last characteristic made us try a harmonic analysis by Fourier series that appears at the bottom of the same figure. These series are composed of nine cyclical curves of which only those of 6.3 years and 38 year periods are very remarkable; the remainder have a small amplitude suggesting to have originated at random. The 6.3 years curve has an amplitude as large as the oscillation of the original curve. Although this cycle has been used to estimate the time of arrival of the following minima out of the curve with which cycles were computed, it is impossible to say whether they will return in the future.

22 m

20

18

16

14

12

10

8

6

4

2

0

921
A
TO
958

ZONA BAJA - LOWER ZONE

ZONA ALTA - UPPER ZONE

JUNIO - JUNE

JULIO - JULY

AGOSTO - AUGUST

SEPTIEMBRE - SEPTEMBER

OCTUBRE - OCTOBER

31

20

10

31

20

10

31

20

10

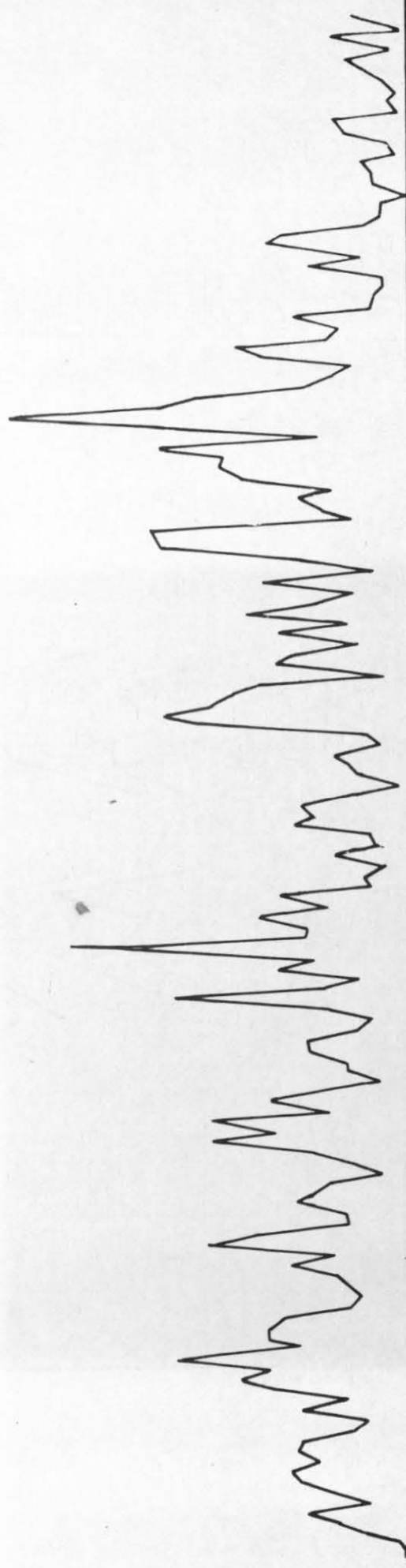
31

Fig. 1

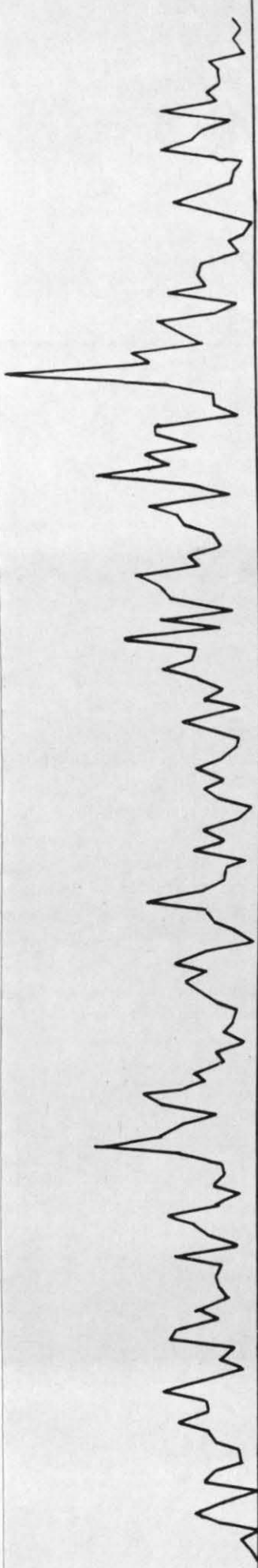


DATOS DE LA ZONA BAJA, ACUMULADOS AL AZAR
RANDOM ACCUMULATION OF LOWER ZONE DATA

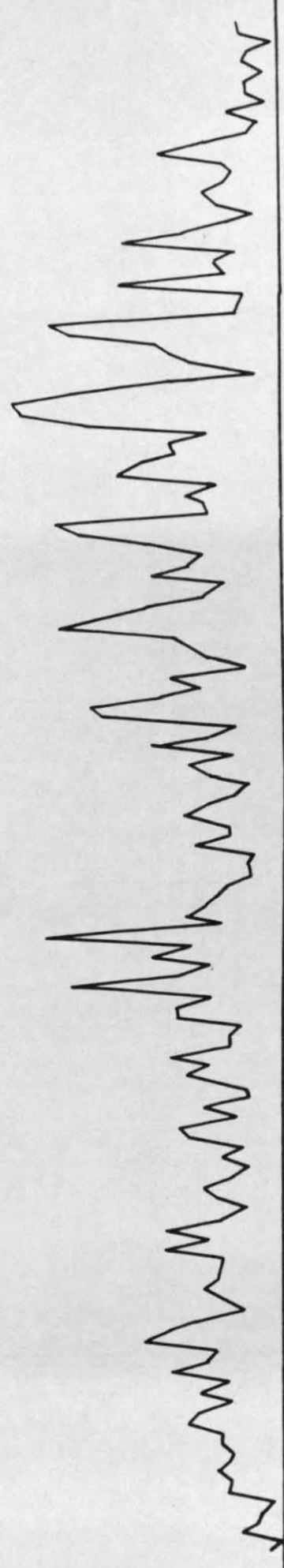
Fig. 2



AÑOS LUVIOSOS: 1925, 1931, 1936, 1942, 1944.
RAINY YEARS:



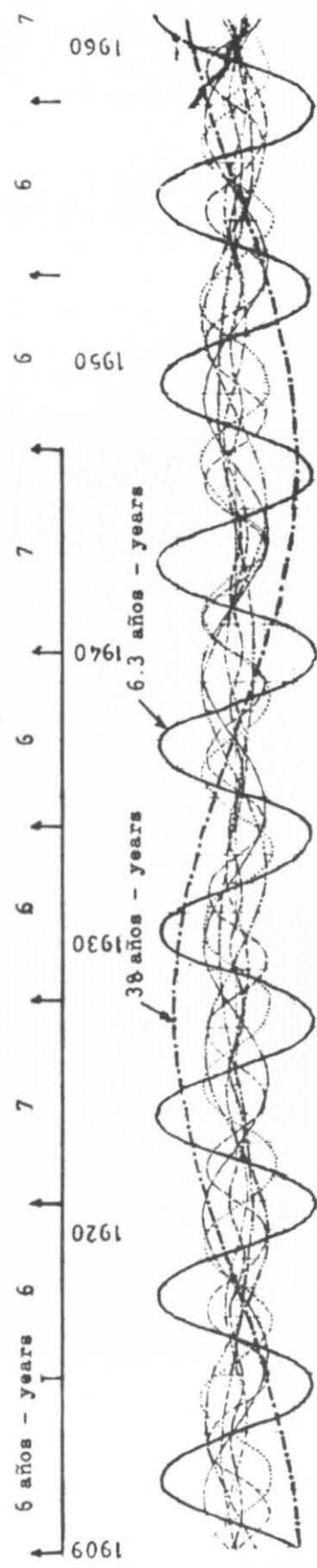
AÑOS SECOS: 1922, 1928, 1934, 1940, 1943, 1947, 1949.
DRY YEARS:



AÑOS CICLONICOS: 1921, 1931, 1935, 1939, 1942, 1944, 1945.
CYCLONIC YEARS:

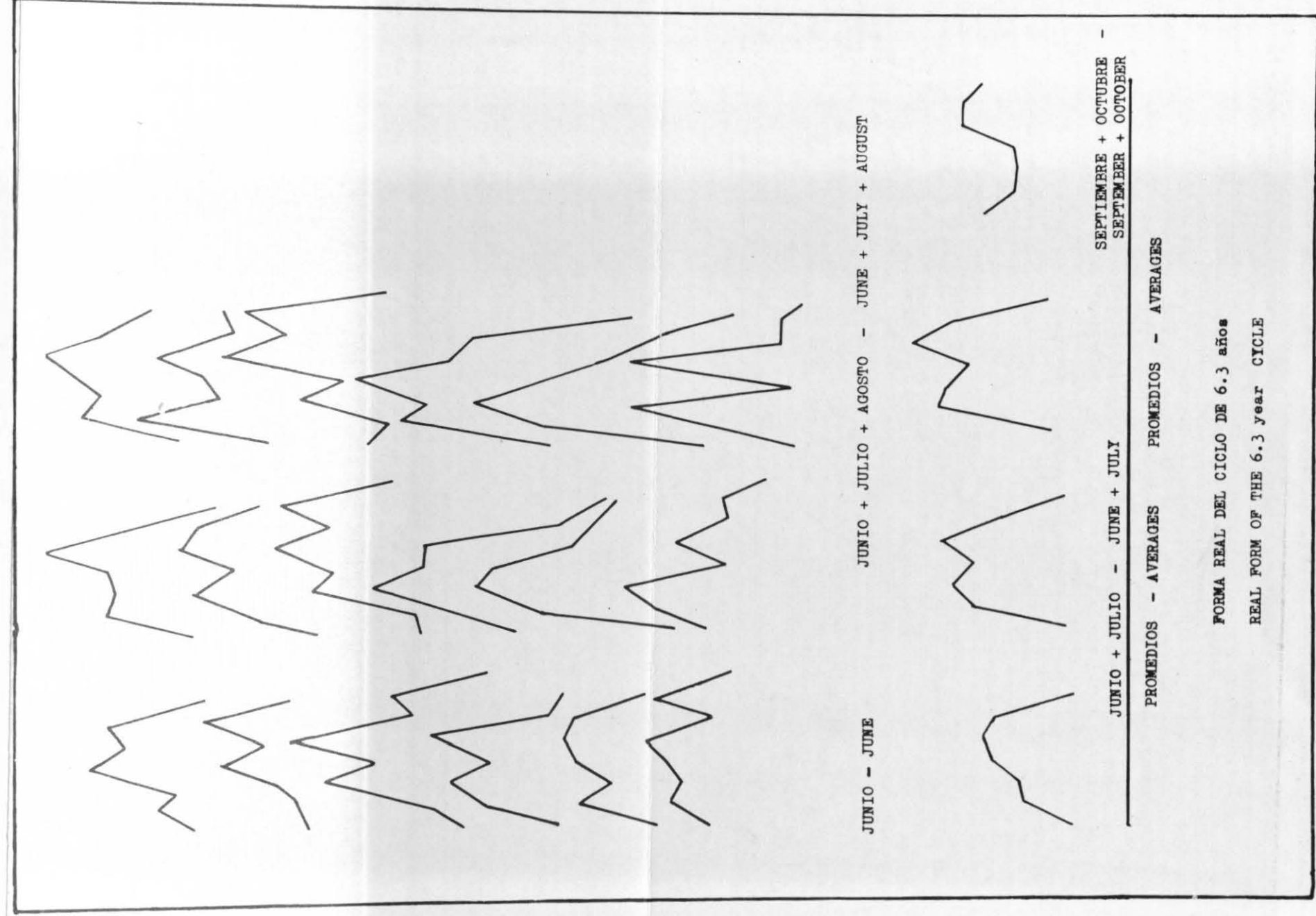
Fig. 3

LLUVIA EN LA CUENCA DE NECAJA - RAIN IN THE NECAJA BASIN



SERIES DE FOURIER EN LA CURVA - FOURIER SERIES IN CURVE (1)

Fig. 4



FORMA REAL DEL CICLO DE 6.3 años
REAL FORM OF THE 6.3 year CYCLE

Fig. 5

Respecto al ciclo de 38 años, parece ser idéntico al observado por Brückner en otras partes del mundo. La suma de estas dos curvas produce la punteada que aparece en la figura, junto con la original.

Acumulando los datos reales de los ciclos de 6.3 años observados de 1909 a 1948 al comenzar el "origen" de cada ciclo aparecen los valores para el primer, segundo y tercer año, etc. Las curvas de promedios que representan la forma real del ciclo (Fig. 5), pueden verse muy claramente en Junio y Julio y desaparecen en Septiembre y Octubre. Durante los años de operaciones de siembras sólo los mínimos se ven claros correspondiendo poco el resto de los años con el ciclo.

Ya que esta sesión se dedica en gran parte a información sobre estudios de modificación artificial del tiempo, cabe hacer mención del Programa de Estimulación de Lluvia en la cuenca del Río Necaxa, cuya duración de trece años proporciona datos de valor estadístico.

- 1—La abundancia de días lluviosos en el área permitió una evaluación estadística al azar, rígidamente llevada a cabo día por día en los últimos ocho años y casi al azar en los primeros cinco; el calendario de siembras fue dado a conocer desde el mes de Mayo y comunicado y no se modificó después.
- 2—Se encontró una Zona de Control a 100 Km al este-sureste de la cuenca, con una correlación en la precipitación anual de .97 tomando quince años históricos para el trazo del diagrama de dispersión y para cálculo de la línea de regresión.
- 3—El análisis de masa de lluvias de varias categorías muestra que durante los días sin siembras, la relación de la lluvia entre la zona de control y la de Necaxa no ha cambiado respecto de la que muestran los años históricos y por lo tanto, que el incremento observado en la lluvia de Necaxa se debe exclusivamente a los días de siembra.
- 4—El efecto de las siembras era perceptible en precipitaciones hasta de 20 mm/día en esta área, en tanto que en categorías mayores de lluvias no se observó ningún efecto y aún hubo valores negativos.
- 5—Este aparente efecto negativo pudo deberse a que durante los aguaceros intensos la circulación está perturbada por ondas del este o por ciclones formales, siendo posible que inadvertidamente se afecte con las siembras de cristales de yoduro arrastrados por el viento.
- 6—Midiendo la lluvia total que cae en Necaxa por cada 100 mm reunidos en la zona de control en lluvias hasta de 20 mm/día independientemente del número de días en que se reúnan esos 100 mm, se obtienen "eventos" que normalizan las curvas; estos datos expresados en histogramas muestran la diferencia entre las correspondientes a días de siembra y otras a días sin siembra al compararlas.

With respect to the cycle of 38 years, it seems to be identical to the one observed by Brückner throughout the world. The sum of both curves produces the dotted one that appears in the figure near the original curve.

If real data from the cycles of 6.3 years are accumulated, as observed between 1909 and 1948 and starting from the "origin" of each cycle, values for the first, second, third year, etc., appear. The mean curves that depict the real form of the cycle are shown very clearly in June and July and disappear in September and October in Fig. 5. During the years of cloud seeding operations only the minima clearly not corresponding to the rest of the years of the cycle can be seen.

Since this session is mostly devoted to studies or research on weather modification, it seems pertinent to report on the Program for Rain Stimulation over the Necaxa River watershed carried out during the last thirteen years, including some data of statistical value.

- 1—The abundance of rainy days in the area has allowed a statistical evaluation at random, on a per day basis, strictly in the last eight years but not so in the first five years; the seeding calendar was fixed and communicated since the month of May and has not been modified afterwards.
- 2—A Control Zone 100 kilometers to the east-southeast of the watershed was found, with a correlation of .97 in the yearly rainfall; fifteen historical years were used to plot the scattered diagram and for computation of the regression line.
- 3—The mass analysis was used for rains of several categories taken from the control zone rains. This analysis shows that during the unseeding days ration of rain in target area with respect to control zone has not changed historical years, and therefore, that increases observed in rainfall in Necaxa belong entirely to the seeding days.
- 4—The effect of seeding was large in rains up to 20 mm/day in that area, whereas in the heavy rain categories no effect was noted, but on the contrary, there were some negative values.
- 5—This apparently negative effect seems to be due to the fact that during heavy showers, trades are likely to be perturbed by easterly waves or by real tropical cyclones, making possible to the control zone to be come infected by silver iodide crystals carried by the winds.
- 6—If the total rainfall in Necaxa measured for every 100 mm of rainfall in the control zone, for rains up to 20 mm/day without taking into account the number of days in which 100 mm were collected, there would be "events" that can normalize the curves; if these data are drawn into histograms they will show the difference between those belonging to the unseeding days and others pertaining to seeding ones by comparison.

La Tabla I muestra el número de días con precipitación que se consideraron en la valoración.

Table I shows the number of days with precipitation which were considered in the evaluation.

TABLA I

TABLE I

Categorías de Lluvias en la Zona de Control Rainfall Categories in the Control Zone	Período histórico Historical period	Años de Operación Operation Years			
		Días sembrados Seeding Days		Días no sembrados Unseeding Days	
0.0 - 4.9 mm/día	1213	568		502	
5.0 - 9.9 "	350	193		143	
10.0 - 19.9 "	391 1954	192	953	133	778
20.0 - 29.9 "	158	74		48	
30.0 - 49.9 "	119 277	39	113	30	78
50.0 or more "	64 64	35	35	32	32
	2295	1101		888	
	2295	1989			

7—La abundancia de datos permitió hacer un análisis por tablas de contingencia y dió un sorprendente resultado: solamente 4 ó 5 días de cada año de siembras son grandemente efectivos. Se adelanta la hipótesis de que en estos días la presencia de una fuerte inversión térmica bloquea el desarrollo de nubes convectivas sobre la zona de control y pudiendo solamente realizarse las precipitaciones si los cristales de yoduro de plata modifican la cristalización de las gotas de nube con esa inversión a niveles en que los procesos naturales no lo hicieron sobre la zona de control por aquella inversión.

8—Un intento para apreciar el efecto de las siembras fuera de la cuenca, por la simple comparación de los promedios de lluvia durante los días con y sin siembras, dió por resultado cartas de anomalías en que se aprecian notables máximos viento arriba de las zonas de siembras. Este sistema aún requiere siete años de siembras al azar para retener significancia estadística.

El programa de experimentación en Necaxa necesita una investigación física para dar contestación a las interrogaciones que han surgido del análisis estadístico.

El aumento de entre 10 y 15% anual en las lluvias de la estación con probabilidad estadística de menos de 1 por 100 es más que suficiente para justificar desde el punto de vista económico la continuación de las siembras que han dado tan buenos resultados.

7—The abundance of data allows an analysis by contingency tables which gave the surprising following results: only in 4 or 5 days of each year the seeding results are highly effective. We can advance the explanation that during these days a strong temperature inversion aloft was present blockading the development of convective clouds over the control zone, and that precipitation could only be released at the target where the crystals of silver iodide modified the cloud droplets at levels in which natural processes were unable to do so over the control zone because of this inversion.

8—A comparison of the mean rainfall during the seeding and unseeding days, in an effort to appreciate the effect of seeding outside of the target resulted in some remarkable maxima, as shown by an anomaly chart, downwind from the Necaxa River watershed. This evaluation needs yet seven more years of seeding at random to be of statistical significance.

The program of experimentation in Necaxa needs a physical research to answer questions that have arisen from than the statistical analysis.

The increase of between 10 and 15% yearly in the season rainfall with statistical probability of less than 1 in 100 suffices to justify, from an economical viewpoint, the continuation of seeding experiments that have given such good results.