

# Distribución Estacional e Interanual de la Lluvia en El Salvador

Luis A. García\*  
Walter Fernández\*

## Abstract

An analysis of the seasonal and interannual rainfall distributions in El Salvador is made.

The seasonal distributions show that the rainy season occurs from May to October and the dry season from November to April, with transition periods between them. In the rainy season the distribution is bimodal, with the primary maximum occurring in most of the cases in September and the secondary maximum in June.

In the rainy season, June and August show a marked decrease in rainfall, clearly observed in the coastal and eastern zone of the country, but not in some stations of the northern zone or on the southern mountain range.

Large rainfall values are observed in the northern-western zone, near the border with Honduras. They may also occur around the southern mountain range. February shows the lowest rainfall values. In July and August, there is a significant rainfall decrease in the eastern zone, with a variation up to 100 mm.

From the interannual distributions, it is found that in many of the stations the decrease in rainfall occurs in some ENSO events, particularly in the strong and very strong ones. In other events, there is not a significant decrease in rainfall.

The trends of many series show a decrease in rainfall through the years. On the contrary, in the station Colón Casa Blanca there is a positive rainfall trend.

## Resumen

Se presenta un análisis de la distribución estacional e interanual de la precipitación en El Salvador.

\* Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria, Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Las distribuciones estacionales muestran el periodo de la estación lluviosa de mayo a octubre y la estación seca de noviembre a abril, mostrando entre ellas periodos de transición. En la estación lluviosa la distribución es bimodal, encontrando en la mayoría de los casos el máximo primario en el mes de septiembre y el máximo secundario en el mes de junio.

En la estación lluviosa, los meses de julio y agosto muestran una disminución importante en la lluvia, mostrándose con claridad en la zona costera y oriental del país, no así en algunas estaciones de la zona norte o sobre la cordillera sur.

La zona norte occidental cerca de la frontera con Honduras presenta valores de lluvia grandes, que también se pueden dar alrededor de la cordillera sur. El mes de febrero muestra los valores menores de lluvia. En los meses de julio y agosto, la disminución de la lluvia es importante en la zona oriental, encontrándose una variación de hasta 100 mm.

De las distribuciones interanuales, se encuentra en muchas de las estaciones que la disminución de la lluvia de algunos años se da en algunos eventos ENOS, en especial los fuertes y los muy fuertes. En otros eventos no hay una disminución de la lluvia apreciable.

La tendencia de muchas series, muestra que hay una disminución de la lluvia en el transcurso de los años. Por el contrario, en la estación Colón Casa Blanca la tendencia de la lluvia es positiva.

## Introducción

El estudio del comportamiento de la precipitación en América Central ha sido objeto de estudio desde hace mucho tiempo, pero no todos los países han tenido los recursos suficientes para hacerlo. El Salvador es un ejemplo de esa necesidad, aunque varios estudios de la precipitación se han concentrado en áreas de alguna importancia hídrica, en especial para la generación de energía eléctrica como lo es la cuenca del Río Grande de San Miguel.

Un aporte importante a la investigación meteorológica en El Salvador lo realizó Guzmán (1971), al estudiar los diferentes tipos de situaciones climáticas en el país y mencionar varios ejemplos de situaciones sinópticas que afectan el comportamiento y distribución de la lluvia en El Salvador. También, Guzmán (1990) estudió la canícula (o sea, la disminución de la lluvia en los meses de julio y agosto) en diferentes regiones del país, así como la relación de esos periodos de disminución de la lluvia con la producción agrícola, en especial con la producción de maíz, frijol, arroz y algodón.

Gran parte de América Central está fuertemente influenciada por factores marítimos y la orografía. La orientación noroeste-sureste de América Central tiene un profundo efecto sobre la circulación de bajo nivel, especialmente hacia el sur y el oeste del área. Además, la rugosa cadena montañosa es un modificador del viento alisio de niveles bajos.

De todos los países de América Central, El Salvador es el único que no tiene costas en el mar Caribe. Existen dos cadenas montañosas que cruzan el país de este a oeste. A la cadena al norte se le conoce como Sierra Madre Centroamericana, en ella se encuentran las zonas más altas, el Cerro El Pital a una altitud de 2,730 m y el Cerro Montecristo a una altitud de 2,418 m. La otra cadena montañosa al sur se le llama Cadena Costera, y en ella se encuentran los ocho principales volcanes del país.

Lo que favorece o no la lluvia en El Salvador es la acción de sistemas tropicales y subtropicales. Entre esos sistemas los más importantes son las perturbaciones en los estes y la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

Existen trabajos de investigación que se enfocan sobre algunas áreas específicas, como los realizados por Landaverde y Morena (1989) en la cuenca del Río Grande de San Miguel, o los de Martínez (1992) y Rivas Pacheco (1995). Otros estudios sobre la lluvia son de carácter más general (PHCA, 1976).

Las condiciones que trae el fenómeno ENOS, son altas temperaturas de la superficie del mar, vientos alisios débiles en el Pacífico y diferencias pequeñas en la presión superficial a lo largo del Pacífico tropical. Los estudios de Aceituno (1988) y Roger (1988) indican que durante los eventos ENOS, en el periodo de julio a diciembre, la precipitación decrece significativamente sobre América Central y la parte norte de Sudamérica, y en el periodo de abril a junio, no existe una tendencia consistente de un decrecimiento de la lluvia (Fernández y Ramírez, 1991).

El objetivo general de este trabajo es estudiar las distribuciones estacional e interanual de la lluvia en El Salvador.

## Datos utilizados

Se puede utilizar la división política que comúnmente es conocida en el país para este estudio. Los 14 departamentos que componen la división política se dividen en tres zonas: Occidental, Central y Oriental. La zona Occidental agrupa a los departamentos de Ahuachapán, Santa Ana y Sonsonate. En la zona Central se agrupan La Libertad, San Salvador, Chalatenango, Cuscatlan, Cabañas, La Paz y San Vicente. La zona oriental se compone de Usulután, San Miguel, Morazán y la Unión.

La información disponible de lluvia comprende 49 estaciones con datos mensuales. Las estaciones utilizadas se distribuyen geográficamente en todo el país como se ve en la Figura 1. Se trató de que quedaran distribuidas ocupando todas las zonas, desde la costa a las partes más altas y en valles interiores y faldas. Esta distribución incluye las tres zonas en que se divide al país como se explicó anteriormente.

El Cuadro 1 muestra la lista de estaciones utilizadas, así como el código de identificación, su localización, elevación y el periodo de registro.

**Cuadro 1**  
**Red de estaciones pluviométricas, El Salvador,**  
**Ubicación Geográfica**

<i>Cód.</i>	<i>Estación</i>	<i>Lat. N.</i>	<i>Lat. O.</i>	<i>Elev.</i>	<i>Periodo (años)</i>
U1	San Marcos Lempa	13° 25.5'	88° 41.8'	20	1928-1989(62)
U4	Usulután Fica	13° 20.4'	88° 26.3'	75	1928-1989(66)
U6	Santiago de María	13° 29.1'	88° 28.3'	920	1958-1994(37)
U14	Puerto Parada	13° 15.2'	88° 26.6'	2	1963-1989(27)
M2	San Miguel Fenadesal	13° 28.5'	88° 10.3'	105	1927-1983(57)
M4	Lolotique	13° 33.4'	88° 21.2'	675	1955-1982(28)
M5	Cuidad Barrios	13° 45.9'	88° 16.3'	860	1956-1984(29)
M6	El Papalón	13° 26.4'	88° 07.6'	80	1962-1994(33)
Z2	San Fco. Gotera	13° 41.8'	88° 05.4'	250	1956-1994(39)
Z4	La Galera	14° 02.6'	88° 05.2'	1900	1962-1983(22)
N1	Oloмега Fica	13° 18.7'	88° 01.7'	70	1927-1987(61)
N2	Cutuco Fica	13° 20.1'	87° 49.6'	5	1927-1993(67)
C1	San Rafael Cedros	13° 45'	88° 53'	680	1932-1980(49)
C2	Cojutepeque	13° 45'	88° 56'	810	1927-1991(65)
P2	Zacatecoluca	13° 31'	88° 52'	190	1927-1985(59)
P14	Aeropuerto Internacional	13° 26.4'	89° 03.3'	25	1980-1990(11)
G2	Chalatenango	14° 03'	88° 56'	290	1956-1979(24)
G3	Nueva Concepción	14° 07.5'	89° 17.4'	320	1957-1994(38)
G4	La Palma	14° 17.5'	89° 09.7'	1000	1957-1994(38)
B1	Chorrera del Guayabo	13° 59.8'	88° 45.4'	190	1953-1991(39)
B3	Villa Dolores	13° 46.8'	88° 34.2'	110	1957-1979(23)
V2	San Vicente Fica	13° 38.9'	88° 47.8'	440	1927-1986(60)
V5	Tehuacán	13° 33.3'	88° 47.1'	360	1932-1978(47)
V6	Santa Cruz Porrillo	13° 26.4'	88° 48.2'	30	1949-1994(46)
T2	Acajutla Fes	13° 36'	89° 50'	6	1914-1974(61)
T3	Izalco	13° 45.7'	89° 42.3'	390	1954-1983(30)
T6	Acajutla Puerto Nuevo	13° 34.4'	89° 50'	15	1959-1994(36)
T7	Cucumacayan	13° 45.4'	89° 42.9'	380	1955-1993(39)
T11	Los Lagartos	13° 45'	89° 33'	560	1957-1983(27)
L3	Sitio del Niño	13° 48'	89° 22'	450	1937-1977(41)
L7	Colón Casa Blanca	13° 43'	89° 21'	650	1950-1992(43)
L9	Comasagua	13° 38'	89° 22'	1010	1950-1991(42)
L31	Bfcio. Holanda	13° 41'	89° 18'	930	1942-1983(42)
L32	Fca. Aruba	13° 42.4'	89° 26'	600	1948-1981(34)
S2	Ing. La Cabaña	14° 01'	89° 11'	270	1938-1980(43)
S17	San Salvador(FES)	13° 42.2'	89° 10.9'	635	1912-1975(64)
S4	San Salvador ITIC	13° 43.3'	89° 2.4'	710	1952-1980(29)
S10	Aeropuerto Ilopango	13° 41.9'	89° 07.1'	615	1954-1993(40)
A1	San Jeronimo	14° 21'	89° 35'	490	1931-1985(55)
A6	Santa Ana Santa Lucía	14° 00'	89° 34'	640	1927-1985(59)
A8	Coatepeque El Congo	13° 55'	89° 30'	840	1914-1974(61)

**Cuadro 1 (continuación)**

<i>Cód.</i>	<i>Estación</i>	<i>Lai. N.</i>	<i>Lat. O.</i>	<i>Elev.</i>	<i>Periodo (años)</i>
A12	Santa Ana El Palmar	13° 58.6'	89° 34.2'	725	1958-1993(36)
A15	Guija	14° 13.7'	89° 28.7'	485	1960-1994(35)
A3	Metapan	14° 19.7'	89° 27.2'	480	1931-1989(59)
A26	Finca Plan del hoyo *	13° 52.6'	89° 38.8'	1750	1957-1992(36)
A31	Planes de Montecristo *	14° 23.9'	89° 21.6'	1851	1971-1992(22)
H2	Atiquizaya	13° 58'	89° 45'	630	1928-1980(53)
H3	Apaneca	13° 51.7'	89° 48.4'	1470	1955-1981(27)
H14	La Hachadura	13° 51.6'	90° 05.4'	30	1970-1992(23)

LAT: latitud

N: norte

O: oeste

ELEV: elevación

Es importante destacar que las series no están completas. Las estaciones varían en el número de años que han permanecido funcionando y no todas las estaciones inician su funcionamiento el mismo año.

La serie menos extensa es la estación Aeropuerto Internacional de Comalapa (P14), que tiene una extensión de 11 años; ésta y otras series cortas son usadas para aumentar la densidad y distribución de estaciones para construir los mapas de isoyetas. De todas las estaciones con datos mensuales, 37 estaciones (74%) tienen series de 30 años o más, y hay varias con más de 50 años. La estación Cutuco Fica tiene un registro de 67 años que comprende del año 1927 al año 1993; la mayoría de las series inician después del año 1925.

A cada estación se le hizo un control de calidad. Primeramente se hizo un análisis visual encontrándose algunas irregularidades como que se repetían promedios en dos o tres meses consecutivos del mismo año o se repetía algún dato el mismo mes de dos años seguidos. En ambos casos se procedió a eliminar el segundo dato que se repite y se procedió a rellenar con el promedio mensual.

Seguidamente se verificó la homogeneidad y consistencia de las series anuales, es decir, detectar errores sistemáticos y cambio de los datos vírgenes con el tiempo. La no homogeneidad puede deberse a: movimientos de las estaciones en una distancia horizontal, movimiento en una distancia vertical y cambios en el medio ambiente.

Se utilizó el método de doble masa o doble acumulación para la detección de posibles inconsistencias en las series.

Utilizando un programa computacional de doble masa desarrollado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Rivas Pacheco (1995) hizo un control de calidad de los registros anuales de las estaciones Usulután, Olomega y San Miguel-Fenadesal en la zona oriental de El Salvador y encontró que las series son consistentes.

tes para un nivel de confianza del 95 por ciento. También Martínez (1992) estudió la homogeneidad de las series: San Francisco Gotera, San Miguel, Lolotique, Ciudad Barrios, El Papalón, El Sitio, Nueva Granada, Usulután y Olomega, ubicadas también en la zona oriental del país.

Para el caso del presente trabajo se hace el mismo análisis y se utiliza el mismo programa. Se encuentra que en los diferentes grupos de estaciones donde se verificó su consistencia, presentan saltos en algunos casos que no son significativos. Esos resultados se dan para estaciones de la zona occidental: Acajutla puerto nuevo, Izalco, Cucumacayan; en esa zona, al norte: Santa Ana Santa Lucía, Finca Plan del Hoyo, Santa Ana El Palmar y en la zona central: Beneficio Holanda, San Salvador ITIC, Colón Casa Blanca e Ilopango.

Si algún año originalmente tenía "un sólo" mes de dato faltante se procedió a rellenarlo con el promedio mensual.

Al revisar la cantidad de datos que faltan en cada mes para cada estación, se nota que el porcentaje total de datos faltantes varía. Los grupos se formaron por la cercanía de las estaciones.

Se encontró que el mayor porcentaje total de datos faltantes es de 8% en la estación M4. En algunas estaciones las series están completas. Para los datos de cada mes, el faltante de datos mayor (14%) se da en el mes de junio, también en la estación M4. En la estación M5, en el mes de septiembre hay un faltante de 14% y en los meses de noviembre y diciembre hay un faltante de 10%.

La mayoría de las estaciones tienen un total de datos faltantes menor del 8%.

## **Distribución estacional y espacial de la lluvia**

### *Distribución estacional*

Las Figuras 2 a 7 muestran las distribuciones estacionales de la lluvia para las diferentes estaciones.

Se observa en dichas figuras que el comportamiento promedio mensual de la precipitación en las estaciones estudiadas es similar durante el año, ya que se define claramente una época lluviosa y otra seca. La cantidad de precipitación varía entre ellas.

De las 47 estaciones que se presentan, se nota que la época lluviosa se extiende de mayo a octubre y la época seca de noviembre a abril. La diferencia entre ellas se da en los meses de julio y agosto donde la lluvia disminuye asociado a la "canícula" o "veranillo". Esta disminución se aprecia mejor, por ejemplo, en las estaciones que se encuentran en la costa o cerca de ella, como en las Figuras 2 y 7. También es clara la "canícula" en las estaciones ubicadas en la zona oriental del país, como se ve en la mayoría de las estaciones de la Figura 6 sin importar la altitud a la que se encuentren.

Las Figuras 2 a la 7 muestran que en el lado sur de la cordillera costera y en la misma zona de la costa el máximo de precipitación primario se observa en el mes de septiembre y el máximo secundario aparece en el mes de junio, por ejemplo, en las estaciones de las Figuras 2, 6 y 7, presentando entonces una distribución bimodal. En la zona norte en la parte interior del país hay mayor variación. Las estaciones al occidente y al norte de la cordillera, como A12, A8 y A15 en la Figura 3, presentan el máximo primario en el mes de junio y el máximo secundario en septiembre, invirtiéndose entonces la temporalidad de los máximos. Más al norte de la zona occidental, en las estaciones A1 y A31 de la Figura 3, no es obvio encontrar el mes del primer máximo.

En la Figura 4, la variación de la precipitación en la zona central del país es apreciable. En algunas estaciones el primer máximo se observa en el mes de septiembre, como en las estaciones V2 y L31; en otras parece que el máximo primario se registra en el mes de junio (estación C1). En la mayoría de las estaciones de esa figura, la disminución de la lluvia en los dos meses de canícula no se observa.

Igual que en las estaciones A1 y A31, también al norte de la zona central como se muestra en la Figura 5, el primer máximo de lluvia se observa en junio, y la "canícula" ocurre en julio o en agosto (estaciones B1; S2, G3, G4). En las estaciones G2 (zona interior del país), L9 y L32 (sobre la cordillera sur), el máximo se registra en el mes de septiembre.

En la zona oriental del país, como se ve en la Figura 6 y Figura 7 donde la cordillera es de menor elevación, el primer máximo de lluvia aparece en el mes de septiembre y el segundo máximo en el mes de junio. En esta zona no importa la altitud de las estaciones o la distancia de la costa, el comportamiento es muy parecido. Es claro en toda esa zona que la disminución de la lluvia se da en los meses de julio y agosto. El mes con menor registro de lluvia es febrero.

En las estaciones que se encuentran sobre la cordillera volcánica (orientada de este a oeste) o al norte de esa cordillera (zona interior del país) la disminución de la lluvia en los meses de julio y agosto es muy variable. En algunas estaciones no es clara esa disminución como se ve en las estaciones L7 y L31 (Figura 4) o en la estación L32 (Figura 5). Por otra parte, en algunas estaciones ubicadas al norte de esa cordillera, en el mes de julio la precipitación tiende a aumentar comparado con el mes de junio.

Las estaciones que se encuentran en la parte central del país muestran ese comportamiento: C2, S10, S17 y L3 (Figura 4). En estas estaciones no parece clara la existencia de la "canícula" o esa disminución de las lluvias se puede decir que se desplaza para el mes de agosto, como se nota en las estaciones S17, L3 y 17.

Más hacia el norte del país se observa que esas estaciones presentan nuevamente la distribución de las estaciones cerca de la costa, o sea que la "canícula" se da en julio y agosto, observándose esa distribución bimodal. Esto se puede ver en las

estaciones A1 y A31 (Figura 3) de la zona occidental o en las estaciones B1 y G4 (Figura 5) de la zona central y también en las estaciones M5 y Z4 (Figura 6) de la zona oriental.

Guzmán (1990) al estudiar la canícula en El Salvador encuentra que se inicia con mayor frecuencia en la primera década de julio y en la primera década de agosto, afectando en especial la zona oriental del país. Esos periodos secos pueden durar 10 días cada año y pueden durar más de 15 días cada 3 a 4 años.

En un trabajo sobre la precipitación en El Salvador, utilizando algunas estaciones al oriente del país, Rivas Pacheco (1995) encontró que el máximo de precipitación primario ocurre en septiembre y el máximo secundario en junio, en acuerdo con lo encontrado en esa zona.

Importante es conocer que los disturbios de tipo temporal originados en el Pacífico vecino trae excesiva precipitación a la zona costera (Reyes, 1970). Los máximos de lluvia de junio y de septiembre se asocian a la mayor frecuencia de temporales que se presentan en esos dos meses. También esos temporales pueden aparecer en octubre, y esas lluvias persistentes pueden durar de 3 a 6 días, produciéndose en una franja de 50 km de ancho sobre la región costera del país (Gierloff-Emden, 1976).

Al graficar los datos mensuales para cada año de registro de algunas estaciones, se encuentra que hay una variación grande en la distribución de la lluvia al transcurrir los años de la serie. En especial la gran variación se da en los meses de julio y agosto, indicando que el valor promedio no es buen indicador para hacer una conclusión definitiva. Esto hace evidente que el estudio particular de algún fenómeno como la canícula debe hacerse con datos decadales o diarios.

En el Cuadro 2 se muestra una lista con los años de eventos ENOS elaborada por Quinn *et al.* (1987), clasificados como débiles, moderados y fuertes.

Los datos mensuales para la estación Acajutla FES fueron graficados para años ENOS y no ENOS según la clasificación de Quinn *et al.* (1987), aunque no se muestran aquí. No se nota un comportamiento muy diferente, aunque en los años sin ENOS los valores de lluvia en el mes de septiembre son mayores que en los años ENOS fuertes y muy fuertes. Además se observa que en los años de eventos muy fuertes, en los meses de julio y agosto la lluvia no disminuye, en algunos casos se mantiene igual que en el mes de junio o hasta puede aumentar.

En otro trabajo, Rosa (1994) encontró una tendencia negativa en los valores anuales de la precipitación y anomalías negativas de los valores mensuales de la precipitación en años de eventos ENOS en tres estaciones del país, que se localizaban dos de ellas en la zona occidental y la otra en la zona oriental. Esas series tenían registros mayores de 30 años.



**Cuadro 2**  
**Eventos de El Niño según Quinn (1987)**

<i>Año del evento</i>	<i>Categoría</i>	<i>Año del evento</i>	<i>Categoría</i>
1907	m	1940-1941	f
1911-1912	f	1943	m
1914	m	1951	m
1917	f	1953	m
1918-1919	d/m	1957-1958	f
1923	m	1965	m
1925-1926	mf	1972-1973	f
1930-1931	m	1976	m
1932	f	1982-1983	mf
1939	d/m	1987	m

Clasificación de intensidad :

- mf: muy fuerte
- f: fuerte
- m: moderado
- d/m: de débil a moderado

También en El Salvador, Chacón (1992) utilizó 3 estaciones con datos diarios en la cuenca del Río Grande de San Miguel, localizada en la zona oriental del país, encontrando que para los periodos con ENOS disminuye el número de días con lluvia y aumenta el periodo de días secos, especialmente durante los meses de julio, agosto y octubre.

Guzmán (1990) encontró que en los años con eventos ENOS hay un déficit de precipitación que se agudiza en julio, agosto o ambos; además, que los efectos se manifiestan más en la Zona Oriental y son amortiguados en el occidente y centro de El Salvador. También, encontró que no hay una coincidencia entre el año seco y el año mencionado como Niño, haciendo uso de la clasificación de Rasmusen y la de Zuta. Como consecuencia de este déficit, hay daños en los cultivos y en la producción por atrasos del inicio de las lluvias, repentinas finalizaciones de ésta y periodos secos prolongados. Así los rendimientos pueden bajar hasta un tercio de lo que se alcanza bajo condiciones normales.

Soriano (1995) encontró en 7 estaciones que las anomalías de la lluvia son negativas en la mayoría de los eventos ENOS.

### *Distribución espacial*

Los datos mensuales promedio de cada estación se pueden utilizar para construir para cada mes los mapas de isoyetas. Ha sido comprobado en Costa Rica por Alfaro (1981) y en El Salvador por Jusem (1976), que la distribución de la media mensual

de la precipitación se ajusta a la distribución Gamma incompleta. Entonces también pueden utilizarse los valores de esa distribución como un predictor. Cortés (1995) utilizó el dato de probabilidad P75 para construir los mapas de isoyetas en Nicaragua. También se pueden construir programas computacionales que, dependiendo de la orografía del país, pueden ser utilizados para hacer los mapas de isoyetas. Báez y Fernández (1994) utilizaron un programa que interpolaba linealmente para construir los mapas de isoyetas, aunque en su caso la orografía no era un factor de gran relevancia.

Importante es hacer notar que en el presente trabajo se trató de utilizar la mayor cantidad de estaciones que fuera representativa de las regiones del país, pero aunque las series tengan registros largos como es lo ideal, se sacrifica el no tener el mismo periodo de registro de todas las series utilizadas.

Las Figuras 8 a 20 presentan los mapas de isoyetas hechos a mano para los 12 meses y los valores anuales. Para su construcción se utilizaron la mayor cantidad de estaciones disponibles sin que estuvieran demasiado cerca. De la lista de estaciones del Cuadro 1, no se utilizan las estaciones T2, T3 y S17.

En los mapas de isoyetas se puede apreciar que para los meses de la estación seca (noviembre a abril), la zona oriental y costera y al norte en la zona occidental presentan los valores mínimos de lluvia.

En el mes de febrero (Figura 9), se presentan los valores menores de lluvia, y toda el área donde se ubica la costa presenta el valor menor (1 mm).

En el mes de abril (Figura 11), los valores de lluvia máxima se concentran en la zona norte y occidental del país, con valores sobre 60 mm. Guevara (1985) señala que es en esa zona donde se inicia la estación lluviosa desplazándose de oeste a este.

En el mes de mayo (Figura 12) se aprecia que los valores más altos de lluvia se dan en la zona oriental.

Alrededor de los volcanes de Santa Ana e Izalco, San Vicente y San Miguel, hay una isoyeta que en muchos casos indica uno de los valores más grandes y se nota claramente en los mapas de las Figuras 13 y 16. No obstante, es importante indicar que la distribución de isoyetas alrededor de algunos volcanes es bastante simétrica en estos mapas, lo cual posiblemente sea debido al número de estaciones utilizadas. Según García y Fernández (1996) debe haber un máximo en el lado suroeste de esos volcanes.

Otra zona que presenta en la mayoría de los mapas un valor máximo de lluvia es la ubicada en la zona norte y occidental del país, esto es cerca del Cerro Montecristo.

Es notorio para los meses de julio y agosto (Figuras 14 y 15) cómo disminuye la lluvia con relación al mes de junio (Figura 13), notando en la zona oriental una dis-

de la precipitación se ajusta a la distribución Gamma incompleta. Entonces también pueden utilizarse los valores de esa distribución como un predictor. Cortés (1995) utilizó el dato de probabilidad P75 para construir los mapas de isoyetas en Nicaragua. También se pueden construir programas computacionales que, dependiendo de la orografía del país, pueden ser utilizados para hacer los mapas de isoyetas. Báez y Fernández (1994) utilizaron un programa que interpolaba linealmente para construir los mapas de isoyetas, aunque en su caso la orografía no era un factor de gran relevancia.

Importante es hacer notar que en el presente trabajo se trató de utilizar la mayor cantidad de estaciones que fuera representativa de las regiones del país, pero aunque las series tengan registros largos como es lo ideal, se sacrifica el no tener el mismo periodo de registro de todas las series utilizadas.

Las Figuras 8 a 20 presentan los mapas de isoyetas hechos a mano para los 12 meses y los valores anuales. Para su construcción se utilizaron la mayor cantidad de estaciones disponibles sin que estuvieran demasiado cerca. De la lista de estaciones del Cuadro 1, no se utilizan las estaciones T2, T3 y S17.

En los mapas de isoyetas se puede apreciar que para los meses de la estación seca (noviembre a abril), la zona oriental y costera y al norte en la zona occidental presentan los valores mínimos de lluvia.

En el mes de febrero (Figura 9), se presentan los valores menores de lluvia, y toda el área donde se ubica la costa presenta el valor menor (1 mm).

En el mes de abril (Figura 11), los valores de lluvia máxima se concentran en la zona norte y occidental del país, con valores sobre 60 mm. Guevara (1985) señala que es en esa zona donde se inicia la estación lluviosa desplazándose de oeste a este.

En el mes de mayo (Figura 12) se aprecia que los valores más altos de lluvia se dan en la zona oriental.

Alrededor de los volcanes de Santa Ana e Izalco, San Vicente y San Miguel, hay una isoyeta que en muchos casos indica uno de los valores más grandes y se nota claramente en los mapas de las Figuras 13 y 16. No obstante, es importante indicar que la distribución de isoyetas alrededor de algunos volcanes es bastante simétrica en estos mapas, lo cual posiblemente sea debido al número de estaciones utilizadas. Según García y Fernández (1996) debe haber un máximo en el lado suroeste de esos volcanes.

Otra zona que presenta en la mayoría de los mapas un valor máximo de lluvia es la ubicada en la zona norte y occidental del país, esto es cerca del Cerro Montecristo.

Es notorio para los meses de julio y agosto (Figuras 14 y 15) cómo disminuye la lluvia con relación al mes de junio (Figura 13), notando en la zona oriental una dis-

minución de 100 mm. Se observa que el mes de julio presenta valores más pequeños de precipitación que agosto; en especial en la zona oriental (25 mm de diferencia) y al norte de la zona occidental (50 mm de diferencia). En ambos meses la zona más afectada es la zona oriental, concordando esto con el mapa de canícula mostrado por Guevara (1985).

En el mes de septiembre (Figura 16), se observan valores de lluvia de 400 a 450 mm en muchos lugares del país. Hay que recordar que este es el mes con valores máximos de lluvia en todo el año, según la distribución estacional analizada anteriormente. En el siguiente mapa del mes de octubre se inicia una disminución de las cantidades de lluvia en todo el país, y en este caso los valores mayores de lluvia se observan en toda la zona oriental.

En el mes de noviembre (Figura 18), las lluvias disminuyen en relación con los meses anteriores. Esta disminución continúa hasta llegar a valores mínimos en el mes de febrero (Figura 9).

El mapa de valores anuales mostrado en la Figura 20 indica que la zona norte del país presenta los valores mayores de lluvia (2,200 mm), igual que las zonas ubicadas en la cordillera sur o costera (2,000 mm).

Al comparar el mapa anterior con el mostrado por Gierloff-Emden (1976), donde se representa una distribución regional de la lluvia anual, se nota que no hay similitud del mapa en la parte norte de la zona oriental, pues en el mapa que muestra Gierloff-Emden, los valores de esa zona son mayores de 2,000 mm, alcanzando los 2,400 mm. La misma diferencia se observa al comparar el mapa de isoyetas de valores anuales elaborado por Hastenrath y Lessman, que presenta Guzmán (1971). En este caso los valores en esa zona norte llegan a ser hasta de 2,700 mm. Y al revisar el mapa mostrado por Guevara (1985), se notan las diferencias tanto en la zona norte oriental (valor máximo de 2,700 mm) y la zona norte occidental (valor máximo de 2,800 mm).

En general, el mapa anual mostrado en el presente trabajo concuerda con los otros en los valores máximos que se dan en la cordillera sur, formando isoyetas alrededor de los principales volcanes.

### **Distribución interanual de la lluvia**

En las Figuras 21 a 23 se muestra la distribución anual de la lluvia para algunas estaciones de la zona occidental, zona central y zona oriental del país. Se grafica el total anual sólo de años con los 12 meses completos. Donde no aparece dato alguno es porque en ese año hay faltante de datos.

En cada figura se dibuja con una flecha los eventos ENOS de tipo fuerte y muy fuerte según Quinn *et al.* (1987). En la mayoría de los eventos ENOS la lluvia dis-

minuye, especialmente en los eventos muy fuertes y fuertes, como los de 1972-1973 y 1982-1983. En el periodo 1972-1973, en la mayoría de las estaciones sí disminuye la lluvia en el primer año (1972), pero en el segundo año (1973) la lluvia aumenta considerablemente.

Soriano (1995), encontró al estudiar los datos anuales que, en la mayoría de las 7 estaciones consideradas en su estudio a partir del año 1960 hay una tendencia a disminuir la lluvia, además de que el rango de fluctuación varía entre ellas, pero le es difícil precisar un resultado general si no es conocida la magnitud de la variabilidad natural. Para ver este tipo de situación en forma general, se procedió a estudiar la tendencia de algunas series.

Las Figuras 21 a 23 muestran, sobre los valores anuales, la tendencia lineal de la serie. Es evidente que en la mayoría de ellas la pendiente negativa muestra una tendencia en el transcurso de los años a disminuir la lluvia, en algunos casos esa disminución es pequeña, siendo el rango de disminución más grande de aproximadamente 800 mm para la estación N2 (Figura 23), con una serie de 67 años, localizada en la zona costera oriental. Solamente las estaciones A15, L7, G4 y M6 salen de ese patrón de tendencia negativa.

La estación L7 (Figura 22), es la que muestra una tendencia lineal positiva grande.

Las tendencias de la lluvia a disminuir a lo largo de las series es tema de discusión entre la comunidad científica y podría estar relacionado con la deforestación o con algún cambio climático regional o global.

## Conclusiones

Del análisis se distingue claramente la estación lluviosa entre los meses de mayo a octubre y la estación seca de noviembre a abril.

La disminución de la lluvia conocida como canícula o veranillo claramente aparece en los meses de julio y agosto en las estaciones al sur de la cordillera que cruza de este a oeste al país, en la zona costera y en toda la zona oriental del país.

Al norte de la cordillera sur, la distribución estacional de la lluvia cambia bastante, hay una disminución de la precipitación media que puede darse solamente en el mes de julio o sólo en agosto. Posiblemente en esa parte interior del país, se necesite hacer un análisis más detallado de las variables meteorológicas y encontrar como es la circulación de mesoescala.

En las estaciones al sur de la cordillera que cruza de este a oeste, en la zona costera y en toda la zona oriental del país, el máximo primario de precipitación se observa en el mes de septiembre y el máximo secundario en el mes de junio.

Al norte de la cordillera, en la parte interior del país, en la zona occidental y central, los máximos de lluvia promedio parecen invertirse de mes, respecto a la zona

costera. El máximo primario en algunas estaciones se da en junio y el máximo secundario puede darse en septiembre. En algunas de esas estaciones la disminución de la lluvia en julio y agosto asociada con la canícula no existe o no es evidente con los valores medios.

En los mapas de isoyetas se observa la estación lluviosa de mayo a octubre. El mes con los valores más bajos es febrero y la zona costera es la más afectada.

De los mapas de isoyetas se muestra cómo hay dos zonas con valores bajos de lluvia comparado con todo el país, una de ellas se encuentra en la zona oriental del país y el otro ocurre en la parte norte y occidental, cerca del Lago de Guija.

Los valores bajos de lluvia en julio y agosto en varios lugares parecen estar asociados a los efectos de la canícula, y la zona oriental experimenta en esos meses una disminución de la lluvia relativa a junio de hasta 100 mm.

De la distribución anual se nota que en los eventos ENOS, la lluvia disminuye especialmente en los eventos muy fuertes y los fuertes. Esto se ve con claridad en las estaciones al sur de la montaña, en cambio al norte en algunos eventos moderados la disminución de la lluvia no es tan clara.

Al estudiar la tendencia lineal de los valores anuales de algunas estaciones, se observa que en la mayoría de los casos la lluvia tiende a disminuir, siendo esos rangos diferentes entre las estaciones y en pocos casos la tendencia es a aumentar la lluvia con el transcurrir del tiempo. Se requiere otro tipo de análisis para identificar cual es el cambio natural del clima y poder encontrar que causas se suman para originar esas tendencias tan variadas.

Las diferencias encontradas en el mapa mostrado de isoyetas anual y los de otros autores, indica que debe de emplearse más estaciones en la zona oriental para construir nuevos mapas.

## Agradecimientos

Los autores están agradecidos con el Lic. Eladio Zárate, Lic. Rafael Enrique Chacón y el Lic. Jorge Barrantes por sus valiosos comentarios y sugerencias.

Los datos utilizados fueron proporcionados amablemente por el Servicio de Meteorología e Hidrología de El Salvador.

Uno de los autores (L.A.G.) está profundamente agradecido con el proyecto FINNIDA y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) por la beca recibida y con el Servicio de Meteorología e Hidrología de El Salvador por el apoyo brindado para realizar estudios en la Universidad de Costa Rica.

## Referencias

- Aceituno, P. "On the functioning of the Southern Oscillation in the South America sector. Part I: Surface climate", *Mon. Wea. Rev.*, 116:505-524, 1988.
- Alfaro, R. "Algunos aspectos de la precipitación en Costa Rica", Tesis de Licenciatura (Meteorología), Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1981.
- Báez, J. y Fernández W. "Variabilidad espacial y temporal de la precipitación lluviosa en Paraguay", *Revista Geofísica* 41, 177-204, 1994.
- Chacón, O. "Manifestaciones del fenómeno ENOS en el régimen de la precipitación sobre la cuenca del Río Grande de San Miguel", Trabajo Final (Programa de Formación de Personal Meteorológico clase II), Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1992.
- Cortés, L. A. "Análisis del comportamiento de la precipitación en Nicaragua durante el periodo 1970-1984", Trabajo de Graduación (Especialidad de Posgrado en Meteorología Aplicada), Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1995.
- Fernández, W. y Ramírez P. "El Niño, La oscilación del sur y sus efectos en Costa Rica: Una revisión", *Tecnología en Marcha*, 11(1), 3-10, 1991.
- García, L.A. y Fernández W. "Distribución de la lluvia con la altitud en la región occidental de El Salvador", *Revista Geofísica* 45, 43-56, 1996.
- Gierloff-Emden, H., *La Costa de El Salvador, Monografía Morfológica-Oceanográfica*, Primera Edición, Ministerio de Educación, 37-49, 1976.
- Guevara, J. *El Salvador 'perfil ambiental' estudio de campo*, USAID, San Salvador, El Salvador, 1985.
- Guzmán, G.T. *Meteorología sinóptica y climatología de Centroamérica, especialmente de El Salvador*, publicación técnica no. 10, Servicio de Meteorología e Hidrología, San Salvador, El Salvador, 1971.
- . *Efectos de El Niño en la agricultura de El Salvador*, Servicio de Meteorología e Hidrología, San Salvador, El Salvador, 1990.
- Jusem, J.C. *Estudio estadístico de la precipitación en El Salvador*, Publicación No. 3, Proyecto de Hidrometeorología, Naciones Unidas-OMM, 1976.
- Landaverde, A. y Morena A. *Balance Hídrico superficial de la cuenca hidrográfica del Río Grande de San Miguel*, El Salvador, 1989.
- Martínez, G.J. "Distribución areal y temporal de la precipitación en la cuenca del Río Grande de San Miguel", Trabajo Final (Programa de Formación de Personal Meteorológico clase II), Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1992.
- PHCA. *Estudio de la precipitación en El Salvador*, Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, no. 3, San Salvador, El Salvador, 1976.
- Quinn, W., Neal V. and Antúnez S. "El Niño occurrences over the past four and a half centuries", *J. Geophys. Res.*, 92 (C13), 1987.

- Reyes, L. Seminario Internacional de Meteorología Tropical. Campinas, Brasil, 195-220, 1970.
- Rivas Pacheco, T. "Variabilidad Temporal y espacial de la precipitación y Escorrentía en la cuenca del Río Grande de San Miguel", Trabajo de Graduación (Especialidad de Posgrado en Meteorología Aplicada), Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 1995.
- Roger, J. "Precipitation variability over the Caribbean and tropical Americas associated with the southern Oscillation", *J. Climate*, 1:172-182, 1988.
- Rosa, A. "El Niño y sus efectos sobre la temperatura y la precipitación sobre El Salvador", Trabajo Final (Programa de Formación de Personal Meteorológico Clase II), Universidad de Costa Rica, Escuela de Física, San José, Costa Rica, 1994.
- Soriano, L. "El Niño-Oscilación del Sur y cambio climático en relación con algunas variables meteorológicas en El Salvador", Trabajo de Graduación (Especialidad de Posgrado en Meteorología Aplicada), Universidad de Costa Rica, Escuela de Física, San José, Costa Rica, 1995.



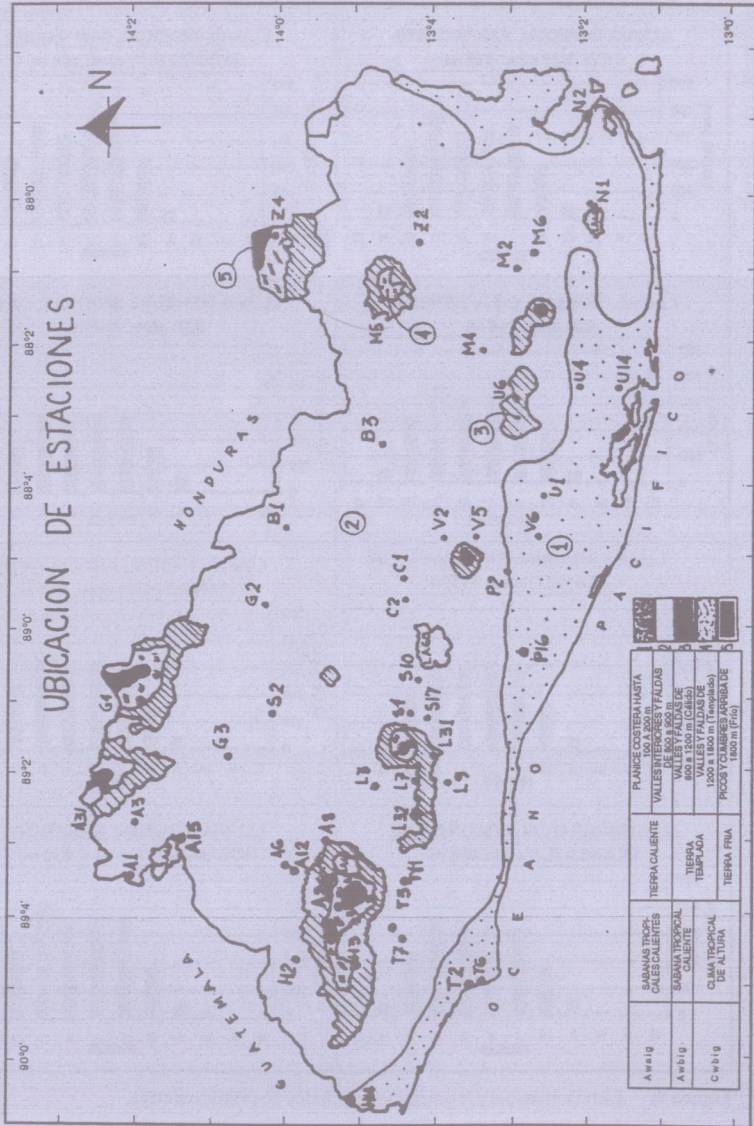


Figura 1. Ubicación de las estaciones.

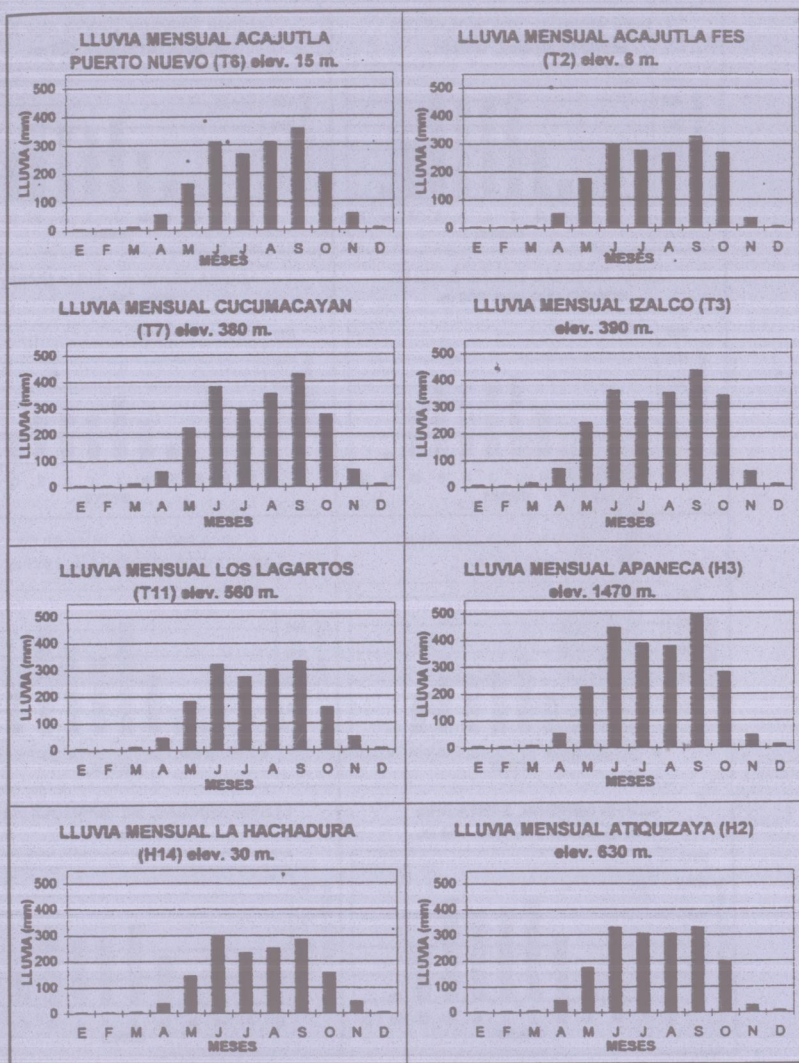


Figura 2. Lluvia mensual para algunas estaciones de la zona occidental.

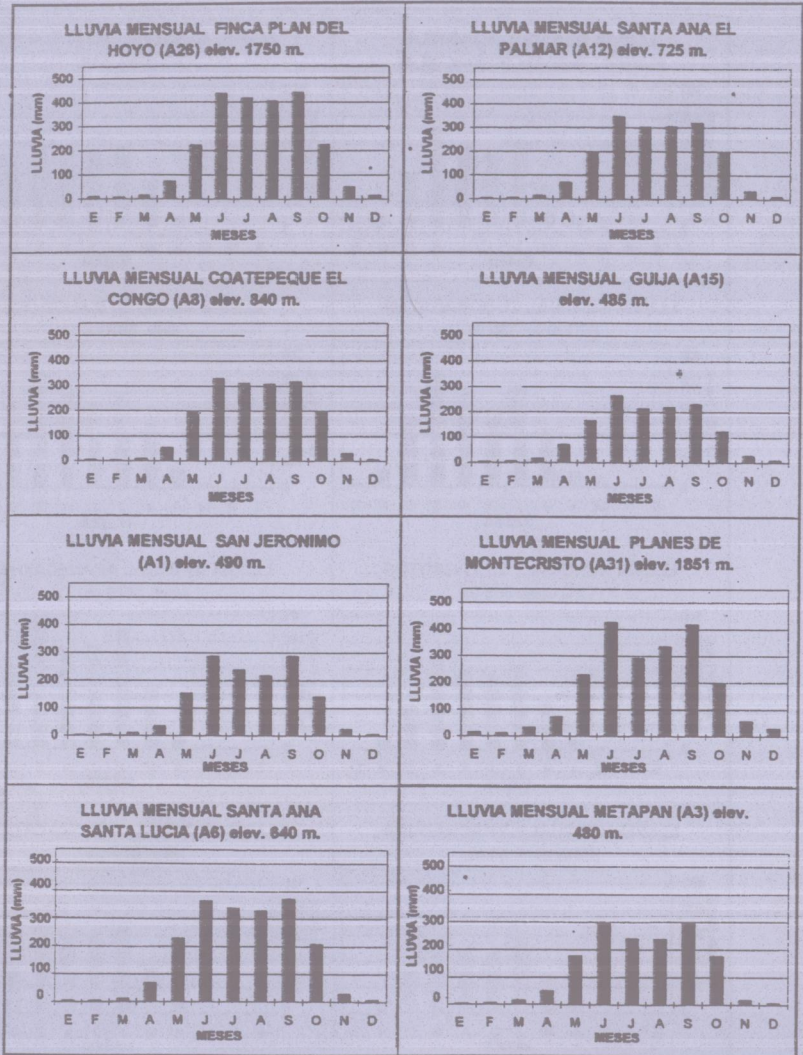


Figura 3. Lluvia mensual para algunas estaciones de la zona occidental.

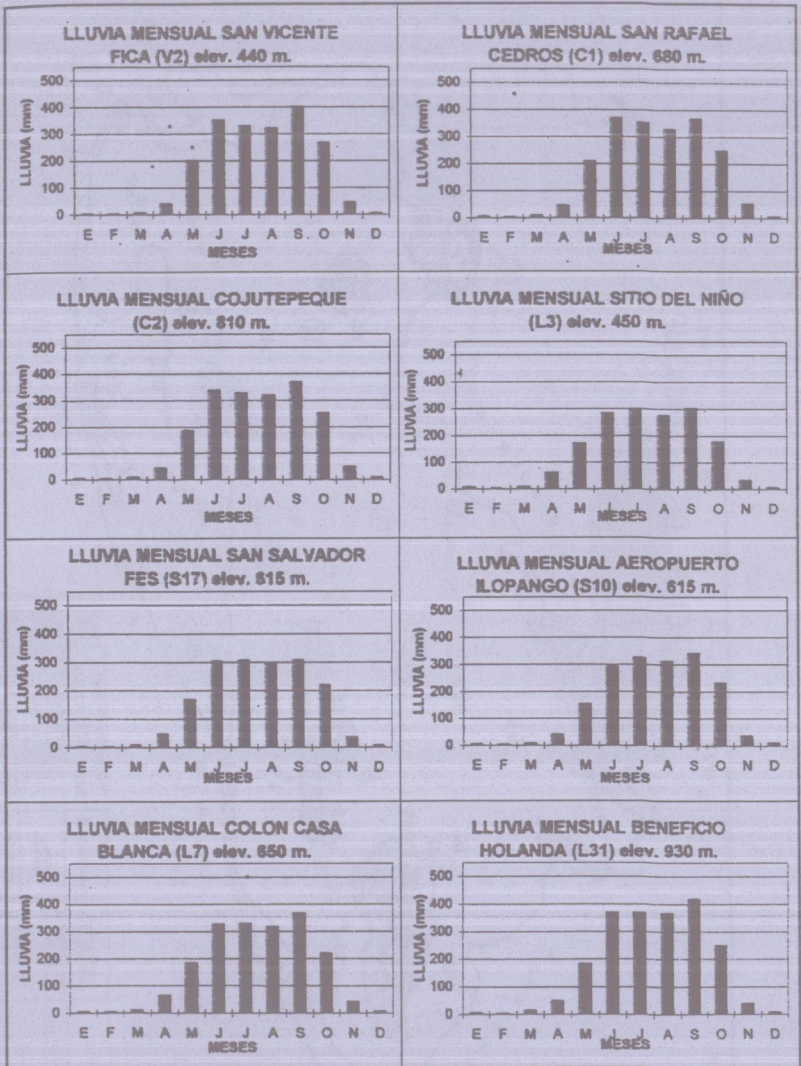


Figura 4. Lluvia mensual para algunas estaciones de la zona central.

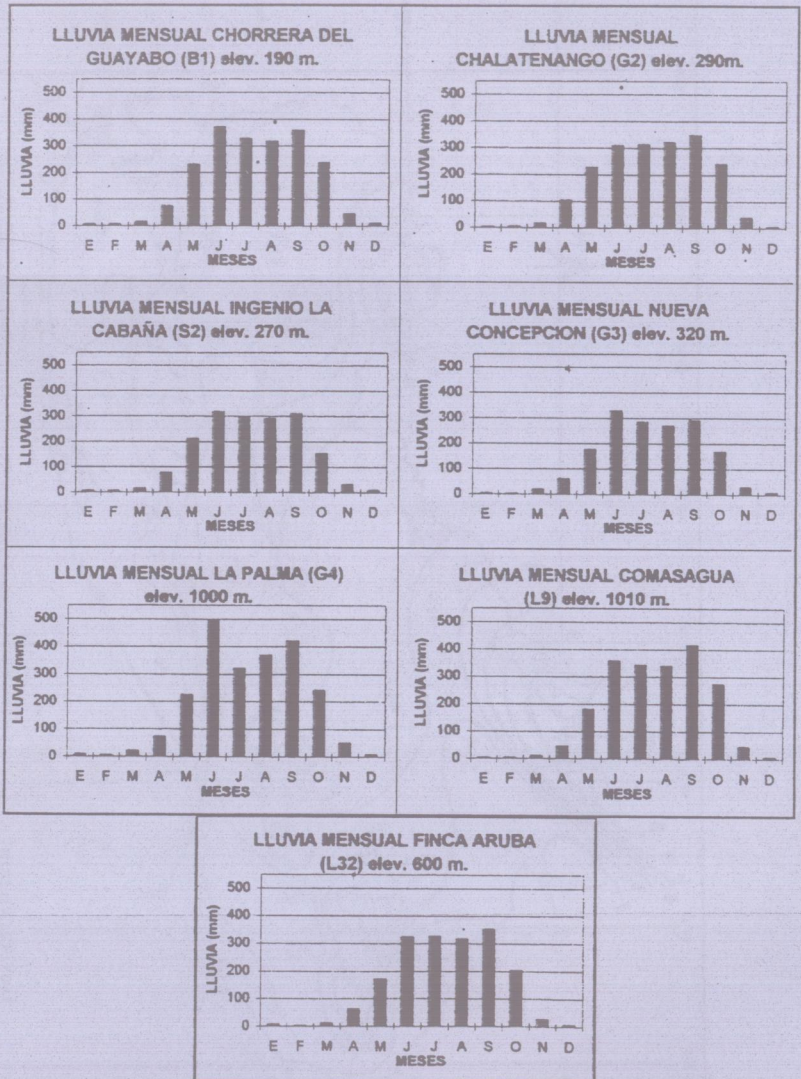


Figura 5. Lluvia mensual para algunas estaciones de la zona central.

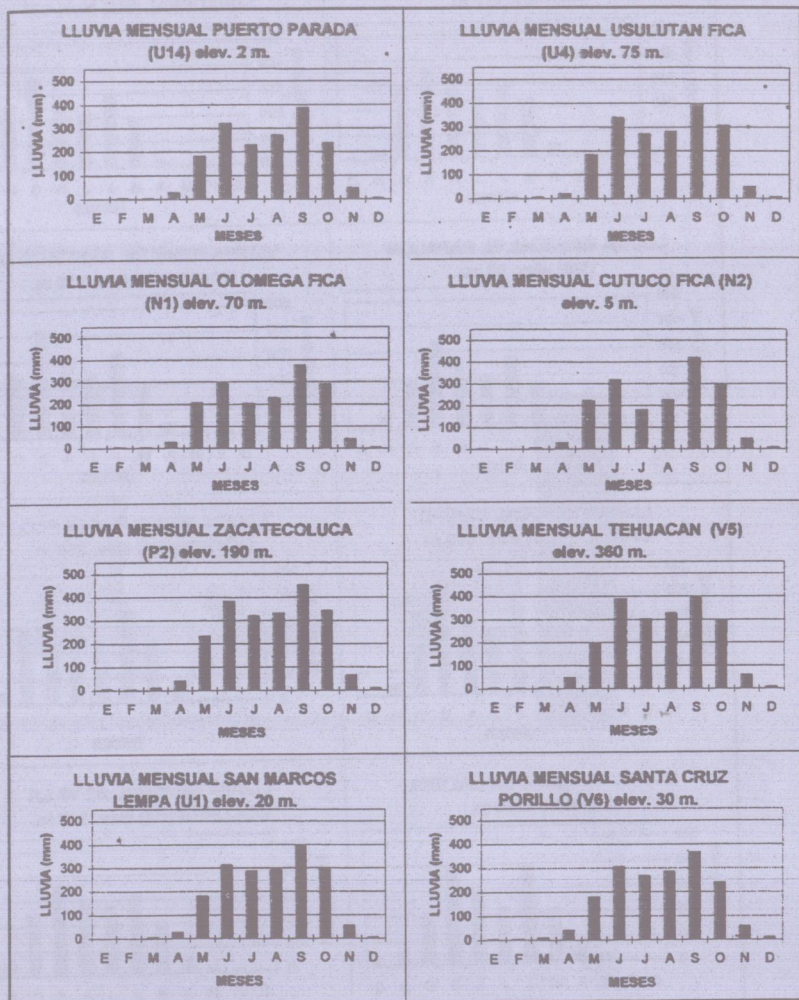


Figura 6. Lluvia mensual para algunas estaciones de la zona oriental.

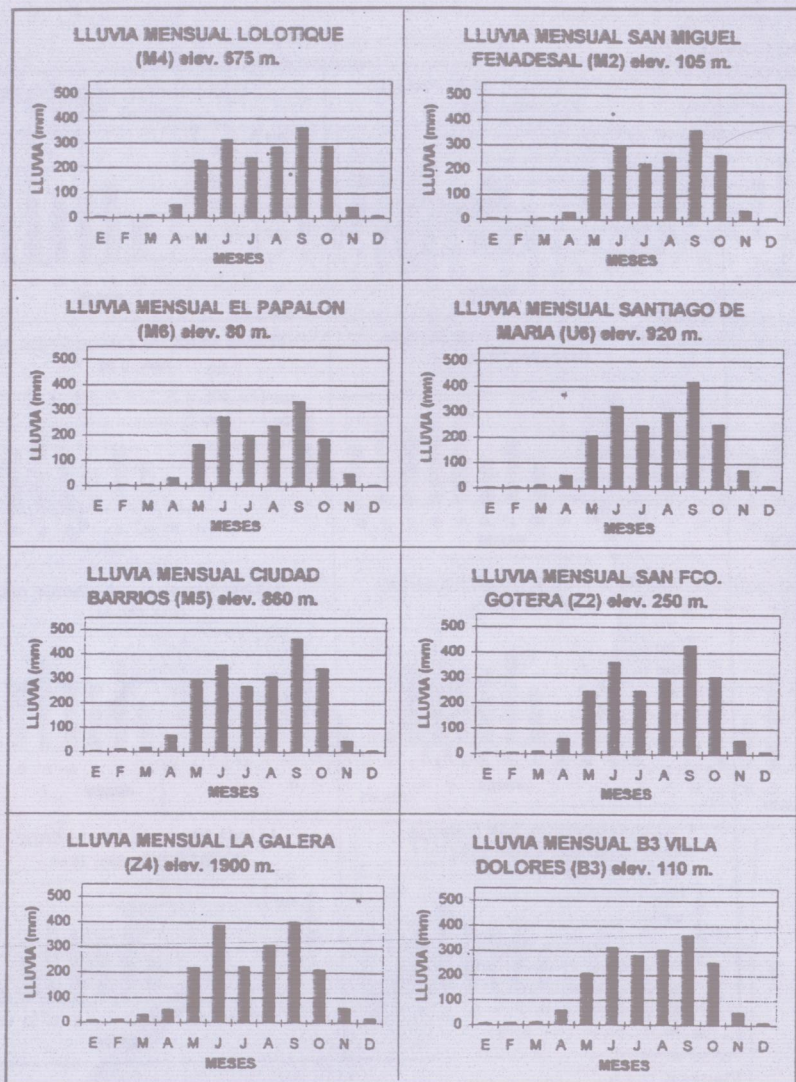


Figura 7. Lluvia mensual para algunas estaciones de la zona oriental.

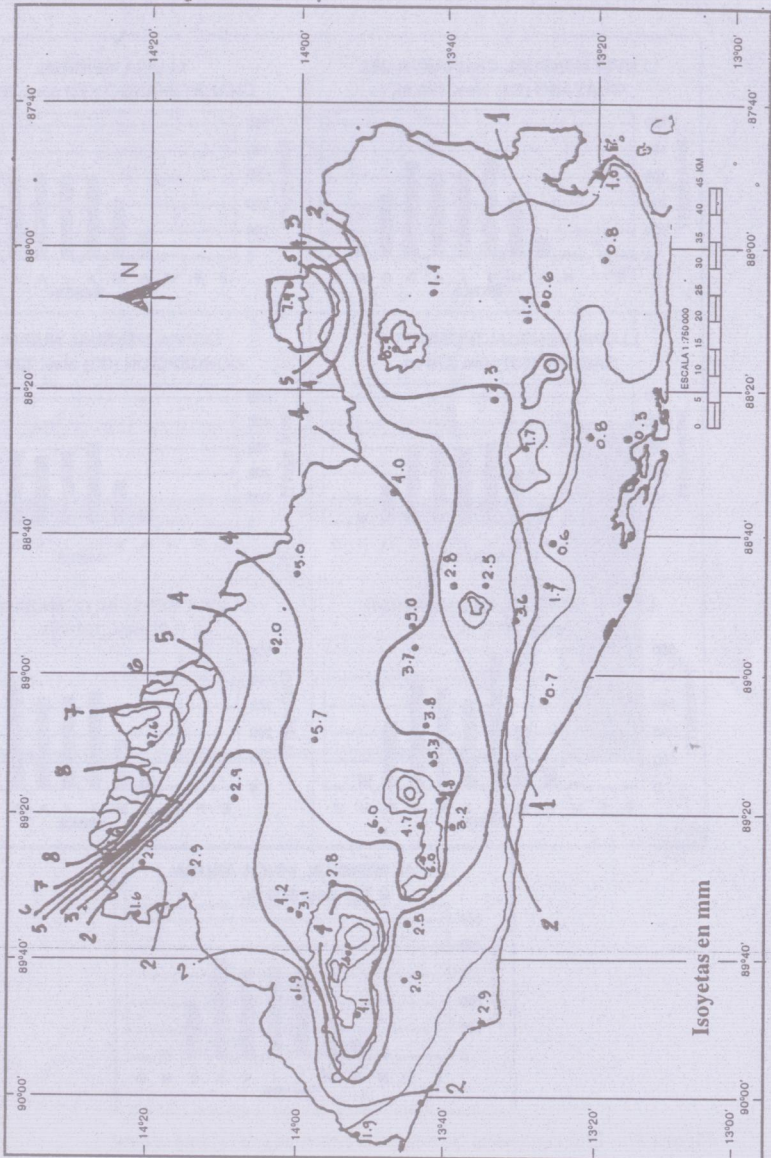


Figura 8. Isoyetas (mm) para el mes de enero.



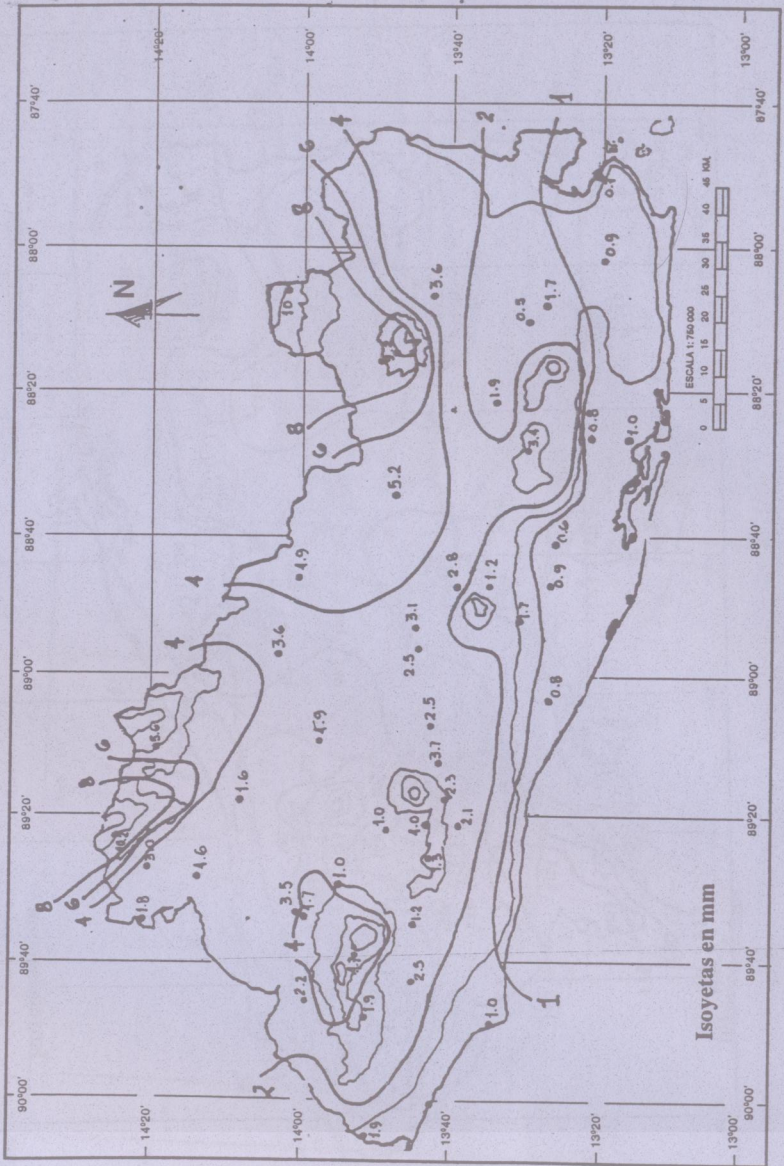


Figura 9. Isoyetas (mm) para el mes de febrero.

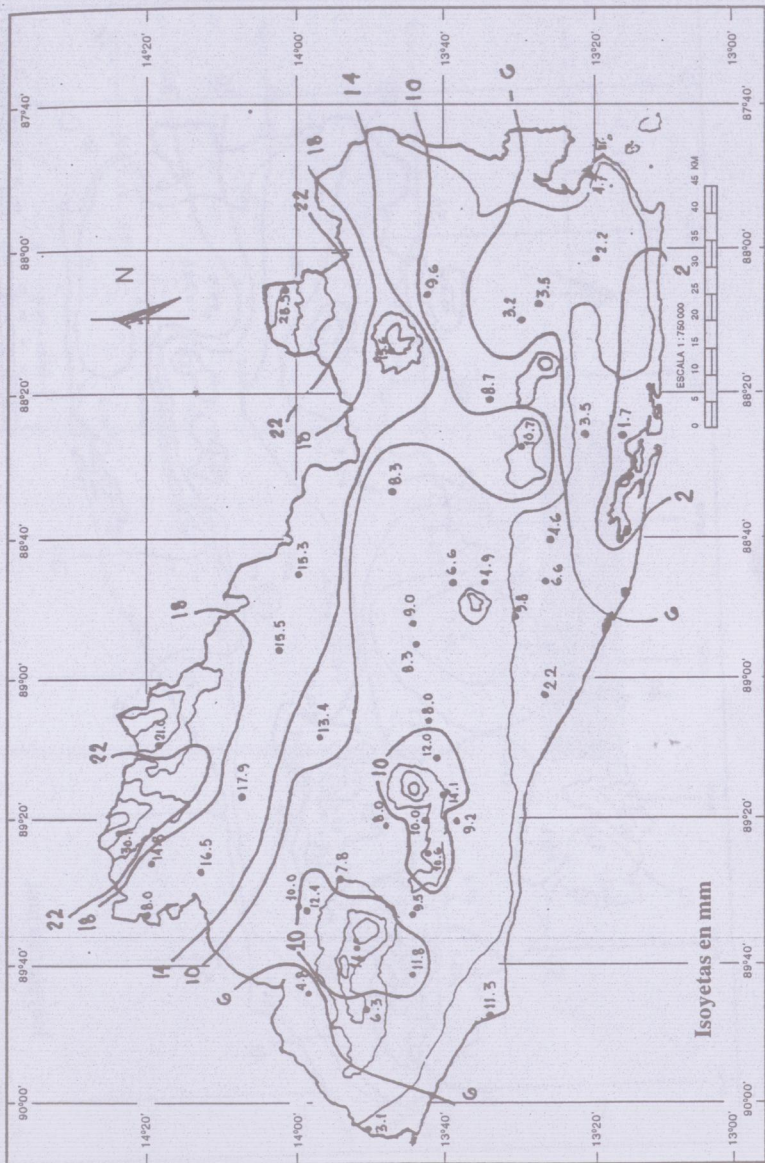


Figura 10. Isoyetas (mm) para el mes de marzo.

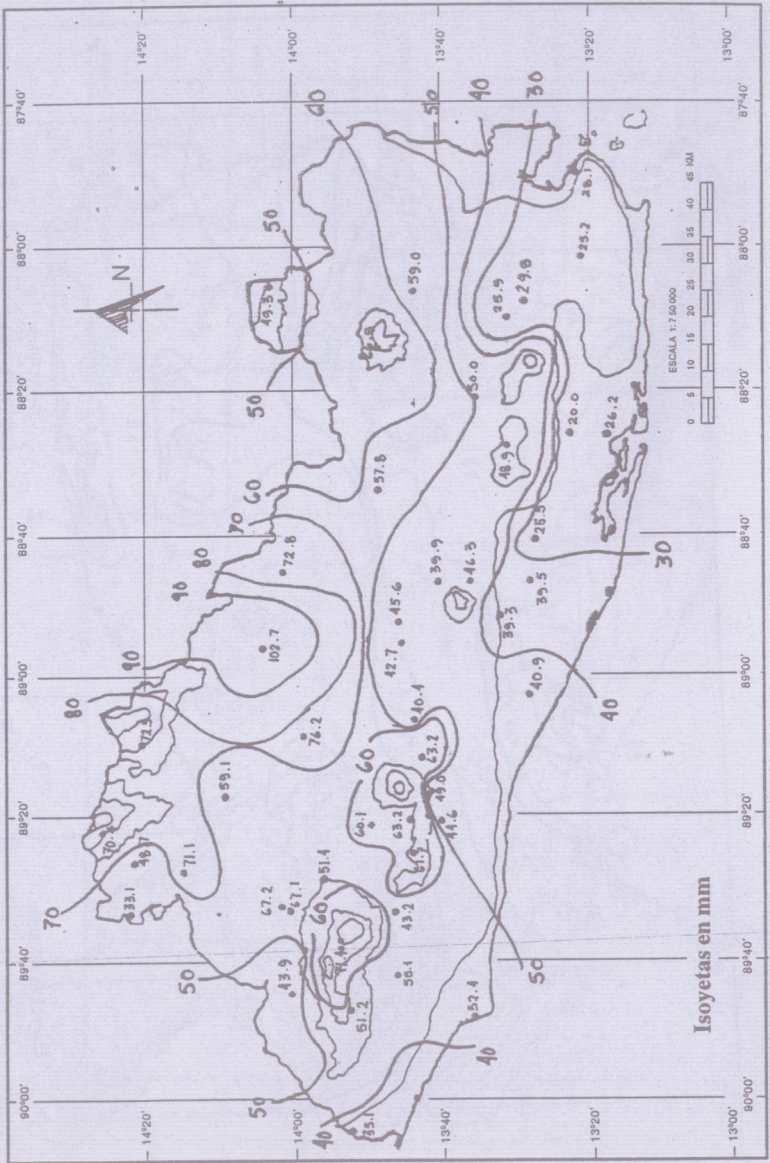


Figura 11. Isoyetas (mm) para el mes de abril.

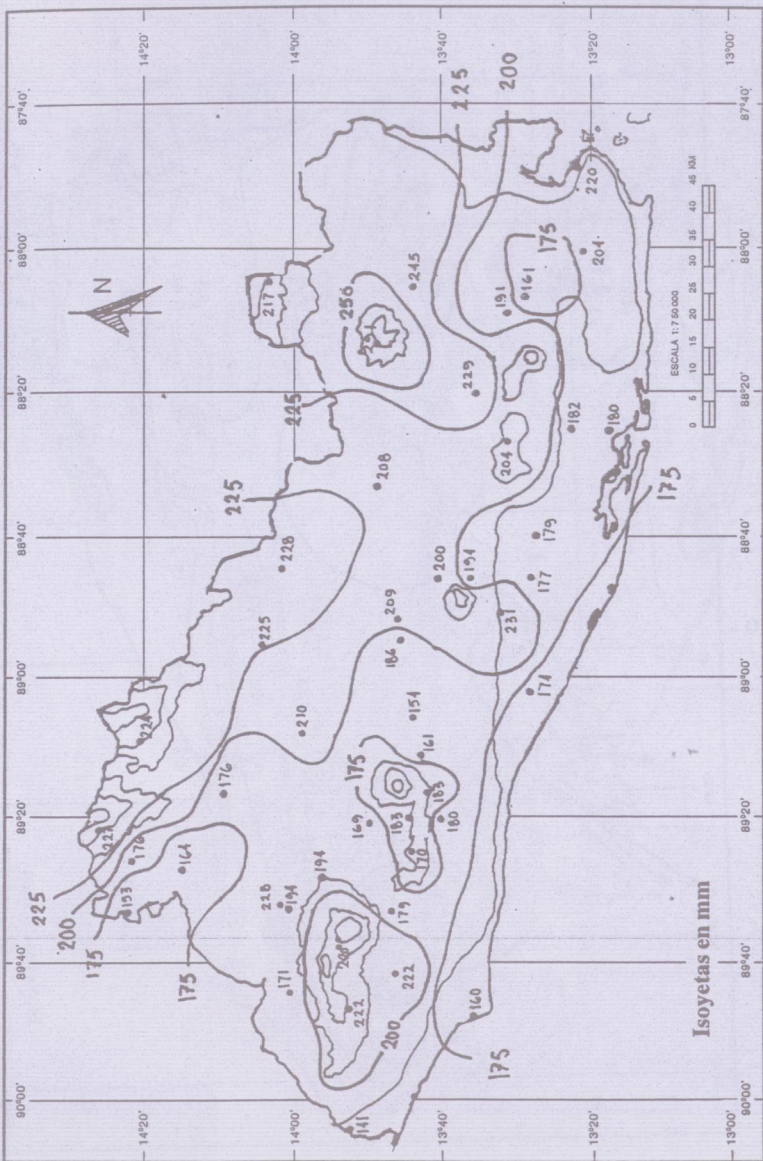


Figura 12. Isoyetas (mm) para el mes de mayo.

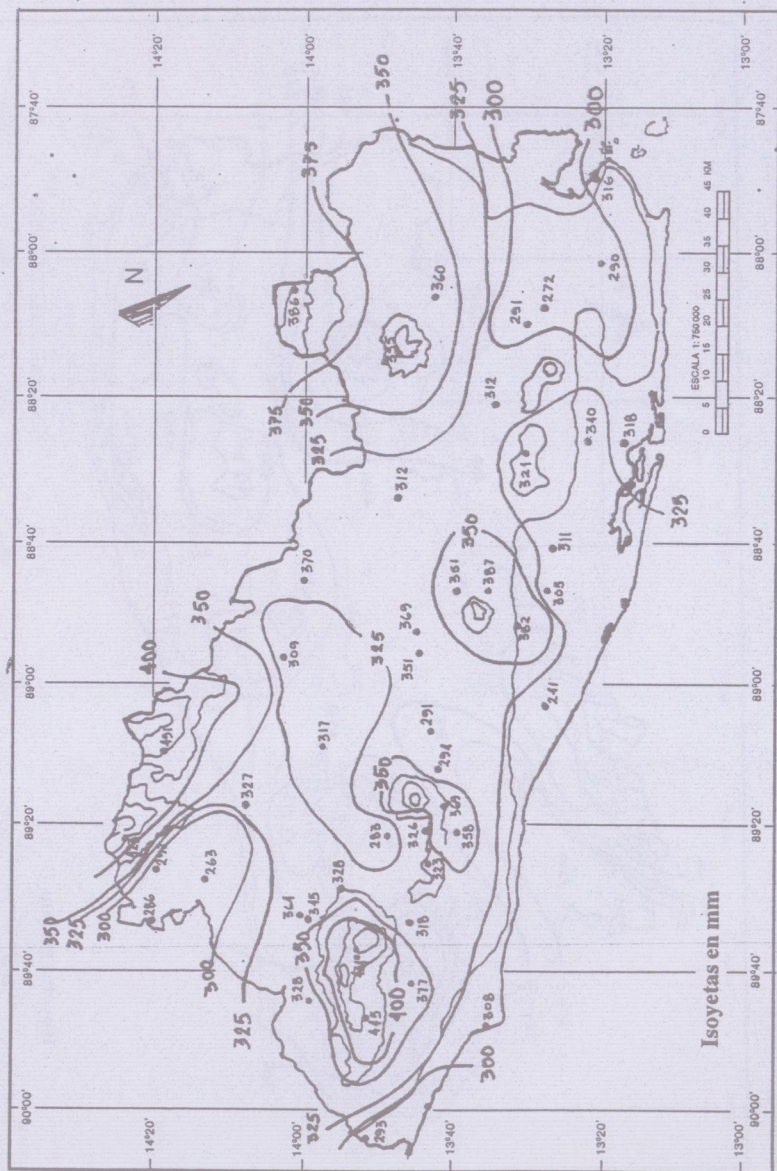


Figura 13. Isoyetas (mm) para el mes de junio.

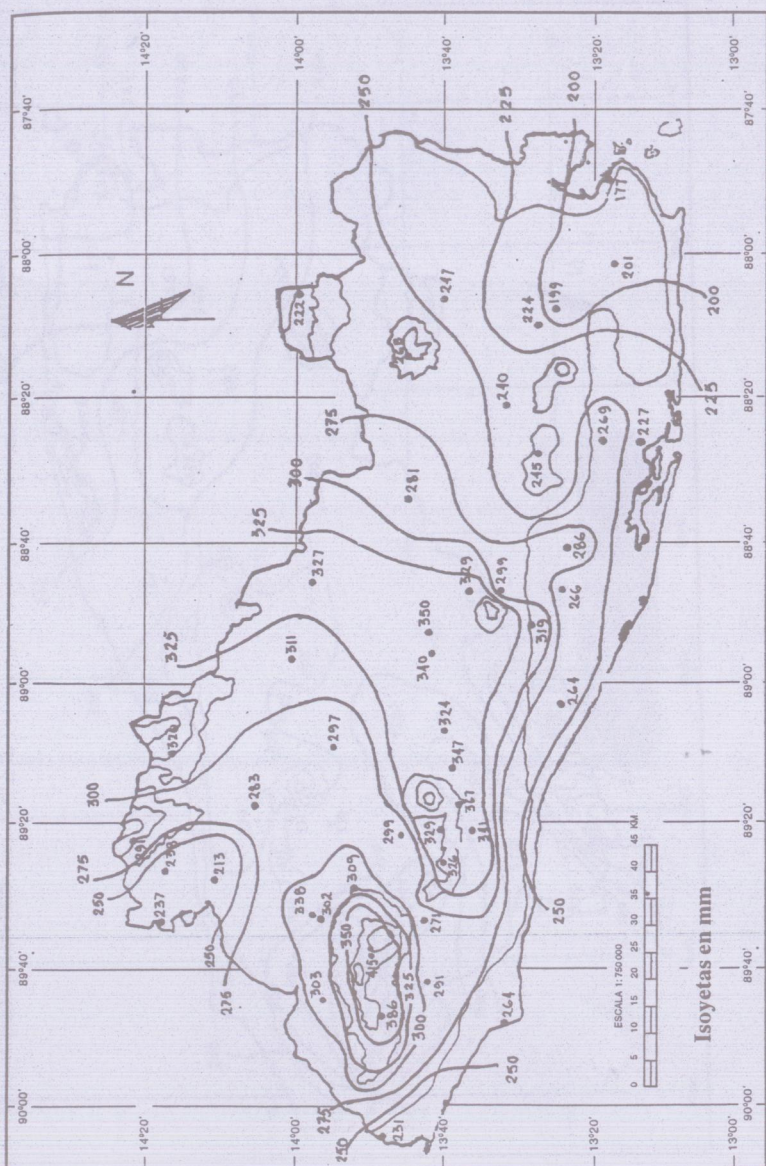


Figura 14. Isoyetas (mm) para el mes de julio.



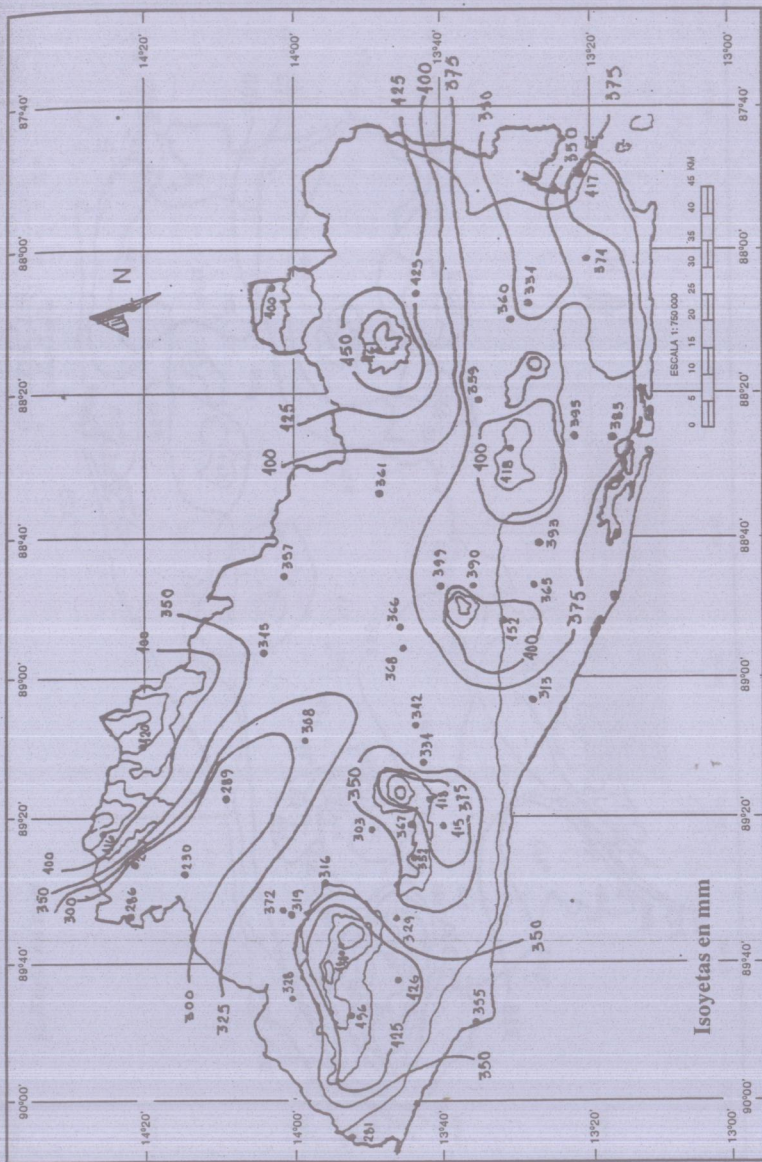


Figura 16. Isoyetas (mm) para el mes de septiembre.





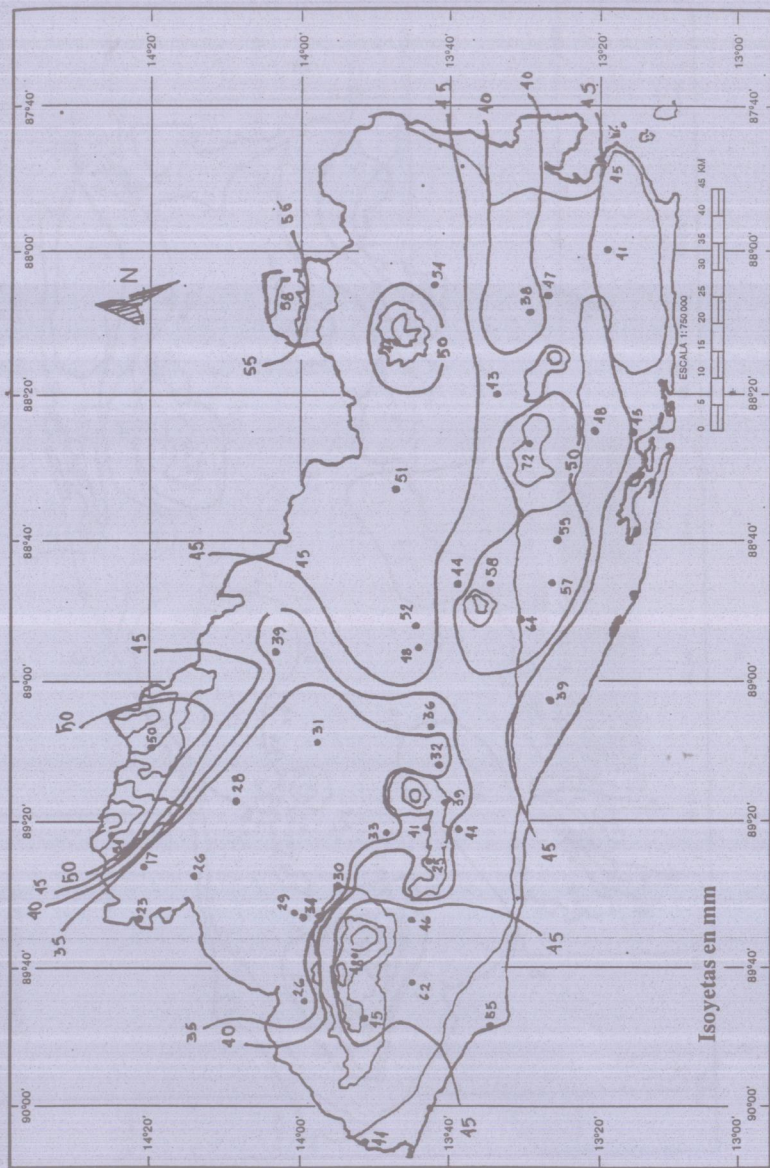


Figura 18. Isoyetas(mm) para el mes de noviembre.

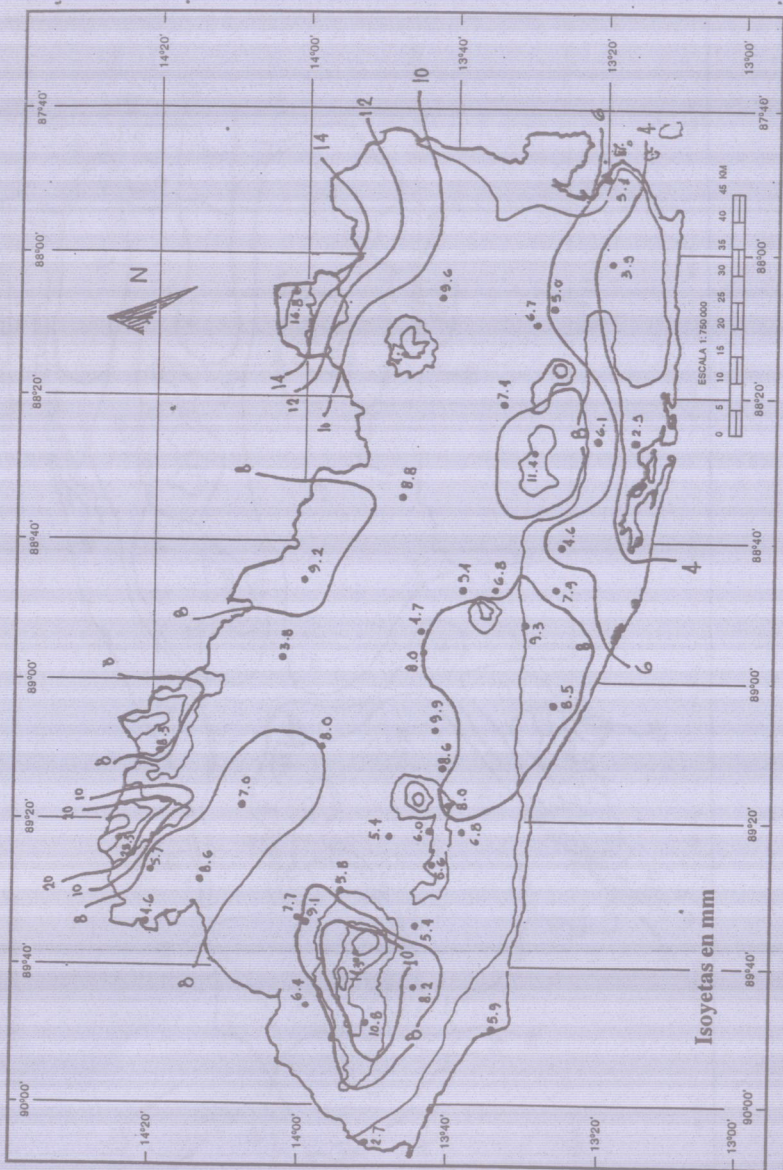


Figura 19. Isoyetas (mm) para el mes de diciembre.



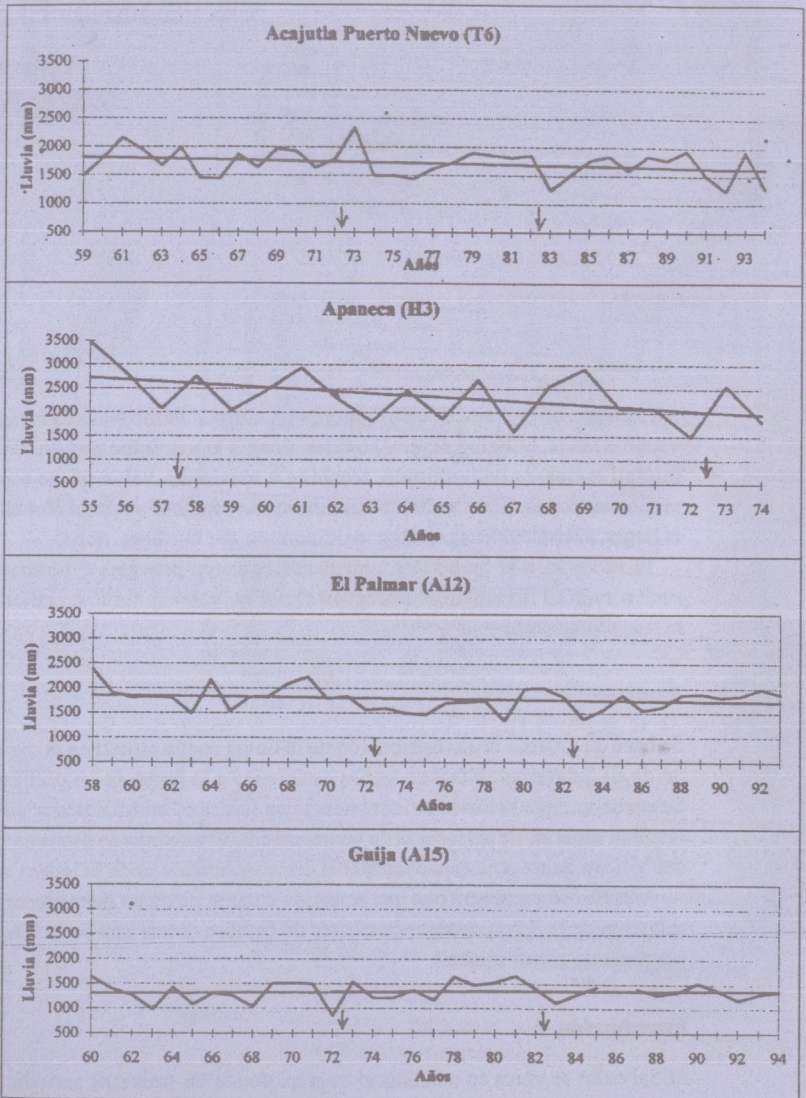


Figura 21. Variación interanual de la lluvia para algunas estaciones de la zona occidental. Se indica también la tendencia lineal.

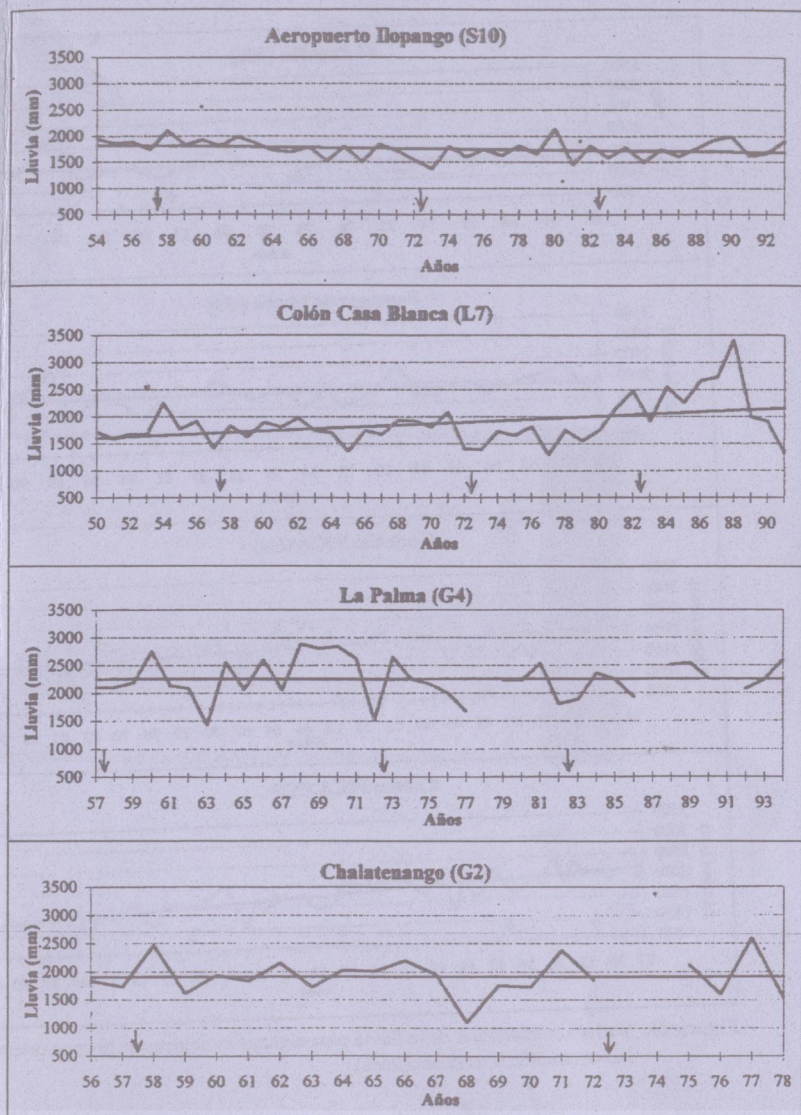


Figura 22. Variación interanual de la lluvia para algunas estaciones de la zona central. Se indica también la tendencia lineal.

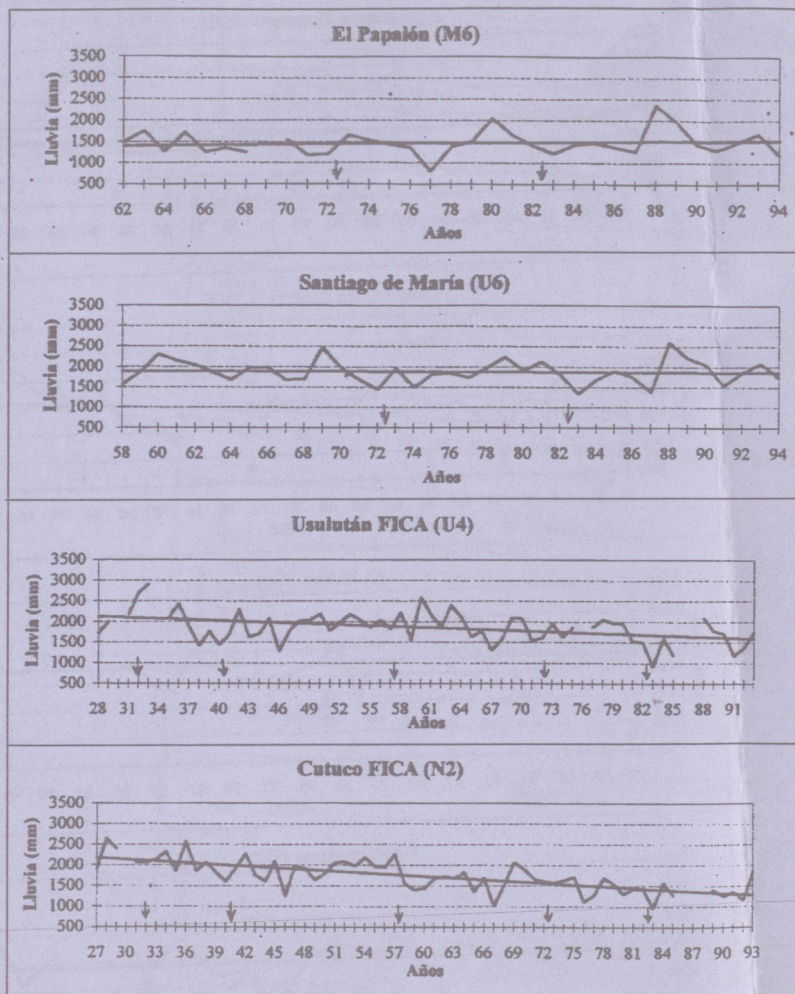


Figura 23. Variación interanual de la lluvia para algunas estaciones de la zona oriental. Se indica también la tendencia lineal.