



La situación crítica de la red hidrométrica derivó que la ubicación de las estaciones se acostumbraba a elegir en zonas retiradas de núcleos poblacionales para evitar intervención humana en las mediciones de los ríos. Se buscaba sitios en la parte media o alta de las cuencas, y por lo mismo, hubo dificultades de acceso para realizar las visitas a los ríos durante muchos años puesto que en la zona rural fue donde más problemas de enfrentamientos bélicos existía, así que los faltantes de datos fueron muchos, Cuadro 4.1.

En ese sentido para los estudios de los datos hidrológicos de correlaciones simples de Pearson y canónicas se procedió a rellenar algunos datos mensuales con los valores promedio histórico.

ESTACION	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	75-76	76-77	77-78	78-79	79-80	80-81	81-82	82-83	83-84	84-85	85-86	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	97-98	98-99
PAZ - LA HACHADURA																													
SUCIO - SAN ANDRES																													
LEMPA - PASO DEL OSO																													
TAMULASCO - LA SIERPE																													
San Pedro Atalaya																													
CENIZA-CONACASTE HERRADO																													
SUQUIAPA - LAS PAVAS																													

**Cuadro 4.1. Serie de datos de caudales.**

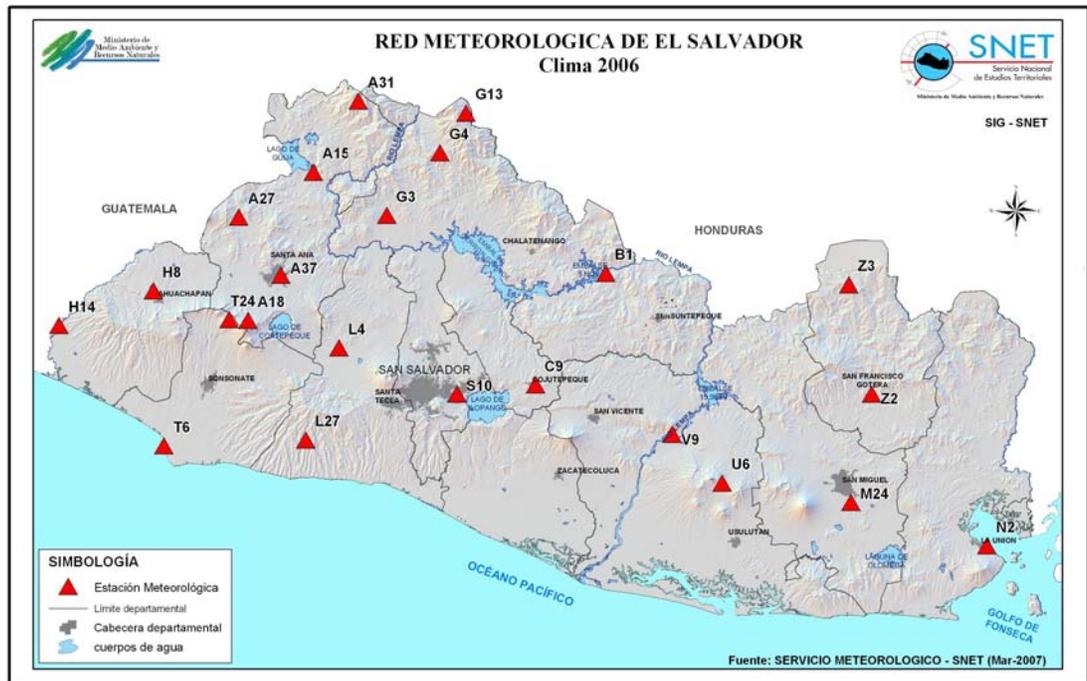


Figura 4.2. Estaciones meteorológicas seleccionadas. Fuente SNET.

Los datos de lluvia proceden de la red de estaciones climatológicas convencionales que miden distintas variables meteorológicas, incluyendo lluvia. Los datos de caudal provienen de la red de estaciones hidrométricas, también se usaron para comparación datos de la red pluviométrica donde solo se mide lluvia, dicha red está en manos de privados colaboradores del SNET, se ubican en fincas de café, sitios con vocación agrícola o haciendas con alguna seguridad o vigilancia y cerca de sitios poblacionales, en este caso los datos faltantes también son muchos pero menos que los datos hidrológicos, Cuadro 4.2.



ÍNDICE		ESTACIÓN	Lat Nte.	Long Oeste	Elevación
A	15	Güija	14° 13.7'	89° 28,7'	485
A	18	Fca. Los Andes	13° 62,5'	89° 38,7'	1770
A	27	C. de La Frontera	14° 07,2'	89° 39,1'	700
A	31	Planes de Montecristo	14° 23.9'	89° 21.6'	1851
A	12	Santa Ana UNICO o A37	13° 58.9'	89° 32.9'	715
B	1	Ch. del Guayabo	13° 59.8'	88° 45.4'	190
C	9	Cojutepeque SM	13° 43.2'	88° 55.6'	880
G	3	Nueva Concepción	14° 07.5'	89° 17.4'	320
G	4	La Palma	14° 17.5'	89° 09.7'	1000
G	13	Las Pilas	14 21.9	89 05.4	1960
H	8	Ahuachapán SM	13° 56.6'	89° 51.6'	725
H	14	La Hachadura	13° 51.6'	90° 05,4'	30
L	4	San Andrés	13° 48.5'	89° 24.4'	460
L	27	Chiltiupán	13 35.7	89 28.9	680
M	6	S. Miguel UES o M24	13° 26.3'	88° 09.5'	117
N	15	La Unión	13 19.9	87 52.9	95
S	10	A. Ilopango	13° 41.9'	89° 07 1'	615
T	6	Acajutla, Pto. Nuevo	13° 34.4'	89° 50.0'	15
T	24	Los Naranjos	13° 52,5'	89° 40,5'	1450
U	6	Santiago de María	13° 29.1'	88° 28.3'	920
V	9	Puente Cuscatlán	13° 36.1'	88° 35.6'	20
Z	2	San Fco. Gotera	13° 41.8'	88° 06.4'	250
Z	3	Perquín	13° 57.5'	88° 09.7'	1225

Cuadro 4.4. Ubicación geográfica de la red de estaciones meteorológicas.



Con los valores de la serie de lluvia acumulada entre junio y septiembre se utilizó el software para agrupar estaciones con iguales regímenes pluviales, esto por medio del Análisis de Componentes Principales (PCA), donde de forma gráfica se lograr encontrar relaciones entre las estaciones.

Las gráficas resultados del Análisis de Componentes Principales o PCA se obtuvieron programando el software para que agrupara por pesos o componentes dichas estaciones, o sea con igual patrón de lluvia, seleccionándose 3 componentes, ver figura 5.2, y luego se seleccionó 4 componentes o pesos, Figura 5.3. De ambas figuras se compararon entre sí para luego formar las agrupaciones. Las líneas azules indican una estación de lluvia, por tanto, la cercanía entre líneas indican un grupo de estaciones o un mismo patrón pluvial.

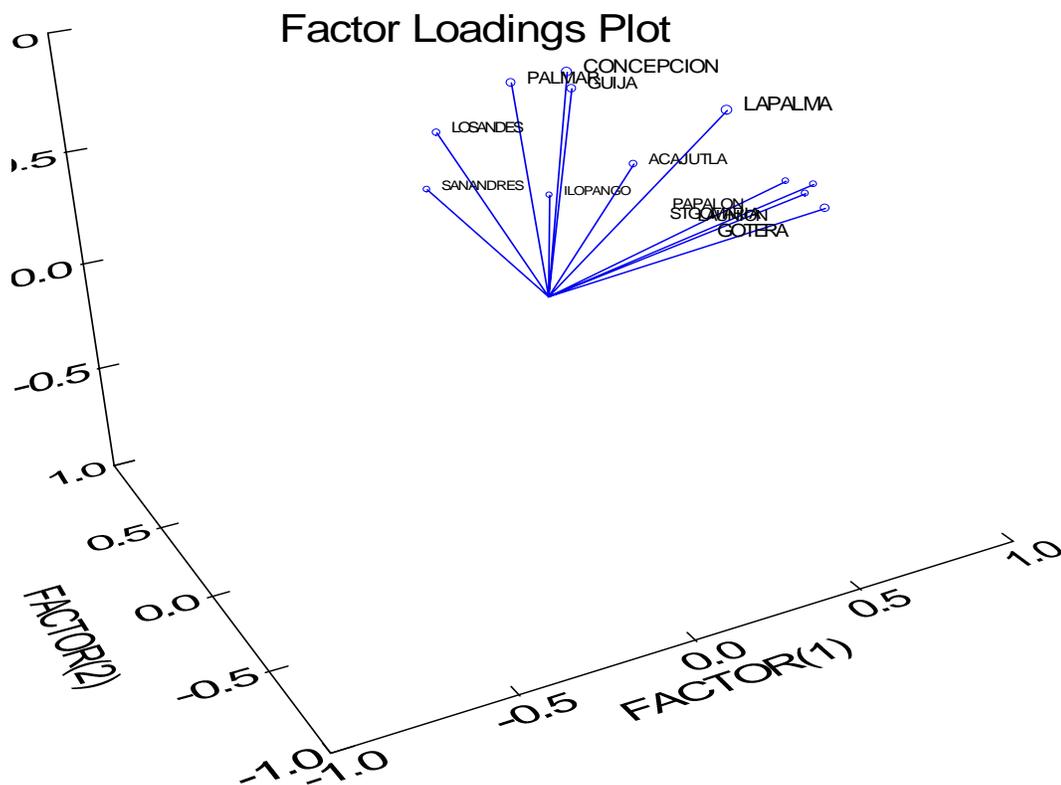


Figura 5.2. Análisis de Componente Principales con 3 factores o pesos para la lluvia en El Salvador..

El software también calcula un cuadro con el valor de peso de cada grupo de estaciones de lluvia, de esta forma facilita la identificación del contenido, además, calcula el valor porcentual total de la varianza explicada. Para el caso, de 3 componentes, encontró para la primera 46% de la varianza, para la segunda componente 18.5 % y para la tercera componente 9.3%.

Las agrupaciones quedaron: el factor de mayor peso las estaciones de la zona costera y oriental, M24 Papalón, Z2 Gotera, N15 La Unión, T6 Acajutla, U6 Santiago de María. Otro grupo con las estaciones en la cordillera volcánica y valles interiores del occidente y la zona montañosa norte, A37 Santa Ana, A15 Güija, A18 Los Andes, G3 Nueva Concepción, B1 La Palma, y por último, quedan agrupadas las estaciones de los valles al centro del país L4 San Andrés y S10 Ilopango.

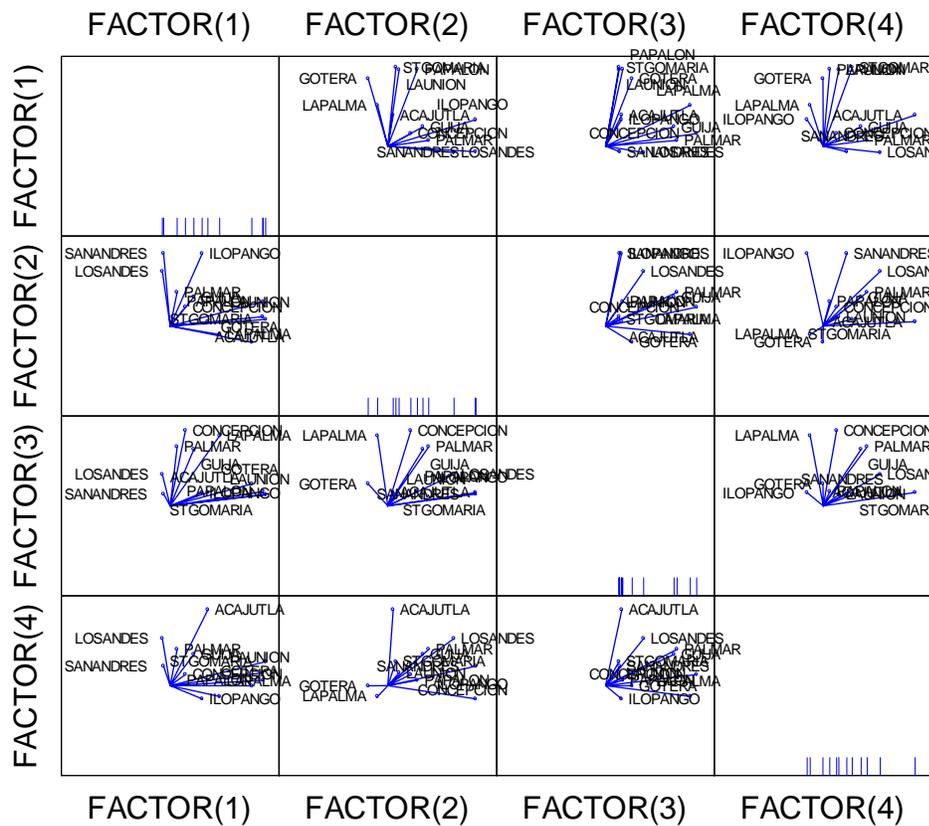


Figura 5.3. Análisis de Componentes Principales con 4 factores o pesos para la lluvia en El Salvador.

Del análisis de 4 componentes resulta más difícil poder observar las agrupaciones. Quizá lo que prevalece, y es común para 3 ó 4 factores, es que las estaciones de la zona oriental siempre se agrupan. En el caso de los 4 componentes el cálculo del valor porcentual total de la varianza explicada muestra los siguiente: para la primera componente el 27.3%, en la segunda componente un 17.5%, para la tercera componente un 20.2% y para la última el 12.2 %.

En cualquiera de los gráficos para 3 ó 4 componentes se observa en ocasiones que Acajutla o Güija están cerca de algunas agrupaciones pero no concuerda del todo, sin embargo, conociendo la ubicación, topografía y el clima de la zona se tomó la decisión de individualizar o agrupar a Güija en un solo grupo y dejar Acajutla con el grupo de la zona costera y el oriente, ver figura 5.4, quedando agrupadas el resto de estaciones en 3 grupos. En un grupo la zona oriental y costera (color verde en el mapa), en otro grupo la zona central interior (color marrón) y finalmente la zona interior occidental y norte (color naranja) y la estación Güija queda sola (color morado).

A continuación se analizará el régimen lluvioso de las 4 agrupaciones, usando el análisis estadístico y tomando al menos una estación de cada grupo, revisando su histograma, autocorrelación para apoyarse mejor en la regionalización encontrada con el PCA.

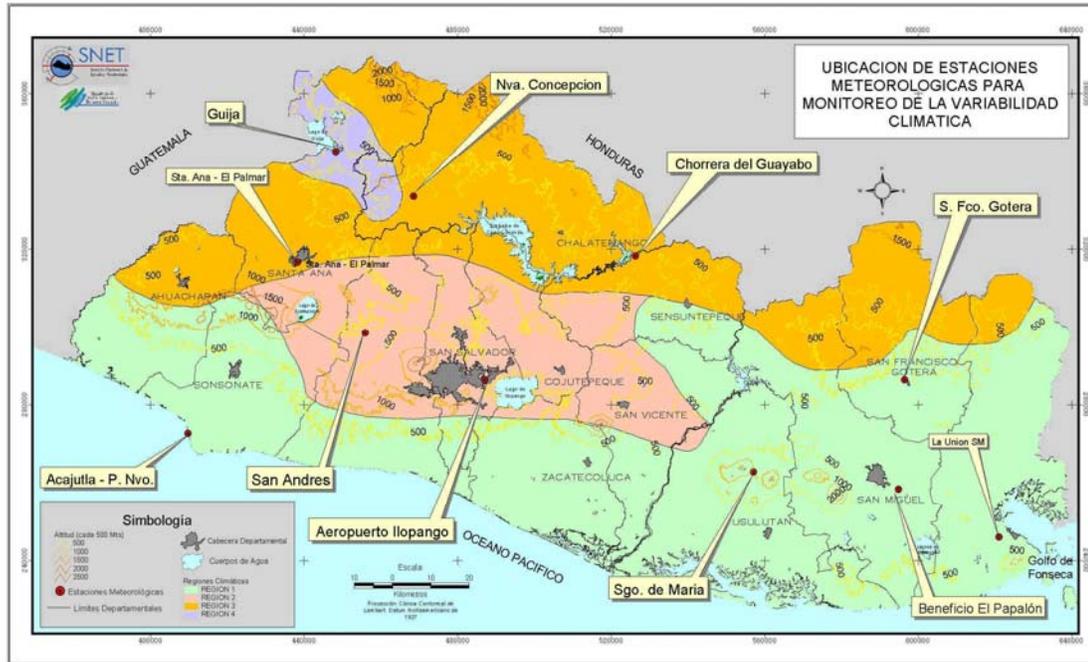


Figura 5.4. Regionalización pluvial en El Salvador utilizando el Análisis de Componente Principales del software SYSTAT.

## 5.2. Distribución Estacional.

Para estudiar el comportamiento de la lluvia en el tiempo y reconocer su régimen se procedió a realizar gráficos de barra de los valores climatológicos promedio mensuales de las estaciones.

Se utilizaron 4 estaciones, una por cada región. La región más grande es la zona oriental y costera, se observa claramente de los valores promedio mensuales (línea oscura) de la estación San Miguel, figura 5.5, el comportamiento bimodal de la lluvia, el primer máximo en septiembre y el segundo máximo en junio, con una disminución durante la época lluviosa en julio y agosto. Sin embargo, los valores máximos (barra roja) y mínimos absolutos (barra azul) mensuales muestran una alta variabilidad de la lluvia, para el caso, el valor máximo histórico se registro en agosto, duplicando el valor promedio histórico de septiembre, y el valor mínimo

durante la época lluviosa se registro en julio, con valores muy cercanos a cero, es decir con la presencia de una Canícula severa.

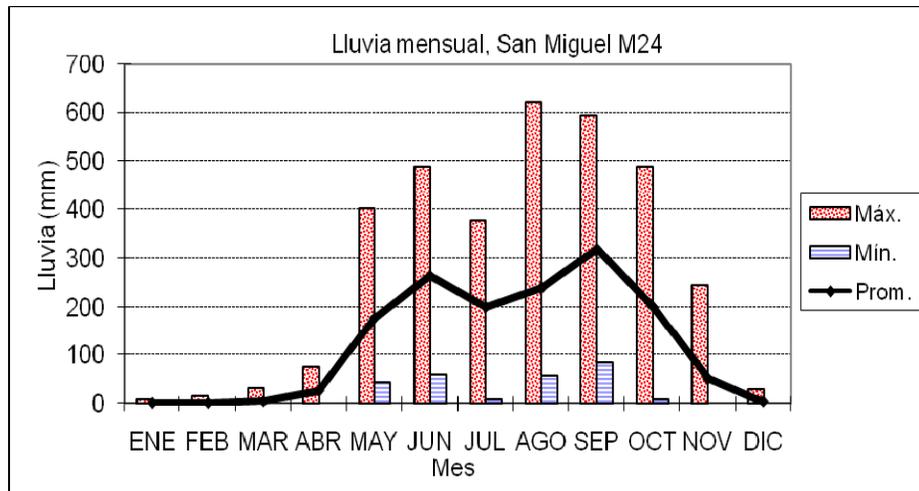


Figura 5.5. Lluvia mensual de San Miguel M24, región oriental y costera.

La función de autocorrelación generada también por el software SYSTAT de los valores mensuales continuos de San Miguel, muestran la tendencia de un valor alto a los 6 y 12 meses, interpretándose esto como la variabilidad de la lluvia con un periodo seco y otro lluvioso intercalado entre sí.

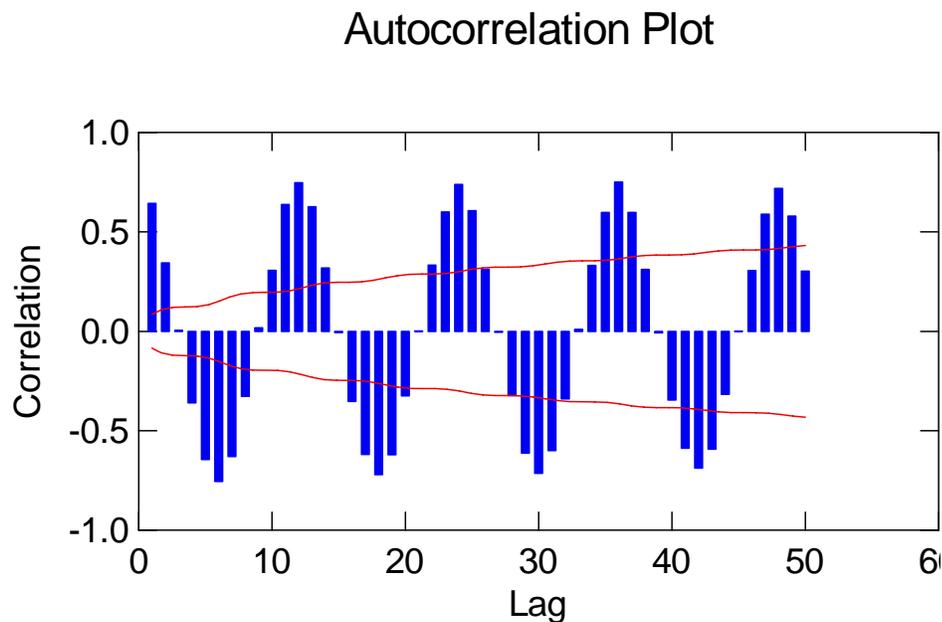


Figura 5.6. Función de autocorrelación de la lluvia mensual continua de San Miguel M24, región oriental y costera.

Para la región interior central, se observa los valores promedio mensuales (línea oscura) de la estación Ilopango, figura 5.7, con dificultad se nota el comportamiento bimodal de la lluvia, aunque se logra identificar un máximo en septiembre, pero no se observa claramente un segundo máximo. La disminución durante la época lluviosa se observa en agosto y no en julio y este último se acumula más agua que junio. Los valores máximos (barra roja) y mínimos absolutos (barra azul) para cada mes muestran una alta variabilidad de la lluvia, el valor máximo absoluto de la serie se ha registrado en septiembre duplicando al valor promedio de dicho mes y el valor mínimo durante la época lluviosa se ha registrado en julio pero sin llegar cercano a cero, o sea la canícula no es severa.

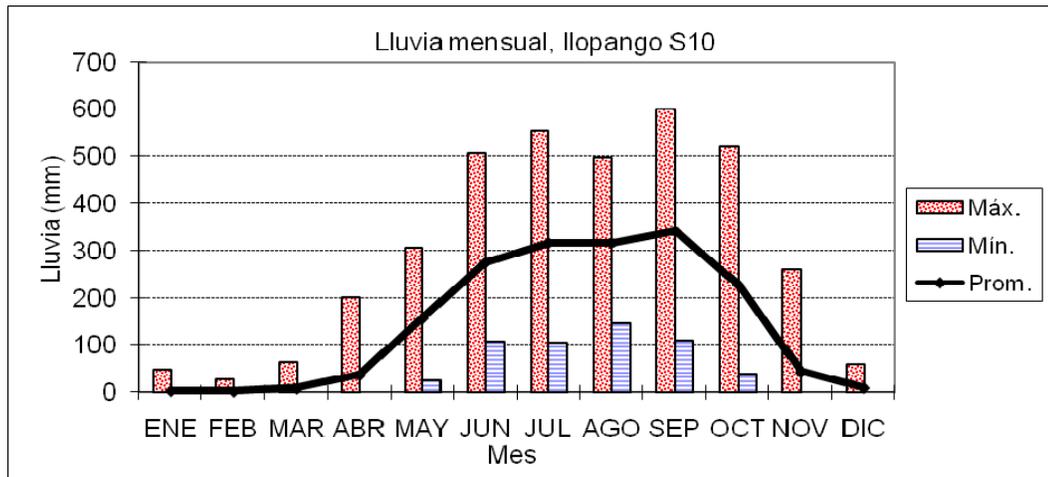


Figura 5.7. Lluvia mensual de Ilopango S10, región central.

Para la región interior occidental y norte, se observa de los valores promedio mensuales (línea oscura) de la estación Santa Ana, figura 5.8, de nuevo no es claro el comportamiento bimodal de la lluvia, aunque se nota un máximo en junio no se observa un segundo máximo. La disminución de la lluvia durante la época lluviosa se observa ligeramente en julio y no en agosto. Los valores máximos (barra roja) y mínimos absolutos (barra azul) para cada mes muestran una alta variabilidad de la lluvia. El valor máximo absoluto de la serie se ha registrado en junio también aunque no duplica al valor promedio de dicho mes y el valor mínimo durante la época lluviosa se ha registrado en julio casi cercano a cero, o sea la Canícula puede ser severa.

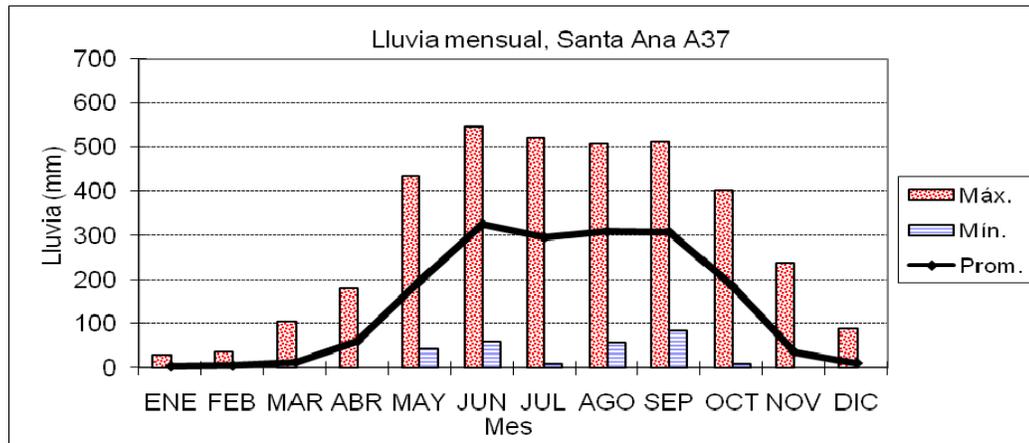


Figura 5.8. Lluvia mensual de Santa Ana A37, región interior occidental y norte.

Para la región noroccidental fronteriza con Guatemala se dejó asilada a la estación de Güija, pues es una zona con características topográficas diferentes a las regiones vecinas.

La zona posee baja altitud, es muy calurosa y seca. Allí se observa los valores promedio mensuales (línea oscura), figura 5.9, y de nuevo aparece el comportamiento bimodal de la lluvia, parecido al de la zona oriental y costa, con la diferencia que el máximo ocurre da en junio, y el segundo máximo en septiembre; la disminución de la lluvia durante la época lluviosa se observa en julio y agosto, ligeramente más pronunciada en julio. Los valores máximos (barra roja) y mínimos absolutos (barra azul) para cada mes muestran una alta variabilidad de la lluvia, el valor máximo absoluto de la serie se ha registrado en junio duplicando al valor promedio de dicho mes y el valor mínimo durante la época lluviosa se ha registrado en junio casi cercano a cero, esa decir el déficit fuerte de lluvia en junio no está asociado a la típica Canícula que afecta julio y agosto, por lo que en esa zona habría que estudiar mejor ese fenómeno.

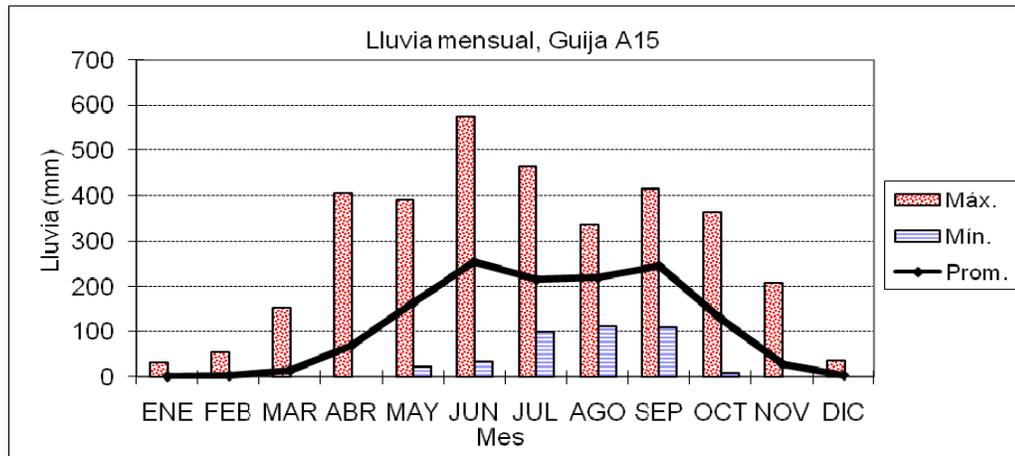


Figura 5.9. Lluvia mensual de Ilopango S10, región central.

### 5.3. Distribución Espacial, mapas mensuales.

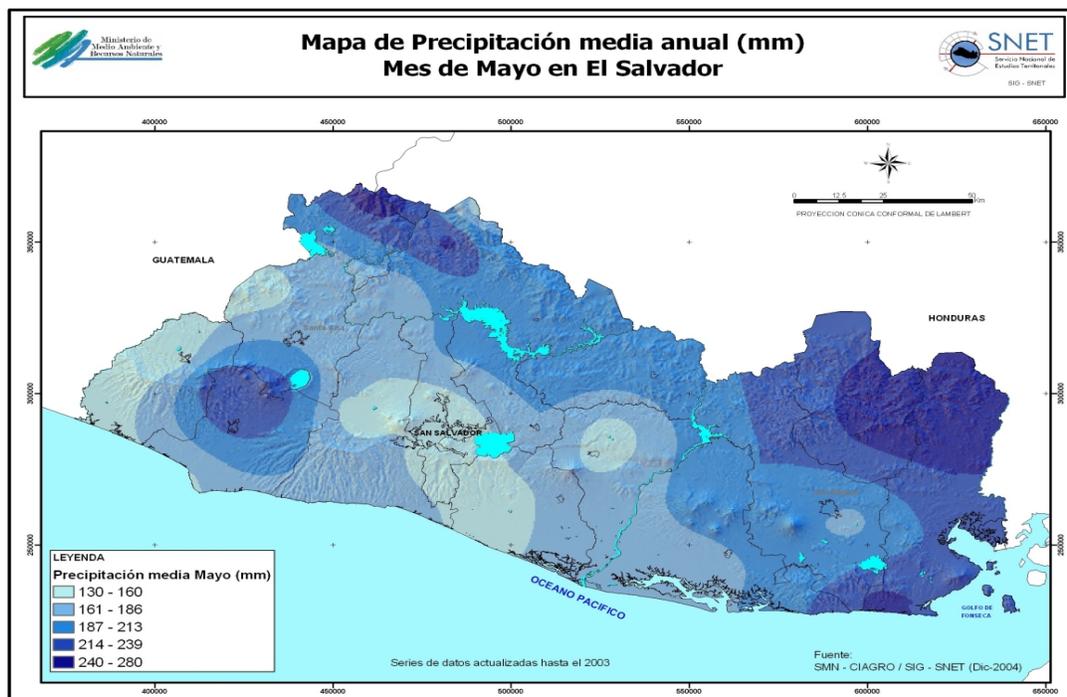
El comportamiento de la lluvia en el espacio sobre El Salvador fue objeto de estudio en una investigación previa, García y Fernández, 1996, indican que la distribución espacial puede describirse por métodos como el aritmético, el método de los polígonos de Thiessen o la construcción de mapas de isoyetas. Aquí se presentan mapas de isoyetas calculado en un SIG.

Para construir las isoyetas, el SMN ha utilizado el valor promedio mensual de lluvia de cada estación, aunque en Centro América otros investigadores han usado los valores de la distribución Gamma incompleta, la cual, se ajusta a los datos de lluvia media mensual. También se puede utilizar la probabilidad P75 para construir los mapas de isoyetas.

Es importante hacer notar que en dichos mapas de isoyetas se utilizó la mayor cantidad de estaciones disponibles, incluyendo estaciones pluviométricas de diferentes fuentes que tuvieran series cortas y no homogéneas para mejorar así la interpolación.

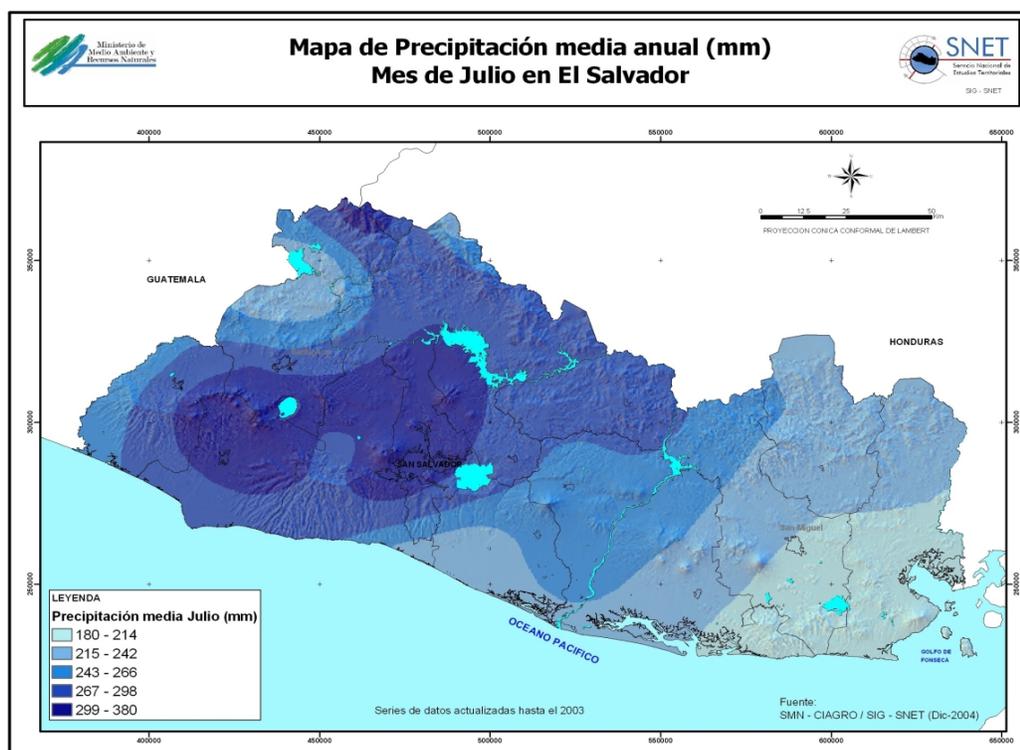
Los mapas de 5.1 a 5.6 del apéndice A muestran los meses de noviembre a abril, correspondientes a la época seca, en los cuales la precipitaciones son muy bajas, en especial la zona oriental, zona costera, zona nor-occidental que presentan los valores mínimos de lluvia y el mes de febrero (Mapa 5.4), en el mes con los valores más bajos que abarcan mayor territorio, en la costa y valles interiores se registran valores por abajo de 5 mm.

El mes de abril inicia la transición de la época seca a la lluviosa (Mapa 5.6), apareciendo valores considerables mayores de 68 mm de lluvia en la zona norte y occidental del país, posteriormente en el mes de mayo (Mapa 5.7) inicia la época lluviosa plena, en el mapa se aprecia que los valores más altos de lluvia por arriba de los 240 mm se dan en la zona nororiental, noroccidental y en el complejo los volcanes en el occidente.



Mapa 5.7. Lluvia media del mes de mayo.

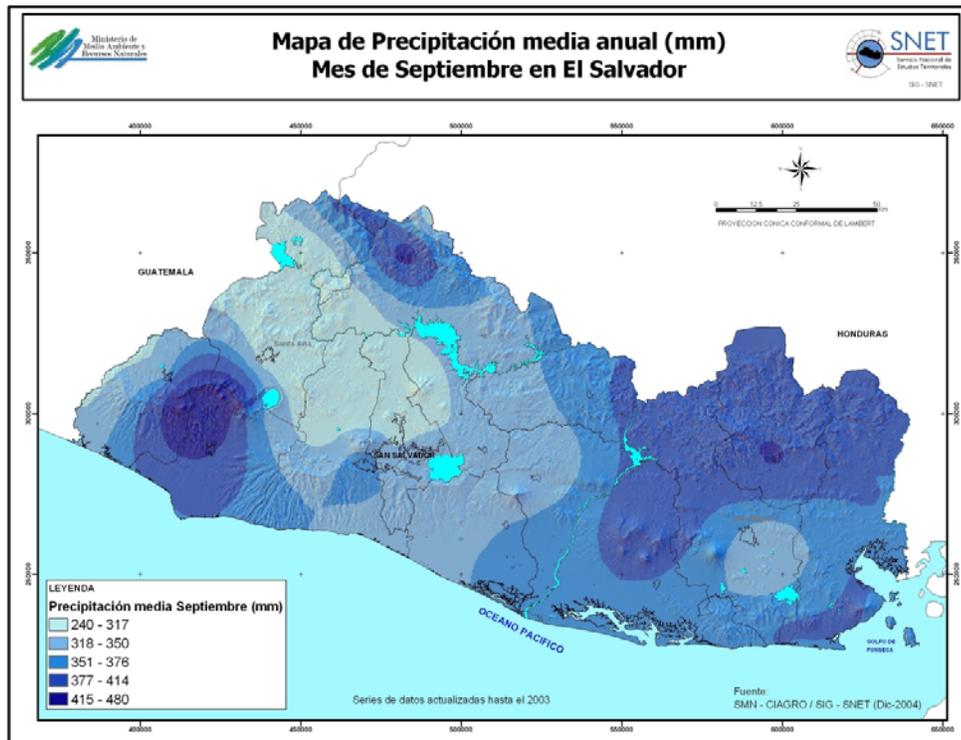
Durante el mes de junio, mapa 5.8 en el Apéndice A, se alcanzan valores altos mayores a 384 mm en la zona nororiental, noroccidental y complejo los volcanes, mientras que en el mes de julio, mapa 5.9, se registran valores mínimos asociados a la Canícula, observándose un valor bajo en la zona noroccidental alrededor del Lago de Güija con 215 a 242 mm y los valores mínimos a nivel nacional en la zona oriental en el rango de 180 a 214 mm. Comparado con junio en la zona oriental hay una disminución de lluvia mayor a los 100 mm.



Mapa 5.9. Lluvia media del mes de julio.

Durante el mes de agosto, mapa 5.10 en el Apéndice A, todavía se observa alguna disminución de la lluvia, pero no tanto como la de julio. Aquí se alcanzan valores en el rango de 230 a 268 mm en la zona noroccidental y suroriental. Tanto en julio como en agosto, la zona oriental es más afectada por la Canícula, tal como se encontró en la distribución estacional analizada anteriormente.

El mes más lluvioso es septiembre, mapa 5.11, donde se registran valores máximos asociados a los temporales, observándose valores en el rango de 415 a 480 mm en la zona occidental y nororiental.



Mapa 5.11. Lluvia media del mes de septiembre.