



**PLAN ESPECIAL DE ACTUACIÓN EN SITUACIONES DE
ALERTA Y EVENTUAL SEQUÍA
DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL TAJO**

**ANEJO II - CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS EN LA
CUENCA DEL TAJO**

MARZO 2007



INDICE GENERAL

MEMORIA

DOCUMENTO DE OPERATIVIDAD

ANEJOS

ANEJO I.- DATOS DE PARTIDA

ANEJO II.- CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL TAJO

ANEJO III.- ANÁLISIS DE SEQUÍAS HISTÓRICAS

ANEJO IV.- CARACTERIZACIÓN DE LAS DEMANDAS

ANEJO V.- DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE INDICADORES DE SEQUÍA

ANEJO VI.- MODELIZACIÓN

ANEJO VII.- ANÁLISIS DEL RIESGO DE LOS SISTEMAS

ANEJO VIII.- CATÁLOGO DE MEDIDAS

ANEJO IX.- VALORES UMBRALES DE LOS INDICADORES

ANEJO II

CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL TAJO

Anejo II.- Caracterización de las sequías en la cuenca del Tajo

Índice

1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- Análisis de las series naturales y sintéticas	1
2.- DATOS DE PARTIDA	2
2.1.- División en zonas	2
2.2.- Datos pluviométricos	3
2.3.- Datos de series de aportaciones.....	3
2.4.- Datos de reservas	3
3.- CARACTERIZACIÓN METEOROLÓGICA DE LAS SEQUÍAS.....	4
3.1.- Caracterización meteorológica a nivel de cuenca	4
3.2.- Distribución espacial.....	8
3.3.- Índice SPI.....	9
3.4.- Caracterización meteorológica a nivel de zonas hidrológicas	11
4.- CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS SEQUÍAS	15
4.1.- Caracterización hidrológica a nivel de cuenca.....	15
4.2.- Distribución espacial.....	19
4.3.- Índices de aportaciones	20
4.4.- Caracterización hidrológica a nivel de zonas hidrológicas	22
5.- CARACTERIZACIÓN OPERACIONAL DE LAS SEQUÍAS.....	25
6.- RELACIÓN ENTRE VARIABLES HIDROLÓGICAS	27
6.1.- Cálculos de correlaciones espaciales	27
6.2.- Cálculos de correlaciones cruzadas.....	28
6.3.- Capacidad de pronóstico	29

APÉNDICES:

- 1.- Datos de partida.
- 2.- Análisis estadístico de las series.
- 3.- Análisis de índices de sequía.

1.- INTRODUCCIÓN

En este Anejo se describen las actividades realizadas para la caracterización de sequías en la Cuenca del Tajo y se presentan los resultados obtenidos.

La metodología aplicada en el trabajo se resume a continuación.

1.1.- Análisis de las series naturales y sintéticas

Se ha realizado un estudio detallado de las características de las series temporales de las variables hidrológicas directamente relacionadas con las sequías. Se han estudiado las series naturales de precipitación y aportaciones en los puntos de medida de la cuenca y de las series sintéticas generadas en el *“Estudio y cuantificación de recursos hídricos en fase superficial y subterránea completando y actualizando las series de aportaciones naturales hasta el momento actual, en la cuenca del Tajo dentro de los programas del Plan hidrológico”* (en adelante, *“Estudio de recursos”*). Se han estudiado las desviaciones de la media de las series normalizadas, obteniendo los estadísticos más representativos de la duración e intensidad de las excursiones por debajo de la media.

Evaluación de índices de sequía

Las sequías se han estudiado mediante el análisis de los indicadores más representativos. Se han estudiado las sequías meteorológicas, las hidrológicas y las operativas. Los índices calculados han sido:

- Índice de precipitación estandarizada: SPI
- Índice de suministro de recursos superficiales: SWSI

Análisis comparativo de indicadores

Una vez identificadas y clasificadas las sequías producidas en la cuenca durante el periodo histórico, se ha estudiado la representatividad de las medidas disponibles en la cuenca como indicadores de sequía.

Estructura espacio-temporal

Se ha estudiado la estructura espacio-temporal de las sequías registradas en la cuenca.

Propuesta de indicadores de sequía

Finalmente, se ha seleccionado la propuesta de indicadores de sequía.

2.- DATOS DE PARTIDA

En este apartado se describen los datos utilizados en el estudio.

2.1.- División en zonas

La cuenca del Tajo se divide en catorce zonas hidrológicas, detalladas en la tabla siguiente:

TABLA 1.- ZONAS HIDROLÓGICAS		
ZONA	DENOMINACIÓN	SUPERFICIE (km ²)
1	Alto Tajo	7.418
2	Tajo entre Bolarque y Aranjuez	2.781
3	Tajuña	2.608
4	Henares	4.136
5	Jarama	4.802
6	Guadarrama	1.709
7	Alberche	4.109
8	Margen izquierda en Tajo medio	7.590
9	Tiétar	4.459
10	Alagón	4.405
11	Árrago	1.020
12	Tajo bajo y Erjas	5.949
13	Almonte	2.463
14	Tajo internacional y Salor	5.492
TOTAL		58.941

A efectos de análisis hidrológicos, las zonas se dividen en subcuencas, totalizando 216 unidades de cálculo de series hidrológicas.

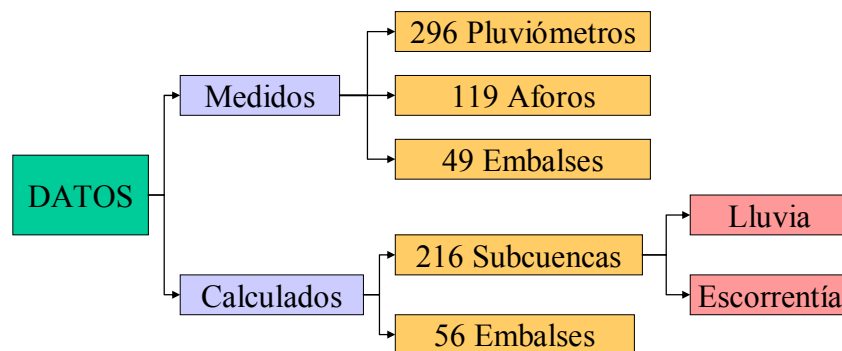


Figura 1.- Datos básicos del Estudio de Recursos

2.2.- Datos pluviométricos

Se han utilizado datos diarios y mensuales de 296 estaciones pluviométricas en la cuenca. También se han manejado los datos de lluvia media en las 216 subcuencas del estudio de recursos, obtenida por interpolación espacial a partir de los datos de los pluviómetros, una vez rellenados los huecos.

2.3.- Datos de series de aportaciones

Se han utilizado básicamente las series de aportaciones generadas en el "Estudio de recursos", realizado por Eptisa con ocasión de la redacción del Plan Hidrológico. Se trata de series de aportaciones mensuales en 216 subcuencas correspondientes al periodo comprendido entre los años hidrológicos 1940-41 y 1999-00. También están disponibles los datos diarios y mensuales en 119 estaciones de aforo de la cuenca, pero únicamente se han utilizado en comprobaciones puntuales, al estimar que el mencionado estudio ha incorporado en las series de aportaciones generadas toda la información contenida en las series de aforos.

2.4.- Datos de reservas

La evolución histórica de las reservas se ha obtenido de los datos mensuales de volúmenes almacenados en 46 embalses de la cuenca. No se han utilizado los datos diarios por ser sus variaciones muy pequeñas con relación a los valores mensuales. Estos datos se han completado a partir de los resultados de los modelos de simulación de los sistemas de explotación de recursos desarrollados con ocasión de la redacción del Plan Hidrológico.

3.- CARACTERIZACIÓN METEOROLÓGICA DE LAS SEQUÍAS

3.1.- Caracterización meteorológica a nivel de cuenca

La precipitación media en el total de la cuenca del Tajo es de 652 mm (38.413 hm³), en el período analizado, valor ligeramente inferior al de la media del territorio nacional¹. La serie de precipitaciones presenta una desviación típica de 150 mm y un coeficiente de variación de 0,23. En la tabla de la página siguiente se han consignado todos los valores de la serie.

El valor mínimo de la serie corresponde al año 1.944-45 (371 mm), mientras que el máximo se produjo el año 1.955-56, con un valor de 961 mm.

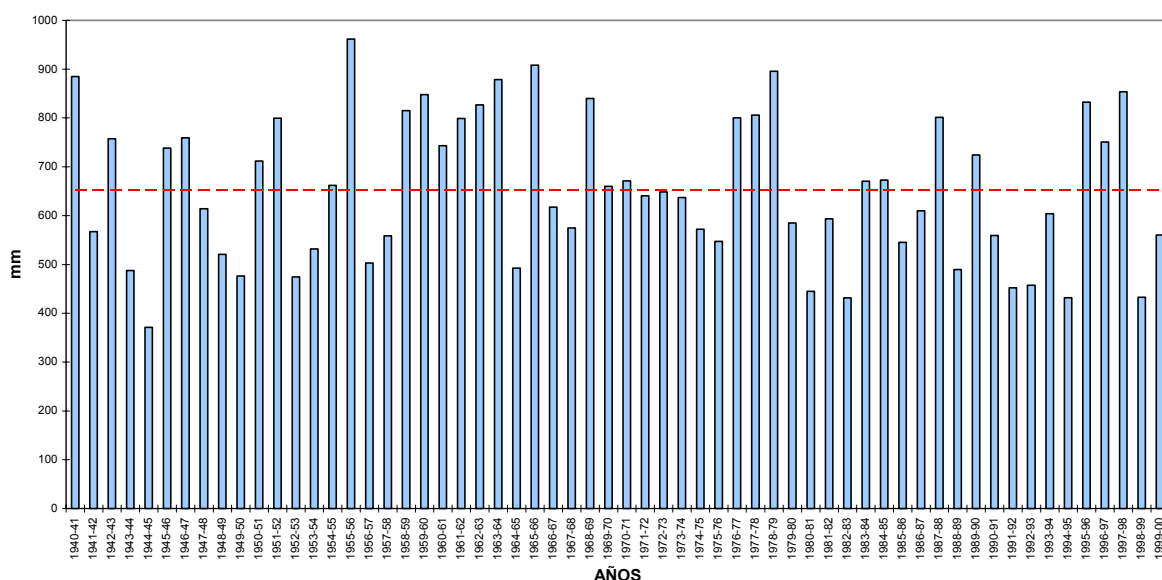


Figura 2.- Evolución de la precipitación anual en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Tajo

¹ Según el *Libro Blanco del Agua* (Ministerio de Medio Ambiente, año 2000) la precipitación media en España en el período 1.940/41 – 1.995/96 fue de 684 mm.

TABLA 2.- SERIE DE PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES EN LA CUENCA DEL TAJO (1.940/41 A 1.999/00)			
Año	P (mm)	Año	P (mm)
1940-41	884,65	1970-71	671,15
1941-42	567,39	1971-72	640,68
1942-43	757,34	1972-73	648,69
1943-44	487,40	1973-74	637,30
1944-45	371,01	1974-75	572,12
1945-46	738,41	1975-76	547,16
1946-47	759,39	1976-77	800,35
1947-48	614,25	1977-78	805,80
1948-49	520,43	1978-79	895,62
1949-50	476,67	1979-80	584,94
1950-51	711,98	1980-81	444,95
1951-52	799,71	1981-82	593,20
1952-53	474,39	1982-83	431,70
1953-54	531,78	1983-84	670,60
1954-55	661,99	1984-85	672,48
1955-56	961,45	1985-86	545,09
1956-57	503,06	1986-87	609,78
1957-58	558,57	1987-88	801,26
1958-59	814,68	1988-89	489,48
1959-60	848,17	1989-90	723,97
1960-61	743,43	1990-91	559,46
1961-62	798,87	1991-92	451,90
1962-63	826,82	1992-93	457,22
1963-64	878,81	1993-94	603,85
1964-65	492,43	1994-95	431,99
1965-66	908,13	1995-96	832,34
1966-67	617,30	1996-97	750,64
1967-68	574,48	1997-98	853,67
1968-69	839,88	1998-99	432,61
1969-70	660,15	1999-00	560,46
Media		651,72 mm	
Desv. Típica		149,72 mm	
Coef. Variación		0,23	

De la comparación de los valores anuales con el medio de la serie se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- en un total de 32 años (53 % del total) la precipitación anual se sitúa en valores inferiores a la media
- es frecuente la presentación de ciclos secos hiperanuales con precipitaciones inferiores a la media, según se desprende de la siguiente tabla

TABLA 3.- CICLOS SECOS HISTÓRICOS (1940-2000)	
DURACIÓN	Nº DE CICLOS
5 años	2
4 años	1
3 años	1
2 años	6
1 año	3

La elaboración de la curva de desviación acumulada de la precipitación media anual que se muestra en la figura siguiente permite identificar de manera eficaz los ciclos secos y húmedos de la serie. En los tramos ascendentes de la curva la precipitación es superior a la media (ciclos húmedos), mientras que los descendentes son indicativos de ciclos secos.

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (651,72 mm)
CUENCA (1940/41-1999/00)

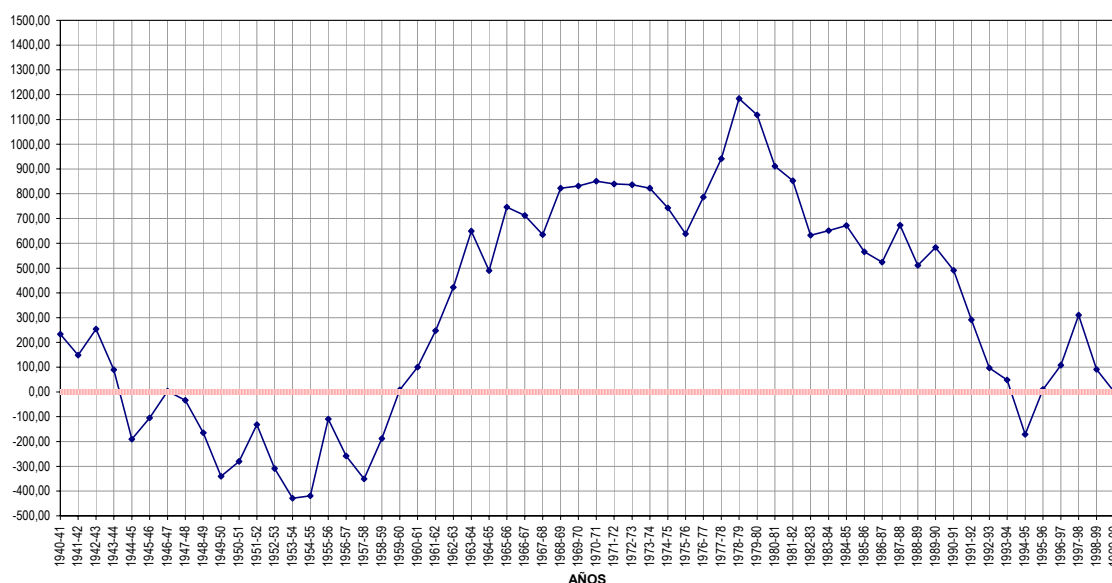


Figura 3.- Distribución de ciclos húmedos y secos en la Cuenca del Tajo

En la siguiente tabla se han relacionado los ciclos (secos y húmedos) más significativos que se han presentado históricamente en la cuenca.

TABLA 4.- PRINCIPALES CICLOS SECOS Y HÚMEDOS EN LA CUENCA			
Período	Duración (años)	Tipo	P media (mm)
1.943/44 – 1.944/45	2	Seco	429
1.947/48 – 1.949/50	3	Seco	537
1.952/53 – 1.953/54	2	Seco	503
1.954/55 – 1.955/56	2	Húmedo	812
1.956/57 – 1.957/58	2	Seco	531
1.958/59 – 1.963/64	6	Húmedo	818
1.968/69 – 1.970/71	3	Húmedo	724
1.971/72 – 1.975/76	5	Seco	609
1.976/77 – 1.978/79	3	Húmedo	834
1.979/80 – 1.982/83	4	Seco	514
1.990/91 – 1.994/95	5	Seco	501
1.995/96 – 1.997/98	3	Húmedo	812
1.998/99 – 1.999/00	2	Seco	497

Del análisis de todos los datos expuestos anteriormente se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La serie histórica de precipitaciones medias anual presente un grado apreciable de variabilidad, con un valor del coeficiente de variación de 0,23 y un cociente entre los valores máximo y mínimo de 2,6.
- Los años secos se presentan con una frecuencia algo superior a los húmedos y con menor intensidad, aunque esta tendencia no está muy marcada en la cuenca. De este modo, la precipitación en el conjunto de los años secos es un 18 % inferior a la media, mientras que en los húmedos la excede en un 21 %.
- La duración de los ciclos es bastante variable con un promedio, ya sean secos o húmedos, ligeramente superior a los tres años.
- No existe una correlación clara entre la duración de los ciclos y su intensidad.
- Entre las sequías más importantes acaecidas en la cuenca destaca la que tuvo lugar entre los años 1.990-91 a 1.994-95, tanto por su duración (5 años) como por su intensidad, ya que la precipitación media apenas alcanzó los 500 mm anuales. Tres de los cinco años que duró esta sequía se encuentran entre los siete más secos de la serie histórica.
- Otras sequías destacables son las de 1943-44 a 1944-45 (2 años con un precipitación

media de 429 mm) o la de 1.979-80 a 1.982-83 (4 años con una precipitación media de 514 mm).

- En todo caso la sequía por la que se atraviesa actualmente no tiene antecedentes en la serie histórica, ya que el año 2004/05 ha sido el más seco de los registrados desde 1.940. Esta situación se ha paliado en parte durante el presente año hidrológico, en el que las precipitaciones acumuladas hasta el mes de junio han superado en un 29 % a las del año anterior.
- En lo que se refiere a ciclos húmedos, el más reseñable es el que se produjo entre los años 1958-59 a 1963-64, con una duración de 6 años y una precipitación media de 818 mm (un 25 % superior a la media).

3.2.- Distribución espacial

Otro factor a tener en cuenta es la variabilidad espacial de la precipitación dentro de la cuenca. Como primera aproximación se presenta la siguiente tabla en la que se han consignado los valores de la precipitación media anual en el período 1.940/41-1.999/00 en las distintas zonas hidrológicas de la cuenca:

TABLA 5.- VALORES DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL POR ZONAS				
ZONA	P _{media} (mm)	P _{máx} (mm)	P _{mín} (mm)	Cv
01.- Alto Tajo	649,34	952,80	387,44	0,23
02.- Tajo Bolarque y Aranjuez	470,27	744,43	286,83	0,21
03.- Tajuña	534,72	740,40	324,62	0,20
04.- Henares	584,38	837,34	285,25	0,21
05.- Jarama	639,96	883,73	372,02	0,21
06.- Guadarrama	531,39	815,29	318,99	0,23
07.- Alberche	667,99	1.074,14	358,13	0,25
08.- Margen izq. en Tajo medio	461,06	717,79	242,19	0,23
09.- Tiétar	1.012,01	1.604,06	475,57	0,28
10.- Alagón	941,52	1.412,50	467,88	0,27
11.- Árrago	948,62	1.557,03	475,95	0,28
12.- Almonte	660,52	979,20	357,27	0,26
13.- Tajo bajo y Erjas	635,26	927,70	358,22	0,27
14.- Tajo internacional y Salor	569,91	867,11	260,22	0,27

Puede observarse que la precipitación media en la zona más pluviosa supera los 1.000 mm anuales, mientras que en la zona más árida no alcanza ni la mitad de esta cifra.

Estos contrastes territoriales se aprecian claramente en la siguiente figura en la que se ha representado con un código de colores los valores de la precipitación media anual en el período 1.940/41-1.999/00 en las 216 áreas en que se divide la cuenca.

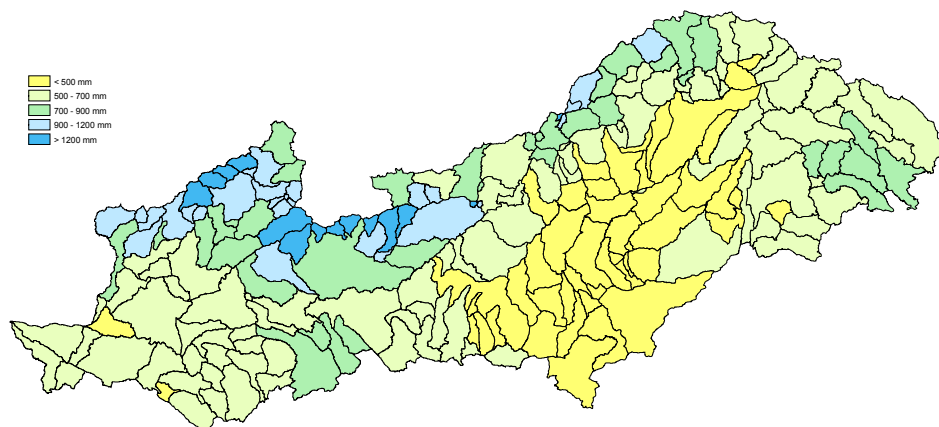


Figura 4.- Distribución espacial de la precipitación en la cuenca del Tajo

La distribución espacial de la pluviosidad de la cuenca está estrechamente relacionada con la altitud, según se deduce del gráfico anterior. De este modo, los valores medios anuales más altos corresponden a los bordes montañosos occidentales, Sierras de Gredos y Peña de Francia, que constituyen la primera barrera que, en la parte española de la cuenca del Tajo, se encuentran los frentes húmedos atlánticos. Este fenómeno, aunque con menor importancia, también afecta a la sierra de Guadarrama. Por el contrario, la depresión central se corresponde con los niveles más bajos de pluviometría en la cuenca, cuyos mínimos se suelen situar en el entorno de la ciudad de Toledo.

Esta situación conduce al desequilibrio general entre las áreas generadoras de recursos y las que los demandan. En efecto, las cuencas tributarias con mayores índices de pluviometría son las del Tiétar, Alagón y Guadiela; valores medios se registran en el Alberche y el propio Tajo, mientras que los mínimos corresponden a las cuencas del Almonte, Jarama, Salor y Guadarrama. Son por tanto las áreas más pobladas las que soportan menores valores de lluvia y por tanto de recursos generados.

3.3.- Índice SPI

En las últimas décadas se han desarrollado una gran cantidad de métodos para el análisis de la intensidad, frecuencia y duración de las sequías climatológicas. En la actualidad, el indicador de sequía más utilizado es el *Standardized Precipitation Index* (SPI), desarrollado por McKee et al en 1.993. Dicho índice mide el déficit de precipitación en una cuenca en distintas escalas temporales y permite la cuantificación de la duración e intensidad de los ciclos secos.

El cálculo del SPI se basa en el registro histórico de precipitaciones en un emplazamiento. La muestra de valores de precipitación se ajusta a una función de distribución de probabilidad teórica y, posteriormente, se realiza una transformación que permita obtener

una distribución normal centrada en la mediana del registro histórico de precipitaciones con desviación típica unidad. El valor del SPI se obtiene a partir de la precipitación observada, calculando su valor normalizado.

La tabla siguiente muestra la clasificación de episodios en función del valor de SPI.

TABLA 6.- VALORES DEL ÍNDICE SPI	
Valor SPI	Clasificación periodo
2,0 y mayor	Extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	Muy húmedo
1,0 a 1,49	Moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	Normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Muy seco
-2,0 y menor	Extremadamente seco

Un episodio de sequía se define como un periodo en el que el índice SPI es continuamente negativo y alcanza el valor -1 o inferior. El episodio comienza cuando el SPI se hace negativo y finaliza cuando se recupera el valor positivo. La intensidad anual de la sequía es el valor del SPI y su magnitud es la suma acumulada del índice SPI.

En la figura siguiente se han representado los valores anuales del índice SPI de la cuenca del Tajo, correspondientes a la serie de precipitaciones anuales del período de referencia.

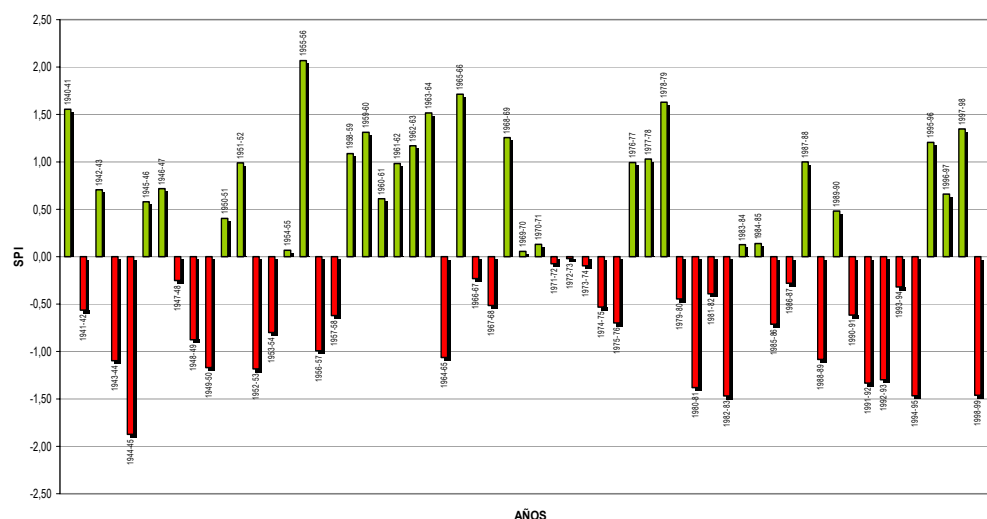


Figura 5.- Evolución del índice SPI en el Cuenca del Tajo

De acuerdo con los cálculos anteriormente expuestos, se han identificado cinco períodos de la serie histórica con un valor acumulado del índice SPI inferior a -2 , por lo que pueden

considerarse extremadamente secos. Sus principales características se exponen en la siguiente tabla:

TABLA 7.- INTENSIDAD DE CICLOS DE SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL TAJO (ÍNDICE SPI)				
Período	Años	SPI medio	Clasif. sequía período	SPI acumulado
1.943/44 – 1.944/45	2	-1,49	Moderado	-2,97
1.947/48 – 1.949/50	3	-0,77	Leve	-2,30
1.979/80 – 1.982/83	4	-0,92	Leve	-3,69
1.990/91 – 1.994/95	5	-1,01	Moderado	-5,04
1.998/99 – 1.999/00	2	-1,04	Moderado	-2,07

3.4.- Caracterización meteorológica a nivel de zonas hidrológicas

En el Apéndice 1 se han incluido los gráficos de precipitaciones anuales y acumuladas para el período 1940-41 a 1999-00, de cada una de las 14 zonas hidrológicas en que se divide la cuenca del Tajo.

A modo ilustrativo se ha elaborado la siguiente tabla en la que se han identificado los años secos de las series de precipitaciones de cada zona, distinguiendo entre años moderadamente secos, secos y muy secos de acuerdo con lo siguiente:

- Año moderadamente seco: $P_i > 0,90 P_m$
- Año seco: $0,80 P_m < P_i < 0,90 P_m$
- Año muy seco: $P_i < 0,80 P_m$

Donde P_i es la precipitación del año en cuestión y P_m es la precipitación media de la serie.

TABLA 8.- AÑOS SECOS POR ZONAS HIDROLÓGICAS					
ZONA	P _{media} (mm)	Mod. secos	Secos	Muy Secos	Total
01.- Alto Tajo	649,34	11	12	11	34
02.- Tajo Bolarque y Aranjuez	470,27	12	10	10	32
03.- Tajuña	534,72	11	11	11	33
04.- Henares	584,38	11	12	9	32
05.- Jarama	639,96	12	8	12	32
06.- Guadarrama	531,39	10	11	12	33
07.- Alberche	667,99	8	11	14	33
08.- Margen izq. en Tajo medio	461,06	10	8	13	31
09.- Tiétar	1.012,01	4	5	17	26
10.- Alagón	941,52	11	7	14	32
11.- Árrago	948,62	10	7	15	32
12.- Almonte	660,52	8	12	13	33
13.- Tajo bajo y Erjas	635,26	9	7	17	33
14.- Tajo internacional y Salor	569,91	8	12	14	34
Cuenca Total	651,72	8	10	14	32

Se puede comprobar que el número total de años secos oscila poco de una zona a otra, salvo en la del Tiétar donde es inferior a la mitad del total de años de la serie. En general, en las zonas más pluviosas se observa una mayor frecuencia de años muy secos, fruto de la mayor variabilidad de la serie (mayores coeficientes de variación).

Año	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Alto Tajo																														
Tajo																														
Tajuña																														
Henares																														
Jarama																														
Guadarr.																														
Alberche																														
Tajo medio																														
Tiétar																														
Alagón																														
Árrago																														
Almonte																														
Tajo bajo																														
Tajo int.																														
Cuenca																														

Año	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Alto Tajo																														
Tajo																														
Tajuña																														
Henares																														
Jarama																														
Guadarr.																														
Alberche																														
Tajo medio																														
Tiétar																														
Alagón																														
Árrago																														
Almonte																														
Tajo bajo																														
Tajo int.																														
Cuenca																														

Año moderadamente seco
 Año seco
 Año muy seco

En el Apéndice 3 se presentan los gráficos correspondientes a las sequías identificadas en cada una de las 14 zonas de la cuenca según el indicador SPI. Se ha realizado el análisis en dos escalas temporales: anual y mensual. En cada una de ellas se han analizado las sequías en pluviómetros y en subcuencas. La figura siguiente presenta el resumen para toda la cuenca del análisis realizado a escala anual. Se presentan las sequías configuradas por rachas en las que el índice SPI alcanza un valor de -1,5 o inferior.

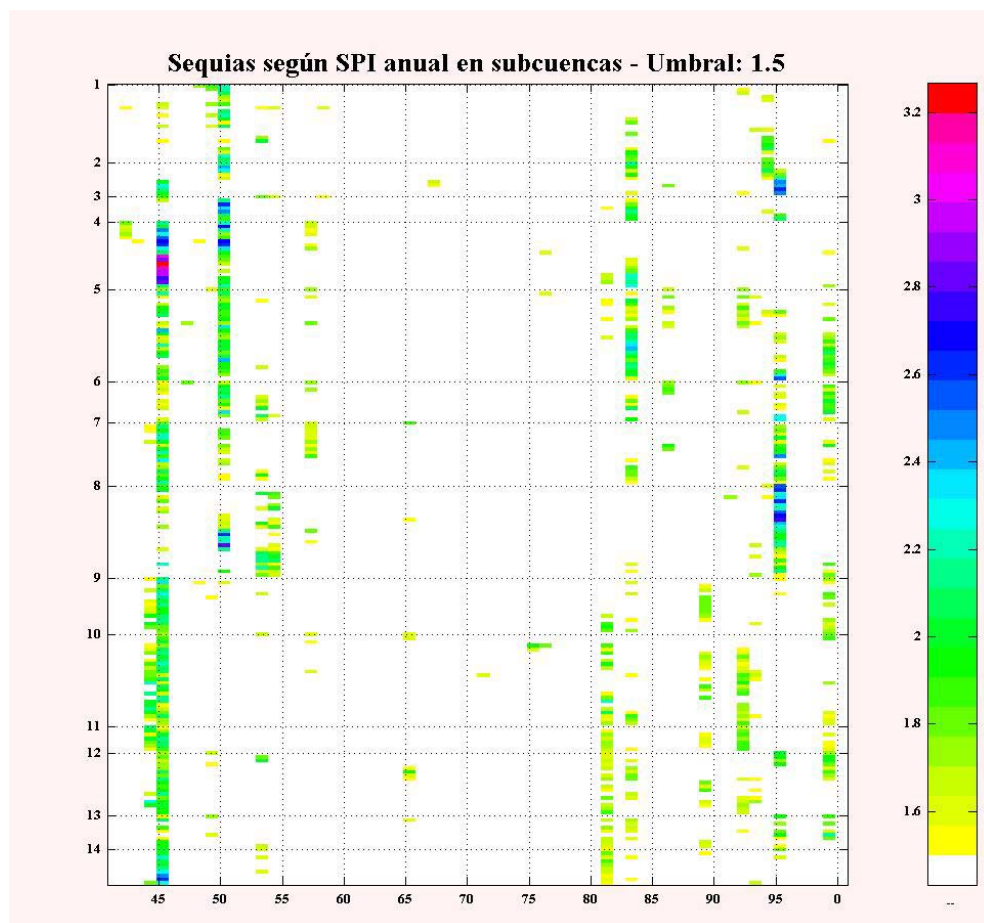


Figura 6.- Índice SPI anual por zonas hidrológicas

4.- CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS SEQUÍAS

4.1.- Caracterización hidrológica a nivel de cuenca

De manera análoga a las precipitaciones, se dispone de una serie de aportaciones anuales para las zonas hidrológicas y el conjunto de la cuenca del Tajo en el período 1940-41 a 1999-00, elaborada con motivo de la redacción del Estudio de Recursos de 1998 y su posterior revisión.

La aportación media para el período analizado en el total de la cuenca del Tajo es de 11.990,40 hm³. La serie presenta una variabilidad muy alta, con una desviación típica de 6.114 hm³ y un coeficiente de variación de 0,51. En la tabla de la página siguiente se han consignado todos los valores de la serie.

El valor mínimo de la serie corresponde al año 1991-92 (2.989,11 hm³), mientras que el máximo se produjo el año 1978-79, con un valor de 24.865,05 hm³.

En el siguiente gráfico se observa la evolución de la aportación media anual en la cuenca en el período 1940-41 a 1999-00.

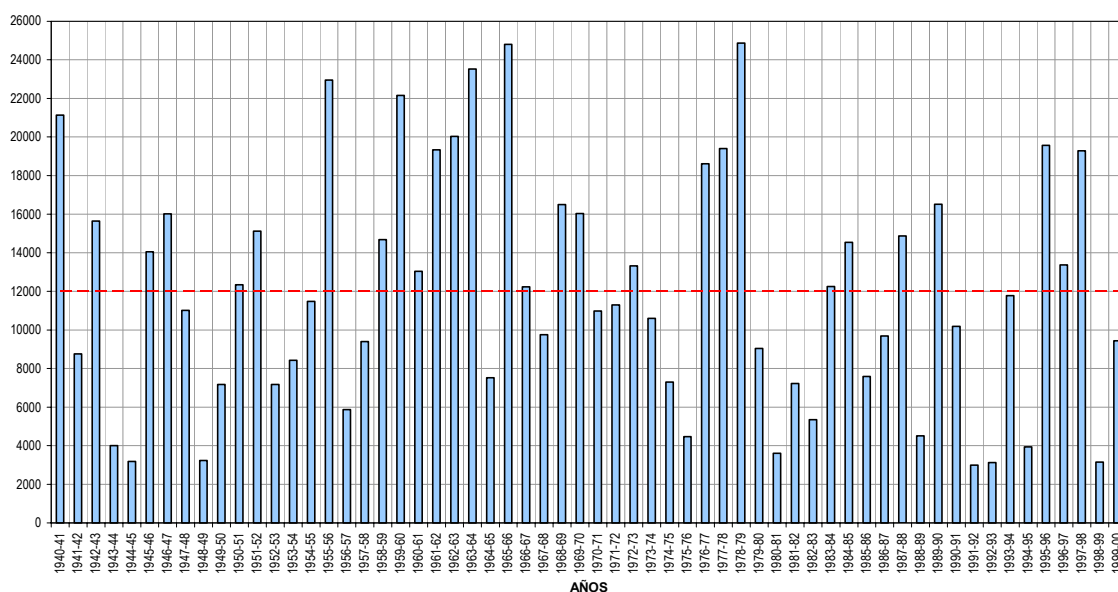


Figura 7.- Evolución de la aportación anual en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Tajo

TABLA 9.- SERIE DE APORTACIONES MEDIAS ANUALES EN LA CUENCA DEL TAJO (1.940/41 A 1.999/00)			
Año	Aport. (hm³)	Año	Aport. (hm³)
1940-41	21.139,43	1970-71	10.987,39
1941-42	8.764,87	1971-72	11.298,23
1942-43	15.640,26	1972-73	13.321,87
1943-44	4.005,25	1973-74	10.594,33
1944-45	3.183,37	1974-75	7.291,14
1945-46	14.049,59	1975-76	4.463,36
1946-47	16.018,31	1976-77	18.610,38
1947-48	11.016,25	1977-78	19.401,83
1948-49	3.230,56	1978-79	24.865,05
1949-50	7.166,10	1979-80	9.040,61
1950-51	12.344,77	1980-81	3.602,58
1951-52	15.117,07	1981-82	7.222,47
1952-53	7.167,74	1982-83	5.349,25
1953-54	8.424,46	1983-84	12.247,09
1954-55	11.486,50	1984-85	14.536,09
1955-56	22.954,68	1985-86	7.584,97
1956-57	5.867,64	1986-87	9.683,56
1957-58	9.395,83	1987-88	14.873,34
1958-59	14.684,91	1988-89	4.505,38
1959-60	22.150,89	1989-90	16.507,55
1960-61	13.044,64	1990-91	10.184,88
1961-62	19.342,10	1991-92	2.989,11
1962-63	20.031,01	1992-93	3.126,59
1963-64	23.522,10	1993-94	11.773,23
1964-65	7.525,20	1994-95	3.941,78
1965-66	24.807,84	1995-96	19.564,32
1966-67	12.235,14	1996-97	13.370,72
1967-68	9.761,65	1997-98	19.285,73
1968-69	16.505,20	1998-99	3.148,44
1969-70	16.033,44	1999-00	9.435,82
Media		11.990,40 hm ³	
Desv. Típica		6.113,69 hm ³	
Coef. Variación		0,51	

De la comparación de los valores anuales con el medio de la serie se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- en un total de 32 años (53 % del total) la aportación anual se sitúa en valores inferiores a la media. Este valor es idéntico al que resultaba en la serie de precipitaciones analizada.
- la duración media de los ciclos secos hiperanuales, caracterizados en función de las aportaciones inferiores a la media, es menor que en el caso de las precipitaciones según se desprende de la siguiente tabla.

TABLA 10.- CICLOS SECOS HISTÓRICOS (1940-2000)	
DURACIÓN	Nº DE CICLOS
5 años	1
4 años	1
3 años	3
2 años	5
1 año	4

Al igual que en la caso de la precipitaciones se ha elaborado la curva de desviación acumulada de las aportaciones que se muestra en la figura siguiente, en la que se pueden identificar los ciclos secos (tramos descendentes) y húmedos (tramos ascendentes).

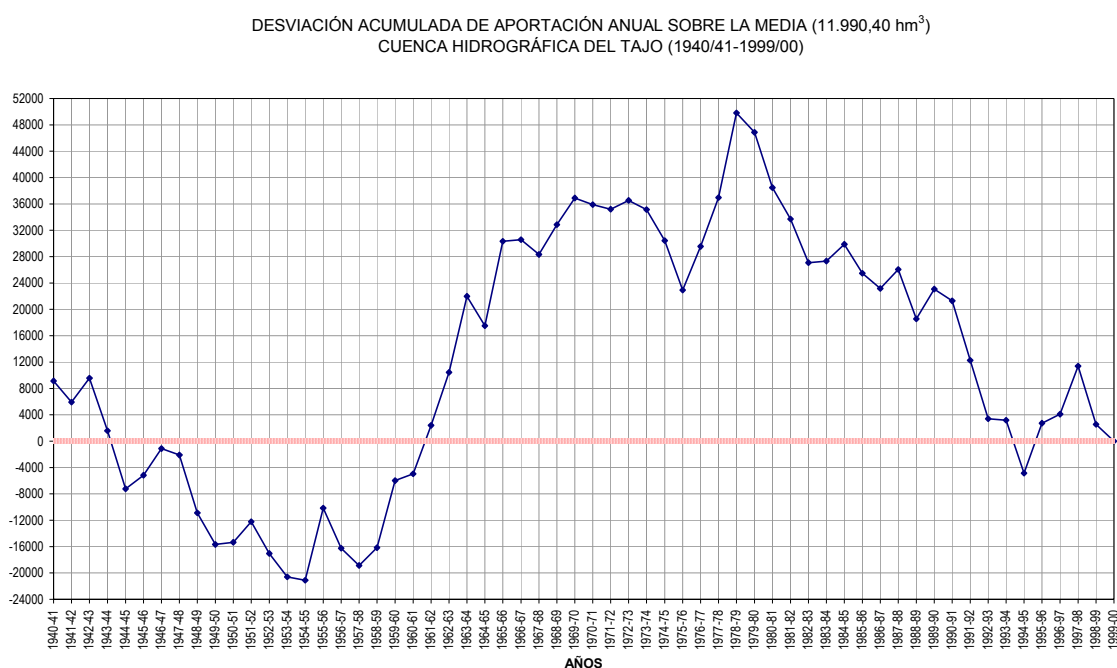


Figura 8.- Distribución de ciclos húmedos y secos en la Cuenca del Tajo

En la siguiente tabla se han relacionado los principales ciclos secos que se han presentado a lo largo del período en estudio en la cuenca.

TABLA 11.- PRINCIPALES CICLOS SECOS EN LA CUENCA		
Período	Duración (años)	Ap. media (hm ³)
1.943/44 – 1.944/45	2	3.594
1.947/48 – 1.949/50	3	7.138
1.952/53 – 1.954/55	3	9.026
1.973/74 – 1.975/76	3	7.450
1.979/80 – 1.982/83	4	6.304
1.990/91 – 1.994/95	5	6.403
1.998/99 – 1.999/00	2	6.292

Las conclusiones que se pueden extraer del análisis de los datos anteriormente coinciden en líneas generales con las ya expuestas en el apartado dedicado a las sequías meteorológicas, con las siguientes peculiaridades:

- La serie histórica de aportaciones anuales presenta un alto grado de variabilidad, muy superior al de las precipitaciones, con un valor del coeficiente de variación de 0,51 y un cociente entre los valores máximo y mínimo de 8,3.
- Al igual que lo que ocurría en la serie de precipitaciones anuales, se detecta una frecuencia de presentación de años secos ligeramente superior a los húmedos y con intensidad algo menos acentuada. La aportación en el conjunto de los años secos es un 39 % inferior a la media, mientras que en los húmedos la excede en un 45 %.
- La duración media de los ciclos en función de las aportaciones es algo inferior a la resultante siguiendo el criterio meteorológico, situándose en el entorno de los dos años.
- Tampoco en este caso existe una correlación clara entre la duración de los ciclos y su intensidad.
- Las sequías hidrológicas más importantes coinciden en su período de presentación con las meteorológicas; destacando la acaecida entre los años 1.990-91 a 1.994-95 con una aportación media anual 53,4 % de la media de la serie. Dentro de estos cinco años destaca el “mini-ciclo” comprendido entre 1.991/92 y 1.992/93, ya que son los dos años más secos de la serie histórica. Las aportaciones al año siguiente aumentaron sensiblemente, aunque fueron ligeramente inferiores a la media, lo que permitió remontar la situación.
- Otras sequías destacables son las de 1.943-44 a 1.944-45, en la que la aportación no

llegó 30 % de la media, o la de 1.979-80 a 1.982-83 (aportación del 53 % de la media).

- Otras sequías hidrológicas de menor intensidad están algo desplazadas temporalmente respecto de las meteorológicas.

4.2.- Distribución espacial

La variabilidad espacial de las aportaciones dentro de la cuenca se analiza en la siguiente tabla, en la que se han consignado los valores de las aportaciones anuales en el período 1.940/41-1.999/00 (totales y específicas) en las distintas zonas hidrológicas de la cuenca.

TABLA 12.- VALORES DE LA APORTACIÓN MEDIA ANUAL POR ZONAS				
ZONA	Ap _{media} (hm ³)	Sup. (km ²)	Ap. Específica (hm ³ /km ²)	Cv
01.- Alto Tajo	1.191,0	7.418	0,161	0,49
02.- Tajo Bolarque y Aranjuez	118,1	2.781	0,042	0,65
03.- Tajuña	131,7	2.608	0,050	0,57
04.- Henares	517,9	4.136	0,125	0,52
05.- Jarama	992,4	4.802	0,207	0,42
06.- Guadarrama	162,4	1.709	0,095	0,54
07.- Alberche	823,3	4.109	0,200	0,55
08.- Margen izq. en Tajo medio	536,9	7.590	0,071	0,69
09.- Tiétar	2.155,2	4.459	0,483	0,52
10.- Alagón	1.996,4	4.405	0,453	0,48
11.- Árrago	430,3	1.020	0,422	0,55
12.- Tajo bajo y Erjas	1.328,7	2.463	0,539	0,59
13.- Almonte	501,1	5.949	0,084	0,67
14.- Tajo internacional y Salor	1.104,9	5.492	0,201	0,62
Cuenca Total	11.990,40	58.941	0,203	0,51

Se observa la gran variabilidad en la aportación específica por km² entre unas zonas y otras; de este modo entre las zonas del Tiétar y Alagón se contabiliza más de la tercera parte de la aportación total de la cuenca, mientras que en superficie apenas representan un 15%. En el otro extremo, zonas como el Tajo entre Bolarque y Aranjuez, Tajuña o Margen Izquierda, que totalizan el 22 % de la extensión de la cuenca, sólo contribuyen con algo más del 6 % de la aportación.

4.3.- Índices de aportaciones

Con objeto de identificar los ciclos secos y húmedos en función de las aportaciones, se han definido dos índices: el porcentaje de la media y el índice de aportación estandarizado

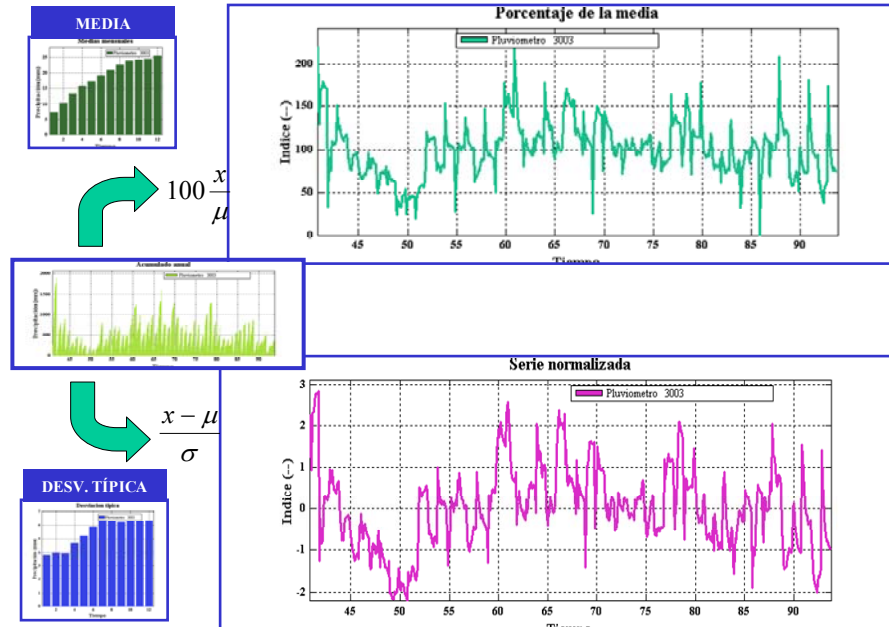


Figura 9.- Elaboración de índices hidrológicos

El porcentaje de la media se define como

$$P.M. = 100 * X_i / M$$

Donde:

P.M.: valor del índice porcentaje de la media

X_i : aportación anual del año i en hm^3

M : media de la serie de aportaciones anuales del período 1940-41 a 1999-00.

El índice de aportación estandarizado se define de manera análoga al SPI comentado anteriormente en este Anejo:

$$I.E. = (X_i - M) / \sigma$$

Donde:

I.E.: valor del índice de aportación anual estandarizado

X_i : aportación anual del año i en hm^3

M : media de la serie de aportaciones anuales del período 1940-41 a 1999-00.

σ : desviación típica de la serie de aportaciones anuales del período 1940-41 a 1999-00.

En la figura siguiente se han representado los valores anuales del índice IE de la cuenca del Tajo, correspondientes a la serie de aportaciones anuales del período de referencia.

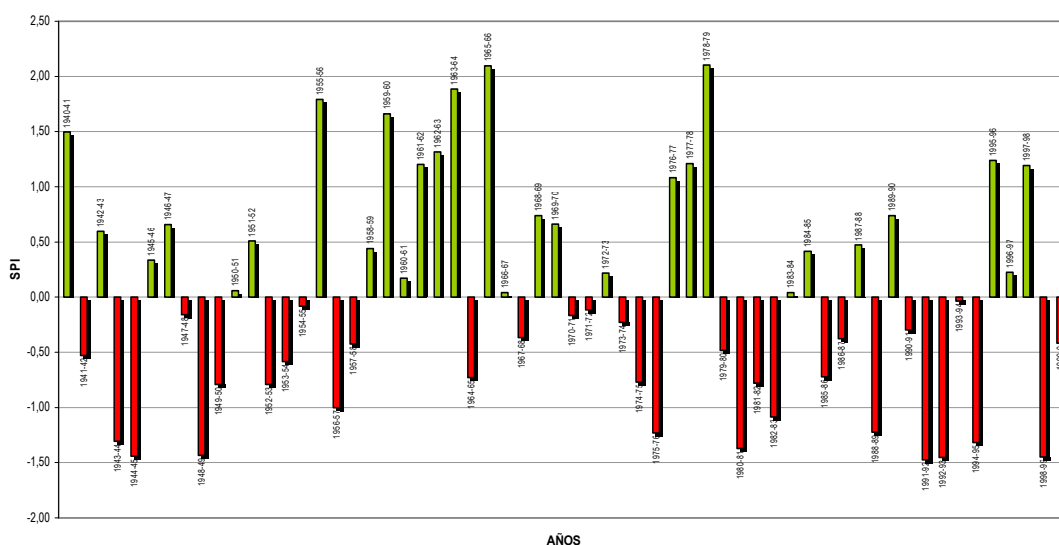


Figura 10.- Evolución del índice de estado de las aportaciones en la Cuenca del Tajo

De acuerdo con los cálculos anteriormente expuestos, y siguiendo los criterios comentados al tratar el índice SPI, se han identificado cinco períodos de la serie histórica con un valor acumulado del índice inferior a -2, por lo que pueden considerarse extremadamente secos. Sus principales características se exponen en la siguiente tabla:

TABLA 13.- INTENSIDAD DE CICLOS DE SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL TAJO (ÍNDICE DE ESTADO)				
Período	Años	I. E. medio	Clasif. sequía período	I. E. acumulado
1.943/44 – 1.944/45	2	-1,38	Moderado	-2,75
1.947/48 – 1.949/50	3	-0,79	Leve	-2,38
1.973/74 – 1.975/76	3	-0,74	Leve	-2,23
1.979/80 – 1.982/83	4	-0,93	Leve	-3,72
1.990/91 – 1.994/95	5	-0,91	Moderado	-4,57

4.4.- Caracterización hidrológica a nivel de zonas hidrológicas

En el Apéndice 1 se han incluido los gráficos de aportaciones anuales y acumuladas para el período 1940-41 a 1999-00, de cada una de las 14 zonas hidrológicas en que se divide la cuenca del Tajo.

Como ya se hiciera para las precipitaciones, se han elaborado unas tablas en las que identifican los años secos de las series de aportaciones de cada zona, distinguiendo entre años moderadamente secos, secos y muy secos de acuerdo el siguiente criterio:

- Año moderadamente seco: $AP_i > 0,75 AP_m$
- Año seco: $0,50 AP_m < AP_i < 0,75 AP_m$
- Año muy seco: $AP_i < 0,50 AP_m$

Donde AP_i es la aportación del año en cuestión y AP_m es la precipitación media de la serie.

TABLA 14.-AÑOS SECOS POR ZONAS HIDROLÓGICAS					
ZONA	AP_{media} (mm)	Mod. secos	Secos	Muy Secos	Total
01.- Alto Tajo	1.191,0	15	9	10	34
02.- Tajo Bolarque y Aranjuez	118,1	12	13	12	37
03.- Tajuña	131,7	7	16	11	34
04.- Henares	517,9	12	12	10	34
05.- Jarama	992,4	11	9	10	30
06.- Guadarrama	162,4	12	7	14	33
07.- Alberche	823,3	14	7	13	34
08.- Margen izq. en Tajo medio	536,9	14	7	15	36
09.- Tiétar	2.155,2	7	11	12	30
10.- Alagón	1.996,4	14	6	11	31
11.- Árrago	430,3	14	6	14	34
12.- Tajo bajo y Erjas	1.328,7	13	9	13	35
13.- Almonte	501,1	8	10	16	34
14.- Tajo internacional y Salor	1.104,9	12	10	13	35
Cuenca Total	11.990,4	12	8	12	32

Año	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Alto Tajo																														
Tajo																														
Tajuña																														
Henares																														
Jarama																														
Guadarr.																														
Alberche																														
Tajo medio																														
Tiétar																														
Alagón																														
Árrago																														
Almonte																														
Tajo bajo																														
Tajo int.																														
Cuenca																														

Año	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	00
Alto Tajo																														
Tajo																														
Tajuña																														
Henares																														
Jarama																														
Guadarr.																														
Alberche																														
Tajo medio																														
Tiétar																														
Alagón																														
Árrago																														
Almonte																														
Tajo bajo																														
Tajo int.																														
Cuenca																														

Año moderadamente seco
 Año seco
 Año muy seco

En el Apéndice 3 se presentan los gráficos correspondientes a las sequías identificadas en cada una de las 14 zonas de la cuenca según los índices analizados. Se ha realizado el análisis en dos escalas temporales: anual y mensual. En cada una de ellas se han analizado las sequías en de aportación (valores acumulados) y de escorrentía (valores generados localmente) en cada subcuenca. La figura siguiente presenta el resumen para toda la cuenca del análisis realizado a escala anual. Se presentan las sequías configuradas por rachas en las que el índice de escorrentía normalizada alcanza un valor de -1,0 o inferior.

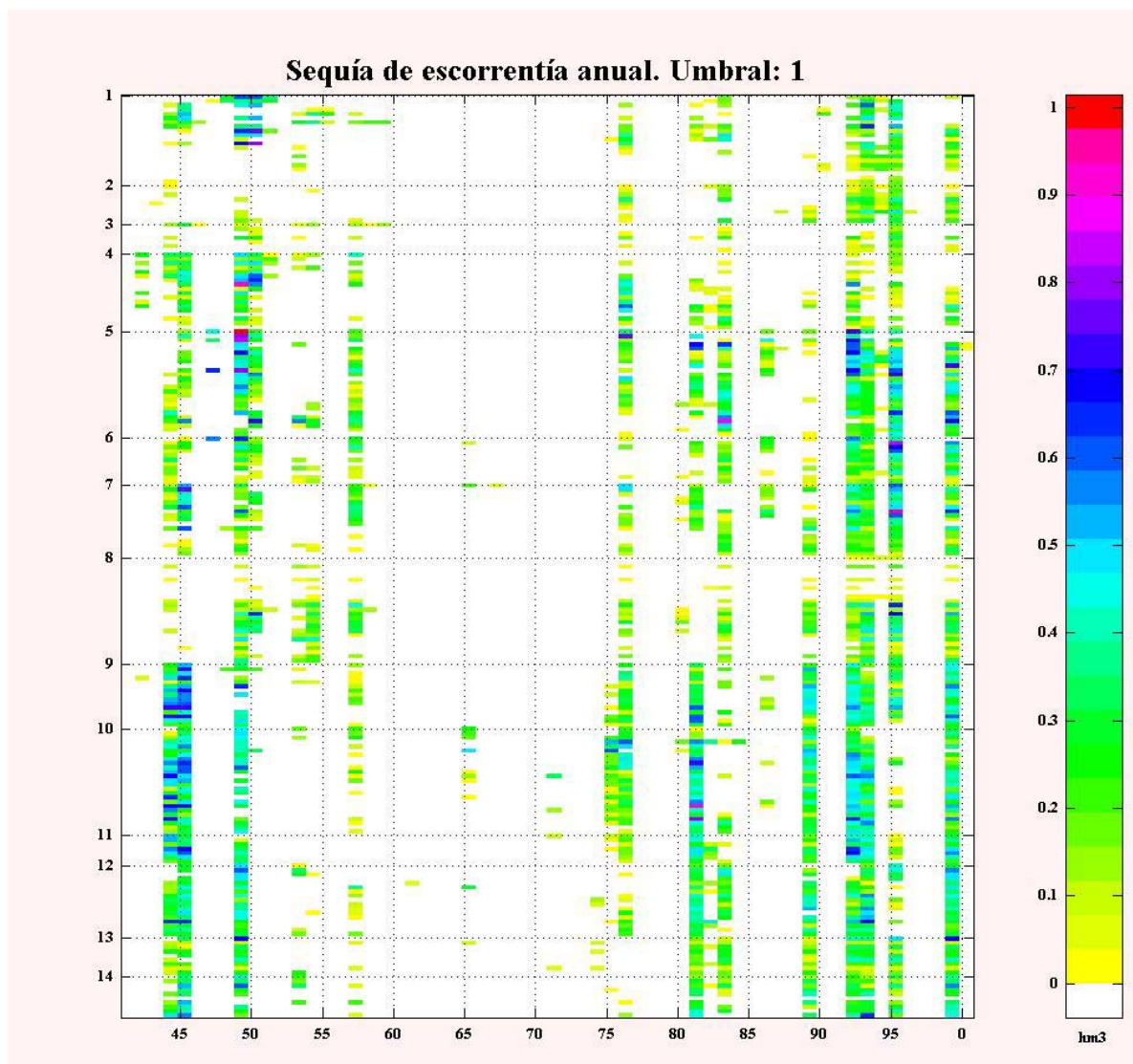


Figura 11.-

Gráfico de análisis de sequías hidrológicas a nivel de cuenca

5.- CARACTERIZACIÓN OPERACIONAL DE LAS SEQUÍAS

La caracterización operacional de las sequías en la cuenca del Tajo se ha estudiado mediante el índice de disponibilidad de recursos superficiales (Surface Water Supply Index, SWSI).

El índice de recursos superficiales tiene como finalidad integrar las características meteorológicas, hidrológicas y operativas en un único índice a nivel de cuenca hidrográfica que describe la disponibilidad de recursos. Para ello se combinan los valores de precipitación, aportación y reservas en un índice agregado que representa las condiciones globales en la cuenca.

El cálculo del SWSI es como sigue: se calculan los valores acumulados de precipitación, aportación y reservas en la cuenca y se obtiene para cada uno de ellos la probabilidad de no excedencia; es decir, la probabilidad de que valores subsiguientes de las variables no sean superiores a los actuales. El valor del índice SWSI es una media ponderada de los índices de cada variable. El peso de cada componente depende de las características del sistema de explotación de recursos hidráulicos; fundamentalmente, de la naturaleza anual o hiperanual de la regulación disponible.

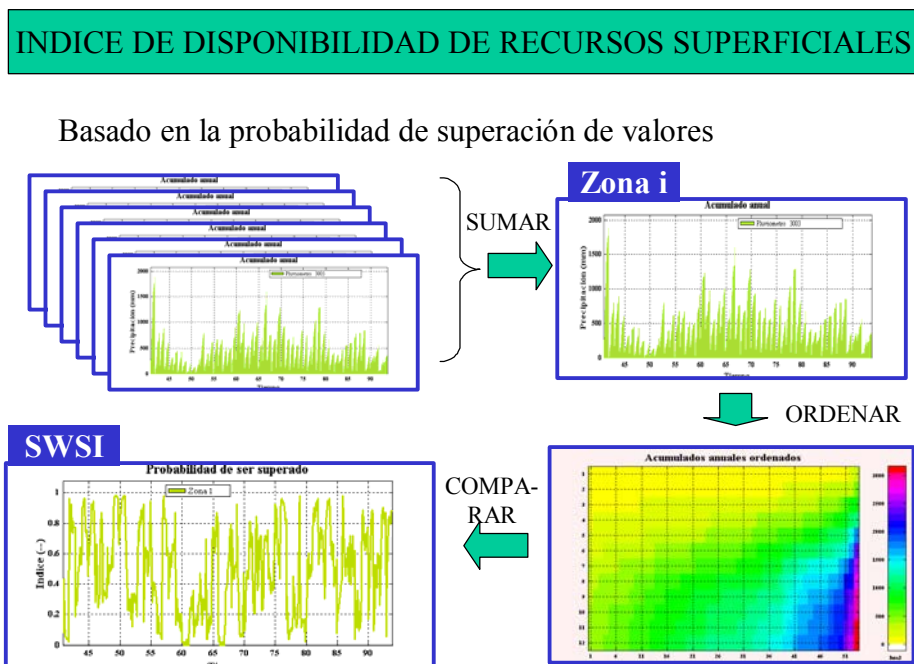


Figura 12.- Metodología de cálculo del índice SWSI

En nuestro caso se ha calculado el índice SWSI para las 14 zonas hidrológicas del sistema, asignando igual peso a cada una de las tres componentes. En el caso de las reservas en embalses, se han utilizado los resultados de la simulación de los sistemas de explotación de recursos en la situación actual, ya que la progresiva puesta en servicio de la infraestructura impide el cálculo de la probabilidad de excedencia con datos históricos.

En el Apéndice 3 se presentan los gráficos correspondientes a las series de rachas de sequía según el índice SWSI, para distintos valores de umbral de probabilidad de excedencia.

Como ejemplo, se incluye a continuación el gráfico correspondiente a las sequías definidas por rachas en las que el índice SWSI alcanza un valor de 1,5 o superior.

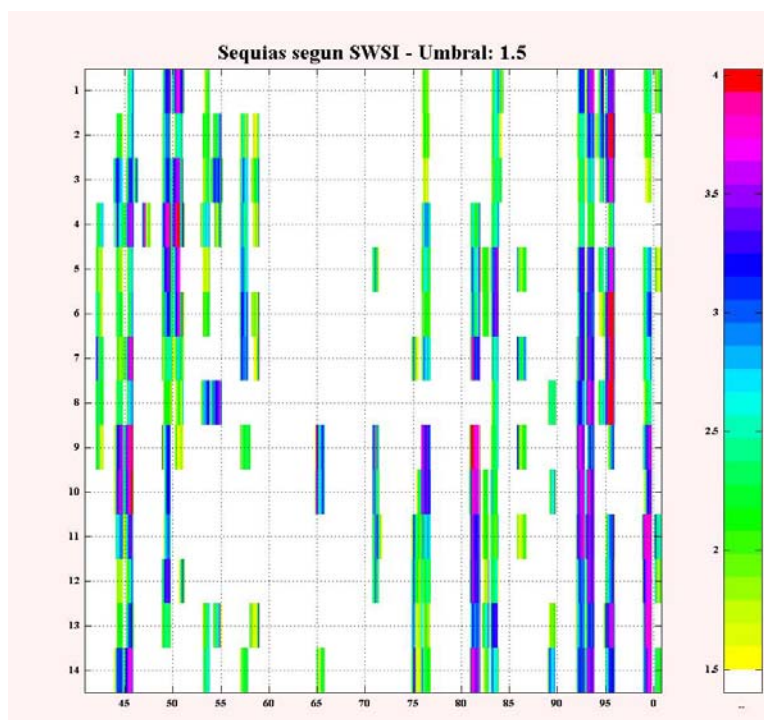


Figura 13.- Gráfico de cálculo del índice SWSI a nivel de cuenca

6.- RELACIÓN ENTRE VARIABLES HIDROLÓGICAS

Con la finalidad de conocer la estructura espacial y de poder establecer sistemas de pronóstico de posible evolución de las variables hidrológicas en periodos de sequía se han estudiado las correlaciones entre las variables hidrológicas más representativas de la cuenca. Los estudios realizados se describen en detalle en el Apéndice 2. Aquí se presenta un resumen de las conclusiones más importantes.

6.1.- Cálculos de correlaciones espaciales

Se han calculado los coeficientes de correlación entre las mismas variables medidas en distintos puntos de la cuenca. Los cálculos se han realizado sobre las variables de lluvia (correlación entre pluviómetros y entre lluvia media en subcuencas), escorrentía (correlación entre aportación específica en subcuencas y reservas en embalses (correlación entre volúmenes embalsados). En este último caso los cálculos se han realizado sobre los resultados de la simulación de los sistemas de explotación, no sobre datos históricos, al haber sido progresiva la entrada en servicio de los embalses.

Los resultados obtenidos se resumen en los cuatro gráficos de la figura siguiente, en los que se representa, con un código de colores, el valor del coeficiente de correlación entre cada dos pares de variables, ordenadas por zonas hidrológicas. Se aprecia que las correlaciones de las lluvias medias en subcuencas son mucho mayores que las correlaciones entre pluviómetros, ya que aquéllas se han obtenido por interpolación espacial de éstas. En ambos casos, con mayor o menor claridad, parecen distinguirse tres zonas hidrológicas en la cuenca, que presentan correlaciones significativamente mayores entre ellas que con relación a las otras zonas. Las tres zonas hidrológicas son: la cabecera (zonas 1 y 2), la zona de Madrid (zonas 4, 5, 6 y 7) y la zona de Extremadura (zonas 9, 10, 11, 12, 13 y 14). Dado que la cuenca discurre sensiblemente de este a oeste, estas zonas coinciden con los ámbitos territoriales de la cuenca.

La correlación entre la escorrentía en subcuencas presenta patrones espaciales similares a los de la precipitación, aunque el grado de relación no es tan acusado como en el caso de la precipitación en subcuencas.

En el caso de las reservas en embalses, los valores de correlación son muy bajos, excepto en los sistemas de explotación de cabecera, Henares, Abastecimiento de Madrid y los embalses de Extremadura, que presentan valores algo superiores, aunque, en general, inferiores a 0,8.

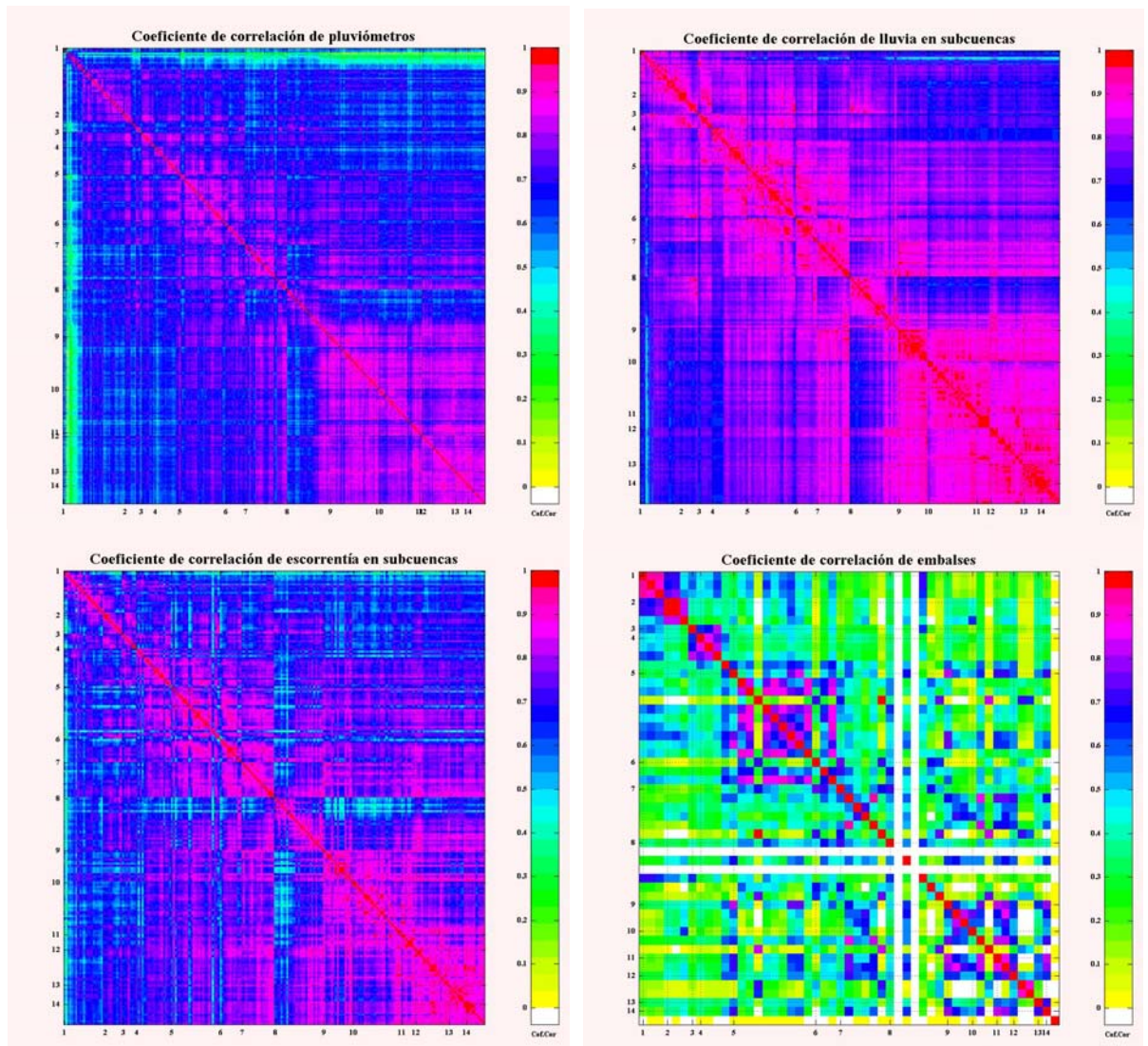


Figura 14.- Gráficos de coeficientes de correlación

6.2.- Cálculos de correlaciones cruzadas

Se han calculado los coeficientes de correlación cruzada en subcuencas. Se han analizado las siguientes combinaciones

- Coeficientes de correlación de lluvia en pluviómetros frente a lluvia en subcuencas.
- Coeficientes de correlación de lluvia normalizada en pluviómetros frente a lluvia normalizada en subcuencas.
- Coeficientes de correlación del porcentaje de la media de lluvia en pluviómetros frente a porcentaje de la media de aportación en subcuencas.

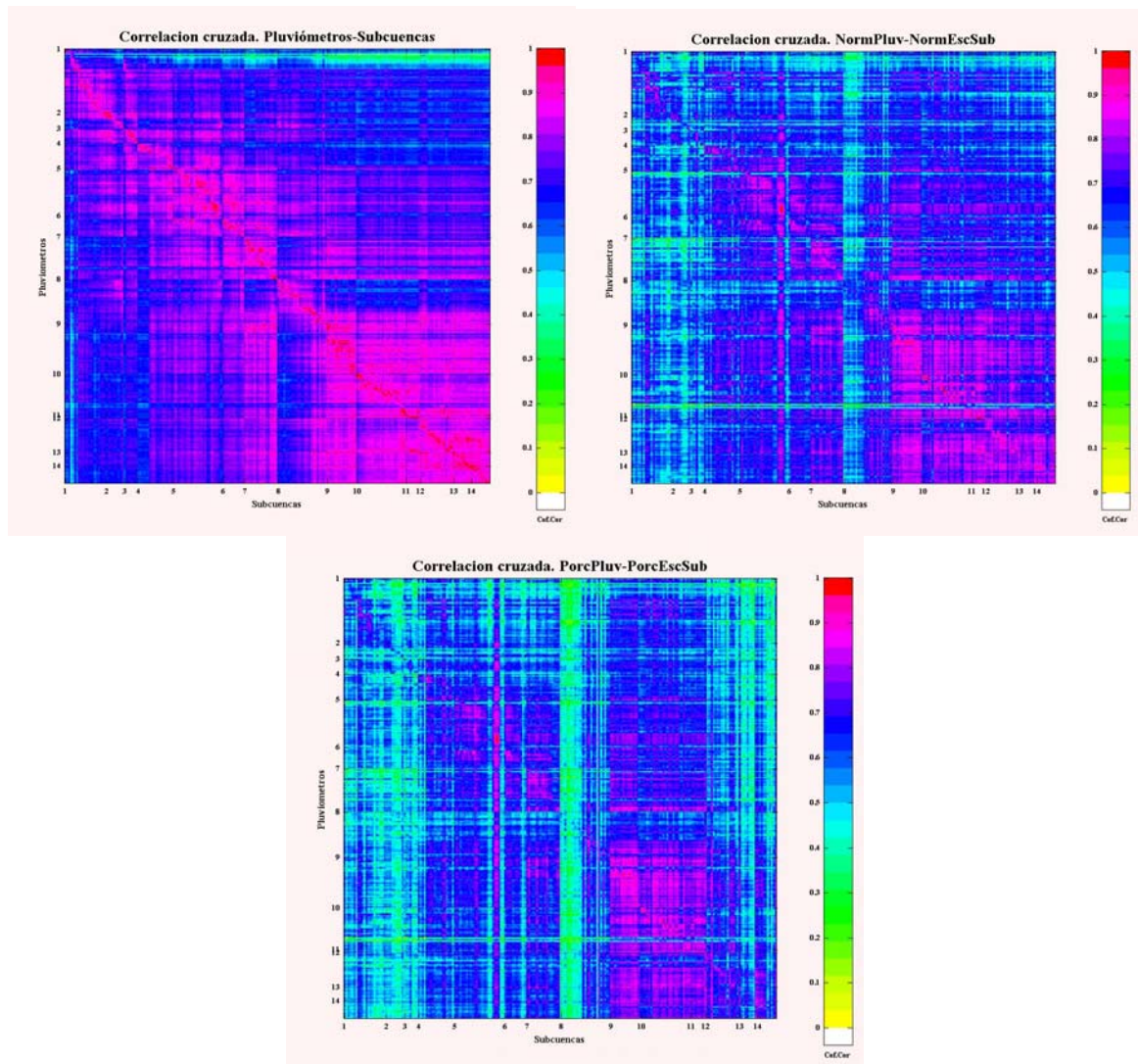


Figura 15.- Gráficos de coeficientes de correlación cruzados

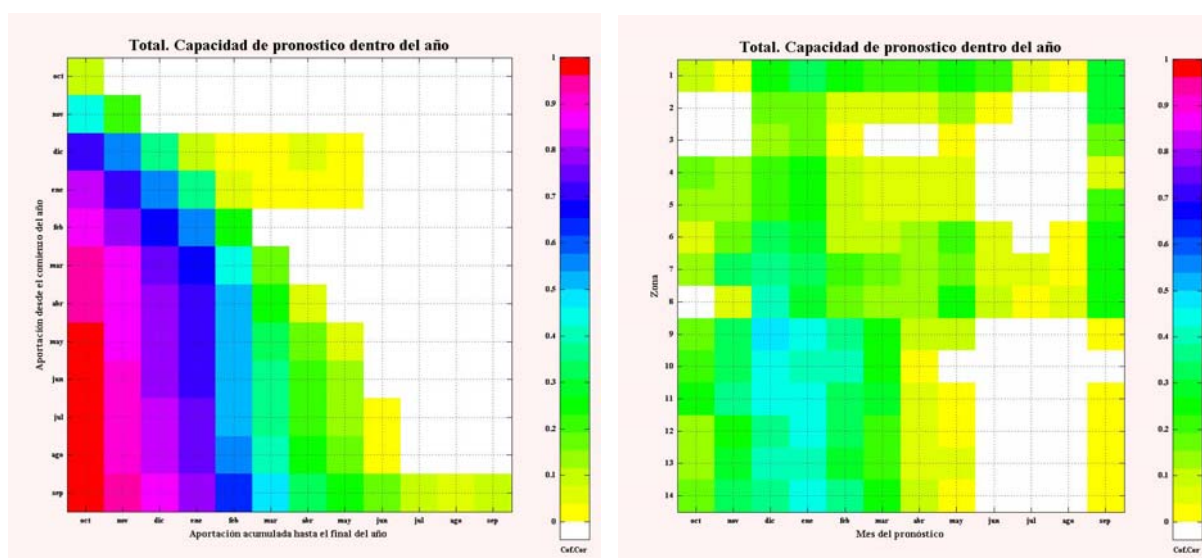
6.3.- Capacidad de pronóstico

Finalmente, se han calculado los coeficientes de correlación para valorar la capacidad de pronóstico dentro de un mismo año hidrológico. En cada año se han analizado las correlaciones entre las variables (precipitación y aportación) acumuladas desde el comienzo del año hidrológico hasta un mes determinado y las variables desde un mes determinado hasta el final del año hidrológico. De esta manera se evalúa cómo condiciona el hecho de que un año haya comenzado siendo, por ejemplo, más seco de lo normal, sobre el resto del año hidrológico.

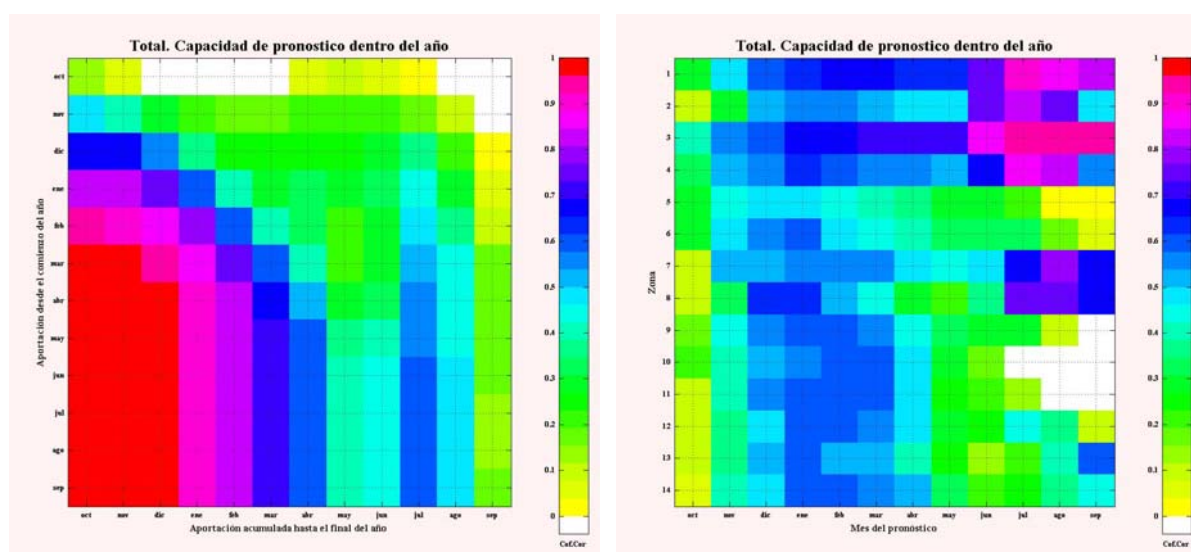
- Coeficientes de correlación de lluvia acumulada desde el comienzo del año hidrológico frente a lluvia hasta el final del año hidrológico.
- Coeficientes de correlación de aportación acumulada desde el comienzo del año hidrológico frente a aportación hasta el final del año hidrológico.

Se han calculado los coeficientes de correlación correspondientes a los valores medios de precipitación y aportación en cada zona hidrológica. Se presentan inicialmente los resultados agregados para el total de la cuenca y los resúmenes de los resultados obtenidos por zonas. A continuación, se presentan los resultados desagregados por zonas. Como puede apreciarse, la capacidad de pronóstico de precipitaciones del resto del año hidrológico a partir de lo sucedido desde el comienzo del año hidrológico es prácticamente nula. Sin embargo, en el caso de las aportaciones sí existe un cierto grado de correlación lineal, que alcanza un valor máximo entre los meses de enero y febrero, con coeficientes de correlación lineal superiores a 0,6. Asimismo, en las cuencas en las que el flujo de base de aguas subterráneas es importantes (cuencas del Alto Tajo, Guadiela, Tajuña, Henares y, en menor medida, Alberche), los coeficientes de correlación en verano son muy elevados.

Valores medios en la cuenca: Precipitación



Valores medios en la cuenca: Aportación



APÉNDICE II.1

DATOS DE PARTIDA

Apéndice II.1.- Datos de partida

Índice

1.- ZONIFICACIÓN HIDROLÓGICA.....	1
2.- DATOS PLUVIOMÉTRICOS.....	5
3.- DATOS DE SERIES DE APORTACIONES.....	6
4.- DATOS DE RESERVAS	7
5.- GRÁFICOS DE DATOS MEDIDOS EN ZONAS.....	8
6.- GRÁFICOS DE DATOS MENSUALES CALCULADOS EN ZONAS.....	23
7.- GRÁFICOS DE DATOS ANUALES DE PRECIPITACIÓN POR ZONAS.....	38
8.- GRÁFICOS DE DATOS ANUALES DE APORTACIONES POR ZONAS	67

1.- ZONIFICACIÓN HIDROLÓGICA

La cuenca del Tajo se divide en catorce zonas hidrológicas, detalladas en la tabla siguiente:

TABLA 1.- ZONAS HIDROLÓGICAS		
ZONA	DENOMINACIÓN	SUPERFICIE (km ²)
1	Alto Tajo	7.418
2	Tajo entre Bolarque y Aranjuez	2.781
3	Tajuña	2.608
4	Henares	4.136
5	Jarama	4.802
6	Guadarrama	1.709
7	Alberche	4.109
8	Margen izquierda en Tajo medio	7.590
9	Tiétar	4.459
10	Alagón	4.405
11	Árrago	1.020
12	Tajo bajo y Erjas	5.949
13	Almonte	2.463
14	Tajo internacional y Salor	5.492
TOTAL		58.941

A efectos de análisis hidrológicos, las zonas se dividen en subcuencas, totalizando 216 unidades de cálculo de series hidrológicas.

La siguiente tabla describe las subcuencas analizadas:

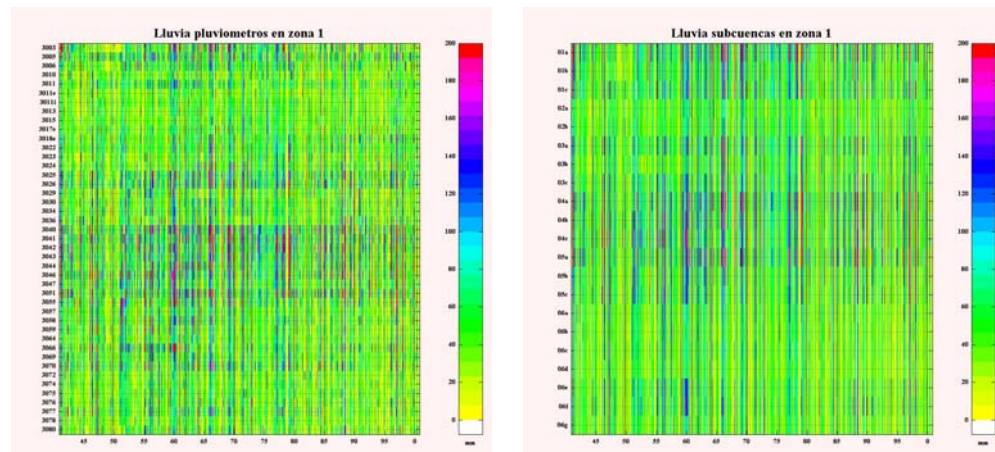
TABLA 2.- SUBCUENCAS ANALIZADAS									
Nº	Código	Superficie Parcial	Superficie Acumulada	Subcuenca aguas abajo	Nº	Código	Superficie Parcial	Superficie Acumulada	Subcuenca aguas abajo
1	01-01a	408,0	408,0	01-01c	41	04-10d	217,7	217,7	04-10e
2	01-01b	194,4	194,4	01-01c	42	04-10e	189,6	1052,6	04-14b
3	01-01c	248,0	850,4	01-03a	43	04-11a	272,9	272,9	04-14a
4	01-02a	949,8	949,8	01-02b	44	04-12a	362,3	362,3	04-14c
5	01-02b	363,4	1313,1	01-03a	45	04-13a	437,4	437,4	04-13b
6	01-03a	140,7	2304,2	01-03c	46	04-13b	38,2	475,6	04-14e
7	01-03b	388,4	388,4	01-03c	47	04-14a	66,0	338,9	04-14b
8	01-03c	631,4	3324,0	01-06f	48	04-14b	34,1	1425,6	04-14d
9	01-04a	365,4	365,4	01-04b	49	04-14c	47,3	409,6	04-14d
10	01-04b	222,2	587,6	01-04c	50	04-14d	223,2	2058,4	04-15a
11	01-04c	182,2	769,8	01-06e	51	04-14e	45,1	520,7	04-14f
12	01-05a	327,9	327,9	01-05c	52	04-14f	26,4	547,1	04-15a
13	01-05b	406,0	406,0	01-05c	53	04-15a	1176,9	4033,5	04-15c
14	01-05c	41,5	775,4	01-06e	54	04-15b	251,0	251,0	04-15a
15	01-06a	374,2	374,2	01-06b	55	04-15c	102,6	4136,1	05-20g
16	01-06b	177,0	551,2	01-06e	56	05-16a	246,8	246,8	05-16b
17	01-06c	260,4	260,4	01-06d	57	05-16b	131,2	378,0	05-20a
18	01-06d	112,6	373,0	01-06e	58	05-17a	39,1	39,1	05-17b
19	01-06e	886,3	3355,8	01-06g	59	05-17b	209,2	248,4	05-17c
20	01-06f	501,6	3825,6	01-06g	60	05-17c	151,5	399,9	05-17d
21	01-06g	236,4	7417,8	02-07a	61	05-17d	273,9	673,8	05-17e
22	02-07a	60,6	7478,4	02-07b	62	05-17e	51,9	725,7	05-17f
23	02-07b	331,2	7809,6	02-07c	63	05-17f	199,3	925,0	05-20a
24	02-07c	202,2	8011,8	02-08a	64	05-18a	217,6	217,6	05-20c
25	02-08a	1024,7	9036,5	02-09a	65	05-19a	22,5	22,5	05-19b
26	02-09a	276,5	9313,1	02-09b	66	05-19b	224,6	247,1	05-20i
27	02-09b	29,7	9342,7	02-09c	67	05-20a	317,4	1620,5	05-20b
28	02-09c	71,9	9414,6	02-25a	68	05-20b	416,9	2037,4	05-20e
29	02-25a	223,4	21184,0	02-25b	69	05-20c	18,9	236,5	05-20d
30	02-25b	560,7	21744,6	08-34a	70	05-20d	100,8	337,3	05-20e
31	03-21a	594,6	594,6	03-22a	71	05-20e	74,8	2449,5	05-20f
32	03-22a	81,2	675,7	03-22b	72	05-20f	419,6	2869,1	05-20g
33	03-22b	615,5	1543,2	03-23a	73	05-20g	13,4	7018,6	05-20h
34	03-22c	252,0	252,0	03-22b	74	05-20h	382,5	8612,1	05-20m
35	03-23a	480,8	2024,0	03-24a	75	05-20i	286,1	533,2	05-20j
36	03-24a	568,5	2592,6	03-24b	76	05-20j	183,6	716,8	05-20k
37	03-24b	15,3	2607,8	05-20m	77	05-20k	184,2	901,1	05-20l
38	04-10a	161,4	161,4	04-10e	78	05-20l	309,8	1210,9	05-20h
39	04-10b	414,2	414,2	04-10c	79	05-20m	289,0	11508,9	05-20n
40	04-10c	69,8	483,9	04-10e	80	05-20n	37,1	11545,9	02-25a

TABLA 2.- SUBCUENCAS ANALIZADAS									
Nº	Código	Superficie Parcial	Superficie Acumulada	Subcuenca aguas abajo	Nº	Código	Superficie Parcial	Superficie Acumulada	Subcuenca aguas abajo
81	06-30a	8,7	8,7	06-30c	121	08-35b	121,7	326,8	08-47a
82	06-30b	18,4	18,4	06-30c	122	08-36a	62,6	62,6	08-36b
83	06-30c	208,1	235,3	06-32e	123	08-36b	80,0	142,6	08-36d
84	06-31a	101,6	101,6	06-32c	124	08-36c	154,7	154,7	08-36d
85	06-32a	109,0	357,2	06-32b	125	08-36d	41,5	338,7	08-47a
86	06-32b	69,7	426,9	06-32d	126	08-37a	412,6	412,6	08-47a
87	06-32c	57,4	159,0	06-32d	127	08-38a	225,2	225,2	08-47a
88	06-32d	204,2	790,1	06-33d	128	08-39a	194,7	194,7	08-39b
89	06-32e	12,9	248,2	06-32a	129	08-39b	114,0	308,8	08-46b
90	06-33b	362,1	1708,8	08-34c	130	08-46a	384,0	34331,4	08-46b
91	06-33d	556,7	1346,7	06-33b	131	08-46b	133,6	35152,6	12-49b
92	07-40a	275,0	275,0	07-40b	132	08-47a	966,3	33947,4	08-46a
93	07-40b	126,6	401,6	07-40f	133	08-77a	378,9	378,9	08-46b
94	07-40c	230,1	702,7	07-40d	134	09-51a	785,8	797,3	09-52b
95	07-40d	350,1	1052,7	07-40e	135	09-51b	11,5	11,5	09-51a
96	07-40e	11,9	1064,6	07-42a	136	09-52a	115,2	115,2	09-52b
97	07-40f	71,0	472,6	07-40c	137	09-52b	183,0	1095,5	09-52f
98	07-41a	55,1	55,1	07-41b	138	09-52c	351,5	351,5	09-52d
99	07-41b	572,7	627,8	07-42a	139	09-52d	41,8	393,3	09-52f
100	07-42a	222,7	1924,3	07-42b	140	09-52e	59,7	59,7	09-52f
101	07-42b	97,0	2021,4	07-44a	141	09-52f	194,7	1743,2	09-53d
102	07-42c	9,2	9,2	07-42a	142	09-53a	82,2	82,2	09-53d
103	07-43a	260,7	260,7	07-43b	143	09-53b	59,5	59,5	09-53d
104	07-43b	267,0	527,7	07-44a	144	09-53c	53,2	53,2	09-53d
105	07-44a	565,1	3114,1	07-45a	145	09-53d	1453,4	3616,7	09-54a
106	07-45a	735,1	3849,2	07-45b	146	09-53e	225,2	225,2	09-53d
107	07-45b	156,9	4006,2	07-45c	147	09-54a	432,0	4048,7	09-54b
108	07-45c	102,6	4108,8	08-47a	148	09-54b	410,4	4459,1	12-50c
109	08-26a	1318,3	1318,3	08-26b	149	10-61a	286,3	286,3	10-61c
110	08-26b	54,6	1372,9	08-34a	150	10-61b	146,8	146,8	10-61c
111	08-27a	753,7	753,7	08-27b	151	10-61c	237,2	670,3	10-62d
112	08-27b	418,2	1171,9	08-27c	152	10-61d	104,4	104,4	10-61e
113	08-27c	87,2	1259,1	08-34a	153	10-61e	23,6	128,0	10-62d
114	08-28a	249,3	249,3	08-34b	154	10-61f	79,3	99,1	10-61g
115	08-29a	378,6	378,6	08-34c	155	10-61g	144,8	243,9	10-62d
116	08-34a	108,0	24484,6	08-34b	156	10-61h	6,4	6,4	10-61f
117	08-34b	156,1	24890,0	08-34c	157	10-61i	13,4	13,4	10-61f
118	08-34c	260,0	27237,4	08-34d	158	10-62a	75,1	75,1	10-62d
119	08-34d	331,6	27569,0	08-47a	159	10-62b	109,5	109,5	10-62d
120	08-35a	205,1	205,1	08-35b	160	10-62c	188,3	188,3	10-62d

TABLA 2.- SUBCUENCAS ANALIZADAS									
Nº	Código	Superficie Parcial	Superficie Acumulada	Subcuenca aguas abajo	Nº	Código	Superficie Parcial	Superficie Acumulada	Subcuenca aguas abajo
161	10-62d	433,2	1848,2	10-63a	189	12-60a	192,3	2522,4	12-60c
162	10-63a	23,7	1871,9	10-63d	190	12-60b	143,7	276,8	12-60c
163	10-63b	29,1	29,1	10-63c	191	12-60c	212,5	3011,7	12-69b
164	10-63c	289,1	390,5	10-63d	192	12-69a	104,4	104,4	12-69b
165	10-63d	179,7	2442,1	10-65b	193	12-69b	959,6	52053,1	12-75c
166	10-63e	72,3	72,3	10-63c	194	12-75a	439,0	439,0	12-75b
167	10-64a	313,8	313,8	10-65c	195	12-75b	550,4	989,4	12-75d
168	10-65a	50,1	50,1	10-65b	196	12-75c	236,4	53448,9	14-76c
169	10-65b	233,7	2726,0	10-65d	197	12-75d	169,9	1159,4	12-75c
170	10-65c	359,7	673,5	10-65d	198	13-56a	779,5	779,5	13-56b
171	10-65d	611,7	4011,1	10-65e	199	13-56b	99,7	879,2	12-60a
172	10-65e	134,2	4145,3	10-68a	200	13-57a	290,3	290,3	13-57b
173	10-68a	260,4	5425,3	12-69b	201	13-57b	129,5	419,9	12-60a
174	11-66a	53,1	53,1	11-66b	202	13-58a	456,3	456,3	13-58d
175	11-66b	273,2	326,3	11-67a	203	13-58b	164,7	164,7	13-58c
176	11-67a	51,8	378,1	11-67e	204	13-58c	256,0	420,7	13-58d
177	11-67b	48,8	48,8	11-67c	205	13-58d	153,9	1030,9	12-60a
178	11-67c	100,4	149,2	11-67d	206	13-59a	133,1	133,1	12-60b
179	11-67d	233,8	383,0	11-67e	207	14-70a	167,4	167,4	14-71a
180	11-67e	258,5	1019,6	10-68a	208	14-71a	250,7	418,1	14-73b
181	12-48a	267,5	267,5	12-49b	209	14-72a	316,2	316,2	14-73a
182	12-49a	187,3	187,3	12-49b	210	14-73a	70,0	386,2	14-73b
183	12-49b	1006,5	36614,0	12-50b	211	14-73b	364,4	1168,7	14-74a
184	12-50a	140,2	140,2	12-50b	212	14-74a	805,5	1974,3	14-74b
185	12-50b	427,7	37181,9	12-50c	213	14-74b	149,0	2123,2	14-76c
186	12-50c	13,7	41654,7	12-55b	214	14-76a	167,3	167,3	14-76b
187	12-55a	160,0	160,0	12-55b	215	14-76b	621,2	788,5	14-76c
188	12-55b	737,4	42552,1	12-69b	216	14-76c	2580,1	58940,8	FINAL

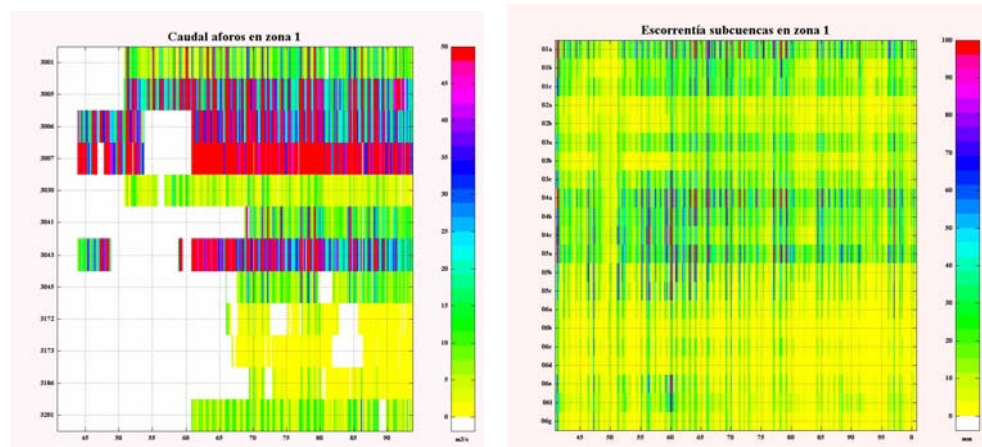
2.- DATOS PLUVIOMÉTRICOS

Se han utilizado datos diarios y mensuales de 296 estaciones pluviométricas en la cuenca. También se han manejado los datos de lluvia media en las 216 subcuencas del estudio de recursos, obtenida por interpolación espacial a partir de los datos de los pluviómetros, una vez rellenados los huecos. La lámina 1 presenta un mapa con el emplazamiento de los pluviómetros.



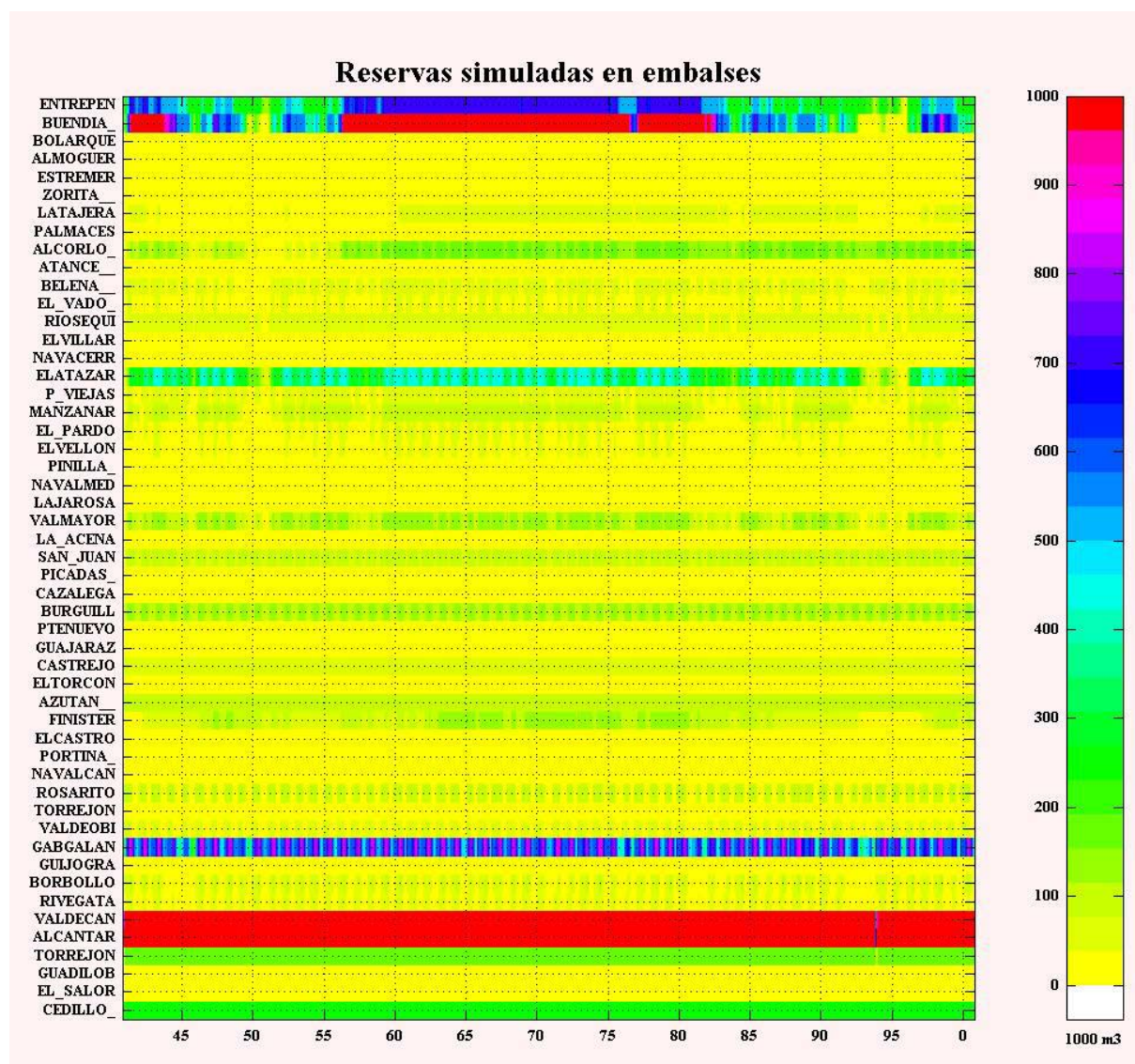
3.- DATOS DE SERIES DE APORTACIONES

Se han utilizado básicamente las series de aportaciones generadas en el "Estudio de recursos", realizado por Eptisa con ocasión de la redacción del Plan Hidrológico. Se trata de series de aportaciones mensuales en 216 subcuencas correspondientes al periodo comprendido entre los años hidrológicos 1940-41 y 1999-2000. También están disponibles los datos diarios y mensuales en 119 estaciones de aforo de la cuenca, pero únicamente en el periodo 1940-41 a 1992-93. Por este motivo, los datos de aforo sólo se han utilizado en comprobaciones puntuales, al estimar que el mencionado estudio ha incorporado en las series de aportaciones generadas toda la información contenida en las series de aforos.



4.- DATOS DE RESERVAS

La evolución histórica de las reservas se ha obtenido de los datos mensuales de volúmenes almacenados en 51 embalses de la cuenca. No se han utilizado los datos diarios por ser sus variaciones muy pequeñas con relación a los valores mensuales. Estos datos se han completado a partir de los resultados de los modelos de simulación de los sistemas de explotación de recursos desarrollados con ocasión de la redacción del Plan Hidrológico.



5.- GRÁFICOS DE DATOS MEDIDOS EN ZONAS

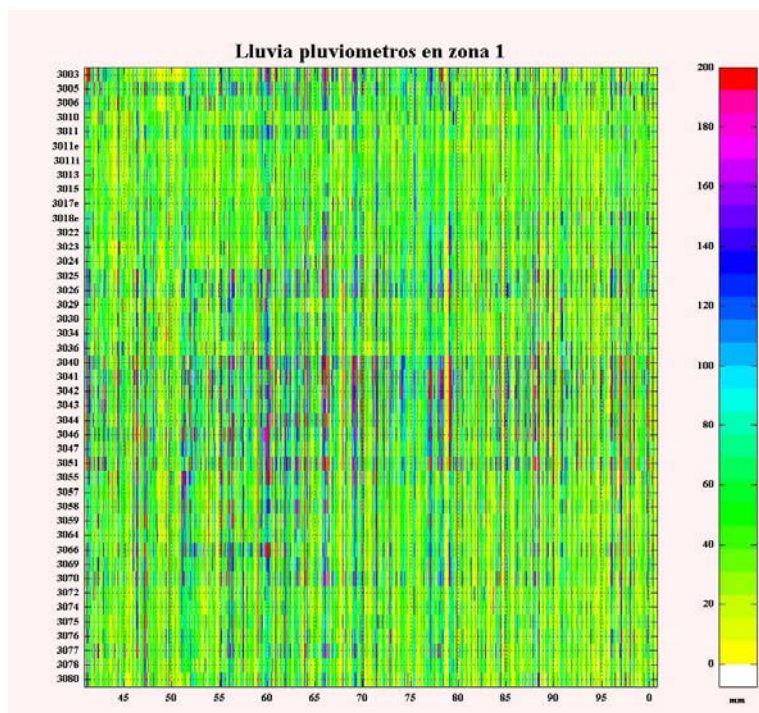
A continuación se presentan los gráficos correspondientes a los datos utilizados de pluviómetros y estaciones de aforo.

Los datos de pluviómetros corresponden a valores medidos rellenados por interpolación.

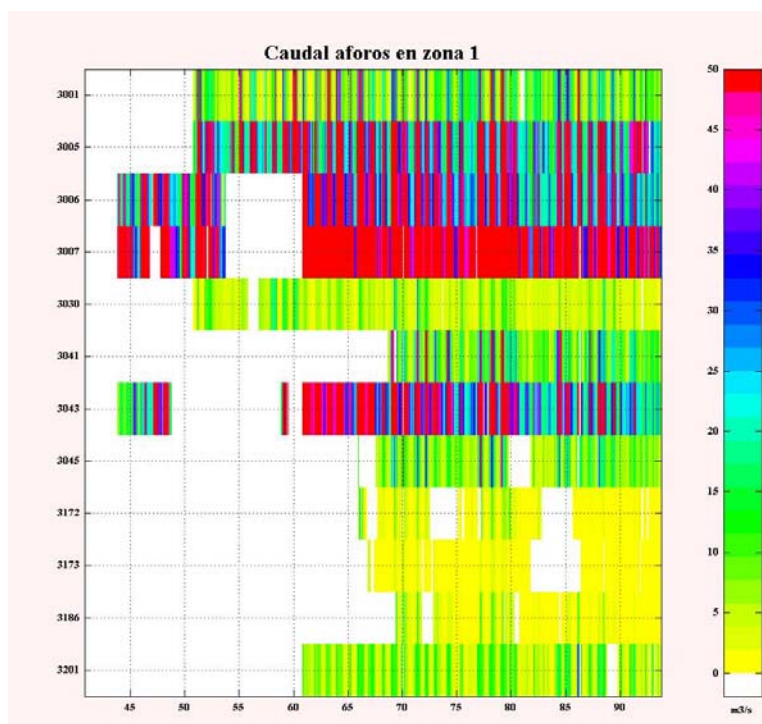
Los datos de aforos son medidas directas

5.1.- Zona 1

5.1.1.- Precipitación

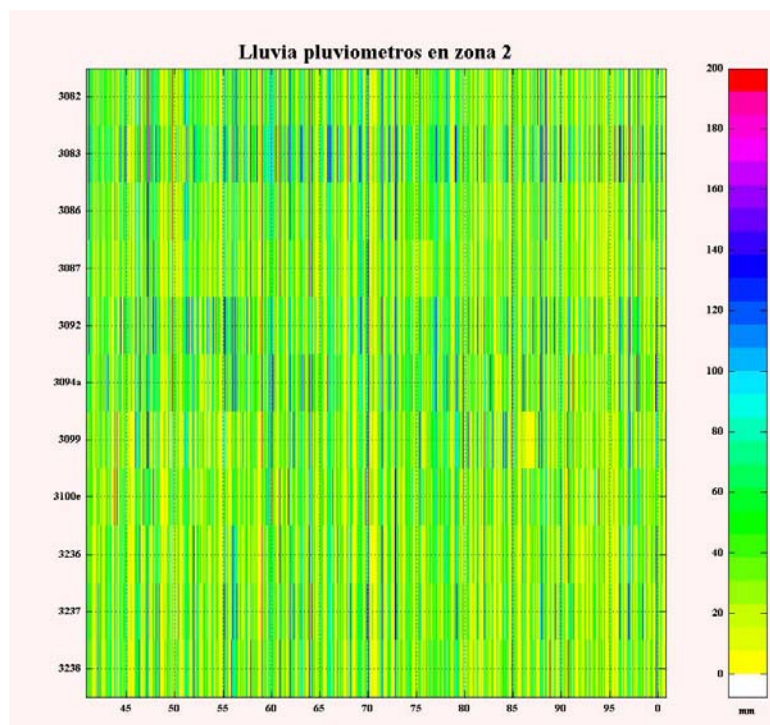


5.1.2.- Escorrentía

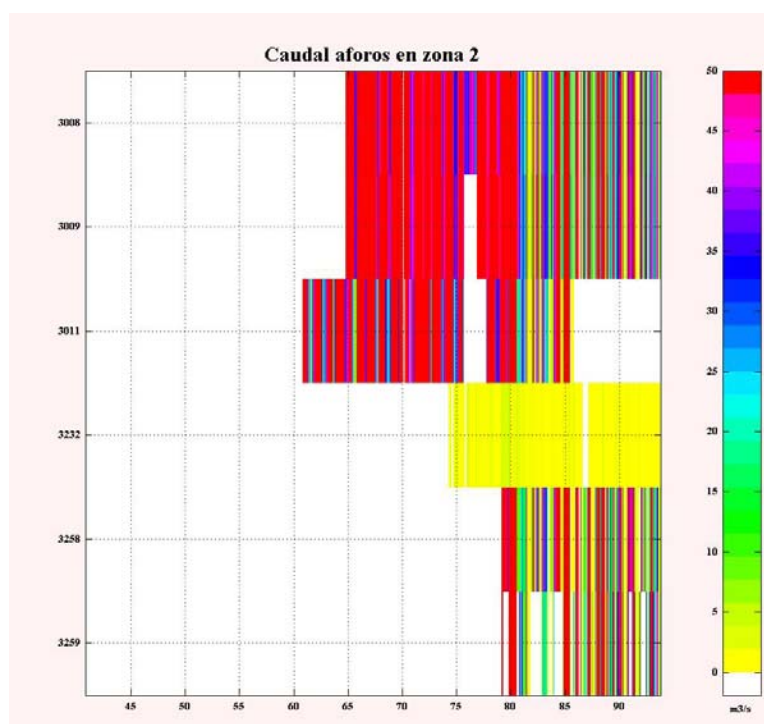


5.2.- Zona 2

5.2.1.- Precipitación

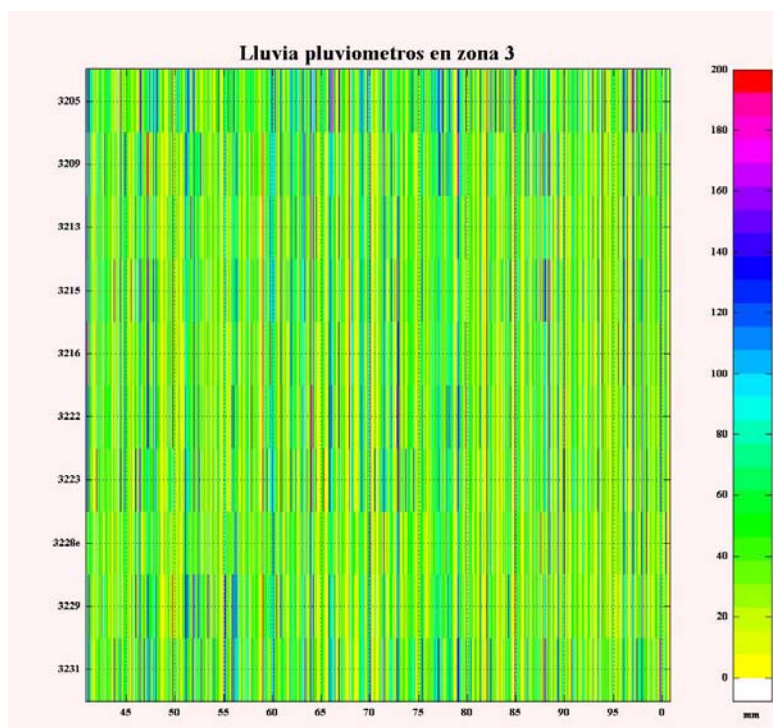


5.2.2.- Escorrentía

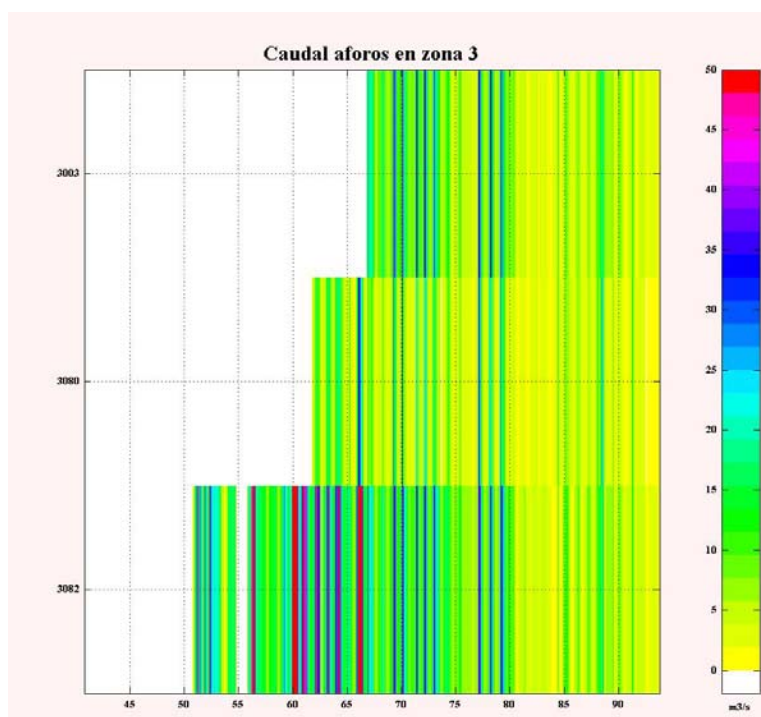


5.3.- Zona 3

5.3.1.- Precipitación

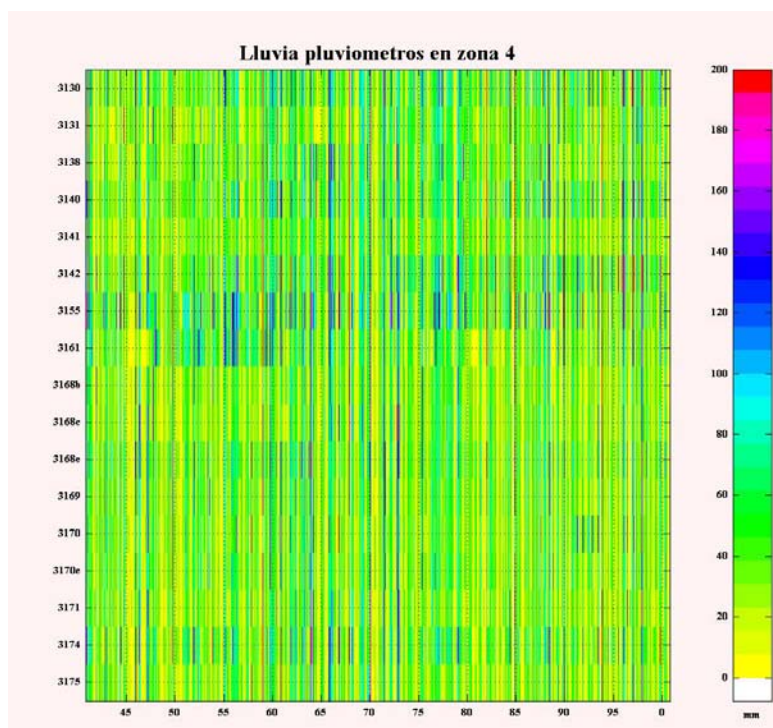


5.3.2.- Escorrentía

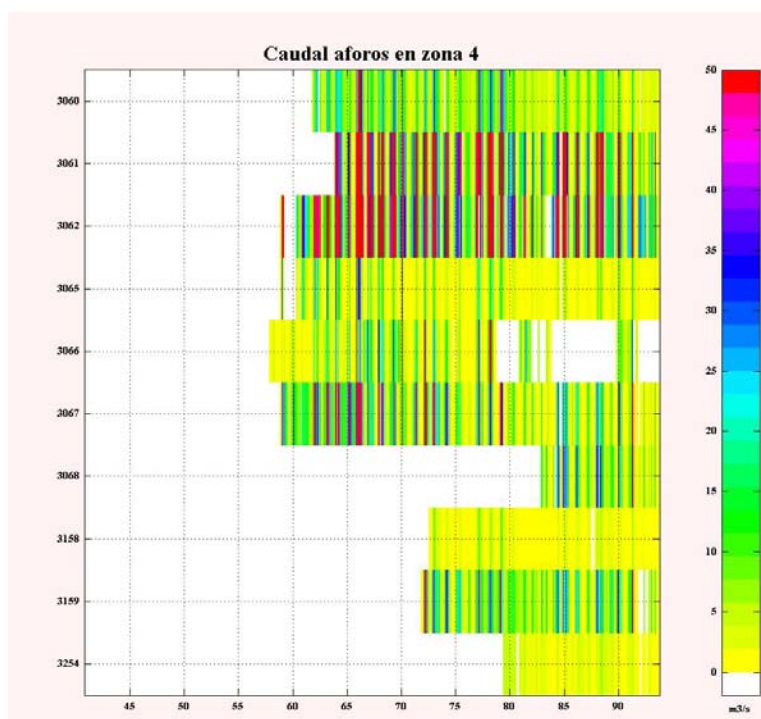


5.4.- Zona 4

5.4.1.- Precipitación

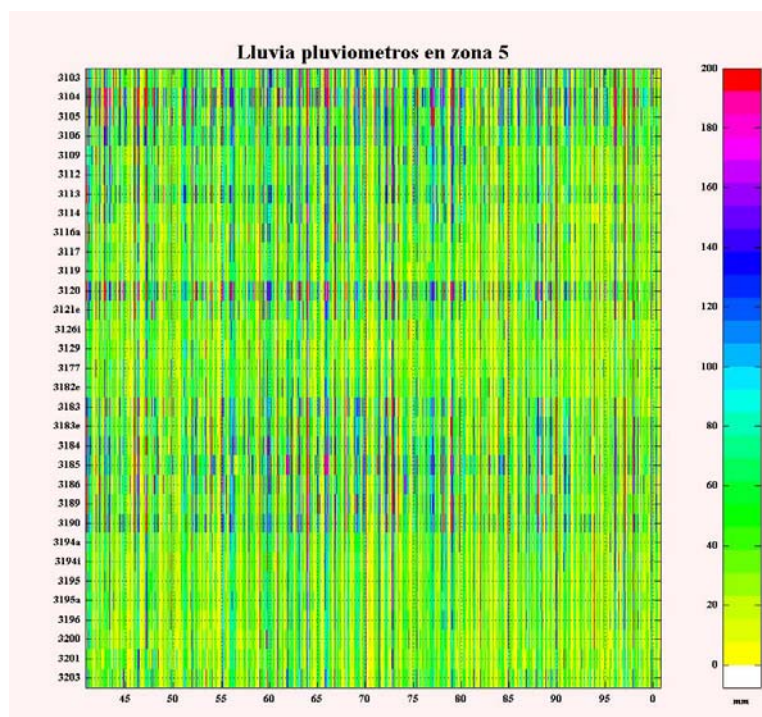


5.4.2.- Escorrentía

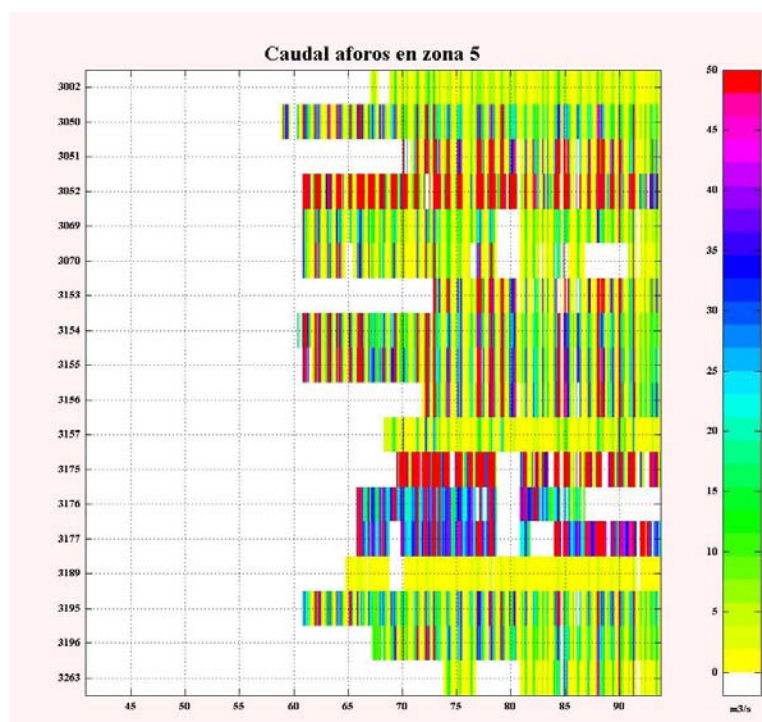


5.5.- Zona 5

5.5.1.- Precipitación

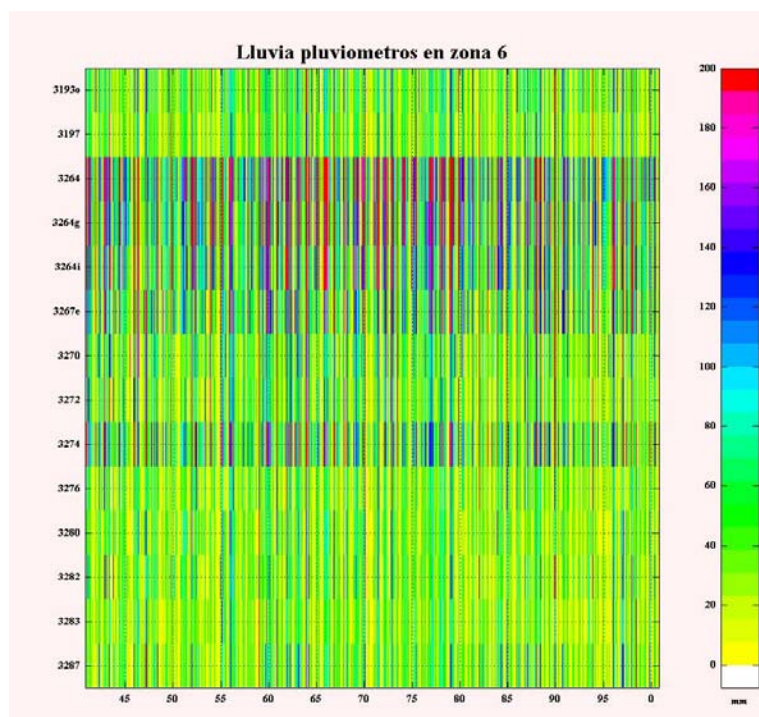


5.5.2.- Escorrentía

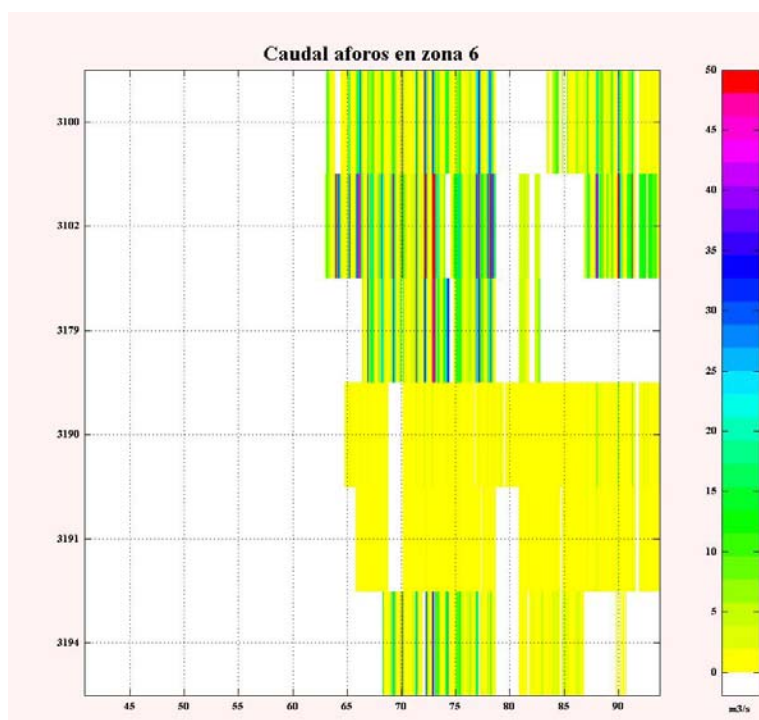


5.6.- Zona 6

5.6.1.- Precipitación

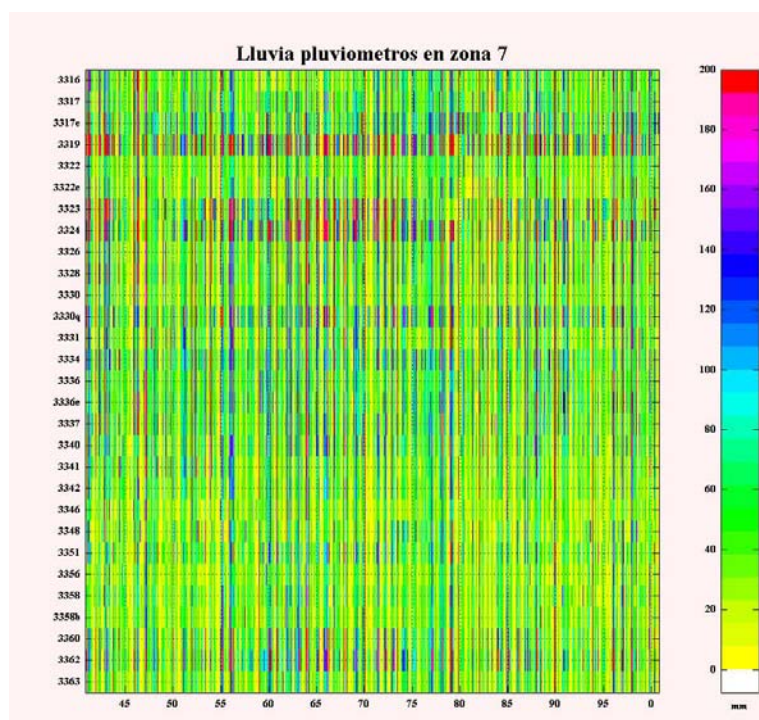


5.6.2.- Escorrentía

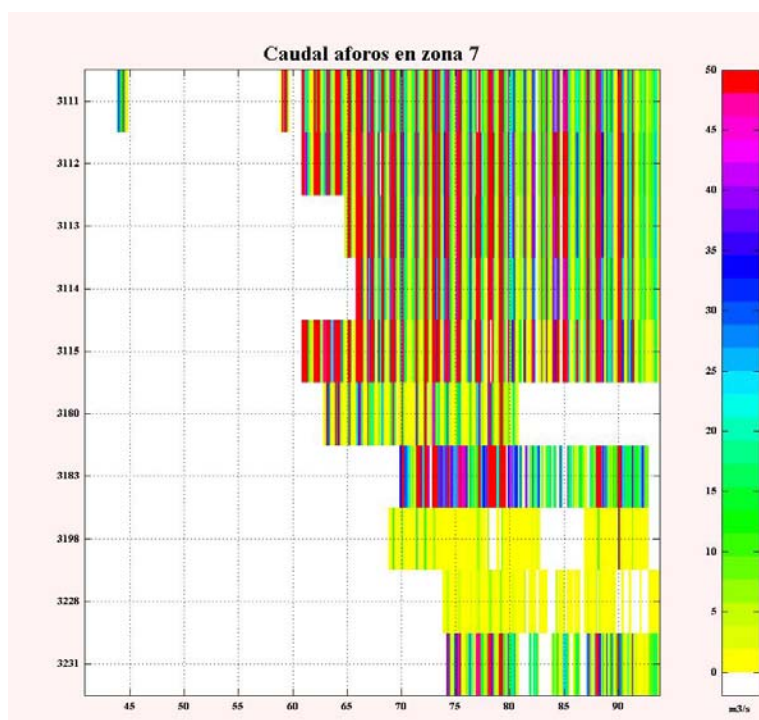


5.7.- Zona 7

5.7.1.- Precipitación

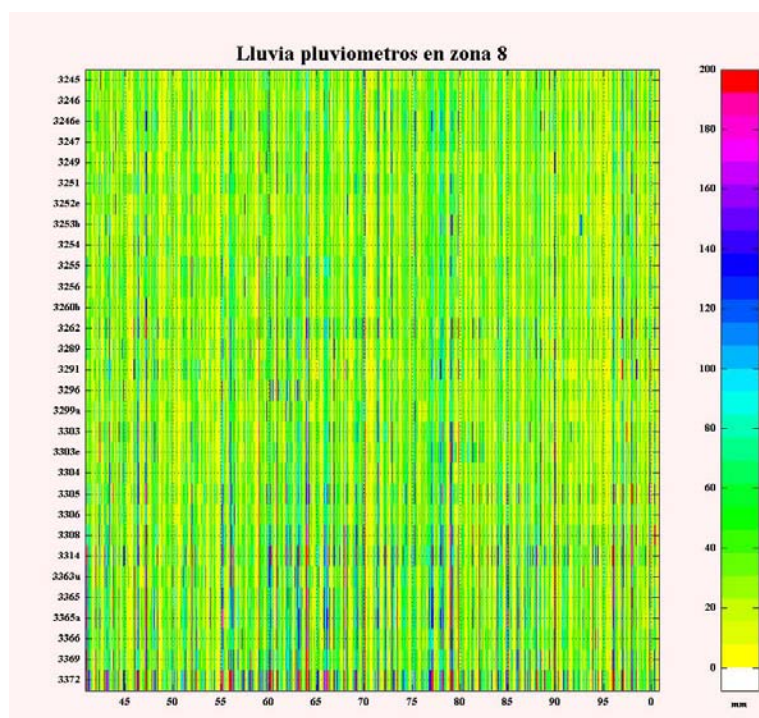


5.7.2.- Escorrentía

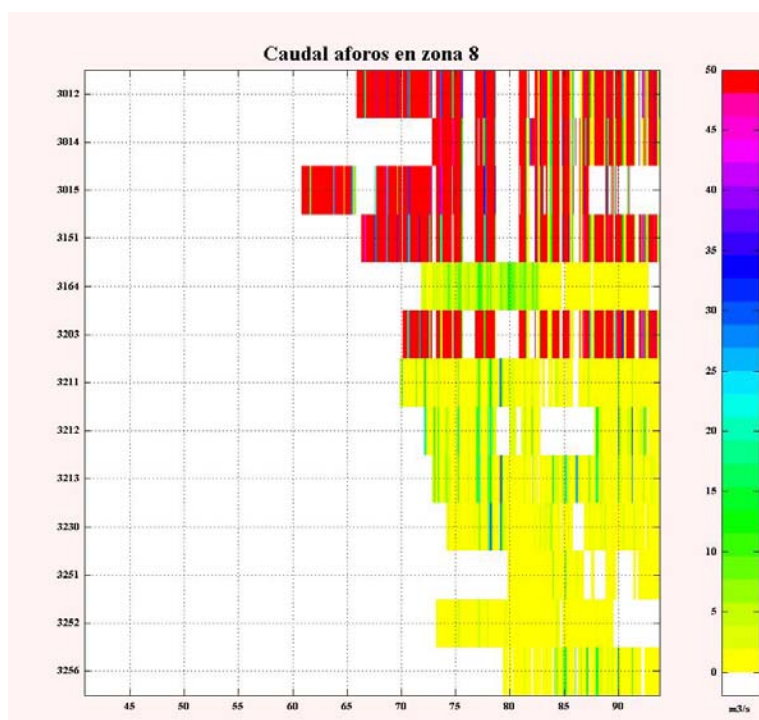


5.8.- Zona 8

5.8.1.- Precipitación

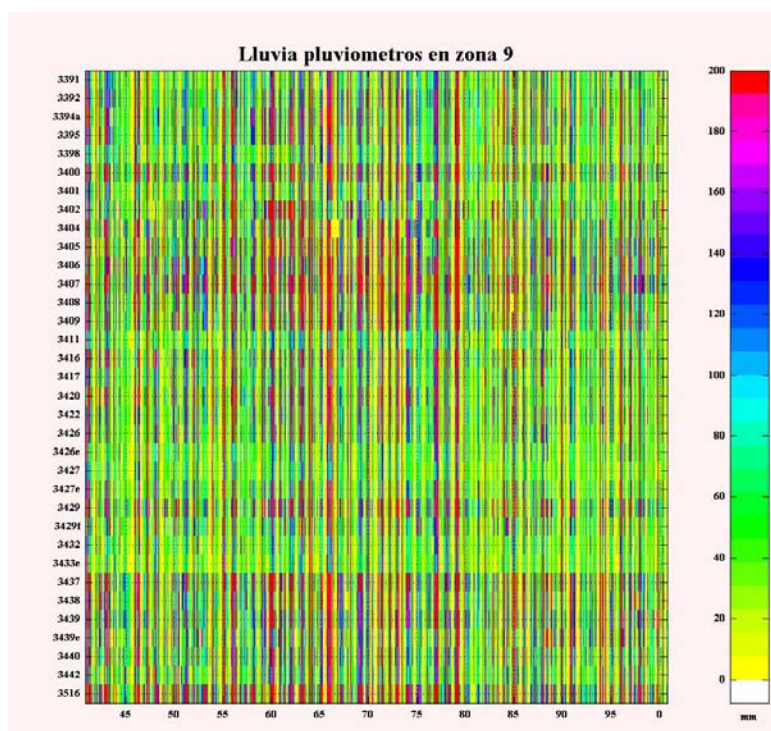


5.8.2.- Escorrentía

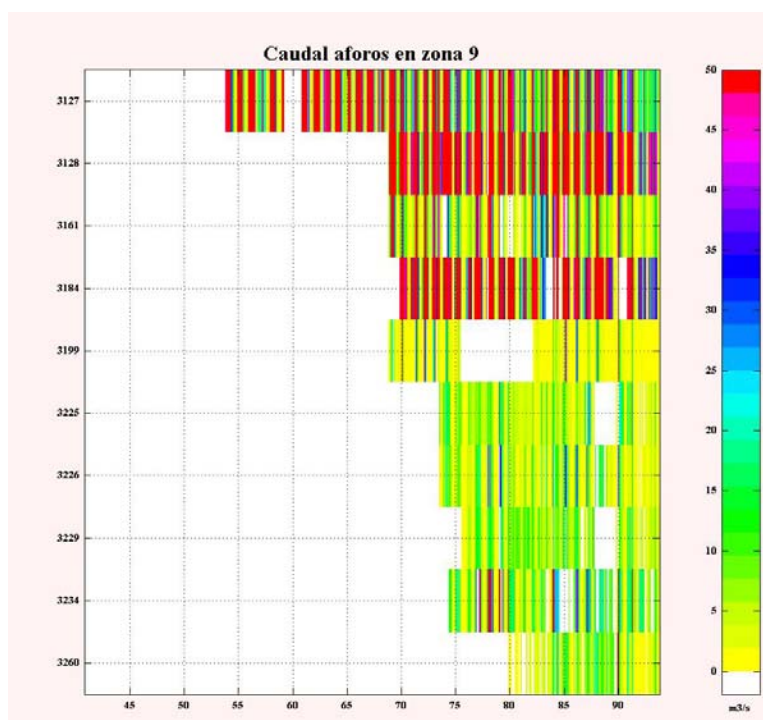


5.9.- Zona 9

5.9.1.- Precipitación

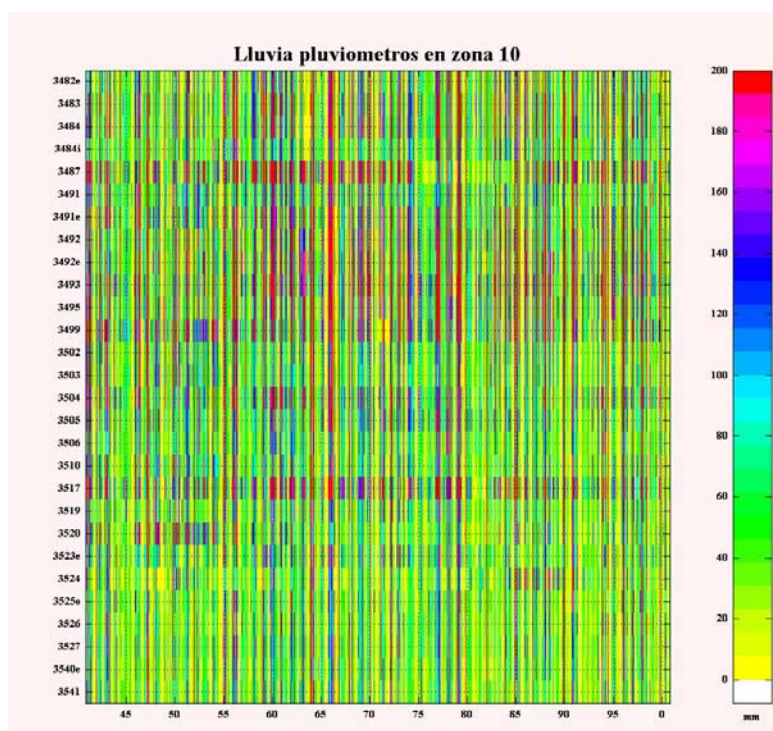


5.9.2.- Escorrentía

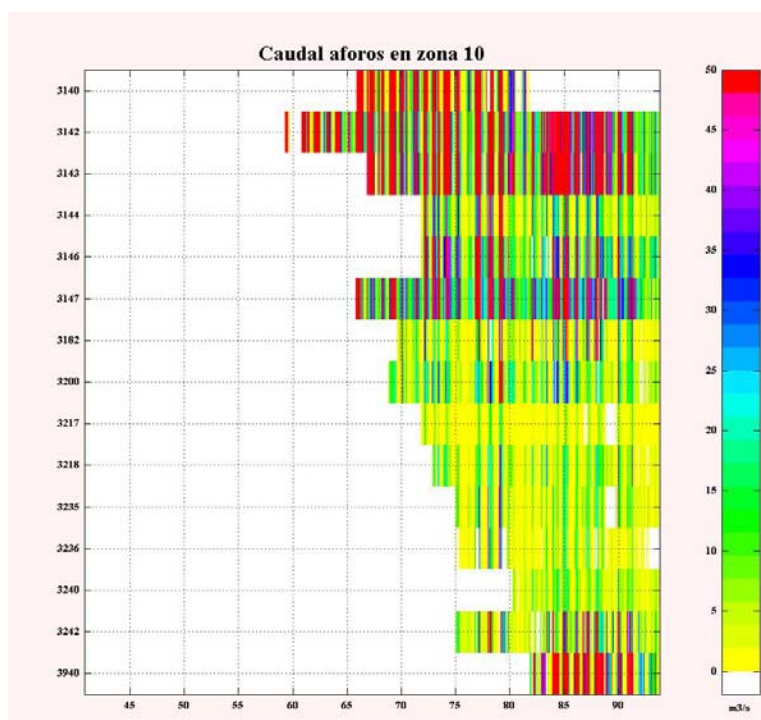


5.10.- Zona 10

5.10.1.- Precipitación

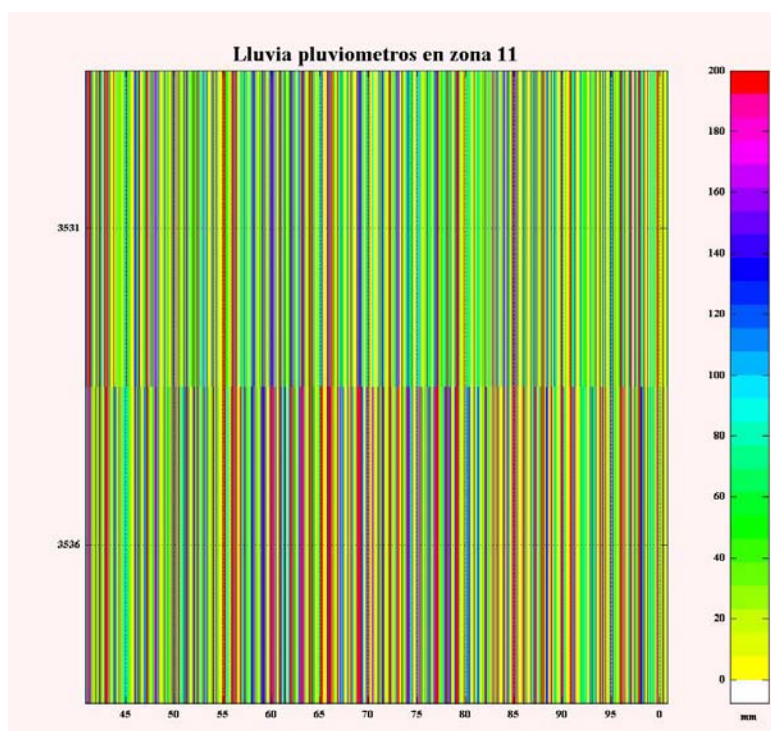


5.10.2.- Escorrentía

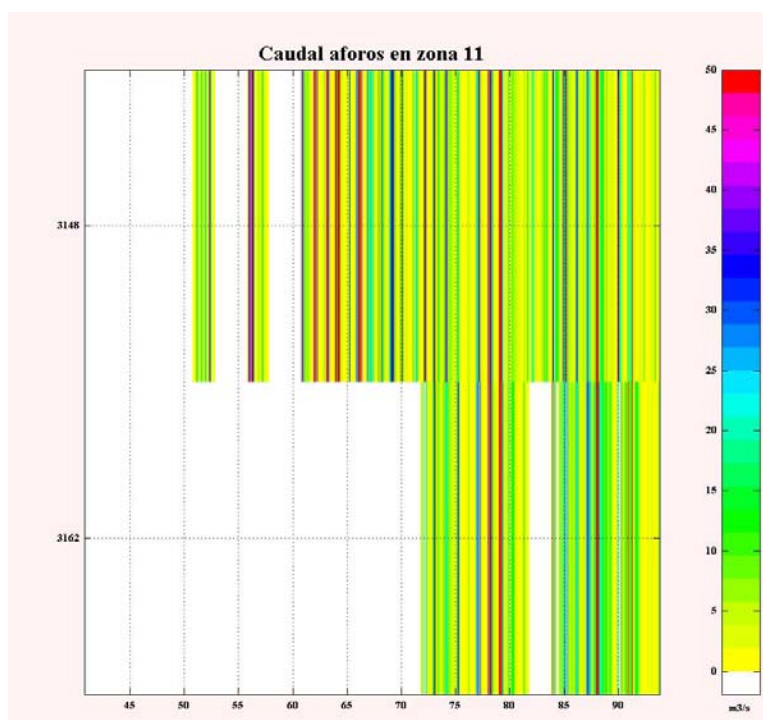


5.11.- Zona 11

5.11.1.- Precipitación

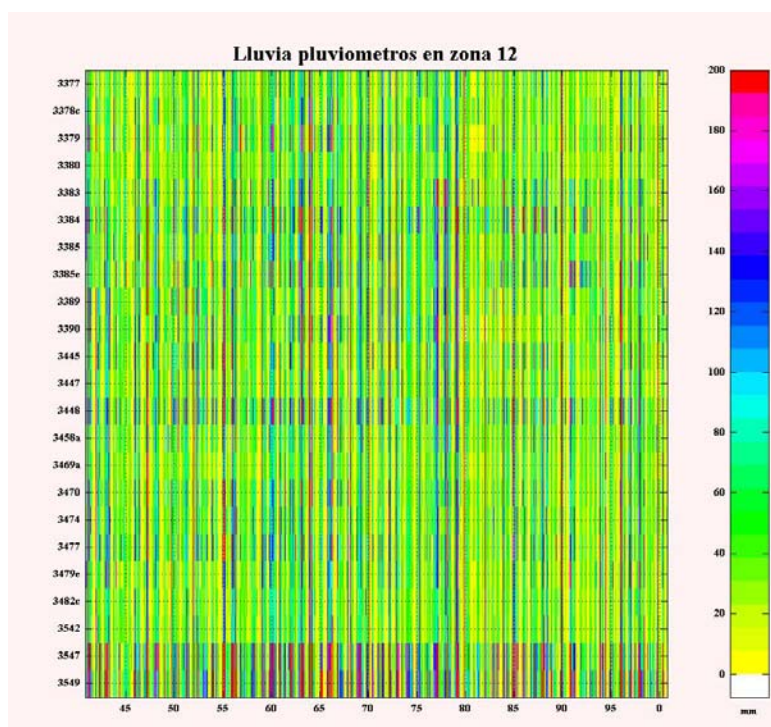


5.11.2.- Escorrentía

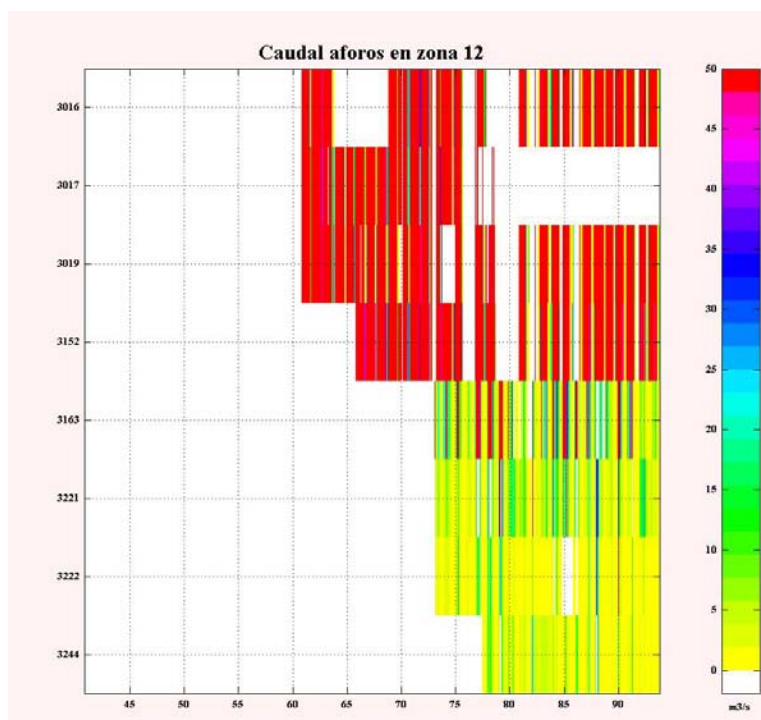


5.12.- Zona 12

5.12.1.- Precipitación

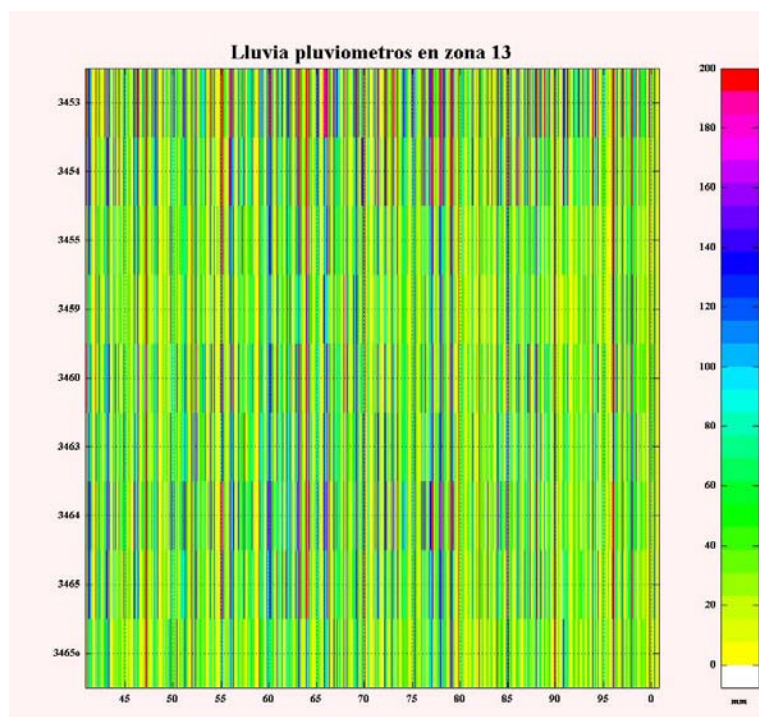


5.12.2.- Escorrentía

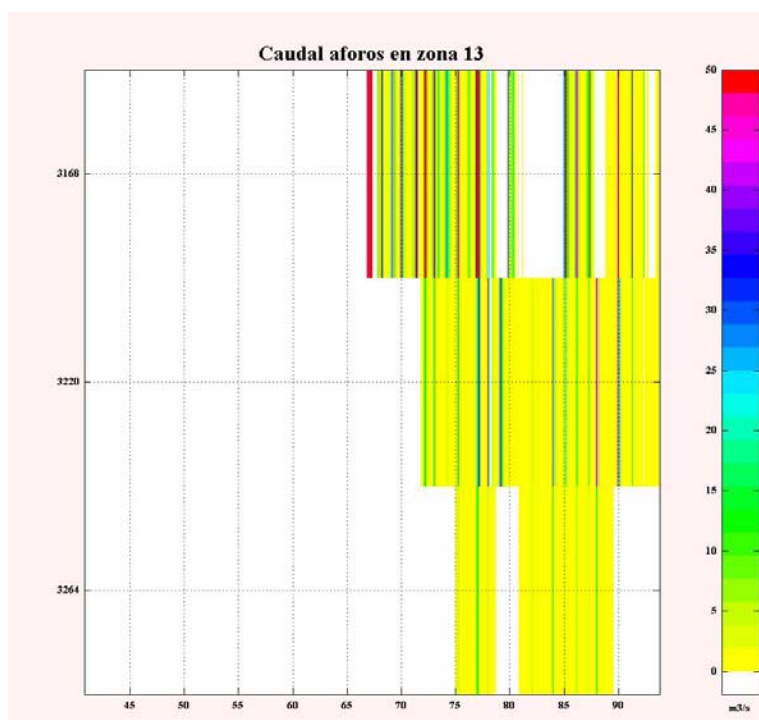


5.13.- Zona 13

5.13.1.- Precipitación

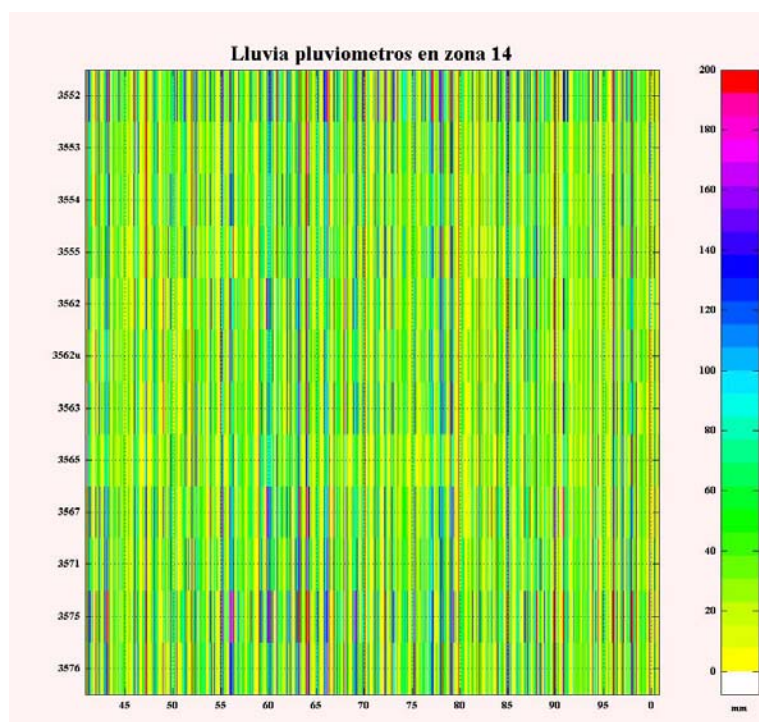


5.13.2.- Escorrentía

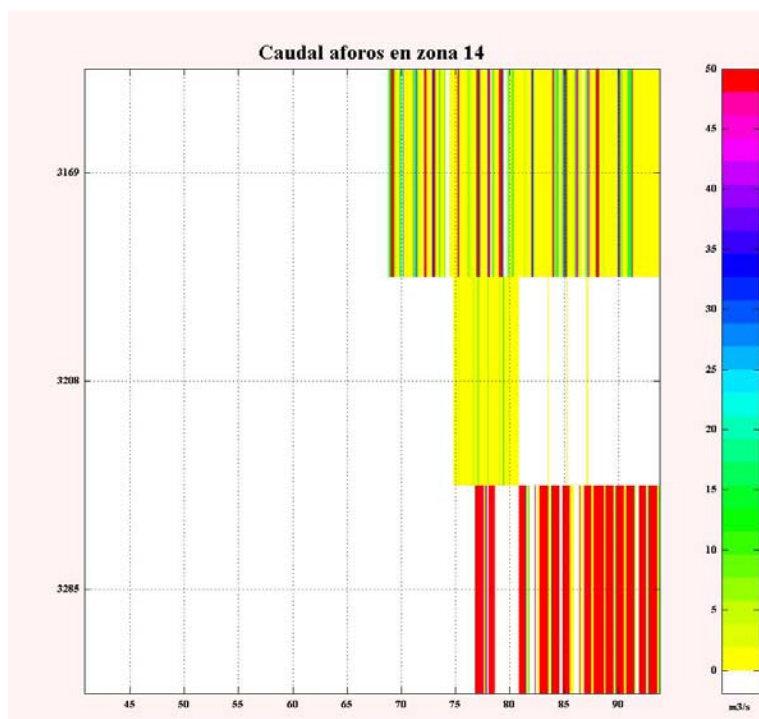


5.14.- Zona 14

5.14.1.- Precipitación



5.14.2.- Escorrentía



6.- GRÁFICOS DE DATOS MENSUALES CALCULADOS EN ZONAS

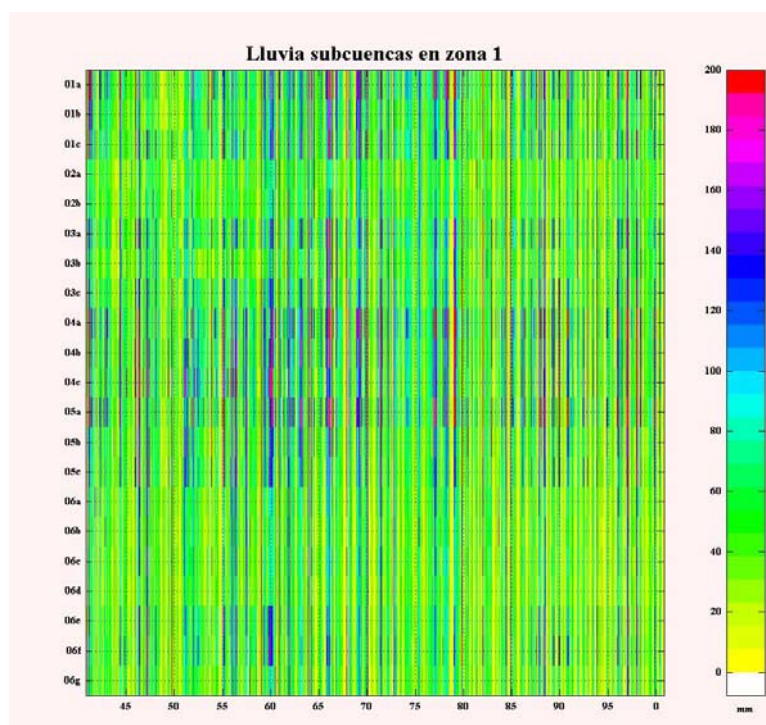
A continuación se presentan los gráficos correspondientes a los datos calculados en el estudio de recursos.

Los datos de lluvia corresponden a pluviometría media mensual en subcuencas.

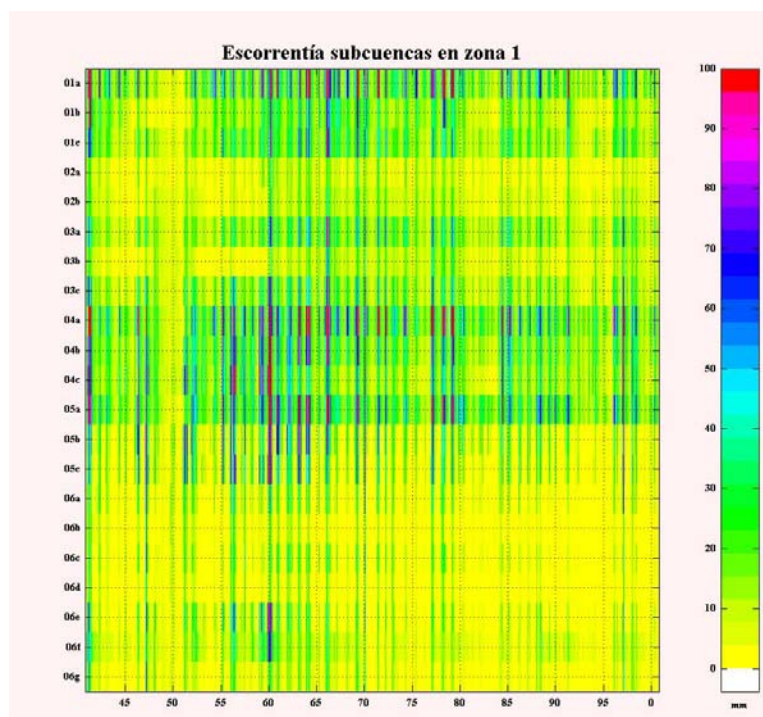
Los datos de esorrentía corresponden a aportación específica media mensual en subcuencas.

6.1.- Zona 1

6.1.1.- Precipitación

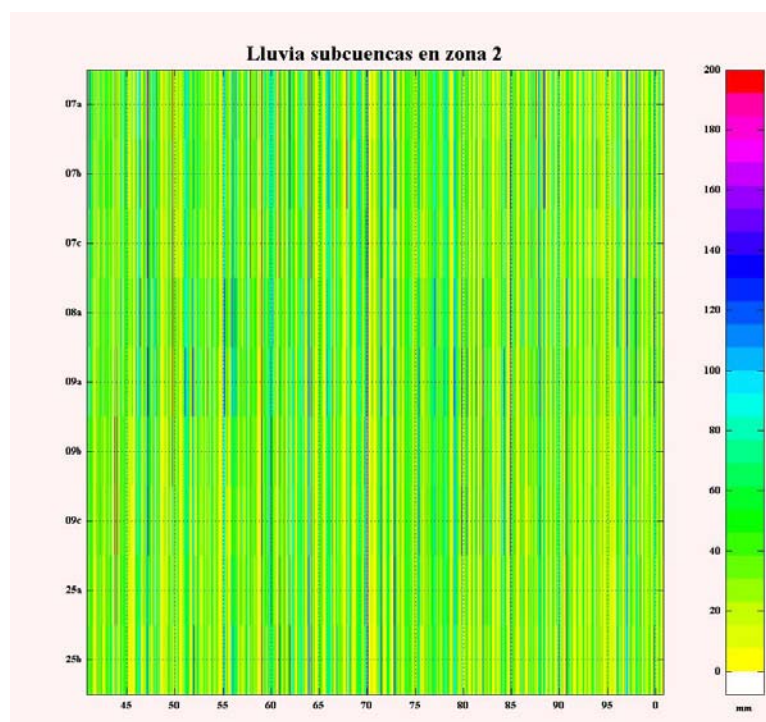


6.1.2.- Escorrentía

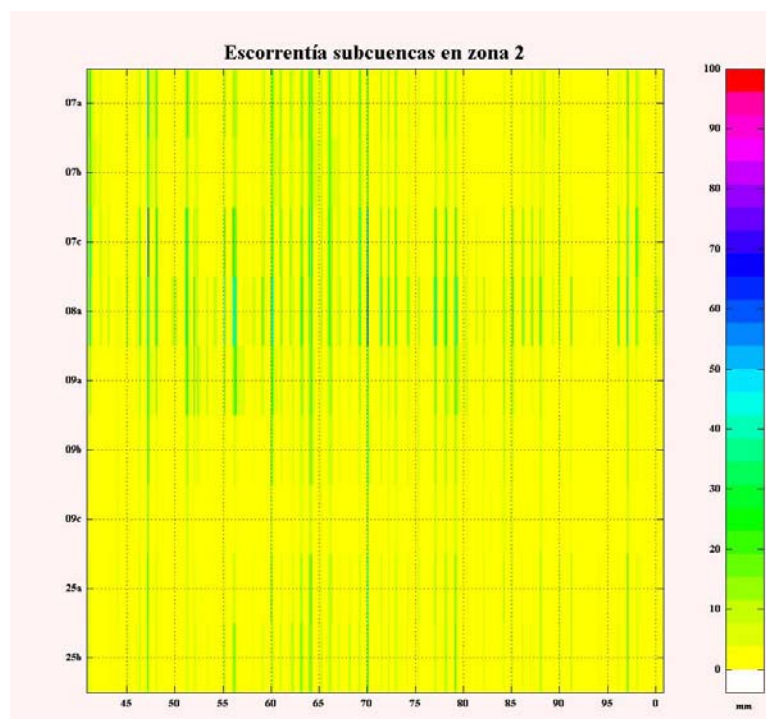


6.2.- Zona 2

6.2.1.- Precipitación

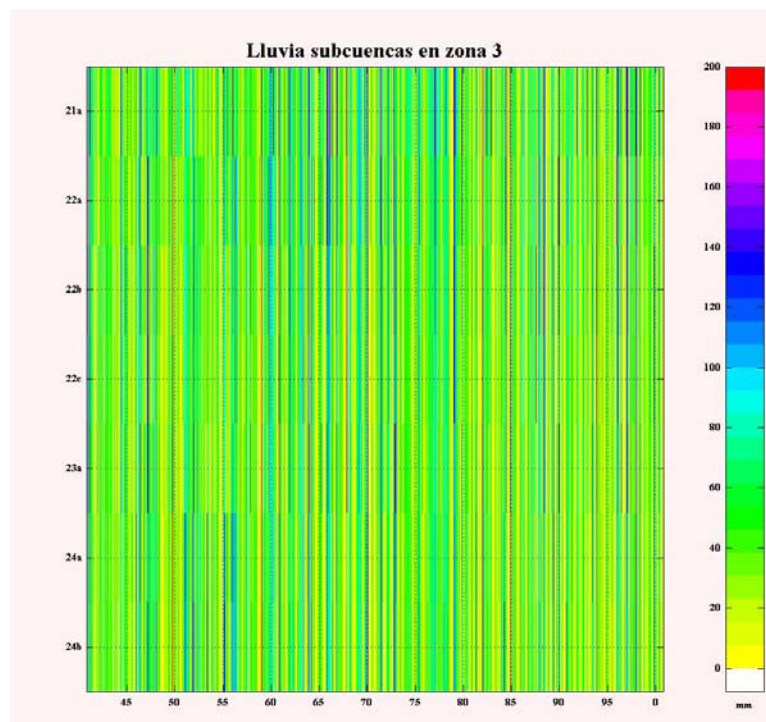


6.2.2.- Escorrentía

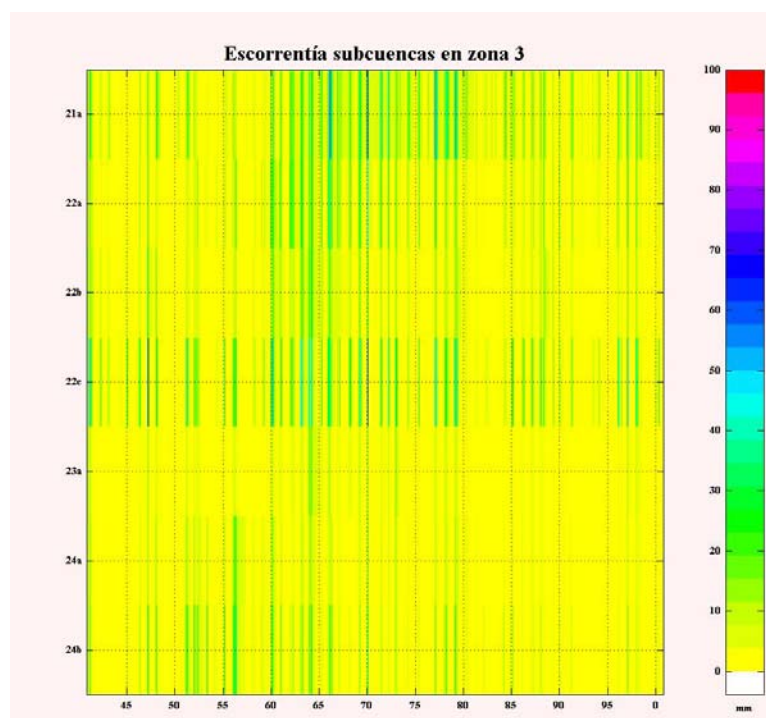


6.3.- Zona 3

6.3.1.- Precipitación

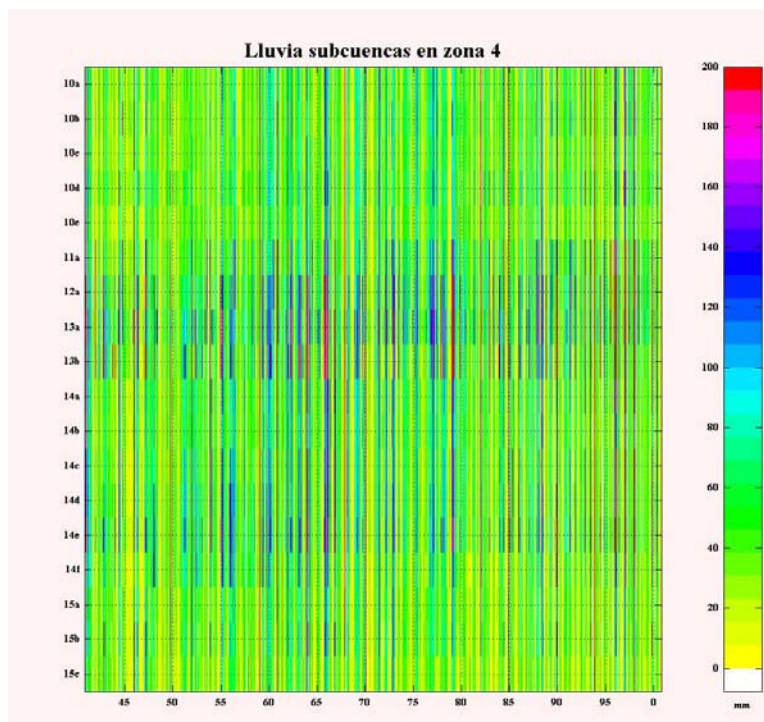


6.3.2.- Escorrentía

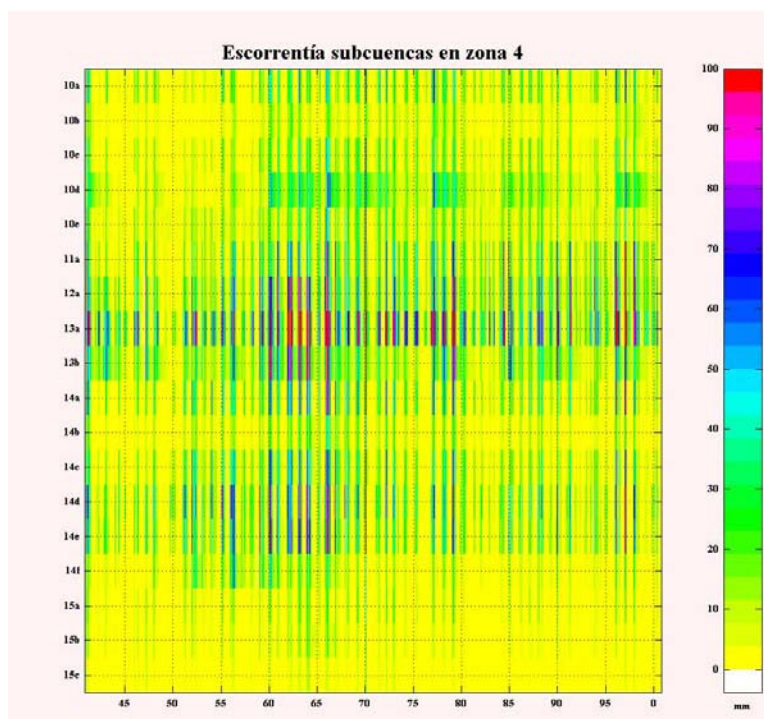


6.4.- Zona 4

6.4.1.- Precipitación

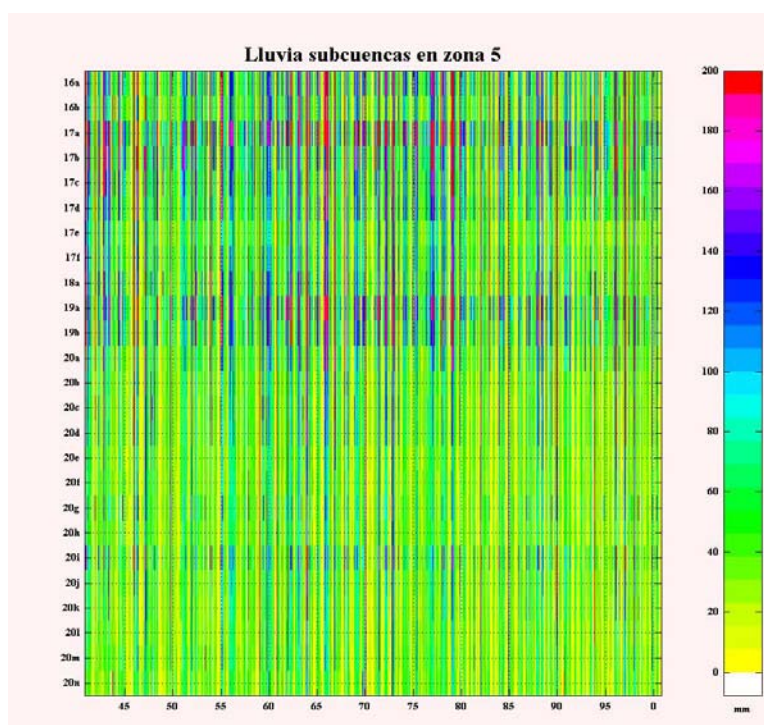


6.4.2.- Escorrentía

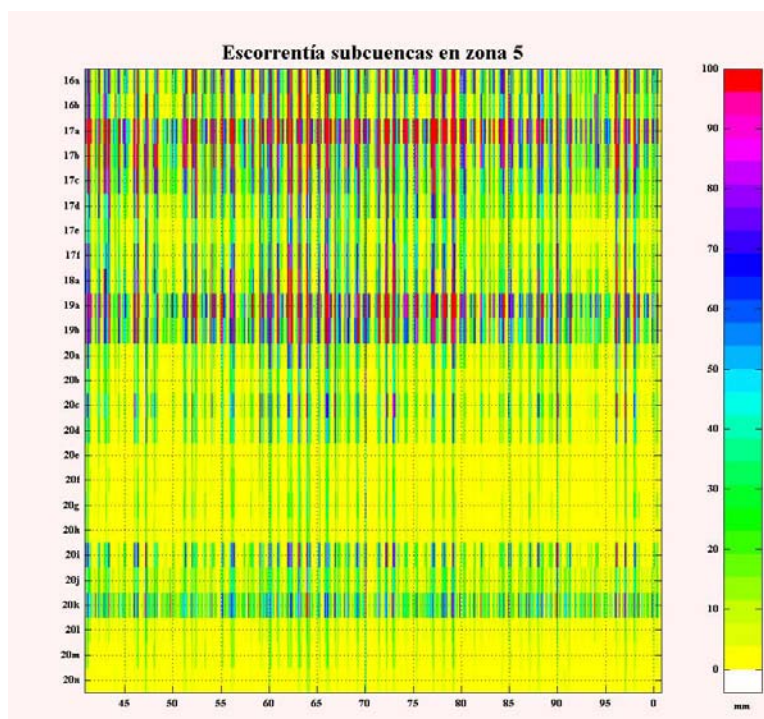


6.5.- Zona 5

6.5.1.- Precipitación

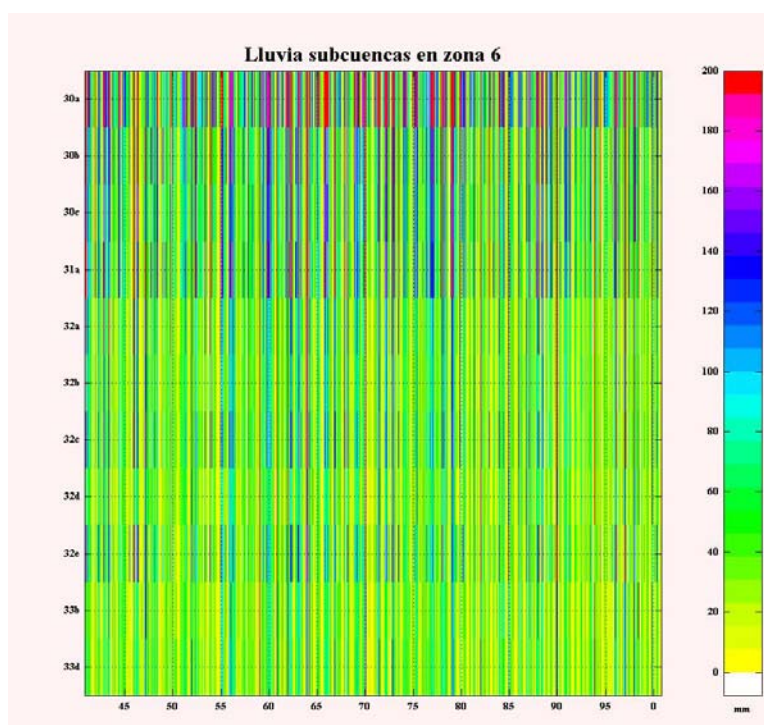


6.5.2.- Escorrentía

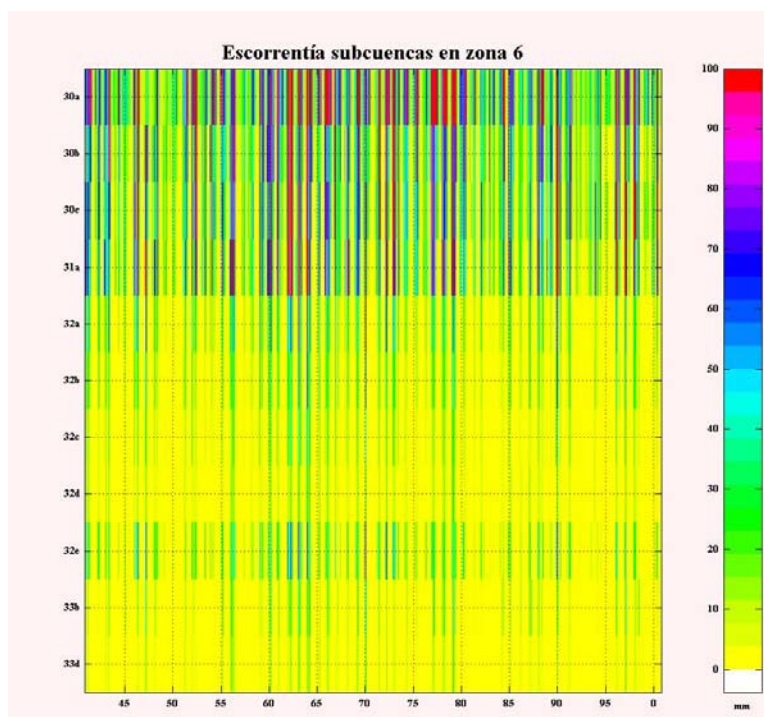


6.6.- Zona 6

6.6.1.- Precipitación

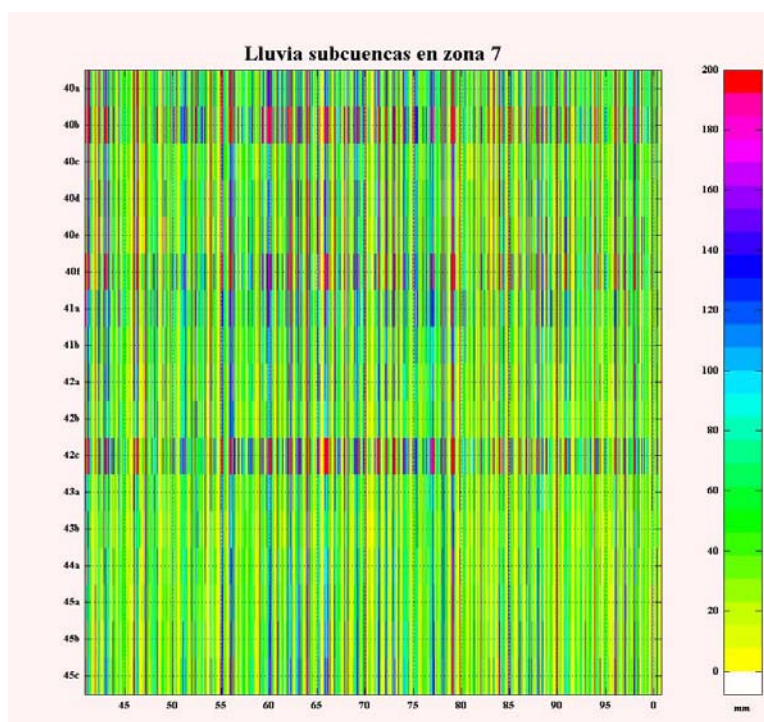


6.6.2.- Escorrentía

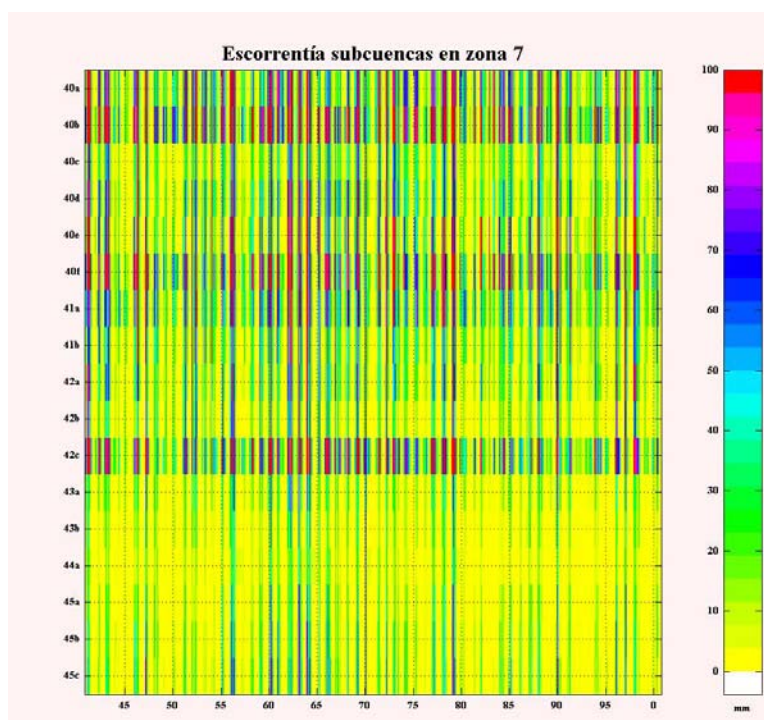


6.7.- Zona 7

6.7.1.- Precipitación

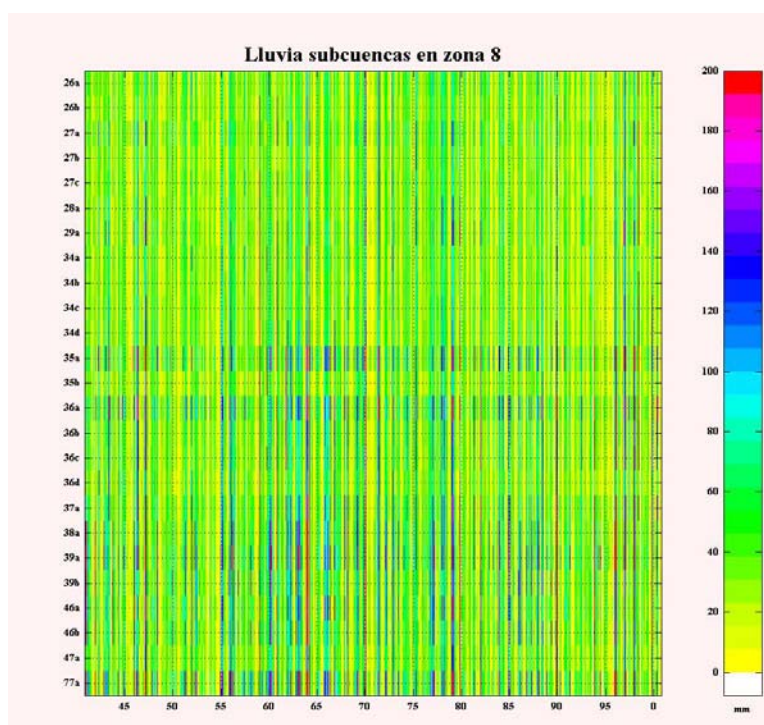


6.7.2.- Escorrentía

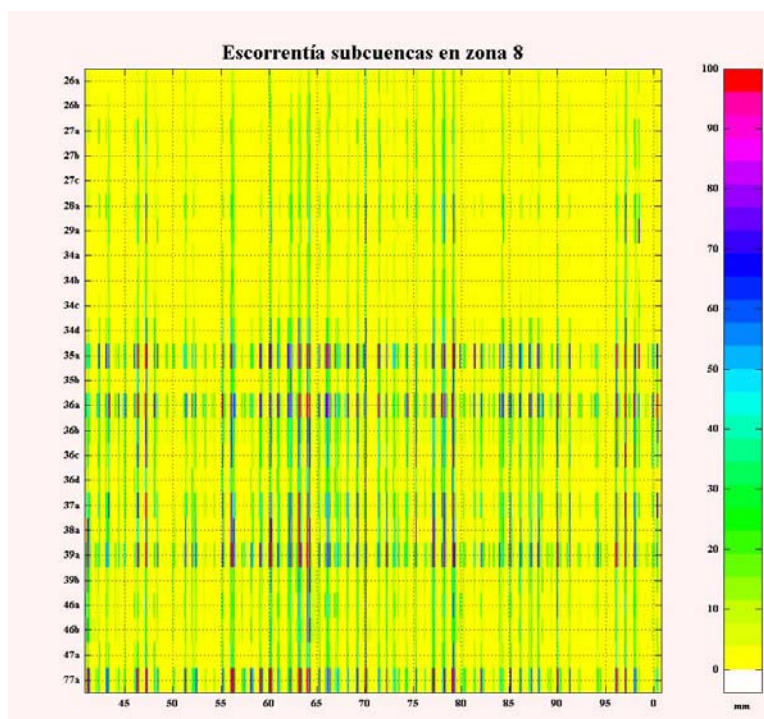


6.8.- Zona 8

6.8.1.- Precipitación

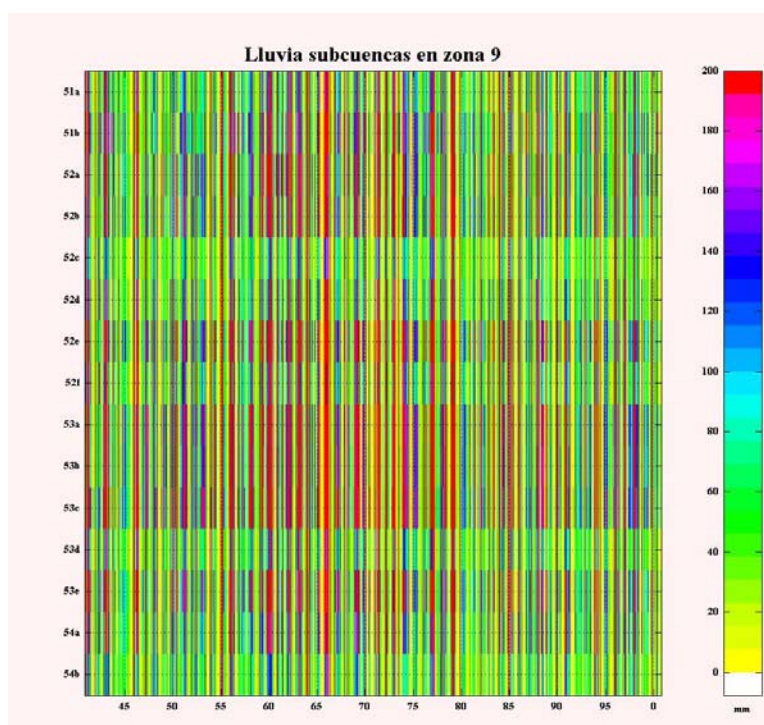


6.8.2.- Escorrentía

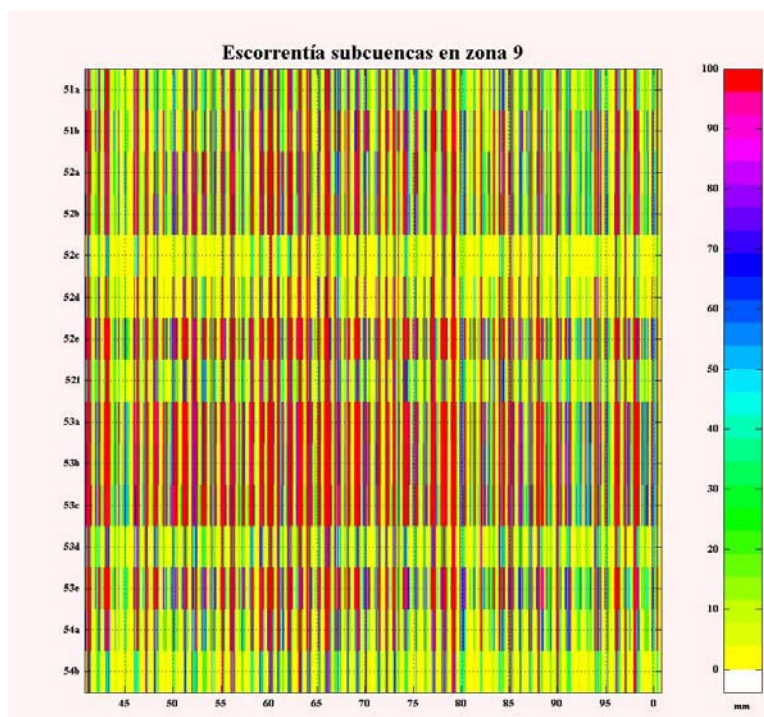


6.9.- Zona 9

6.9.1.- Precipitación

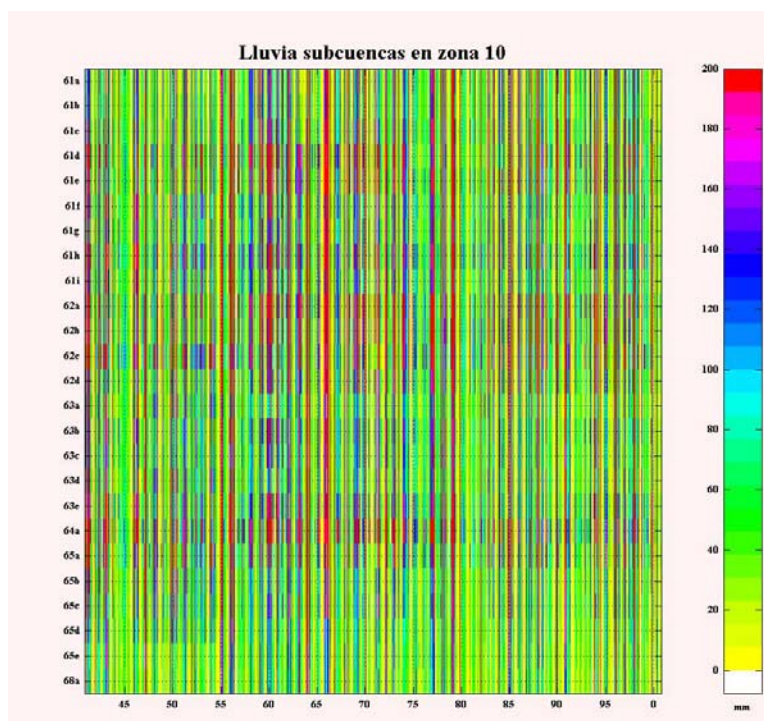


6.9.2.- Escorrentía

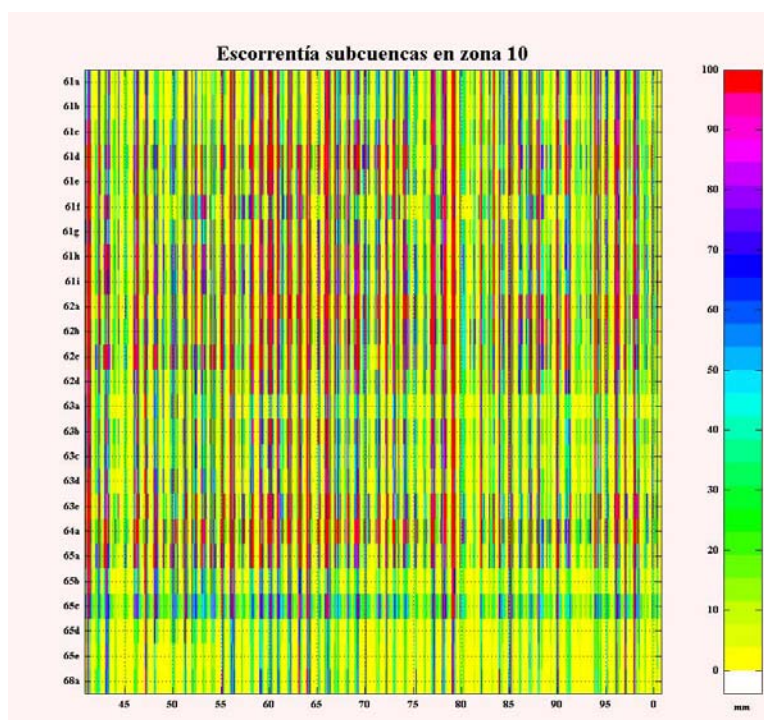


6.10.- Zona 10

6.10.1.- Precipitación

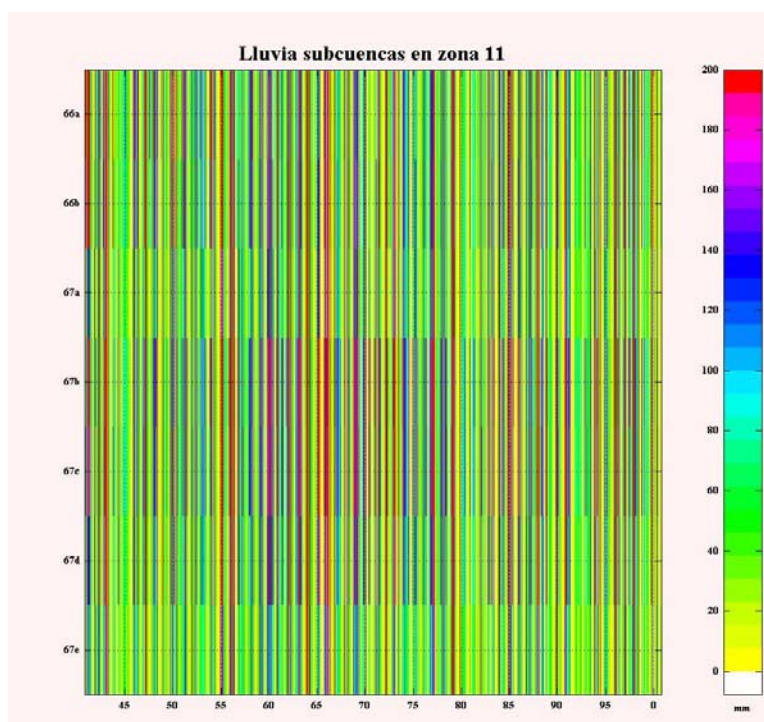


6.10.2.- Escorrentía

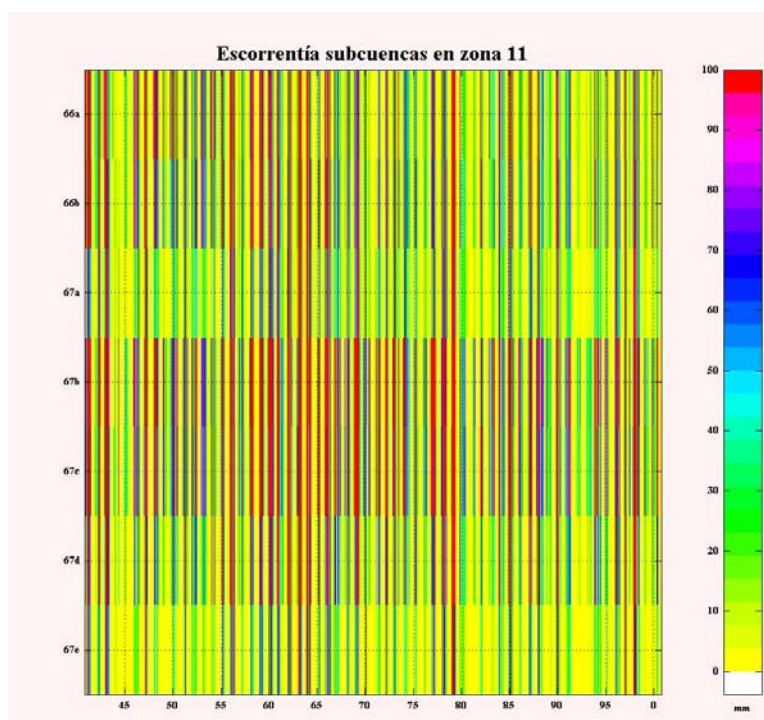


6.11.- Zona 11

6.11.1.- Precipitación

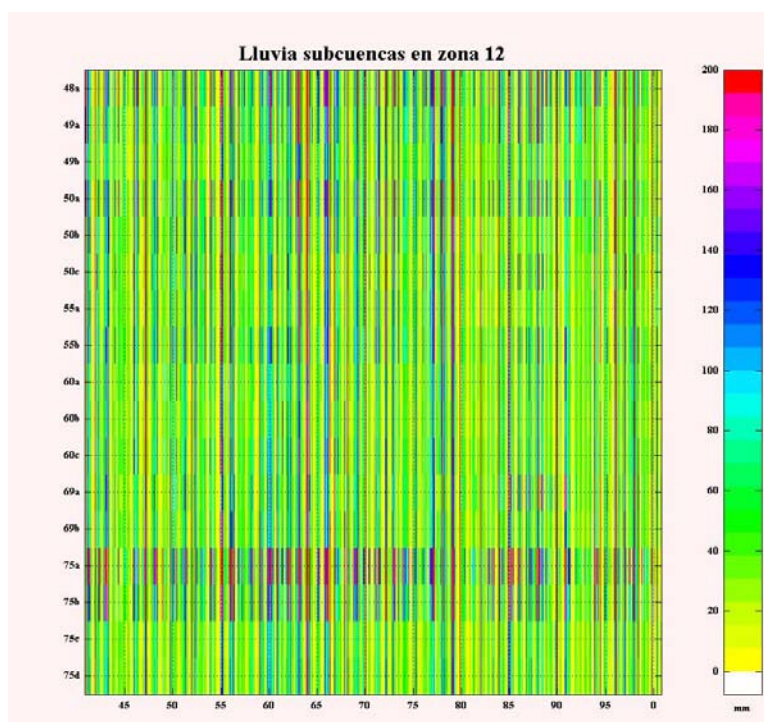


6.11.2.- Escorrentía

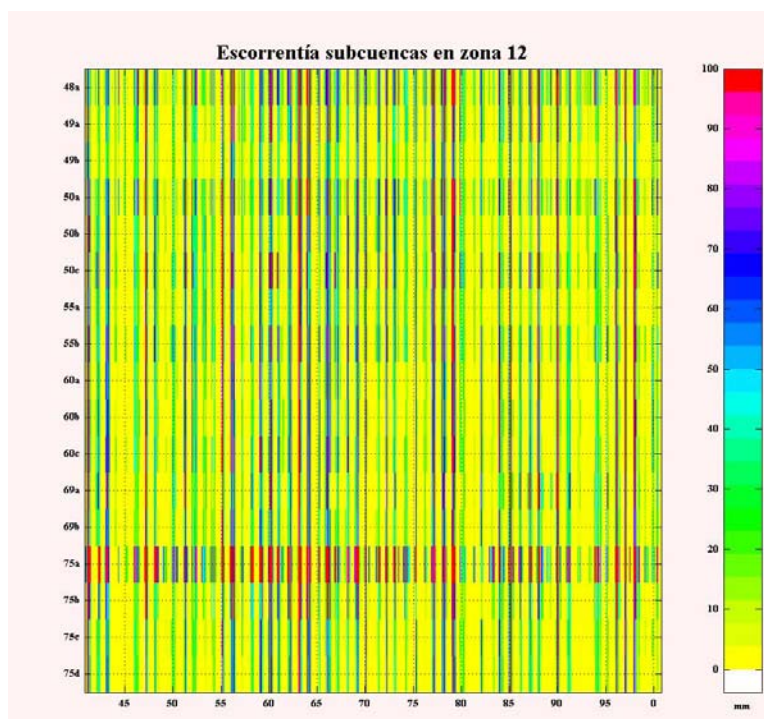


6.12.- Zona 12

6.12.1.- Precipitación

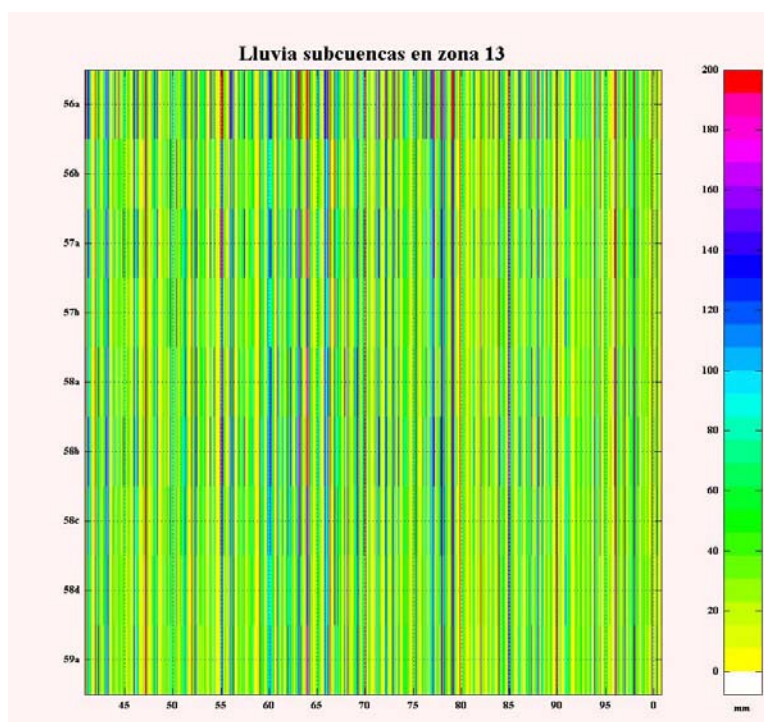


6.12.2.- Escorrentía

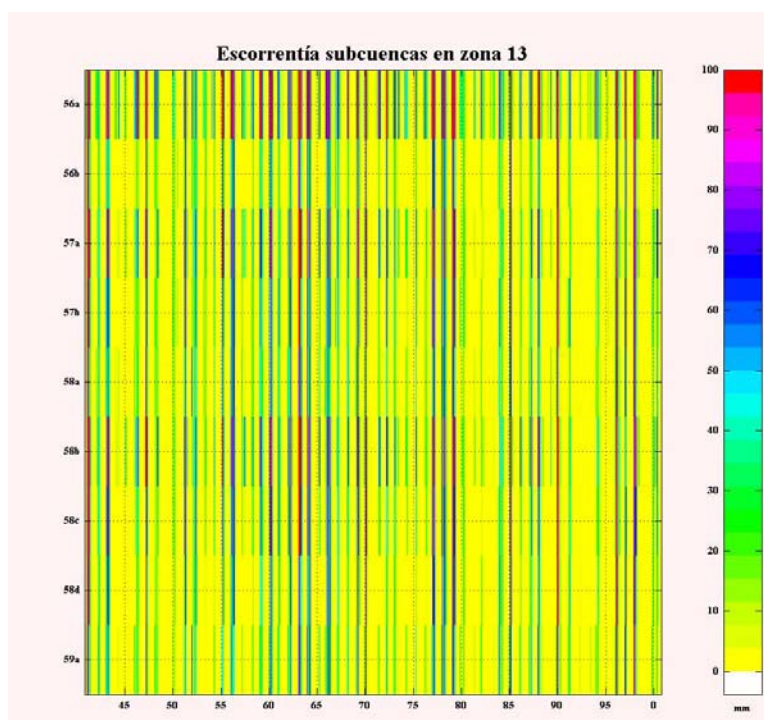


6.13.- Zona 13

6.13.1.- Precipitación

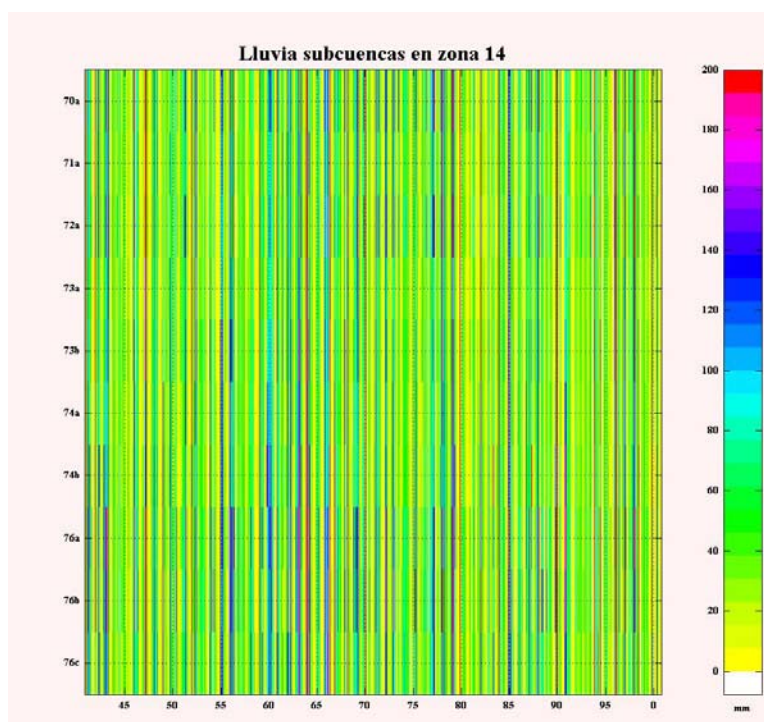


6.13.2.- Escorrentía

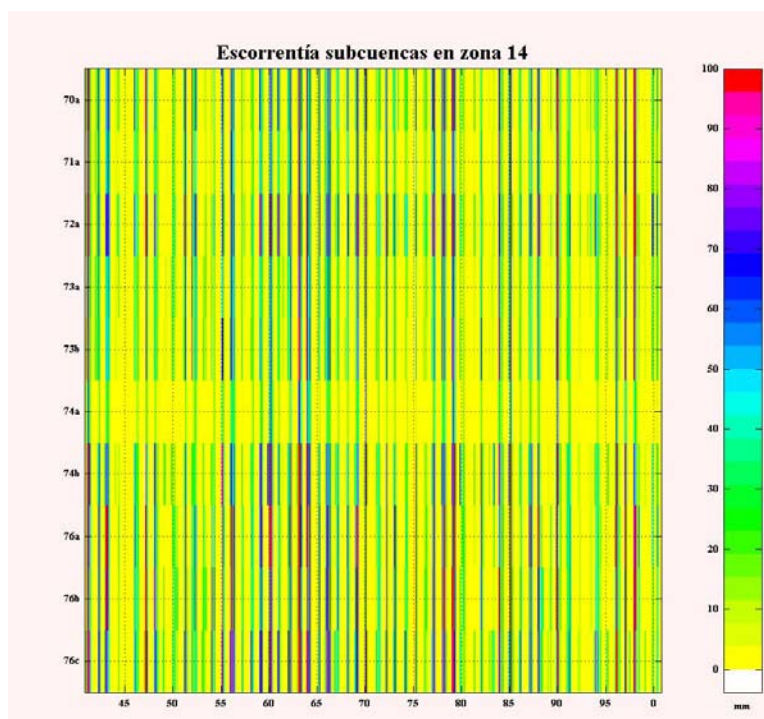


6.14.- Zona 14

6.14.1.- Precipitación



6.14.2.- Escorrentía



7.- GRÁFICOS DE DATOS ANUALES DE PRECIPITACIÓN POR ZONAS

Se presentan a continuación una serie de gráficos relativos a los valores anuales de las series de precipitaciones de las 14 zonas hidrológicas. En concreto se han elaborado los siguientes:

- evolución de la precipitación en la serie histórica (1.940-2.000)
- precipitaciones acumuladas en la serie histórica (1.940-2.000)
- valor del índice SPI, calculado según la memoria del Anejo (punto 3.3)

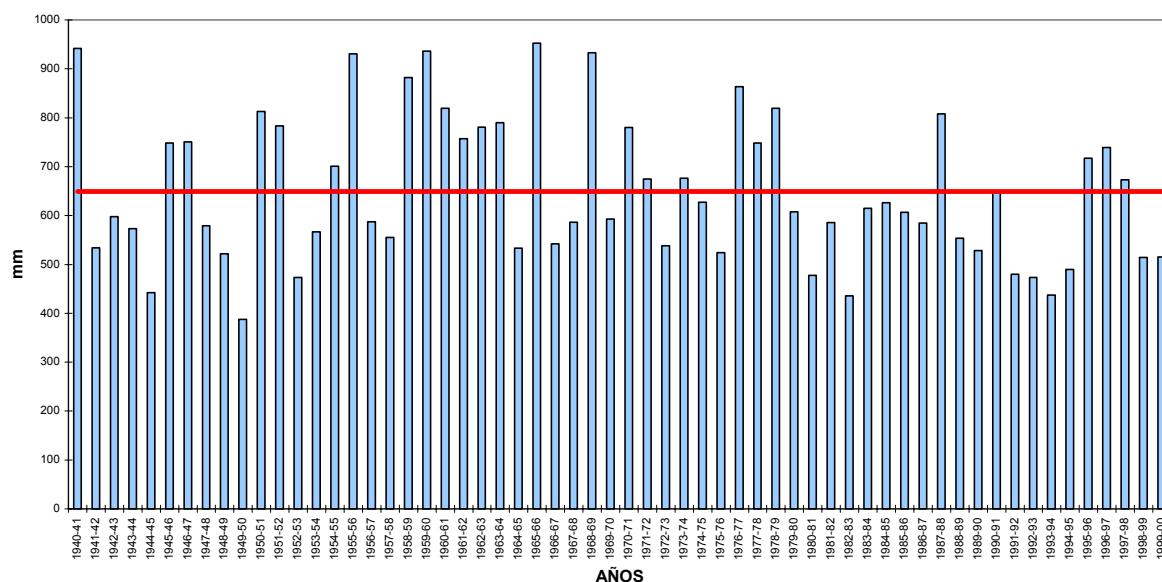
A continuación se presentan los valores más significativos de las series de precipitaciones anuales por zonas hidrológicas.

TABLA 1.- VALORES DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL POR ZONAS				
ZONA	P _{media} (mm)	P _{máx} (mm)	P _{mín} (mm)	Cv
01.- Alto Tajo	649,34	952,80	387,44	0,23
02.- Tajo Bolarque y Aranjuez	470,27	744,43	286,83	0,21
03.- Tajuña	534,72	740,40	324,62	0,20
04.- Henares	584,38	837,34	285,25	0,21
05.- Jarama	639,96	883,73	372,02	0,21
06.- Guadarrama	531,39	815,29	318,99	0,23
07.- Alberche	667,99	1.074,14	358,13	0,25
08.- Margen izq. en Tajo medio	461,06	717,79	242,19	0,23
09.- Tiétar	1.012,01	1.604,06	475,57	0,28
10.- Alagón	941,52	1.412,50	467,88	0,27
11.- Árrago	948,62	1.557,03	475,95	0,28
12.- Almonte	660,52	979,20	357,27	0,26
13.- Tajo bajo y Erjas	635,26	927,70	358,22	0,27
14.- Tajo internacional y Salor	569,91	867,11	260,22	0,27

7.1.- Zona 1

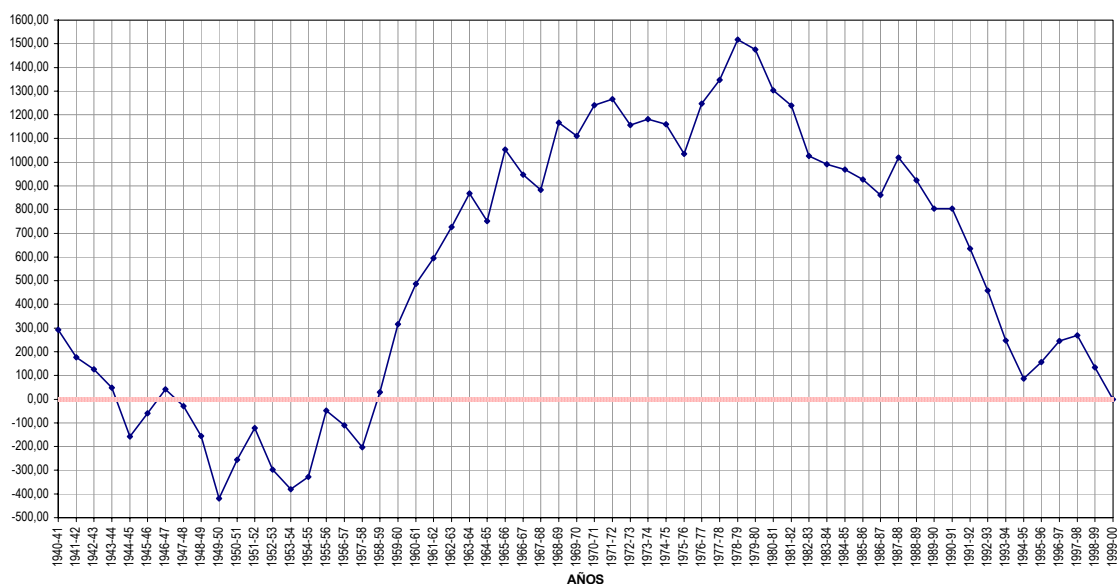
7.1.1.- Evolución de la precipitación anual

EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 01.
TAJO ALTO. (Pm = 649,34 mm)



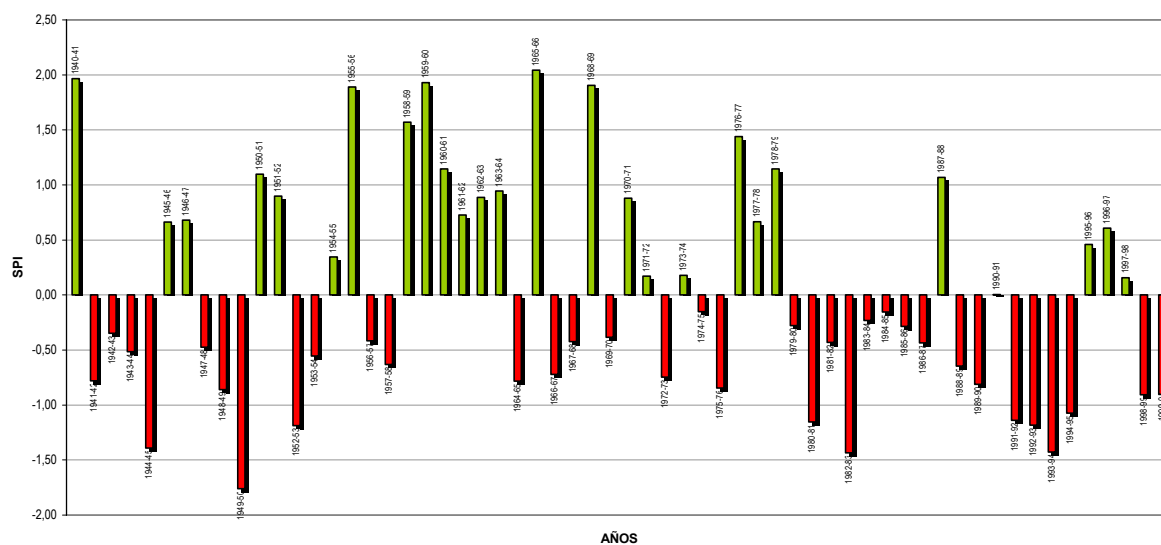
7.1.2.- Precipitaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (649,34 mm)
ZONA 01. TAJO ALTO (1940/41-1999/00)



7.1.3.- Índice SPI

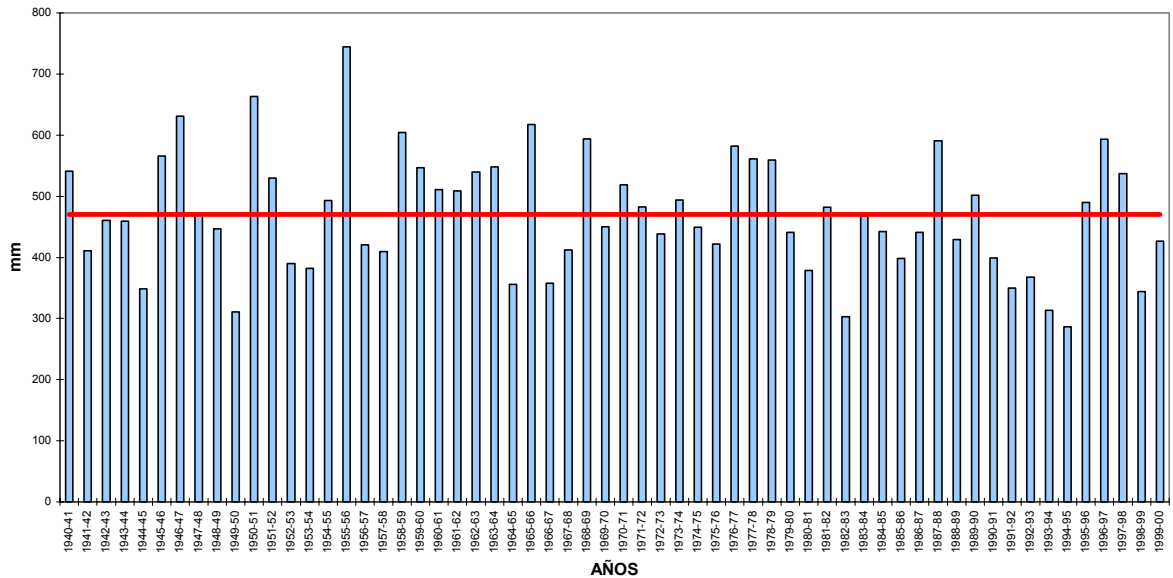
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 01. TAJO ALTO.



7.1.- Zona 2

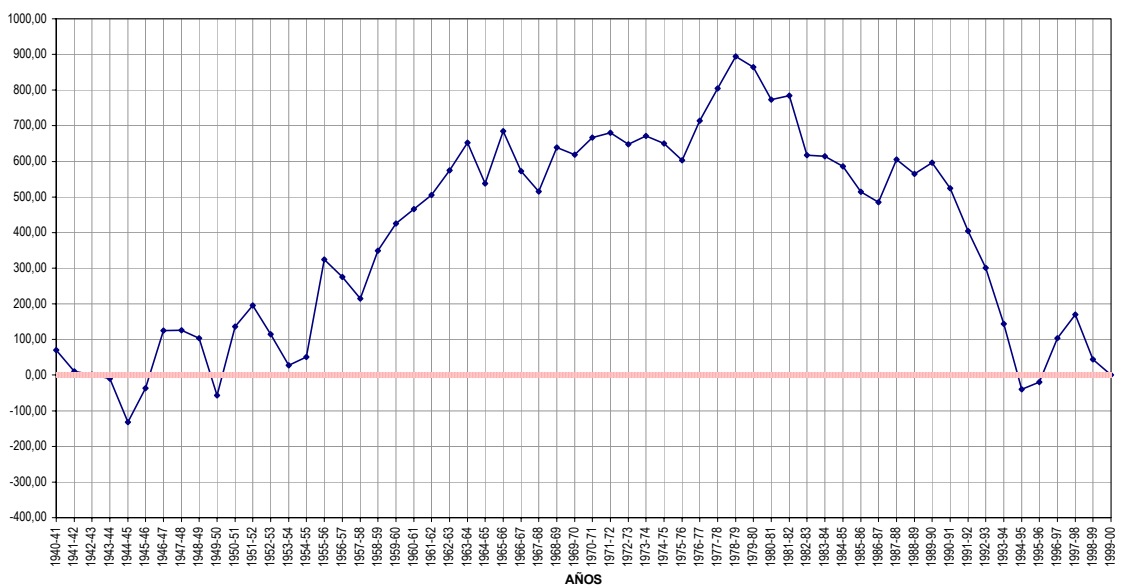
7.2.1.- Evolución de la precipitación anual

EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 02.
TAJO ENTRE BOLARQUE Y ARANJUEZ. (Pm = 470,27 mm)



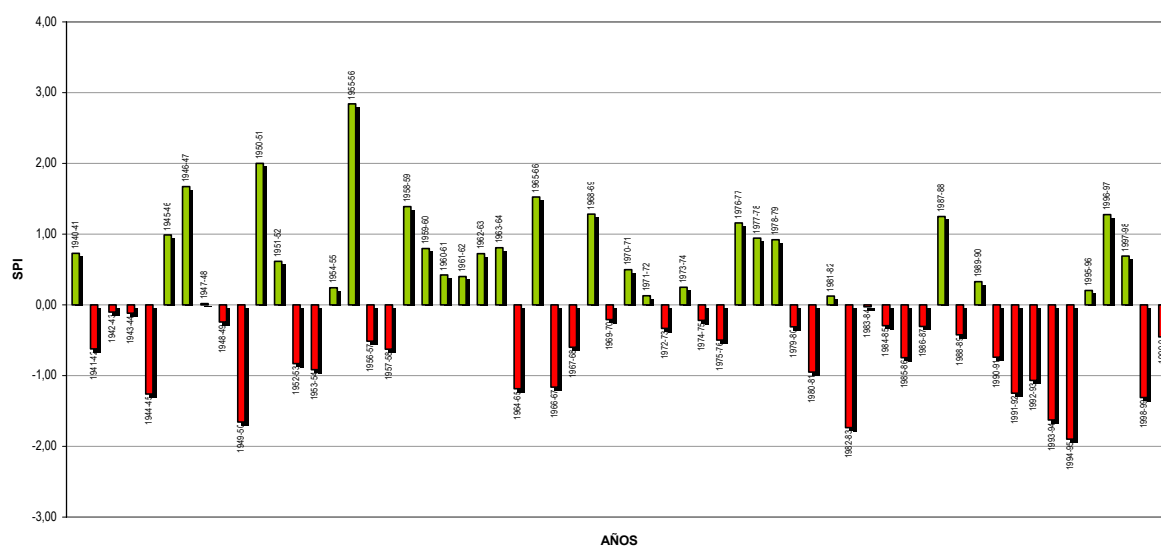
7.2.2.- Precipitaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (470,27 mm)
ZONA 02. TAJO ENTRE BOLARQUE Y ARANJUEZ (1940/41-1999/00)



7.2.3.- Índice SPI

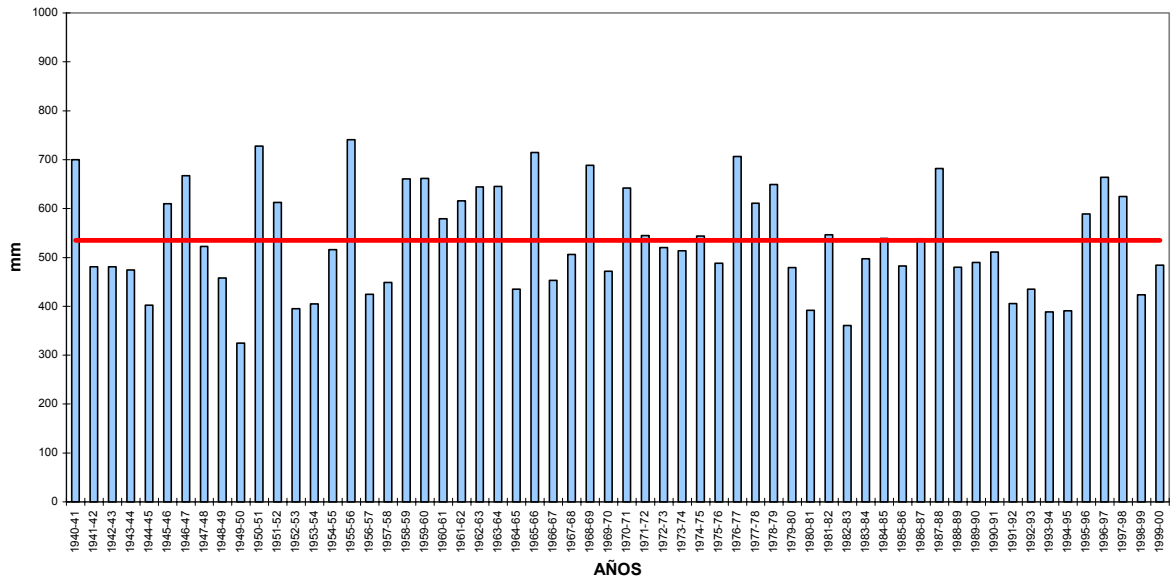
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 02. TAJO ENTRE BOLARQUE Y ARANJUEZ.



7.3.- Zona 3

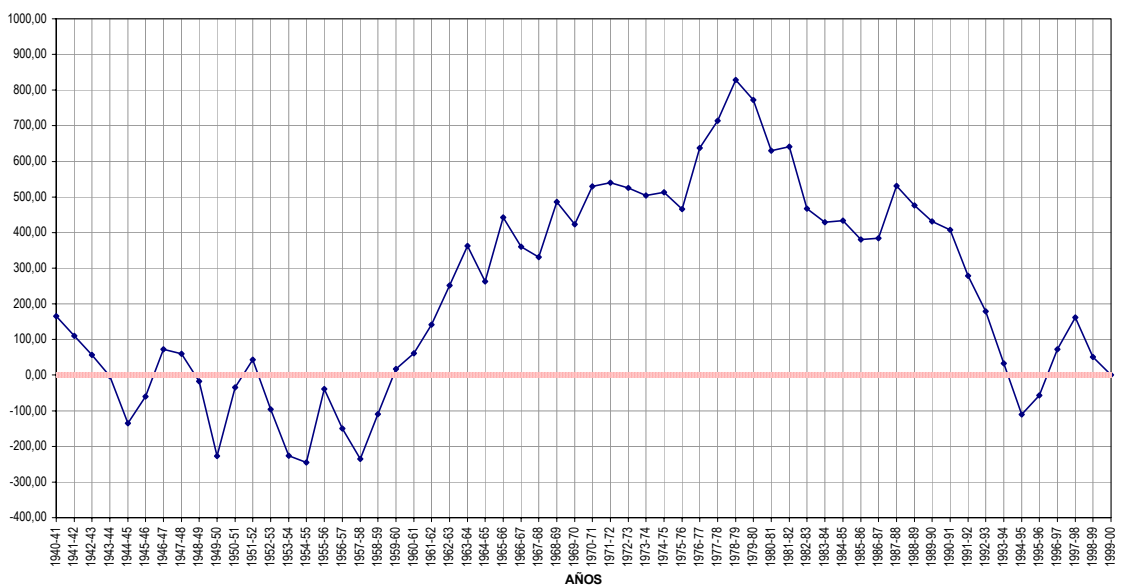
7.3.1.- Evolución de la precipitación anual

EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 03.
TAJUÑA. (Pm = 534,72 mm)



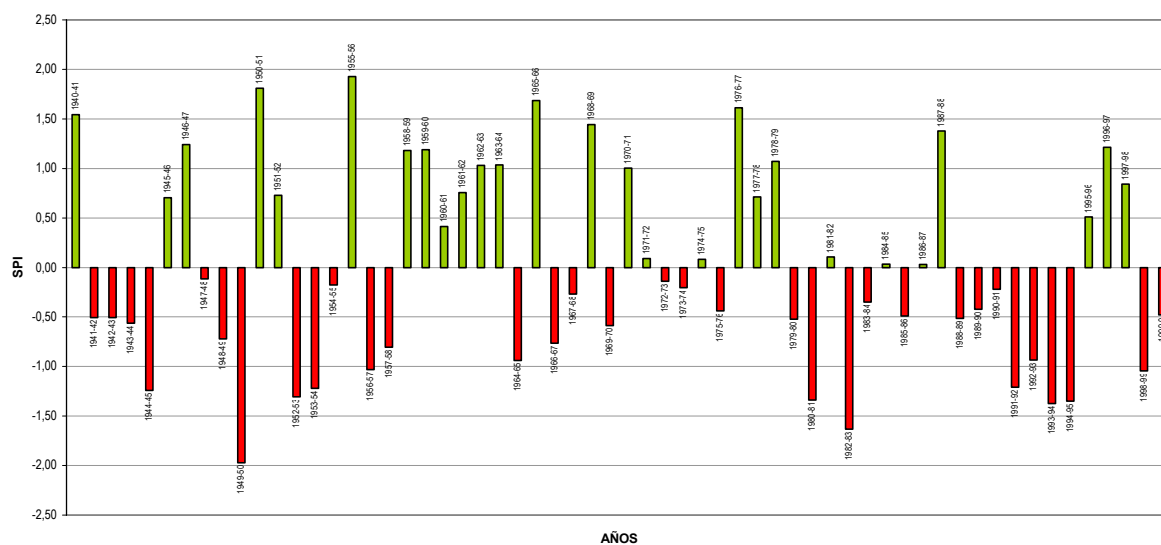
7.3.2.- Precipitaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (534,72 mm)
ZONA 03. TAJUÑA (1940/41-1999/00)



7.3.3.- Índice SPI

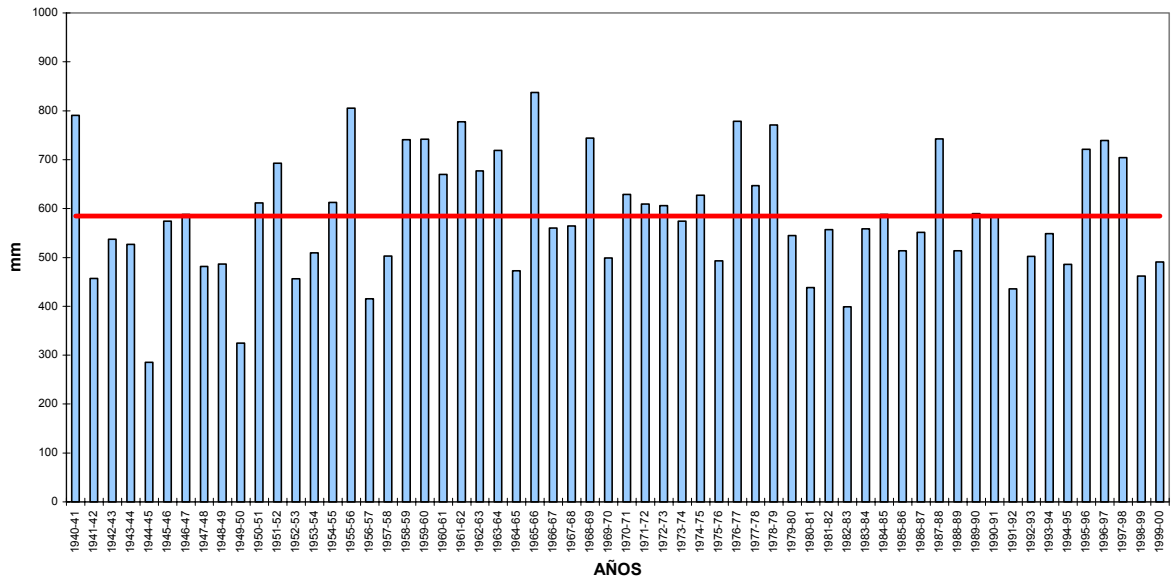
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 03. TAJUÑA.



7.4.- Zona 4

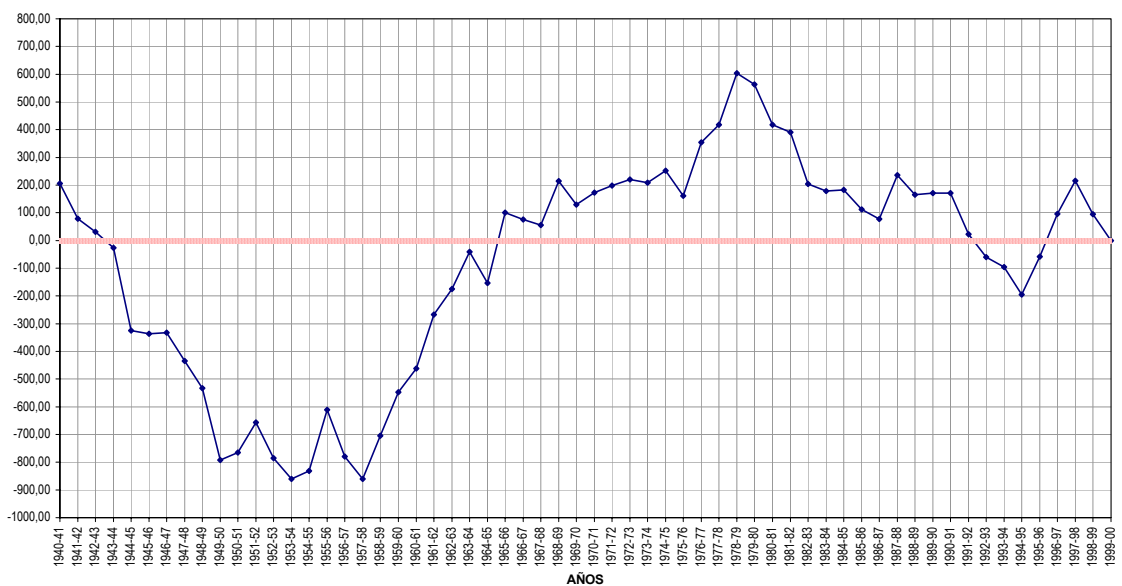
7.4.1.- Evolución de la precipitación anual

EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 04.
HENARES. (Pm = 584,38 mm)



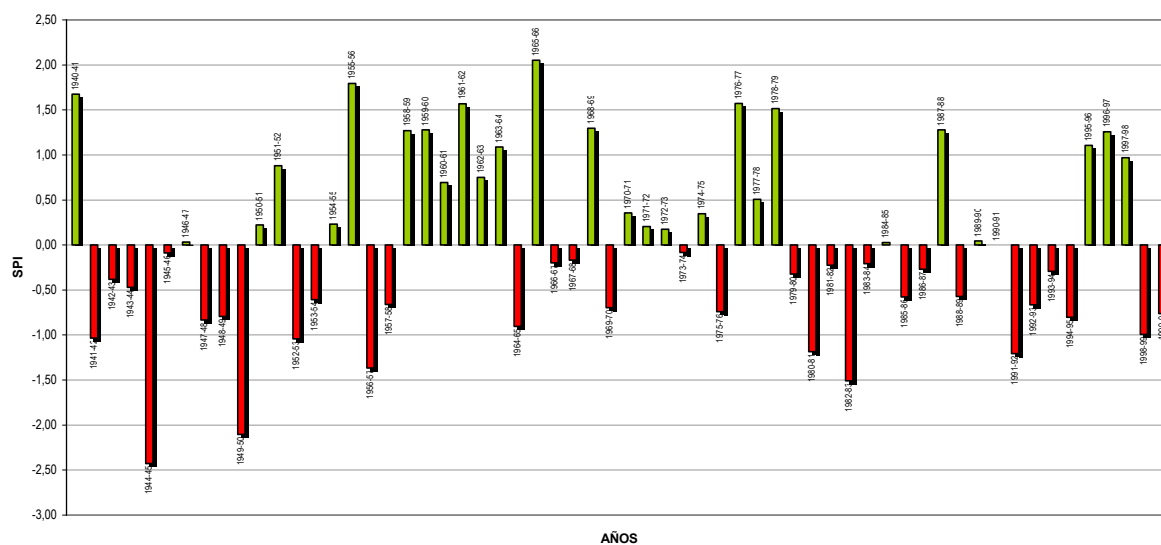
7.4.2.- Precipitaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (584,38 mm)
ZONA 04. HENARES (1940/41-1999/00)



7.4.3.- Índice SPI

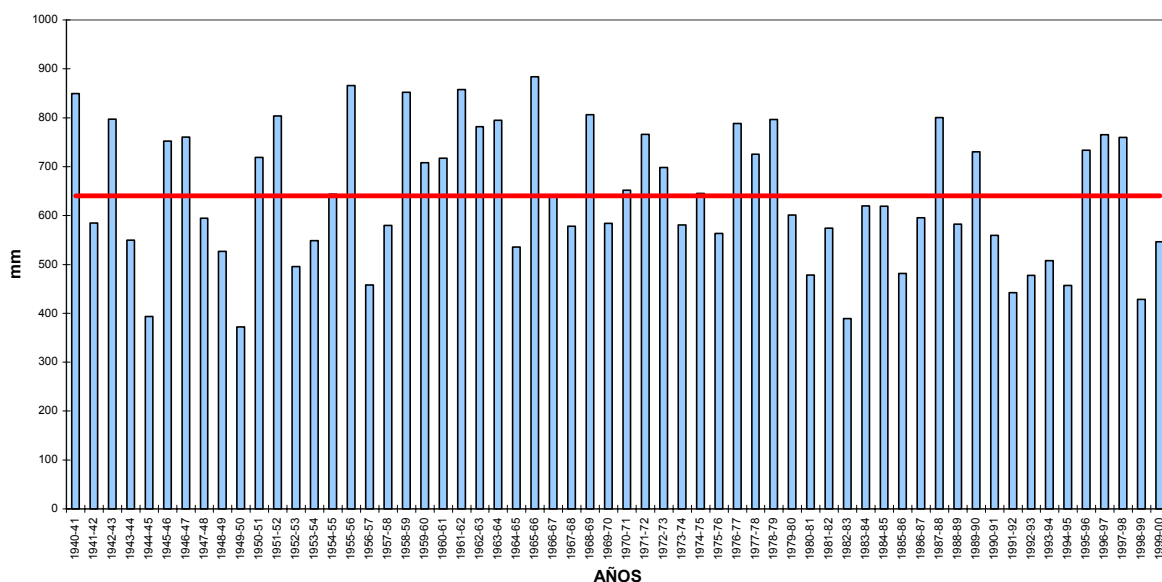
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 04. HENARES.



7.5.- Zona 5

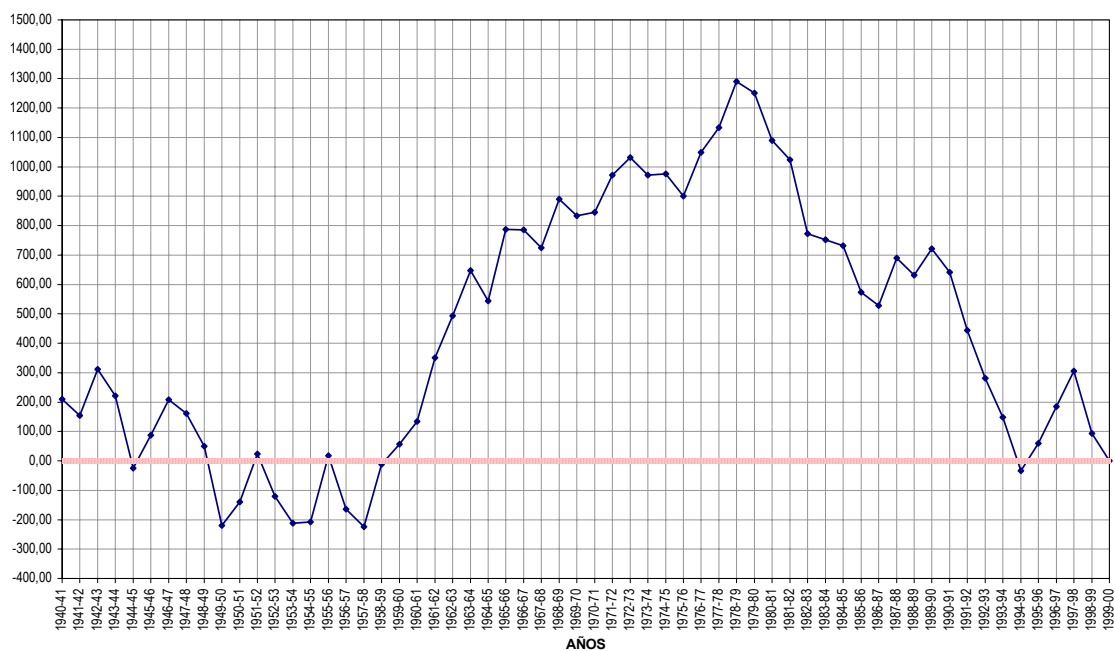
7.5.1.- Evolución de la precipitación anual

EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 05.
JARAMA. (Pm = 639,96 mm)



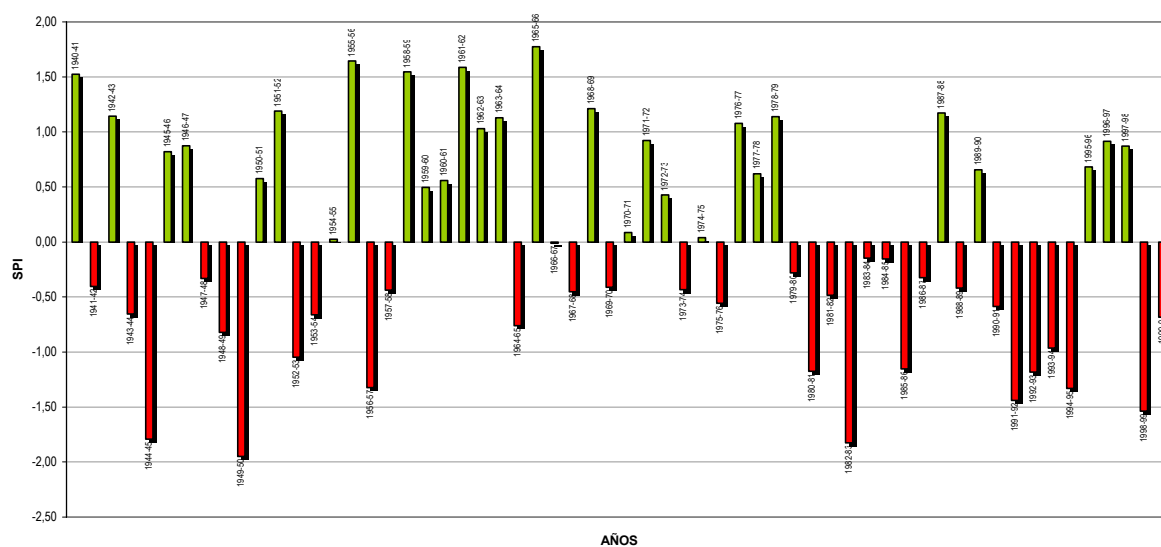
7.5.2.- Precipitaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (639,96 mm)
ZONA 05. JARAMA (1940/41-1999/00)



7.5.3.- Índice SPI

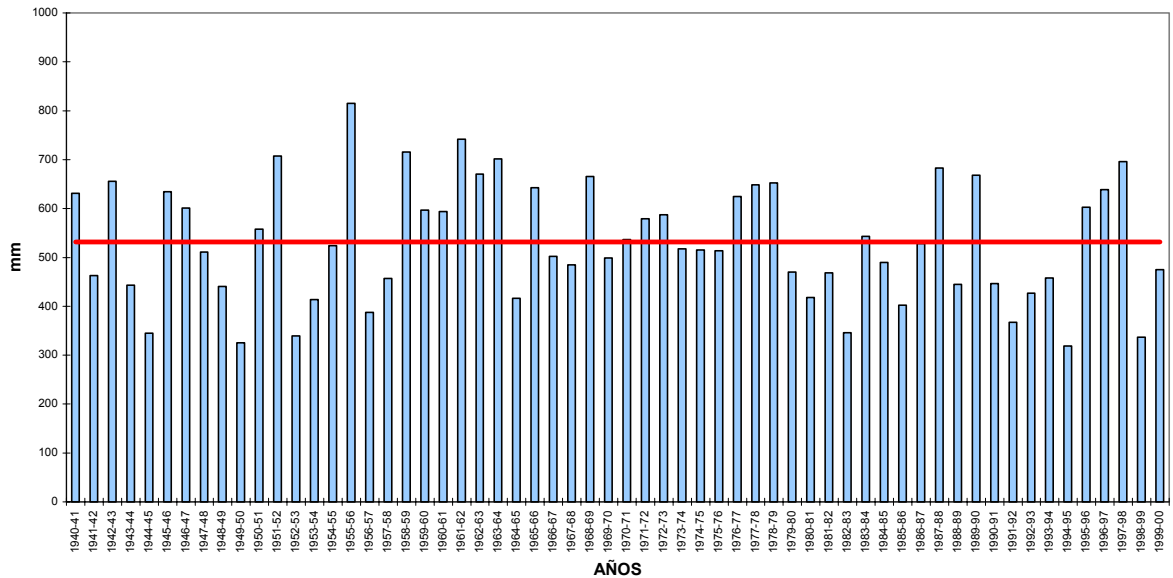
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 05. JARAMA.



7.6.- Zona 6

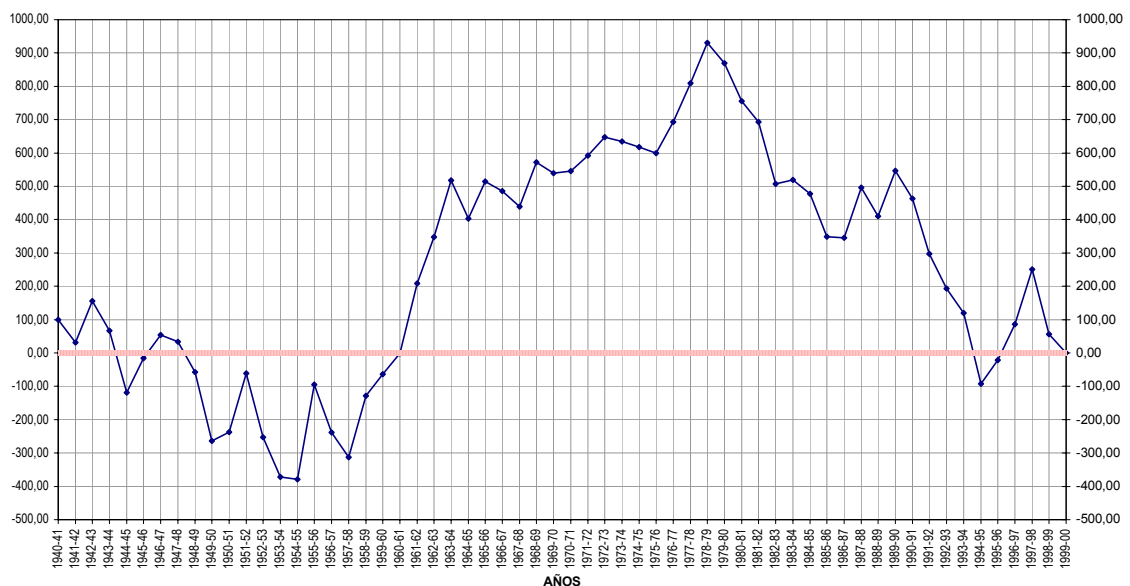
7.6.1.- Evolución de la precipitación anual

EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 06.
GUADARRAMA. (Pm = 531,39 mm)



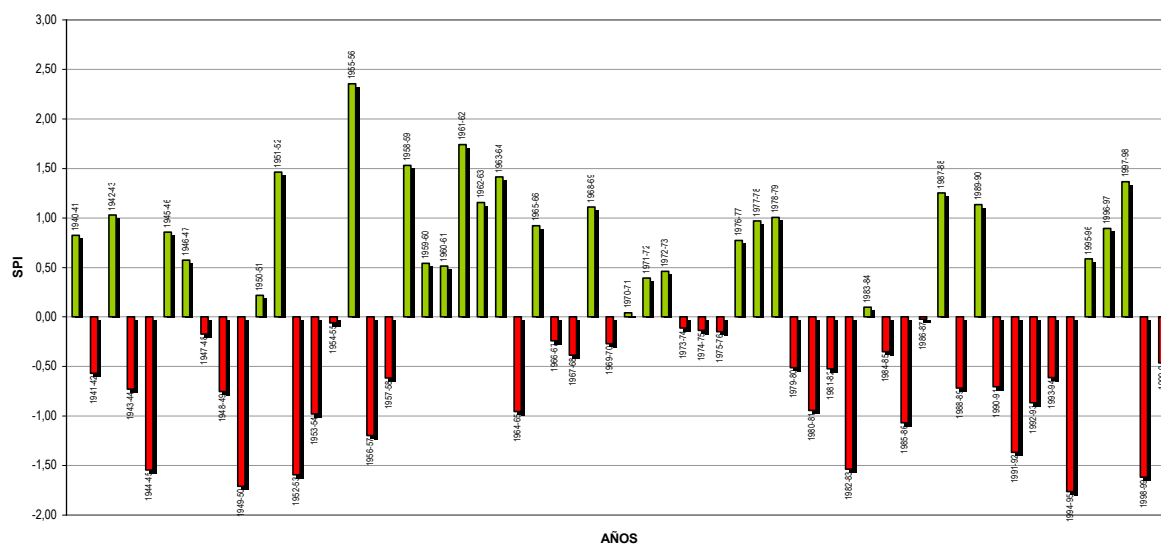
7.6.2.- Precipitaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (531,39 mm)
ZONA 06. GUADARRAMA (1940/41-1999/00)



7.6.3.- Índice SPI

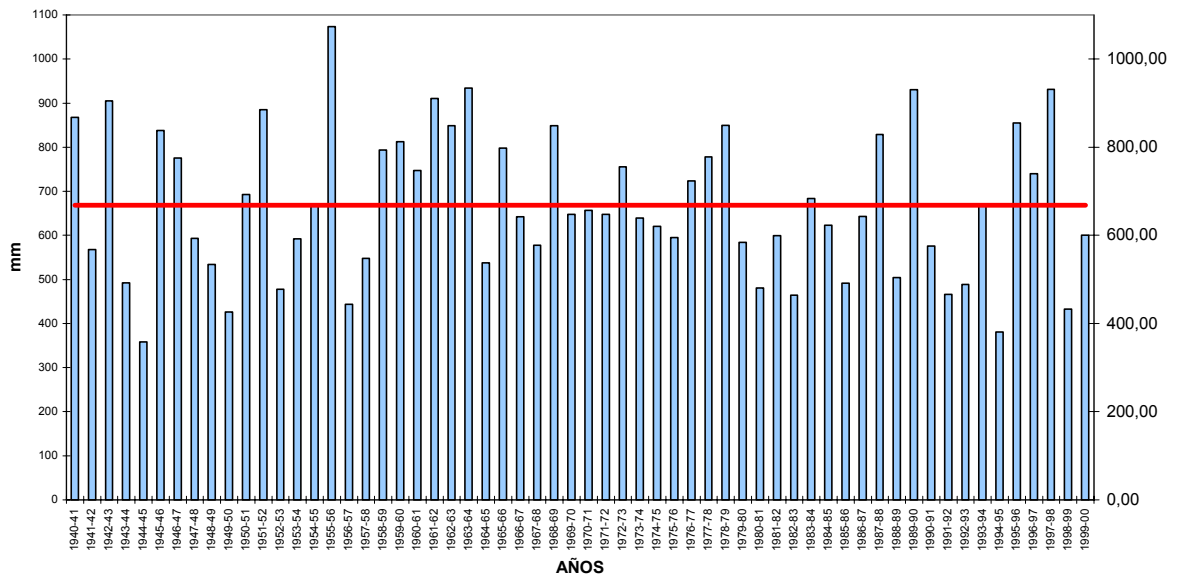
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 06. GUADARRAMA.



7.7.- Zona 7

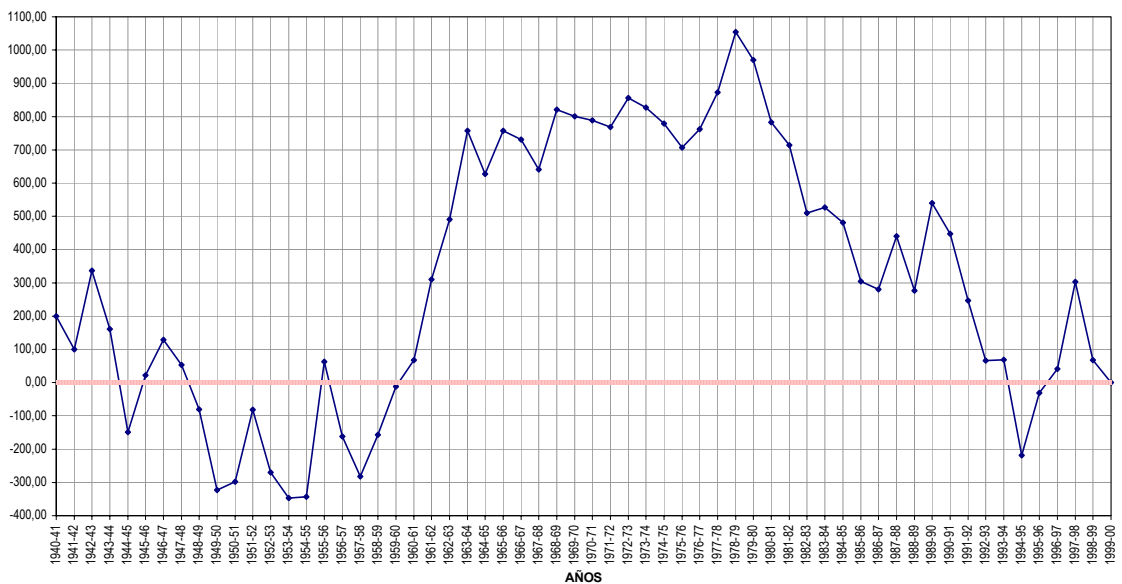
7.7.1.- Evolución de la precipitación anual

EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 07.
ALBERCHE. (Pm = 667,99 mm)



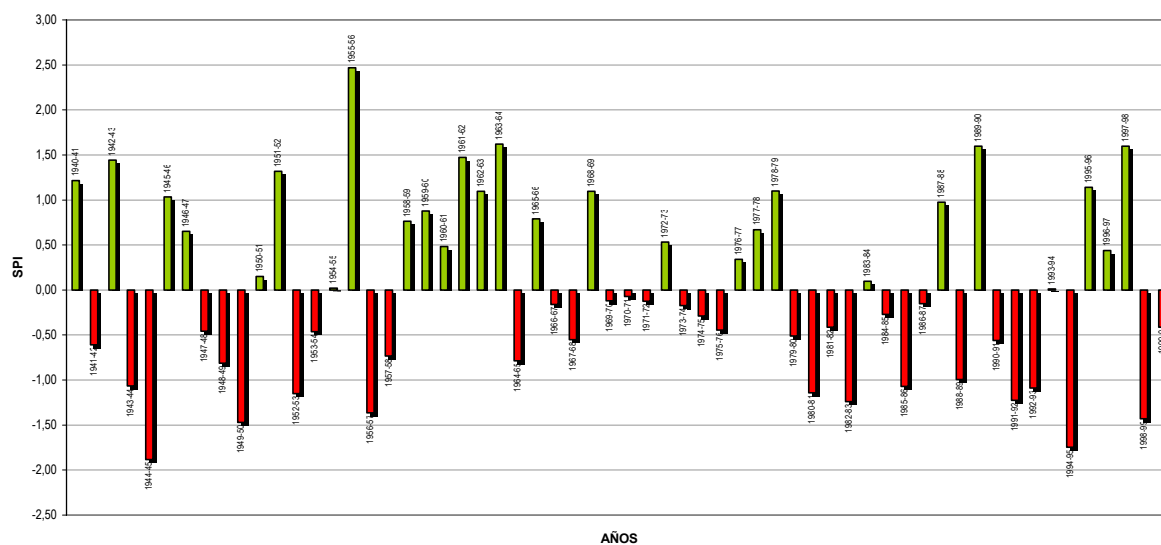
7.7.2.- Precipitaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (667,99 mm)
ZONA 07. ALBERCHE (1940/41-1999/00)



7.7.3.- Índice SPI

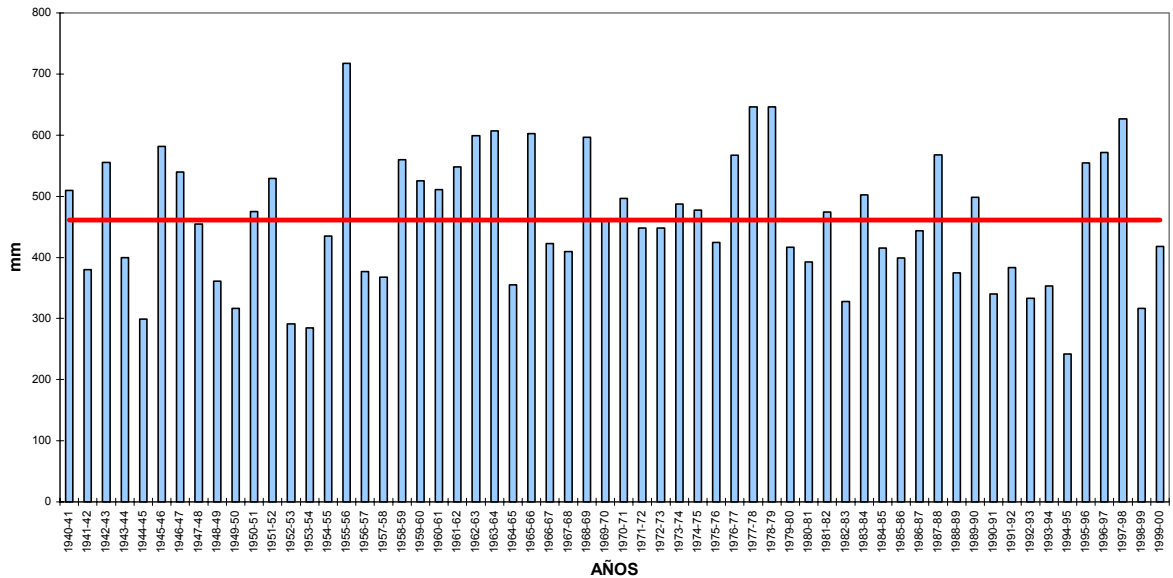
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 07. ALBERCHE.



7.8.- Zona 8

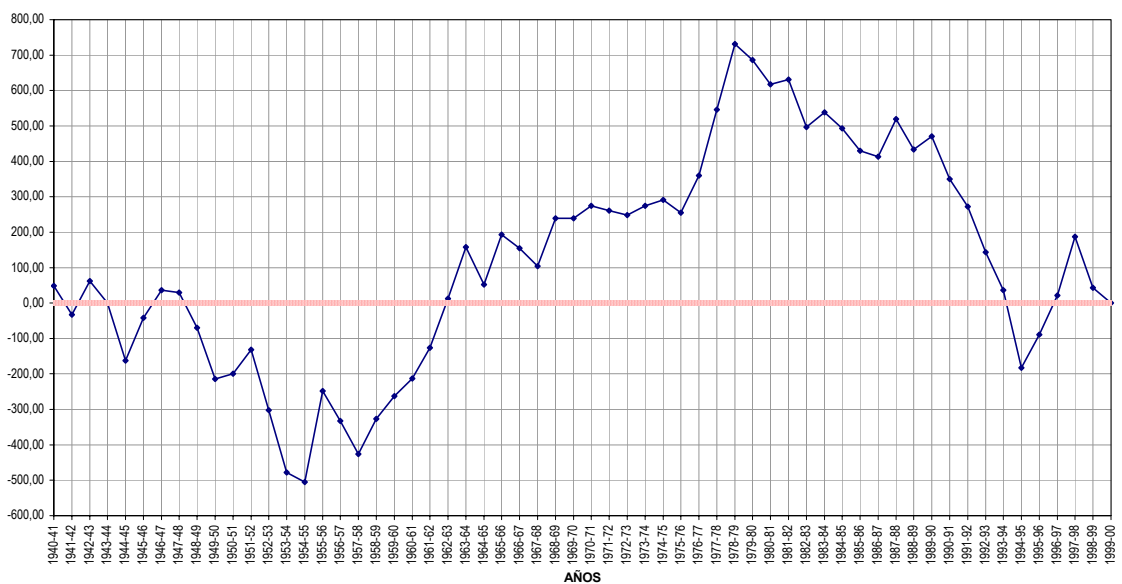
7.8.1.- Evolución de la precipitación anual

**EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 08.
MARGEN IZQUIERDA EN TAJO MEDIO. (Pm = 461,06 mm)**

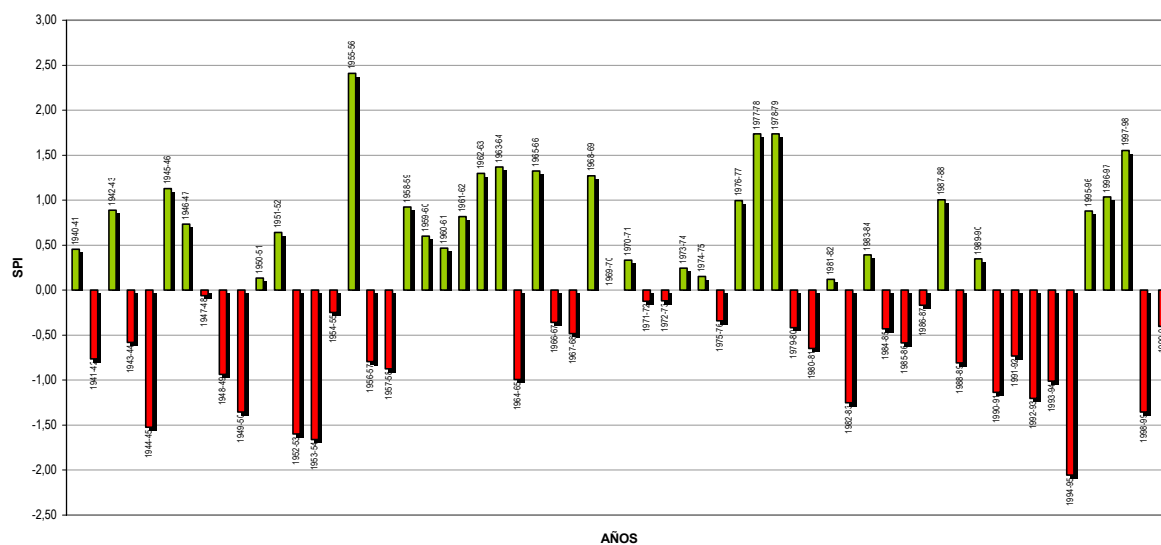


7.8.2.- Precipitaciones acumuladas

**DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (461,06 mm)
ZONA 08. MARGEN IZQUIERDA EN TAJO MEDIO (1940/41-1999/00)**



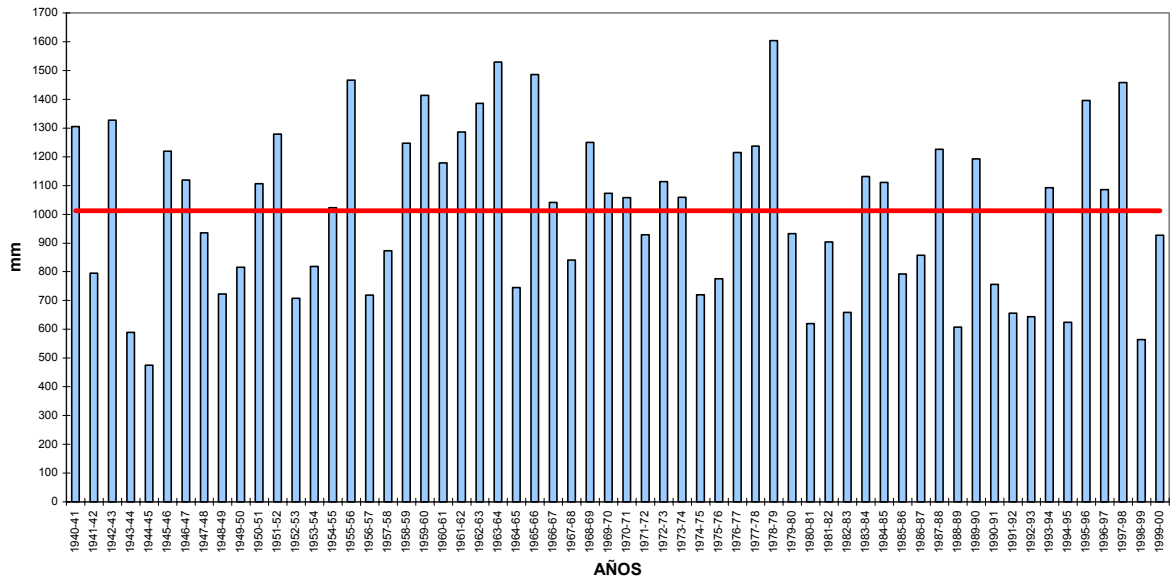
7.8.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 08.
MARGEN IZQUIERDA EN TAJO MEDIO.

7.9.- Zona 9

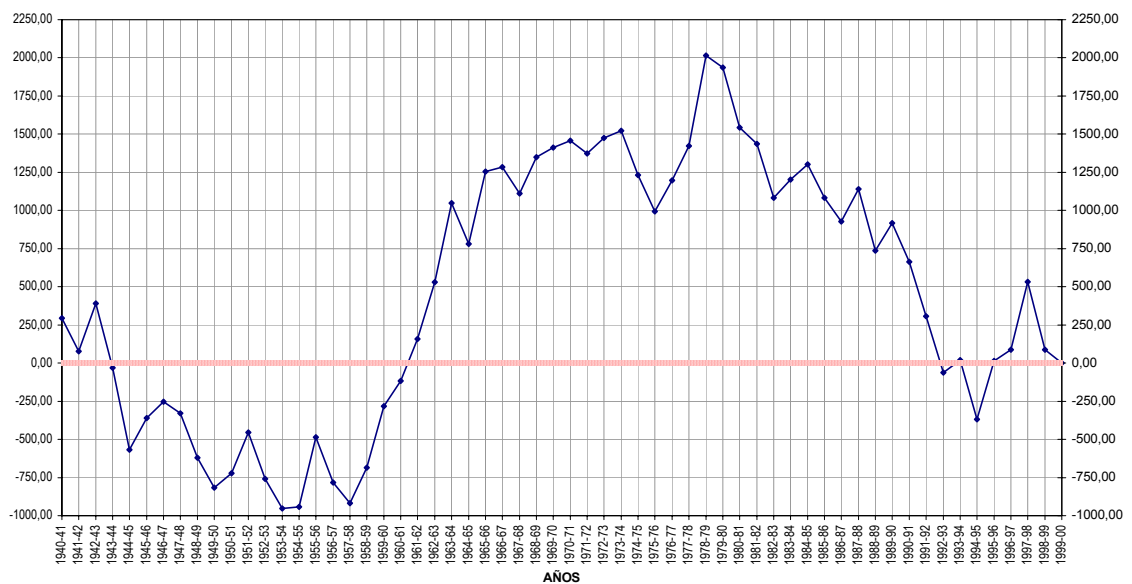
7.9.1.- Evolución de la precipitación anual

EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 09.
TIÉTAR. (Pm = 1.012,01 mm)



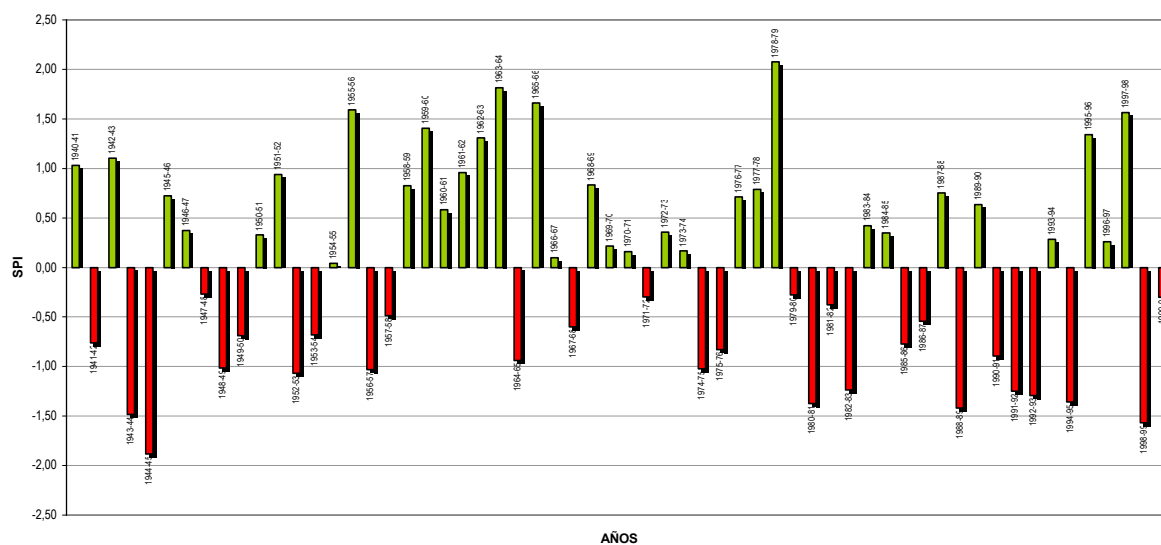
7.9.2.- Precipitaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (1.012,01 mm)
ZONA 09. TIÉTAR (1940/41-1999/00)



7.9.3.- Índice SPI

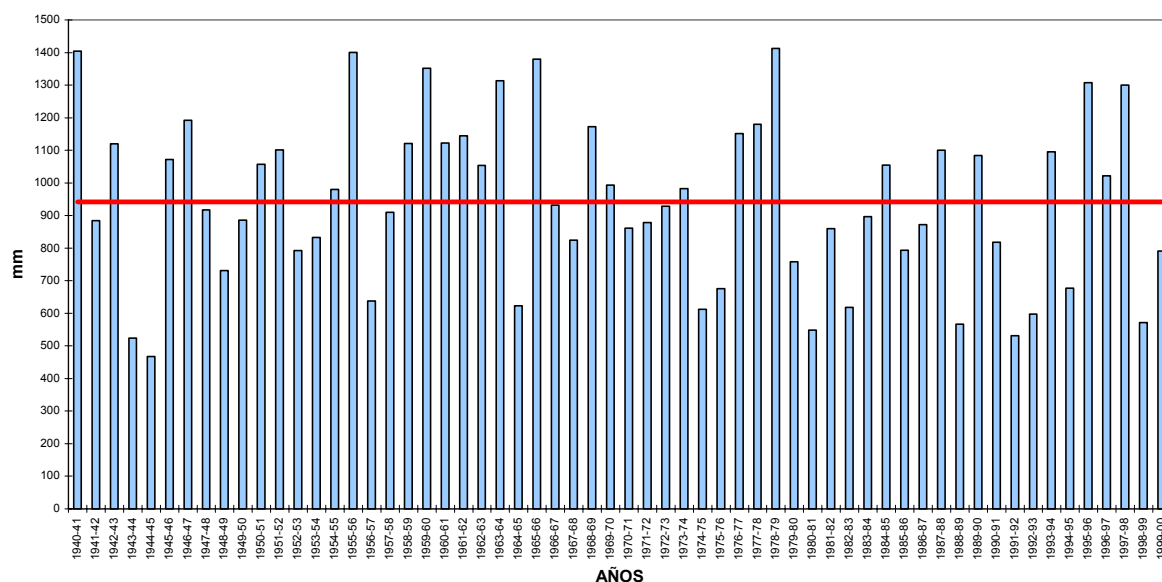
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 09. TIÉTAR.



7.10.- Zona 10

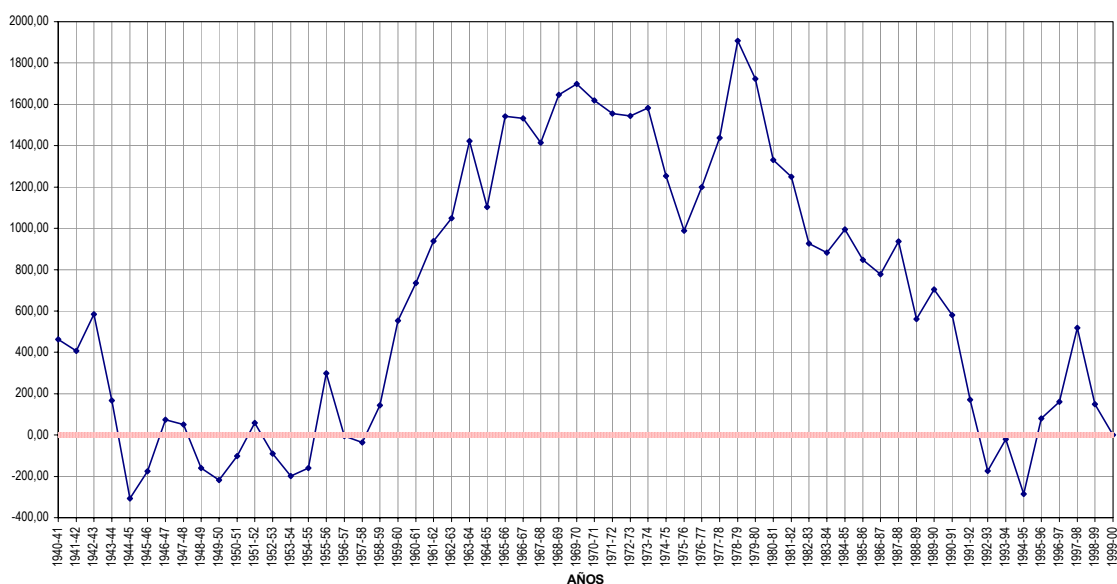
7.10.1.- Evolución de la precipitación anual

EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 10.
ALAGÓN. (Pm = 941,52 mm)



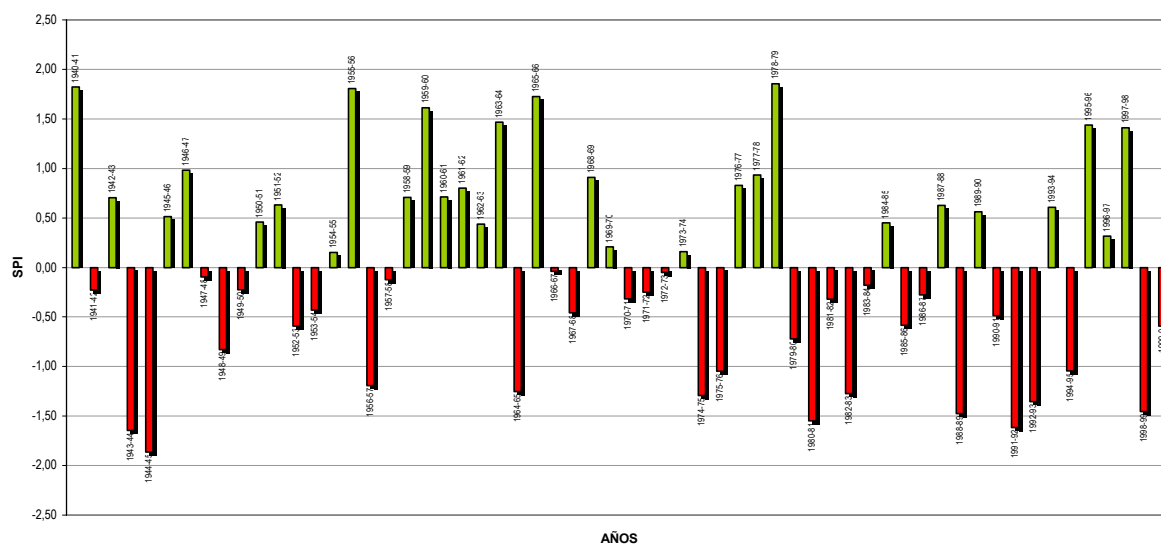
7.10.2.- Precipitaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (941,52 mm)
ZONA 10. ALAGÓN (1940/41-1999/00)



7.10.3.- Índice SPI

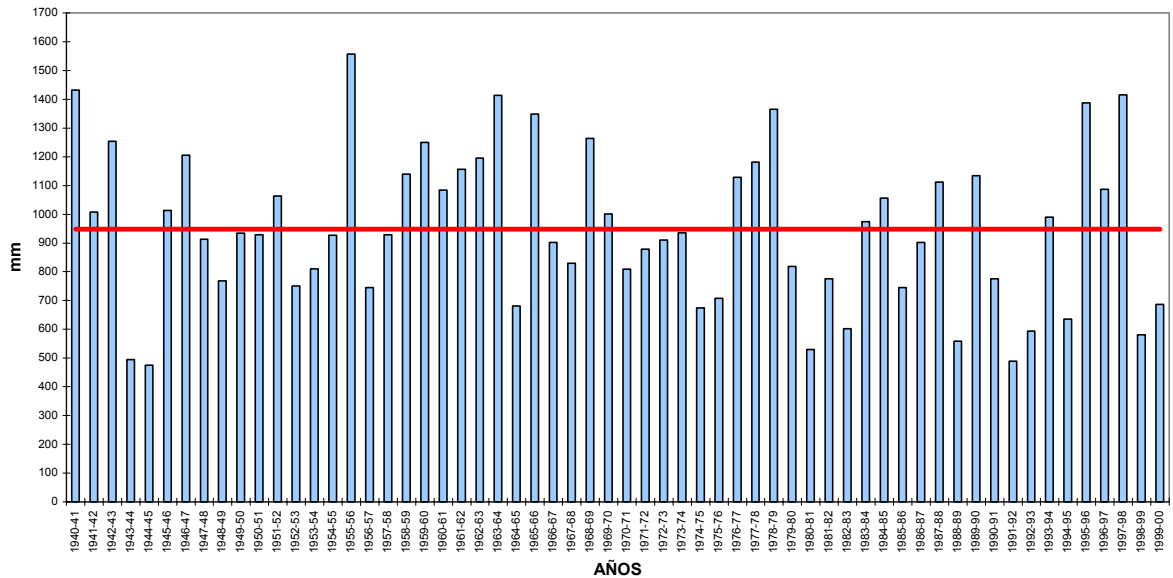
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 10. ALAGÓN.



7.11.- Zona 11

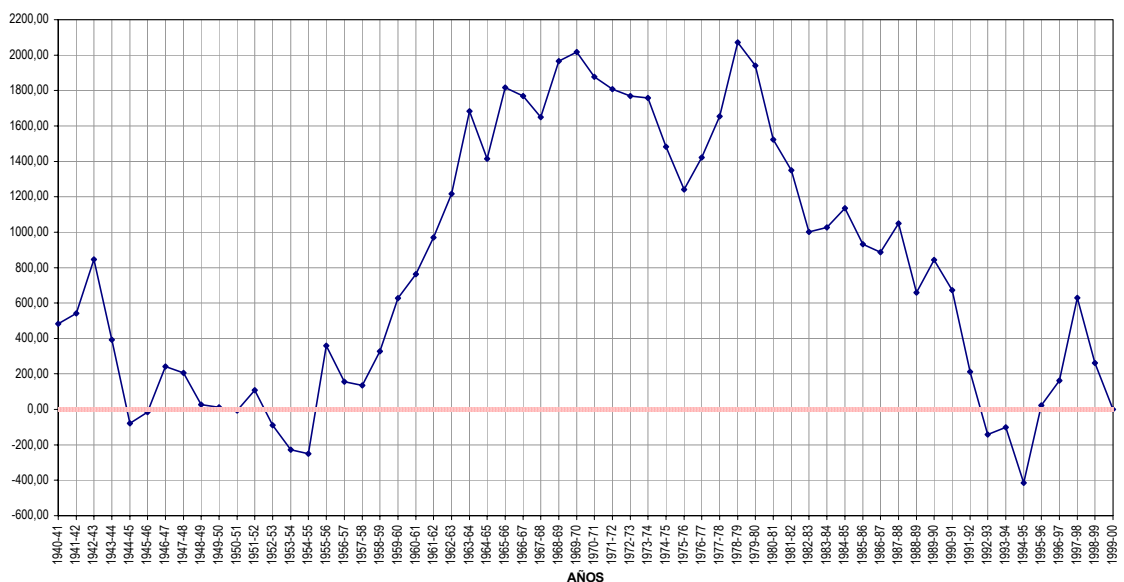
7.11.1.- Evolución de la precipitación anual

EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 11.
ÁRRAGO. (Pm = 948,62 mm)



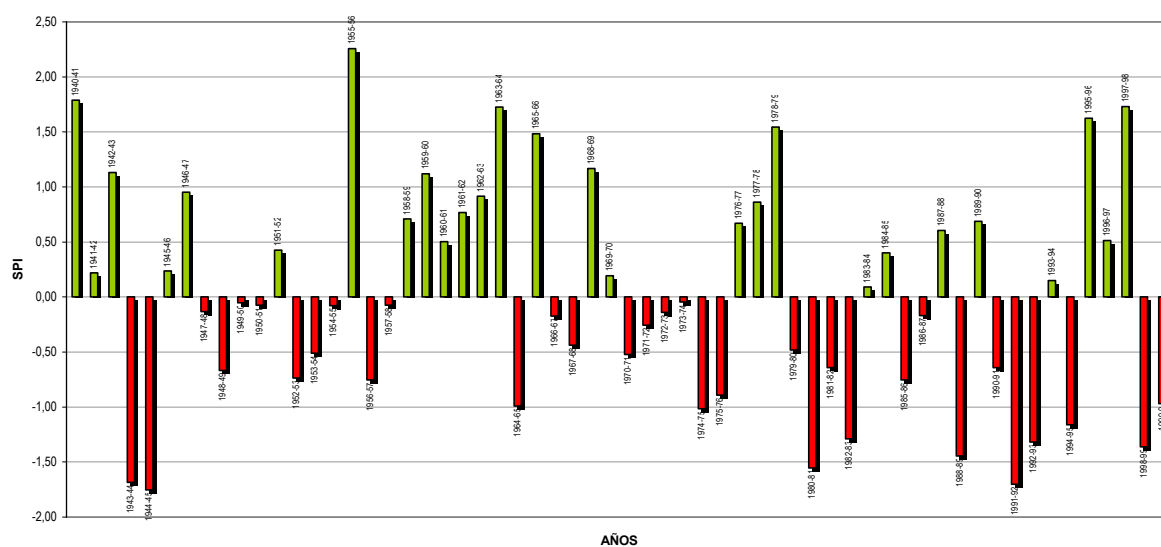
7.11.2.- Precipitaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (948,62 mm)
ZONA 11. ÁRRAGO (1940/41-1999/00)



7.11.3.- Índice SPI

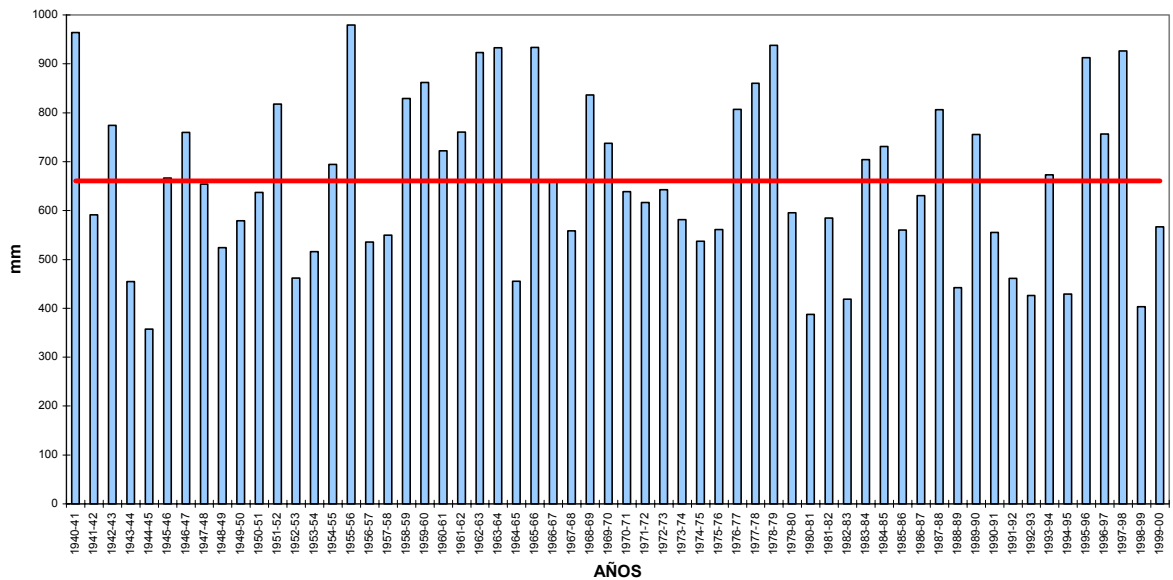
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 11. ÁRRAGO.



7.12.- Zona 12

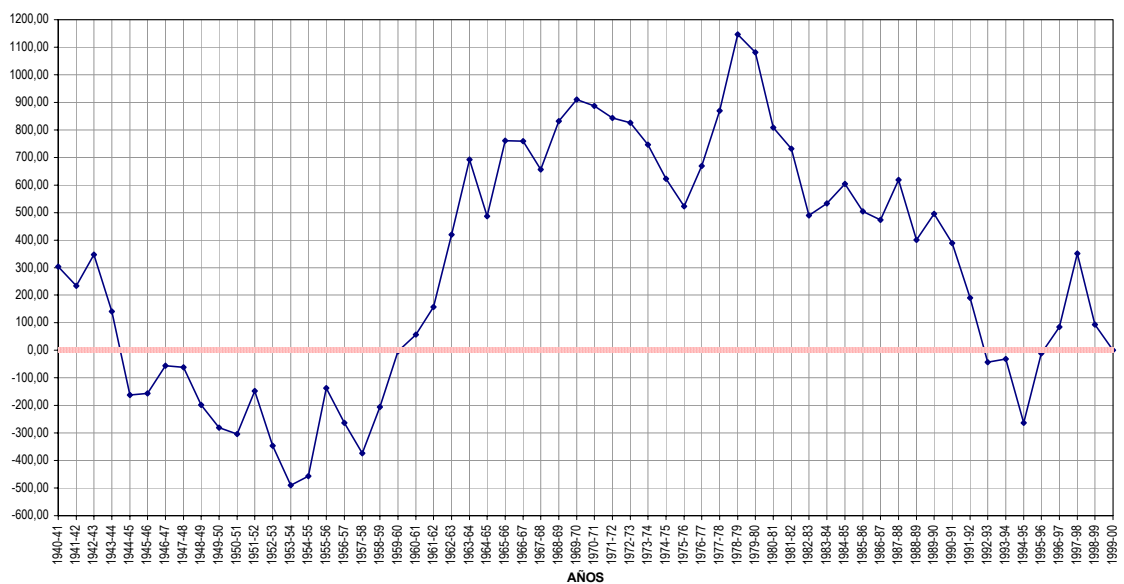
7.12.1.- Evolución de la precipitación anual

EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 12.
TAJO BAJO Y ERJAS. (Pm = 660,52 mm)



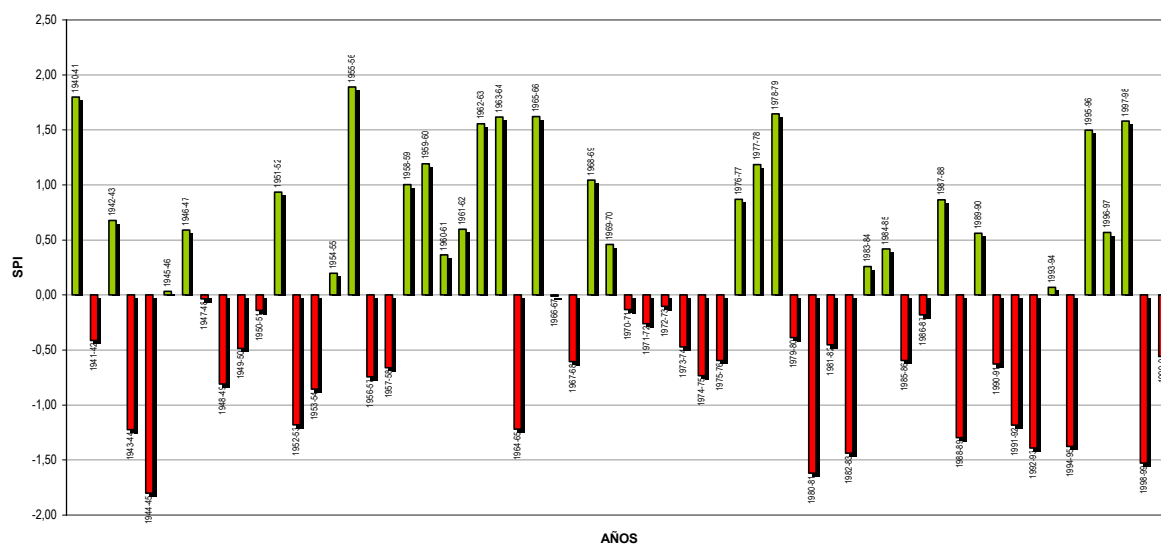
7.12.2.- Precipitaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (660,52 mm)
ZONA 12. TAJO BAJO Y ERJAS (1940/41-1999/00)



7.12.3.- Índice SPI

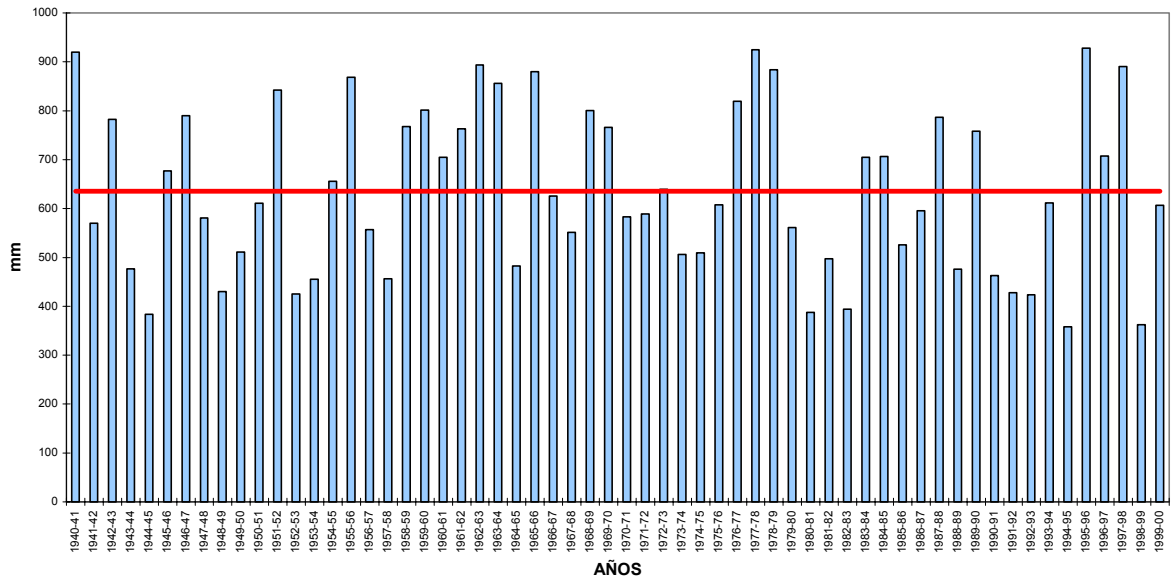
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 12. TAJO BAJO Y ERJAS.



7.13.- Zona 13

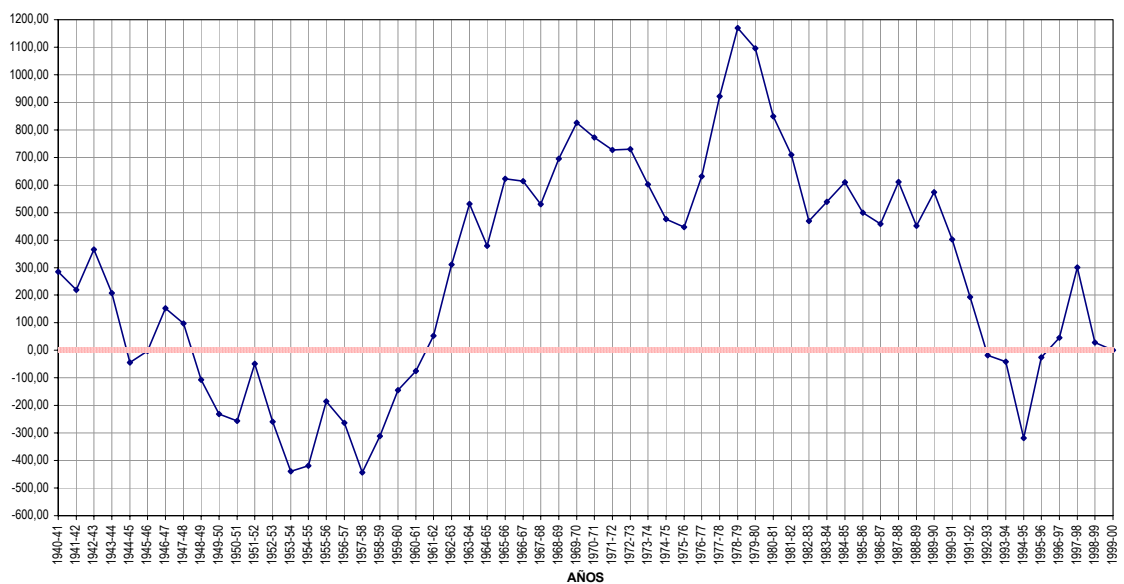
7.13.1.- Evolución de la precipitación anual

EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 13.
ALMONTE. (Pm = 635,26 mm)



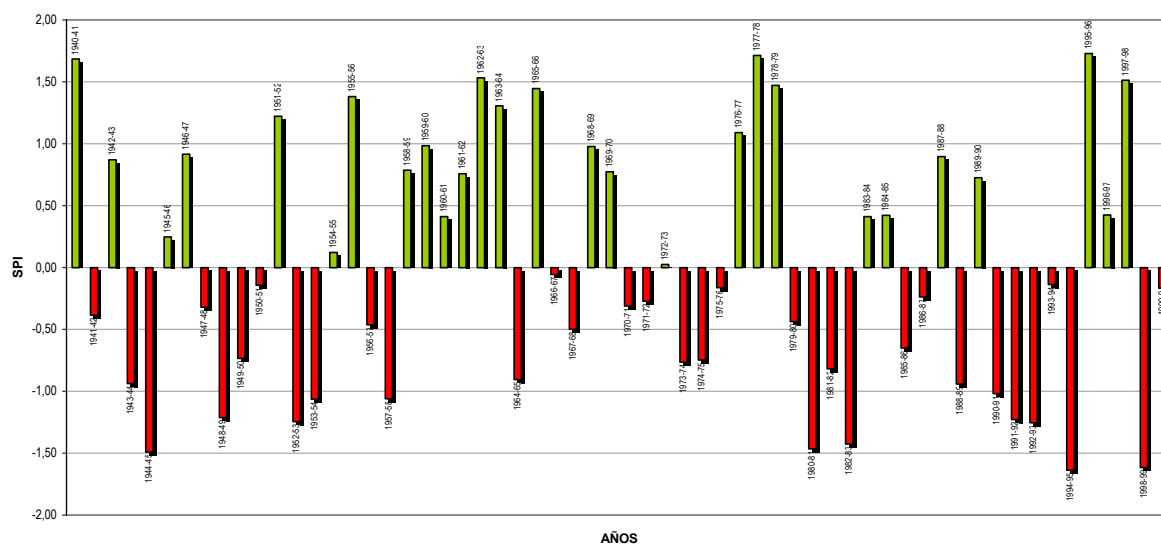
7.13.2.- Precipitaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (635,26 mm)
ZONA 13. ALMONTE (1940/41-1999/00)



7.13.3.- Índice SPI

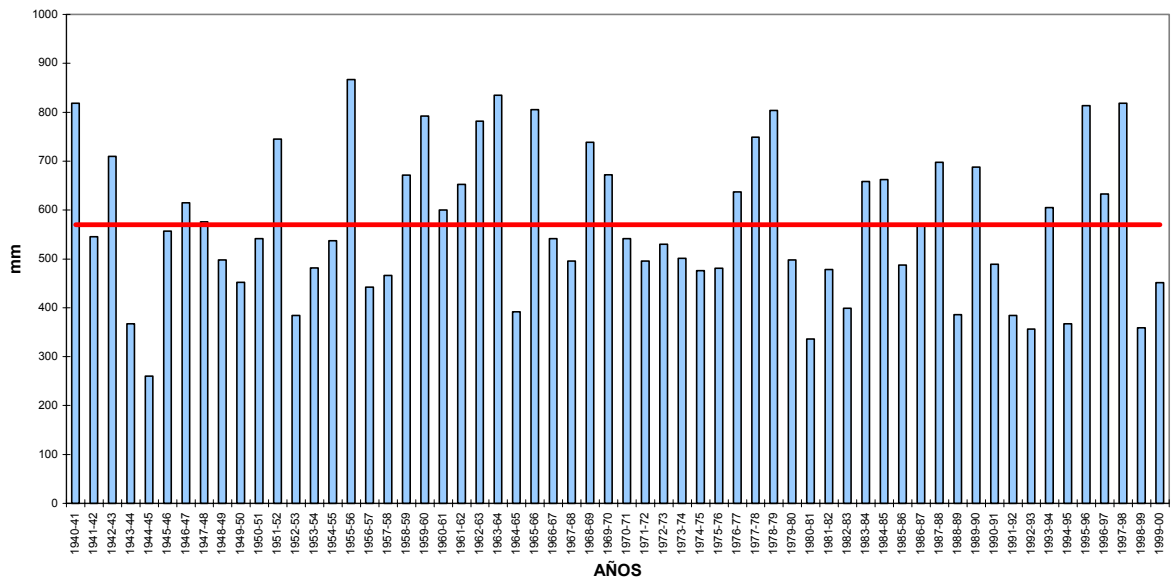
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 13. ALMONTE.



7.14.- Zona 14

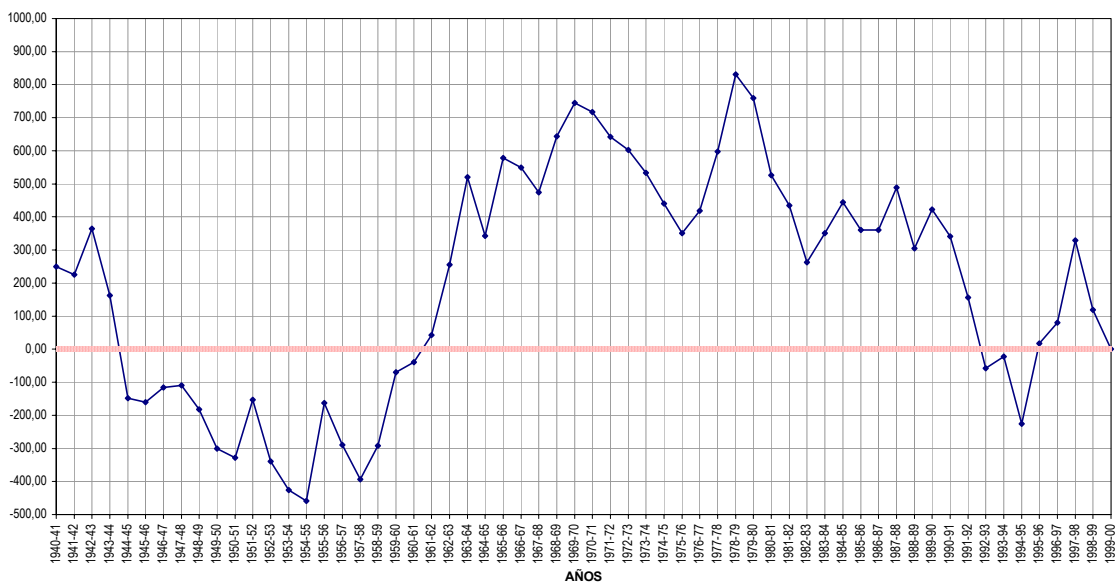
7.14.1.- Evolución de la precipitación anual

EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN EL ÁMBITO DE LA ZONA 14.
TAJO INTERNACIONAL Y SALOR. (Pm = 569,91 mm)

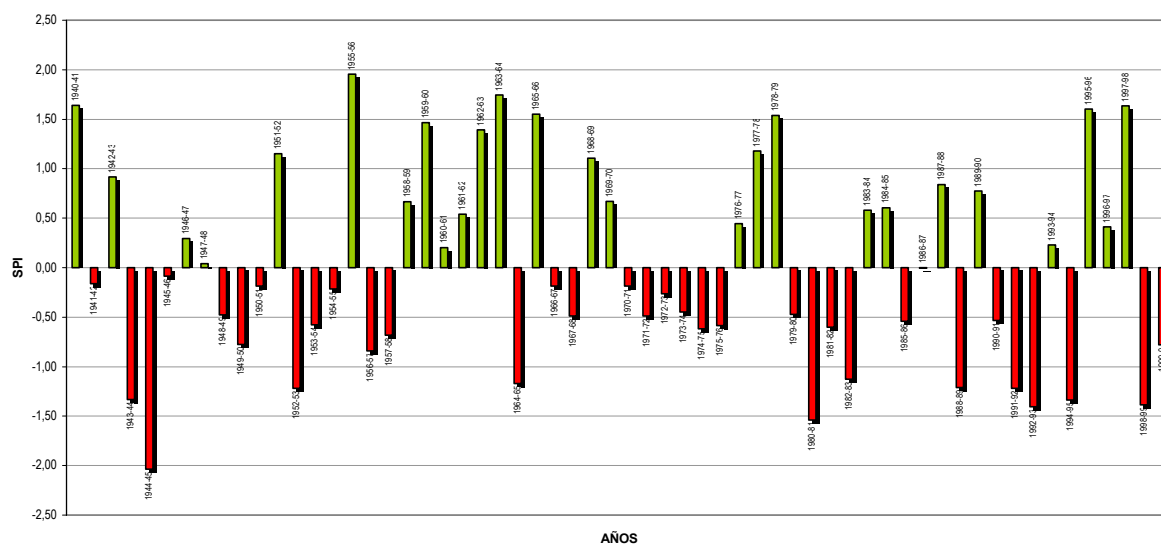


7.14.2.- Precipitaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE PRECIPITACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (569,91 mm)
ZONA 14. TAJO INTERNACIONAL Y SALOR - EXTREMADURA (1940/41-1999/00)



7.14.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA 14.
TAJO INTERNACIONAL Y SALOR.

8.- GRÁFICOS DE DATOS ANUALES DE APORTACIONES POR ZONAS

Se presentan a continuación una serie de gráficos relativos a los valores anuales de las series de aportaciones de las 14 zonas hidrológicas. En concreto se han elaborado los siguientes:

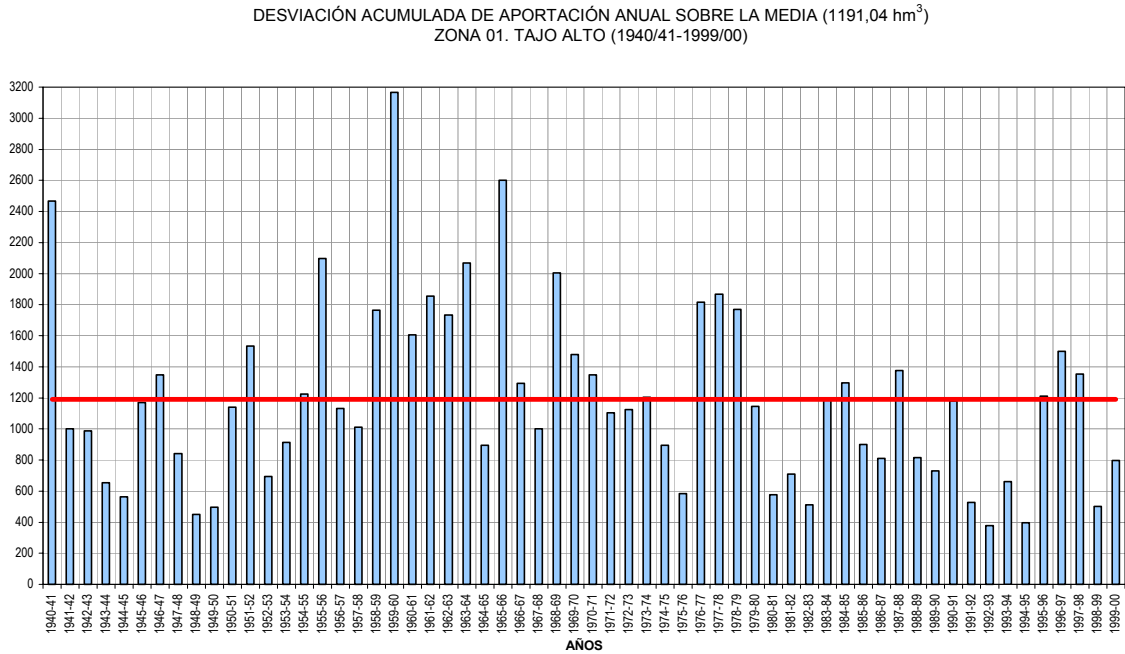
- evolución de la aportación en la serie histórica (1.940-2.000)
- aportaciones acumuladas en la serie histórica (1.940-2.000)
- valor del índice SPI, calculado según la memoria del Anejo (punto 3.3)

A continuación se presentan los valores más significativos de las series de aportaciones anuales por zonas hidrológicas.

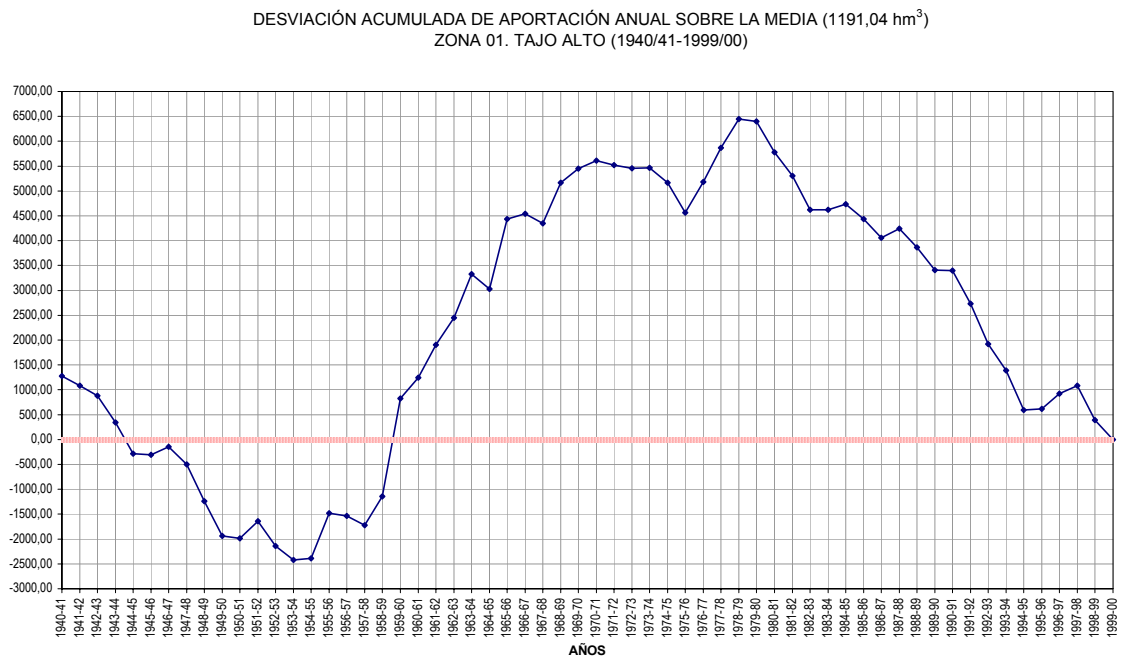
TABLA 2.- VALORES DE LA APORTACIÓN MEDIA ANUAL POR ZONAS				
ZONA	Ap _{media} (hm ³)	Sup. (km ²)	Ap. Específica (hm ³ /km ²)	Cv
01.- Alto Tajo	1.191,0	7.418	0,161	0,49
02.- Tajo Bolarque y Aranjuez	118,1	2.781	0,042	0,65
03.- Tajuña	131,7	2.608	0,050	0,57
04.- Henares	517,9	4.136	0,125	0,52
05.- Jarama	992,4	4.802	0,207	0,42
06.- Guadarrama	162,4	1.709	0,095	0,54
07.- Alberche	823,3	4.109	0,200	0,55
08.- Margen izq. en Tajo medio	536,9	7.590	0,071	0,69
09.- Tiétar	2.155,2	4.459	0,483	0,52
10.- Alagón	1.996,4	4.405	0,453	0,48
11.- Árrago	430,3	1.020	0,422	0,55
12.- Tajo bajo y Erjas	1.328,7	2.463	0,539	0,59
13.- Almonte	501,1	5.949	0,084	0,67
14.- Tajo internacional y Salor	1.104,9	5.492	0,201	0,62
Cuenca Total	11.990,40	58.941	0,203	0,51

8.1.- Zona 1

8.1.1.- Evolución de la aportación anual

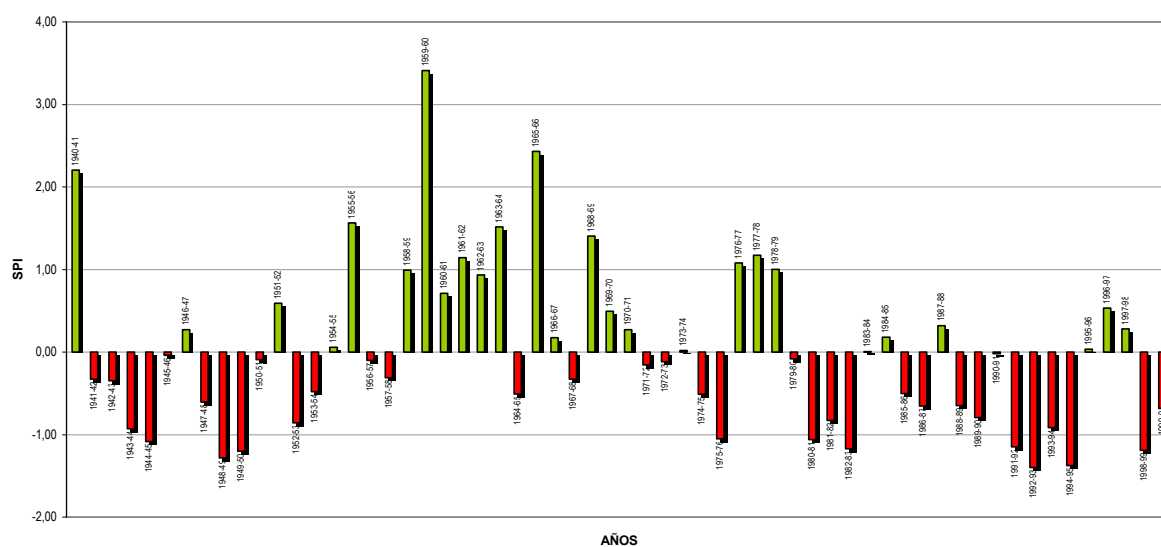


8.1.2.- Aportaciones acumuladas



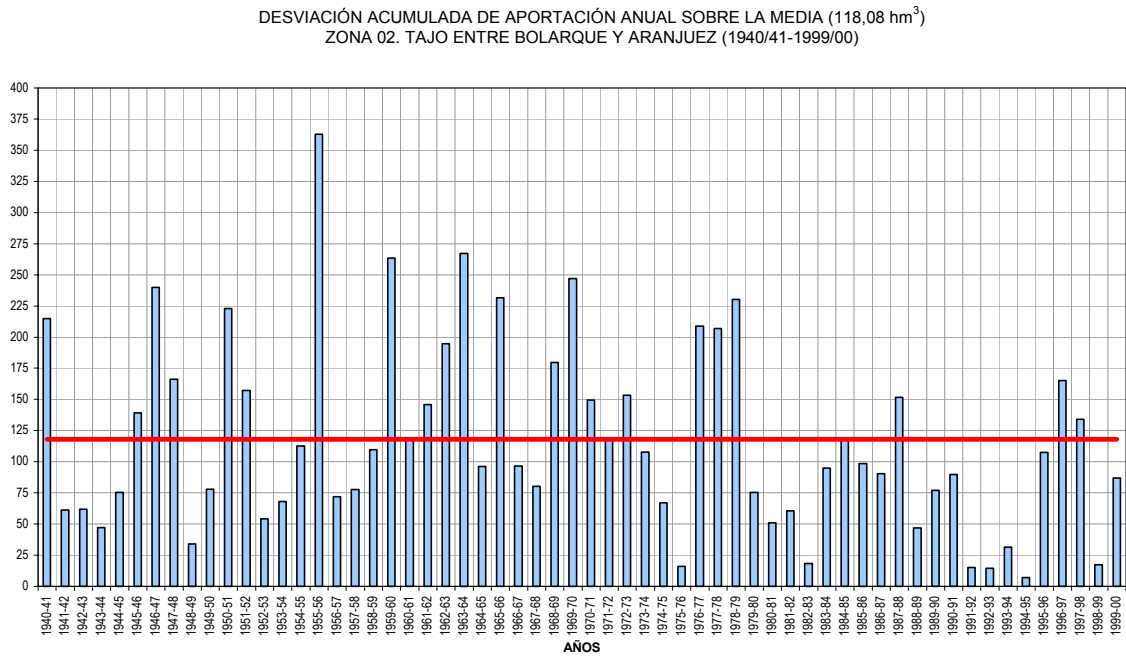
8.1.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 01. TAJO ALTO.

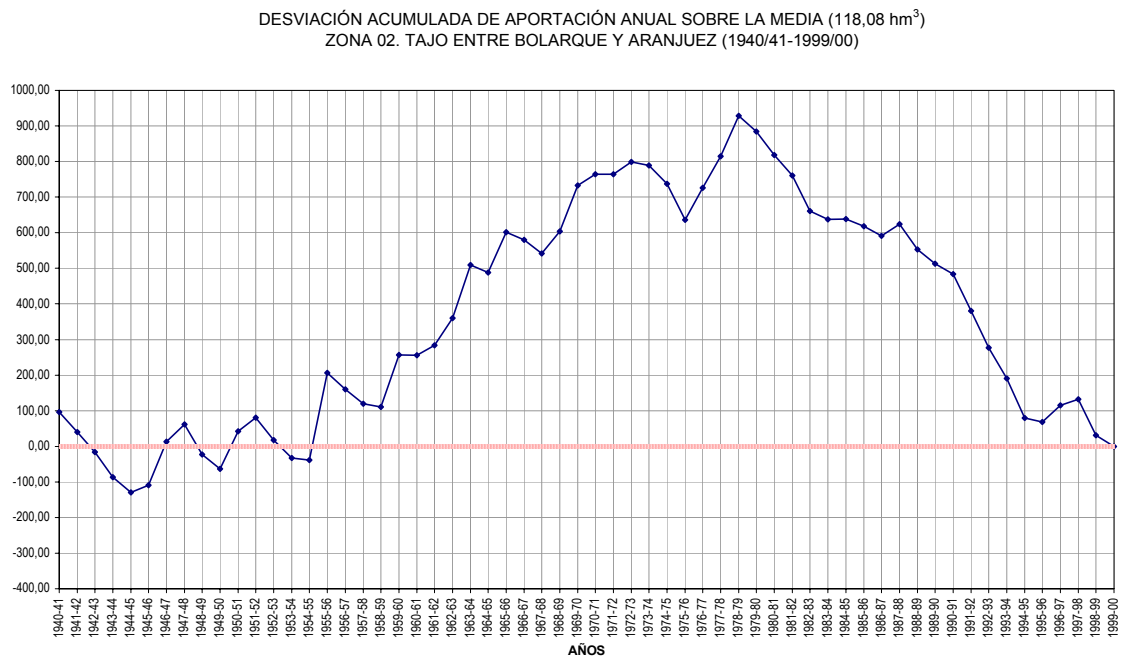


8.1.- Zona 2

8.2.1.- Evolución de la aportación anual

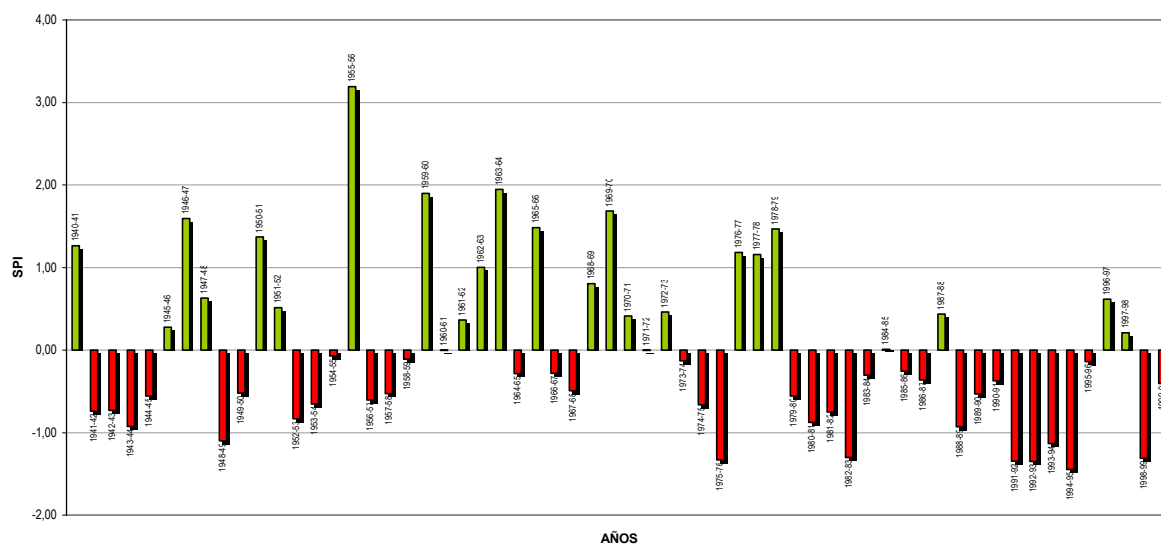


8.2.2.- Aportaciones acumuladas



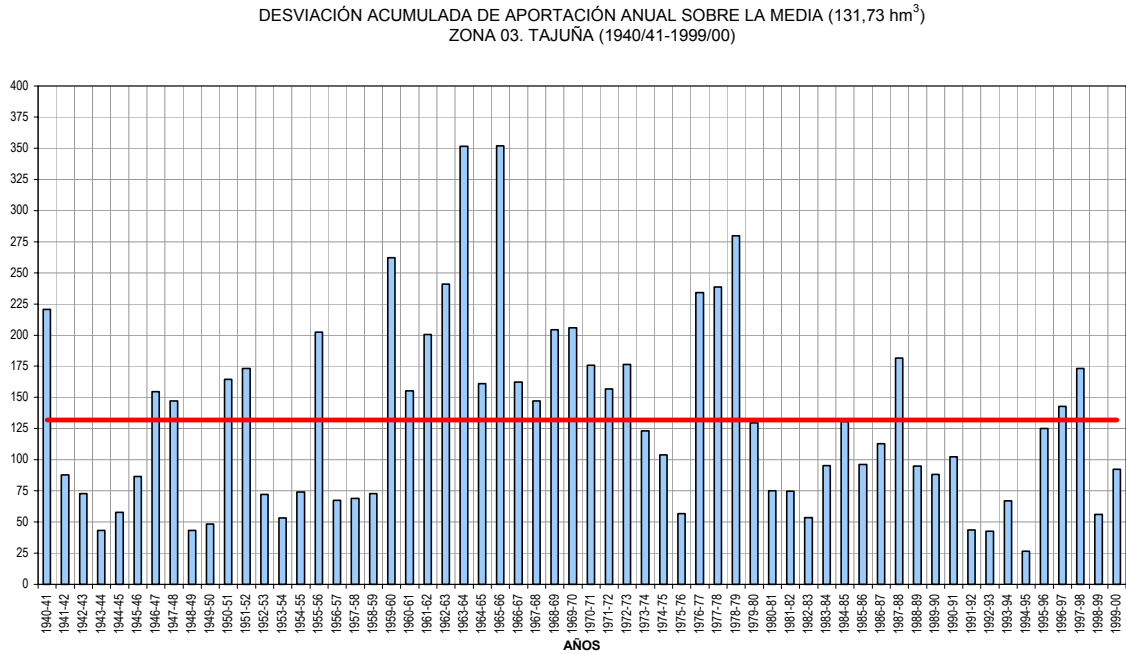
8.2.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 02. TAJO ENTRE BOLARQUE Y ARANJUEZ.

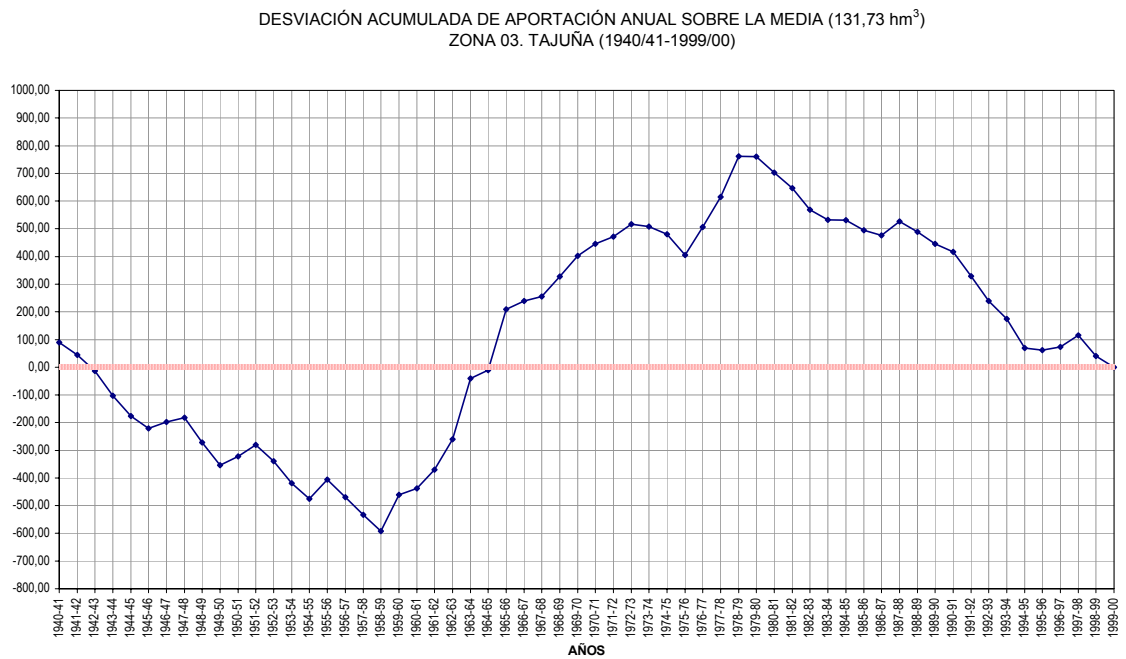


8.3.- Zona 3

8.3.1.- Evolución de la aportación anual

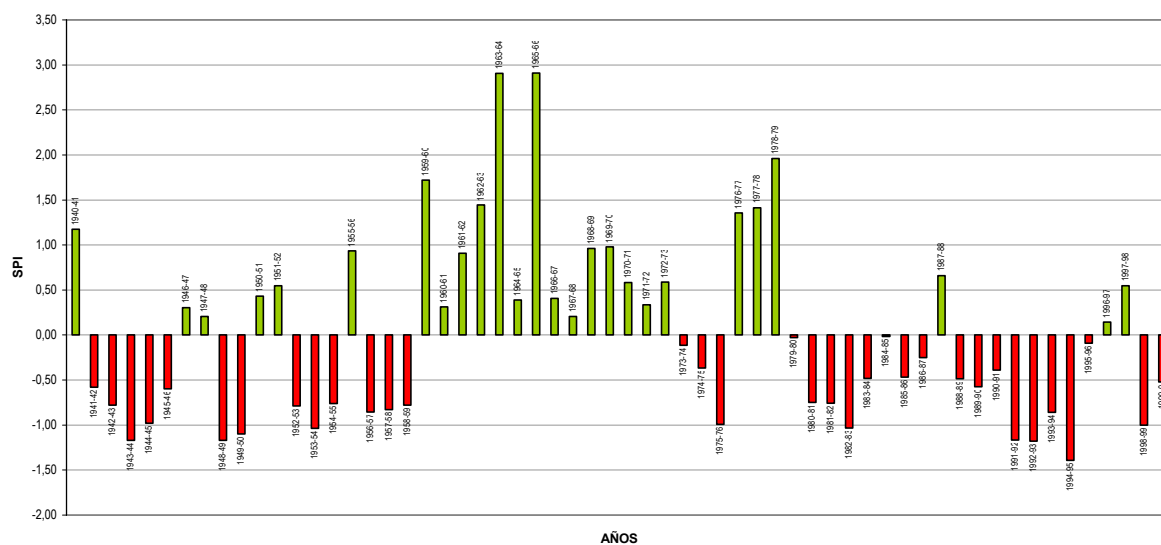


8.3.2.- Aportaciones acumuladas



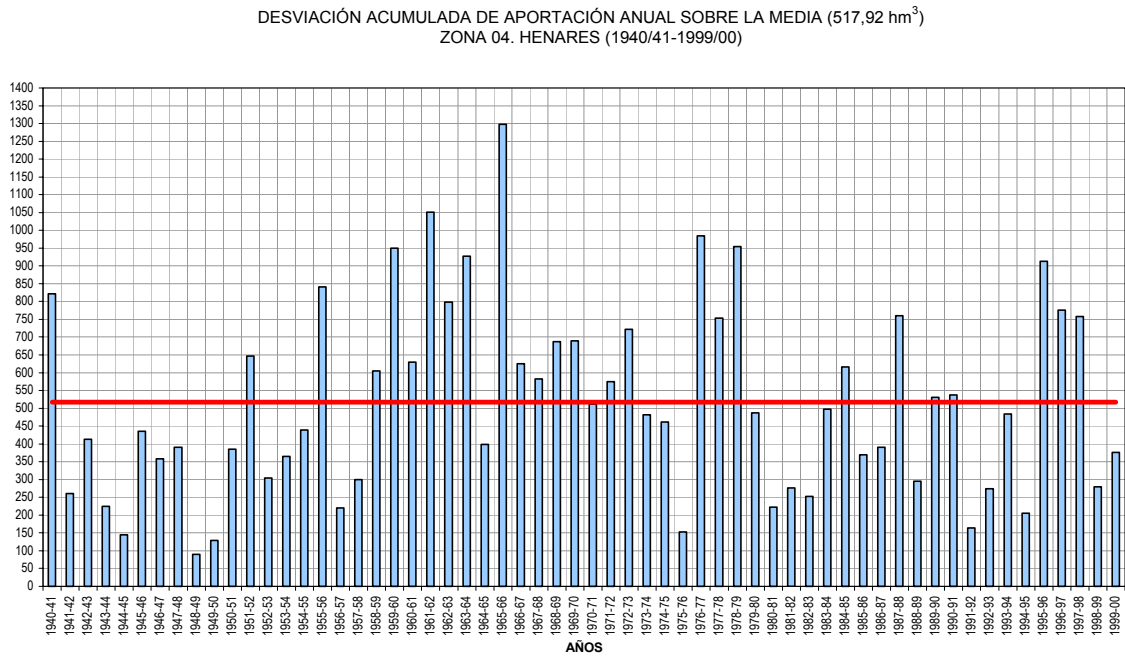
8.3.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 03. TAJUÑA.

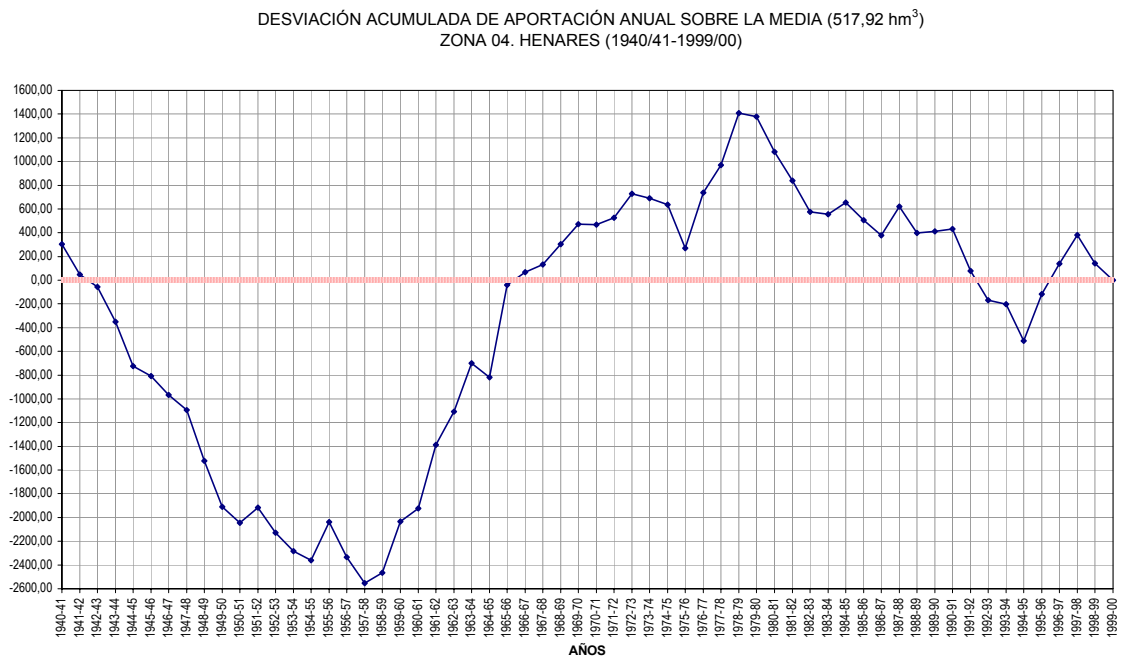


8.4.- Zona 4

8.4.1.- Evolución de la aportación anual

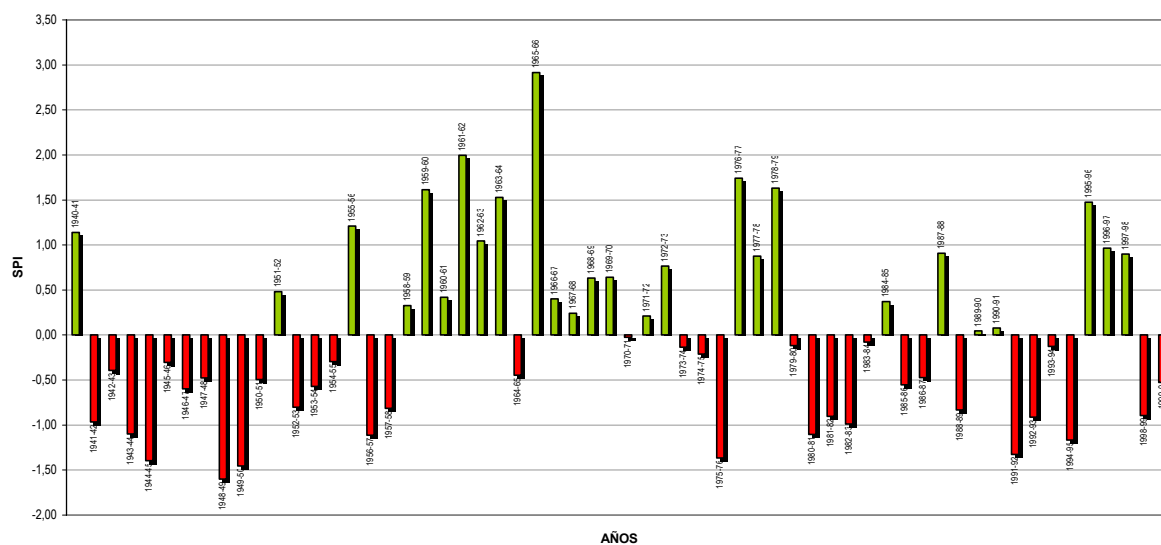


8.4.2.- Aportaciones acumuladas



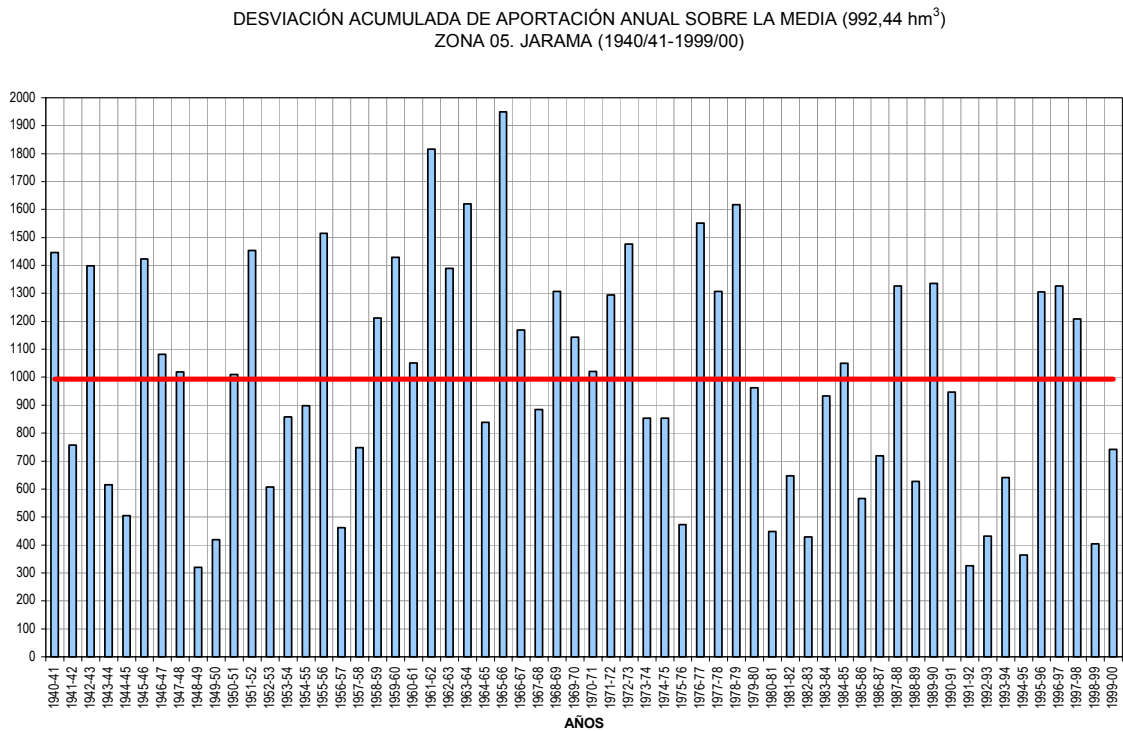
8.4.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 04. HENARES.

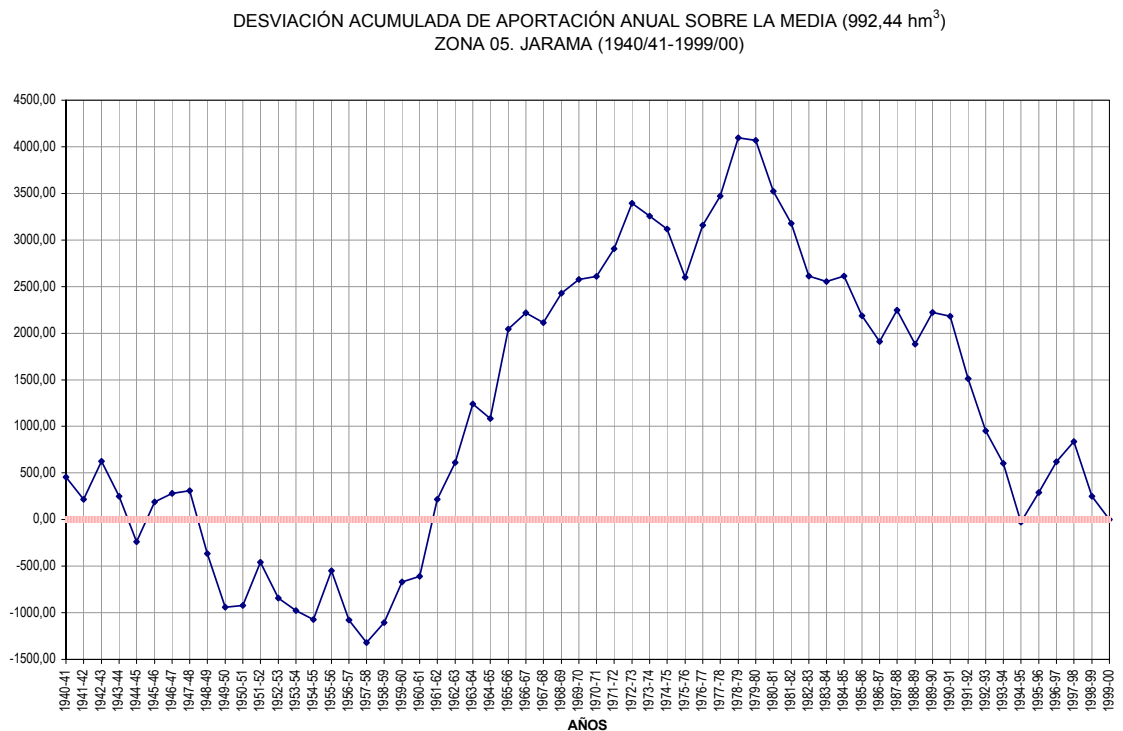


8.5.- Zona 5

8.5.1.- Evolución de la aportación anual

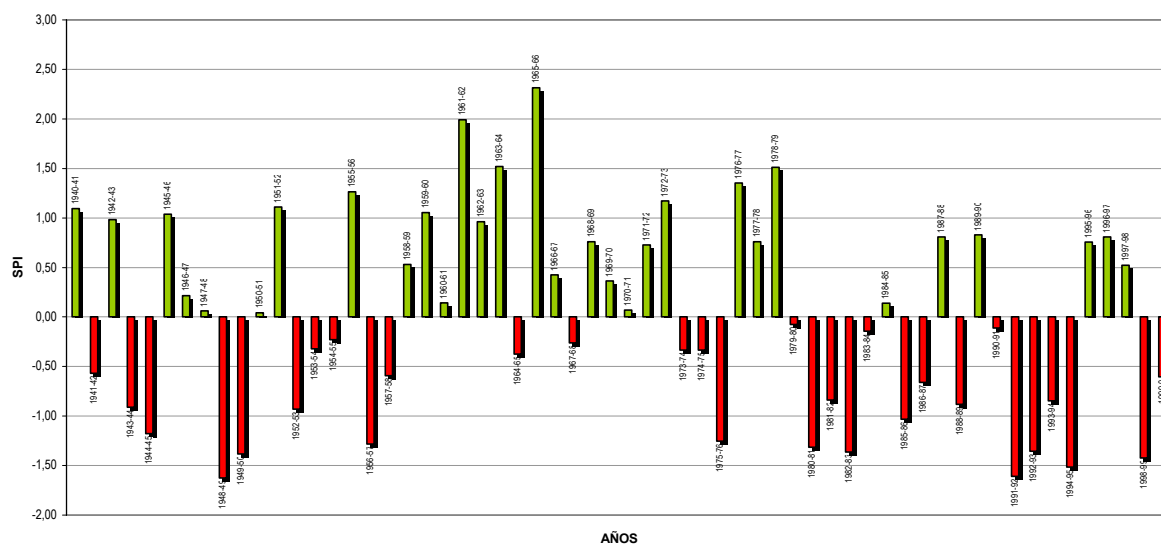


8.5.2.- Aportaciones acumuladas



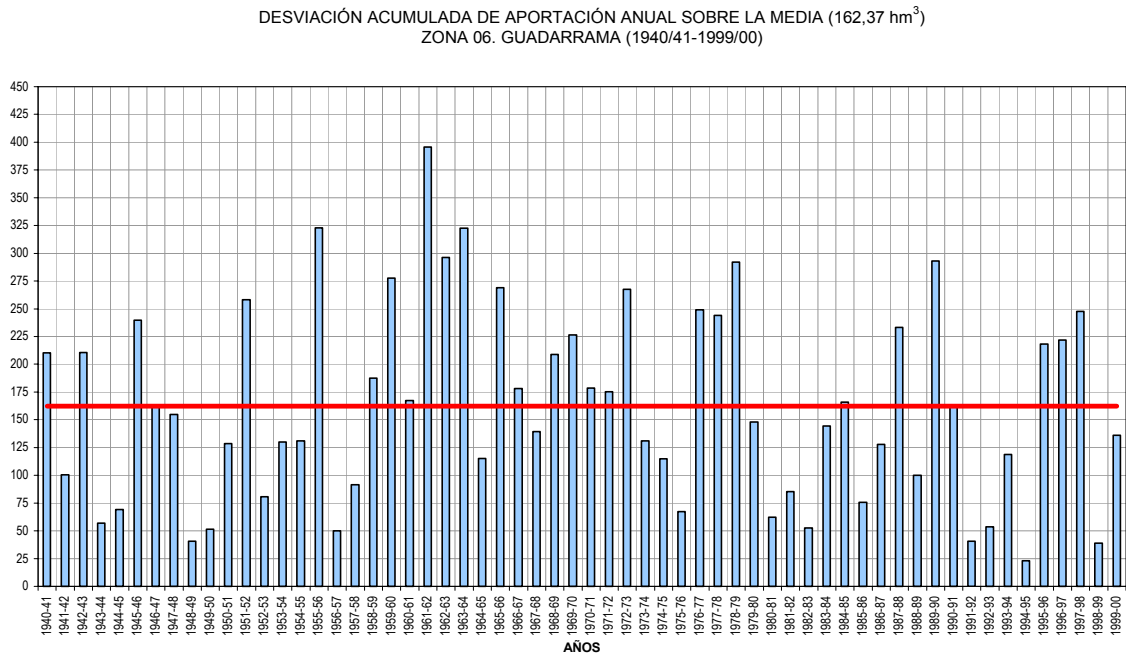
8.5.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 05. JARAMA.



8.6.- Zona 6

8.6.1.- Evolución de la aportación anual

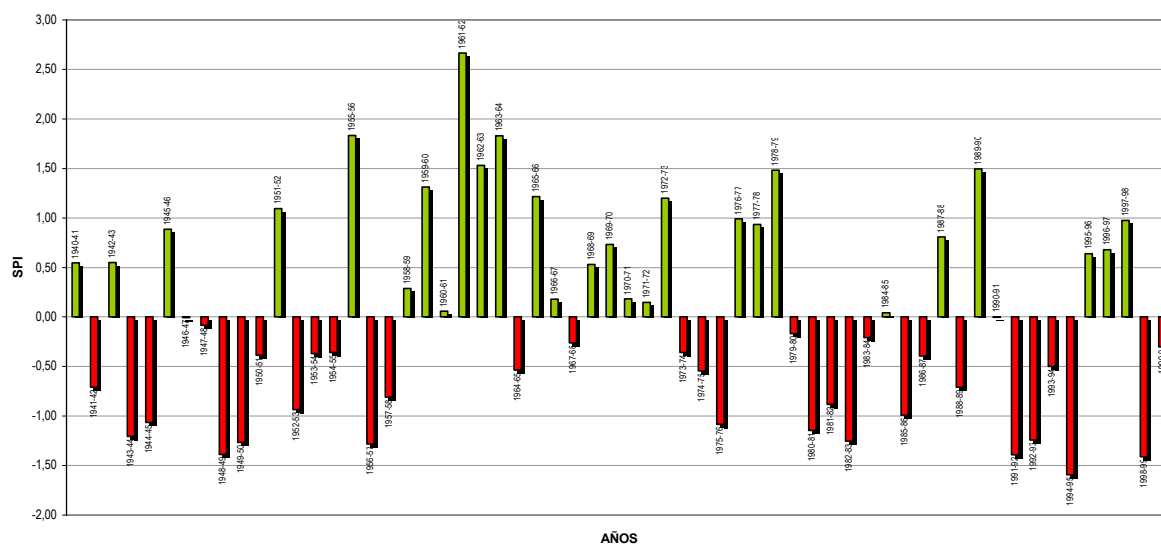


8.6.2.- Aportaciones acumuladas



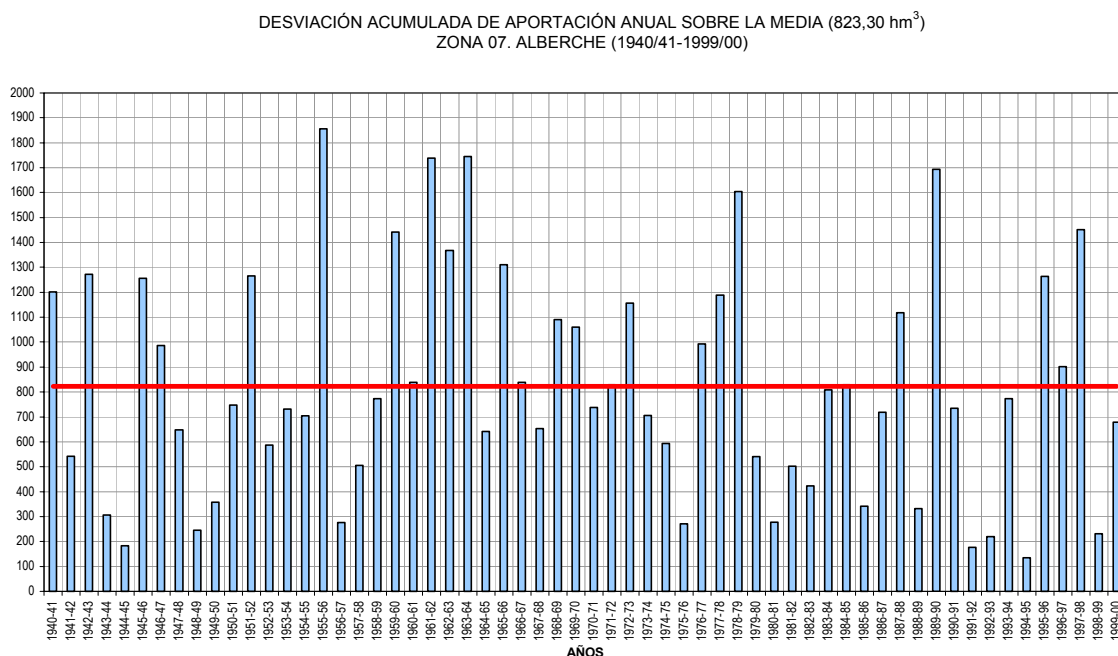
8.6.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 06. GUADARRAMA.

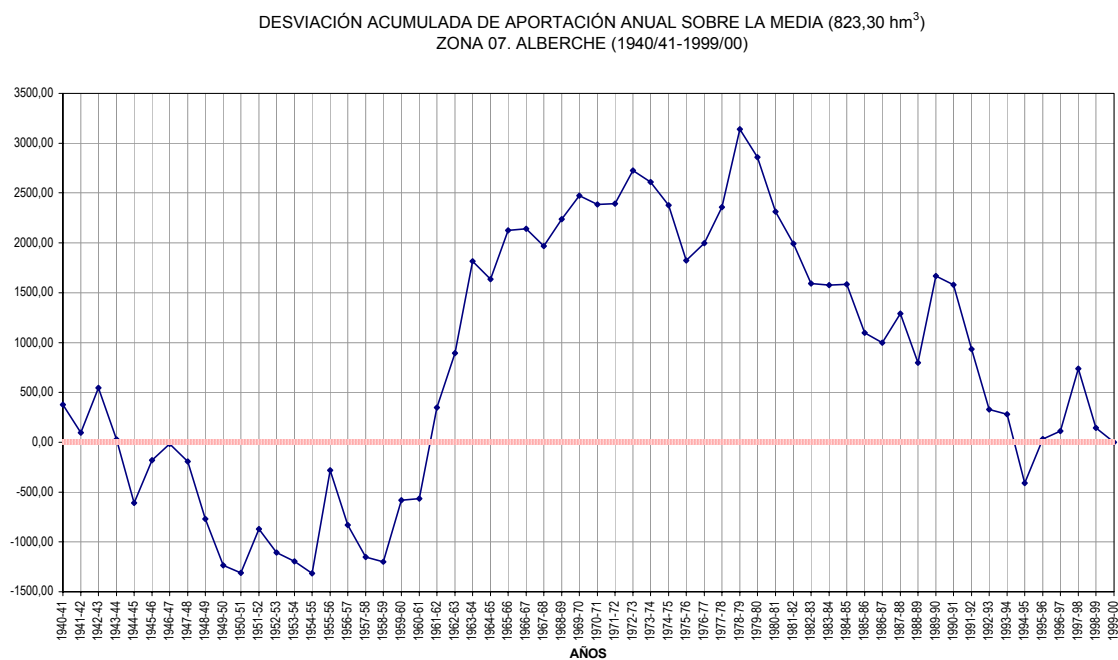


8.7.- Zona 7

8.7.1.- Evolución de la aportación anual

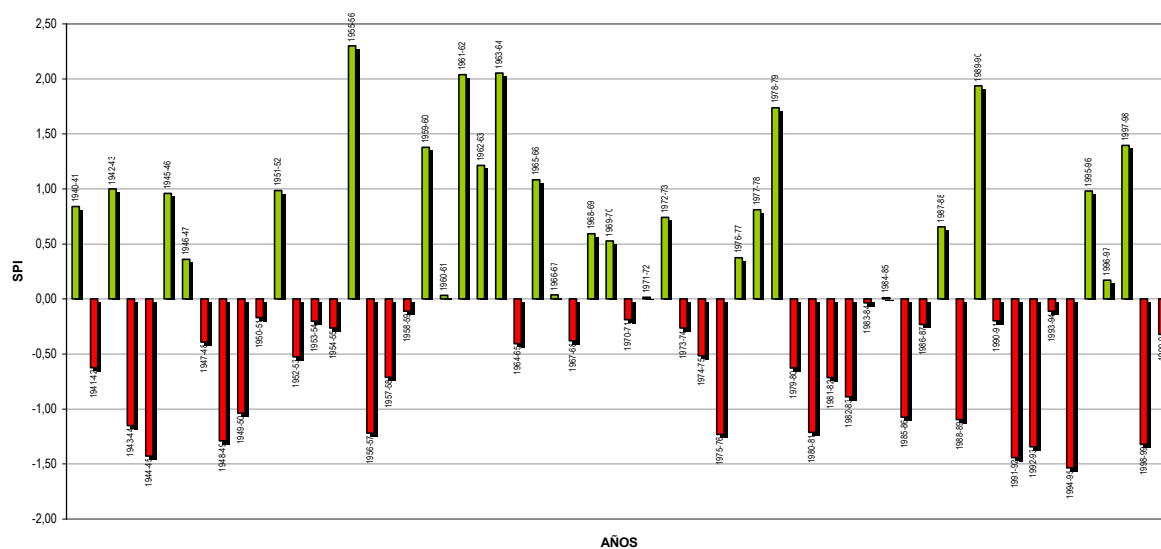


8.7.2.- Aportaciones acumuladas



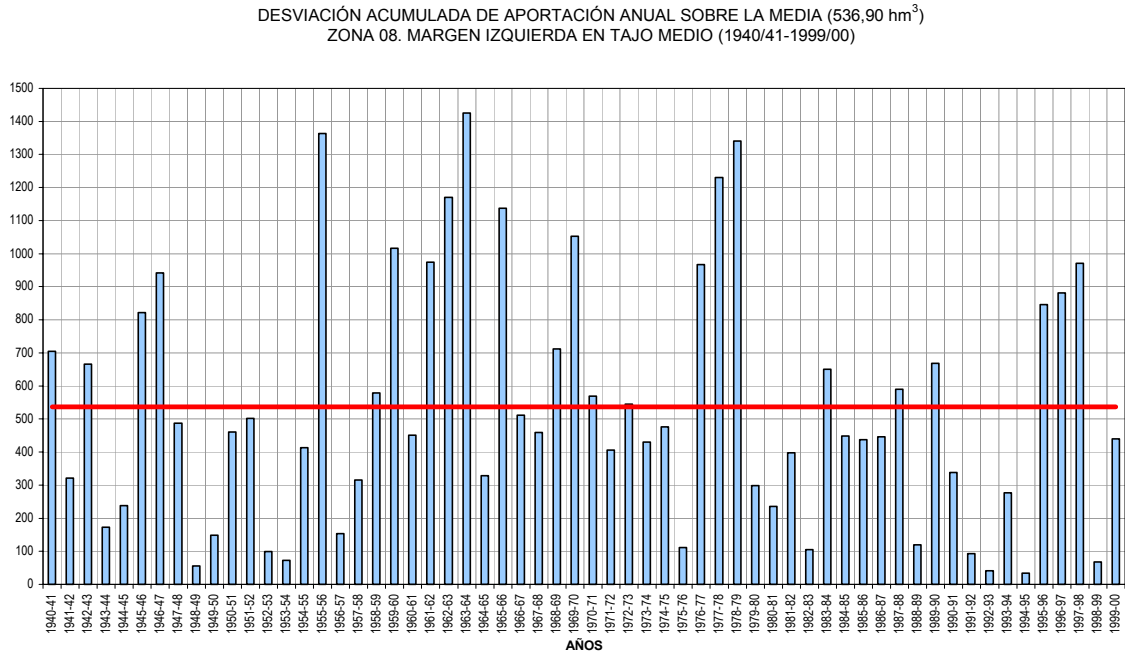
8.7.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 07. ALBERCHE.



8.8.- Zona 8

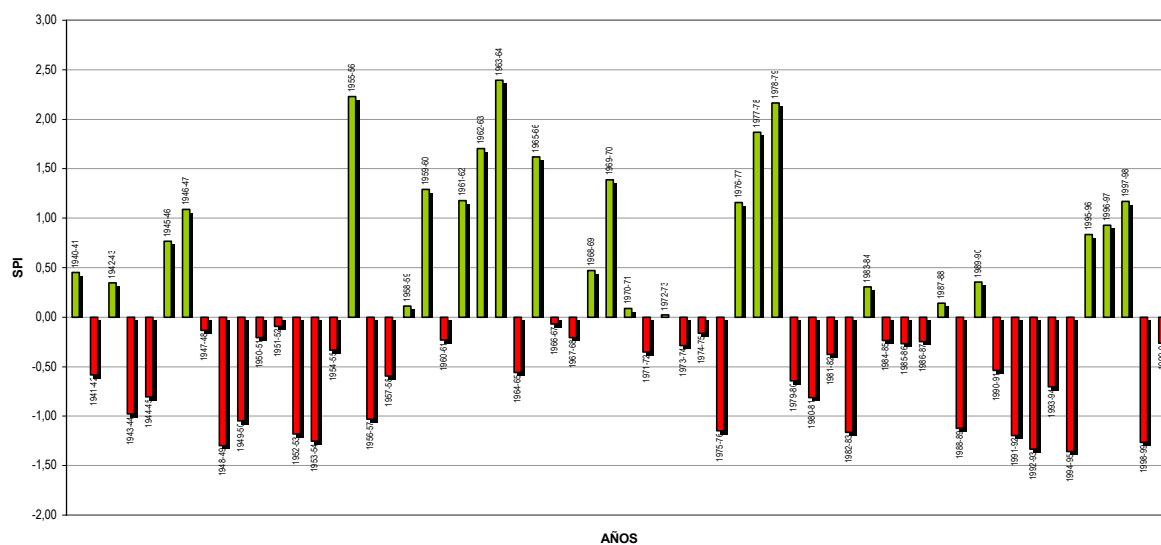
8.8.1.- Evolución de la aportación anual



8.8.2.- Aportaciones acumuladas

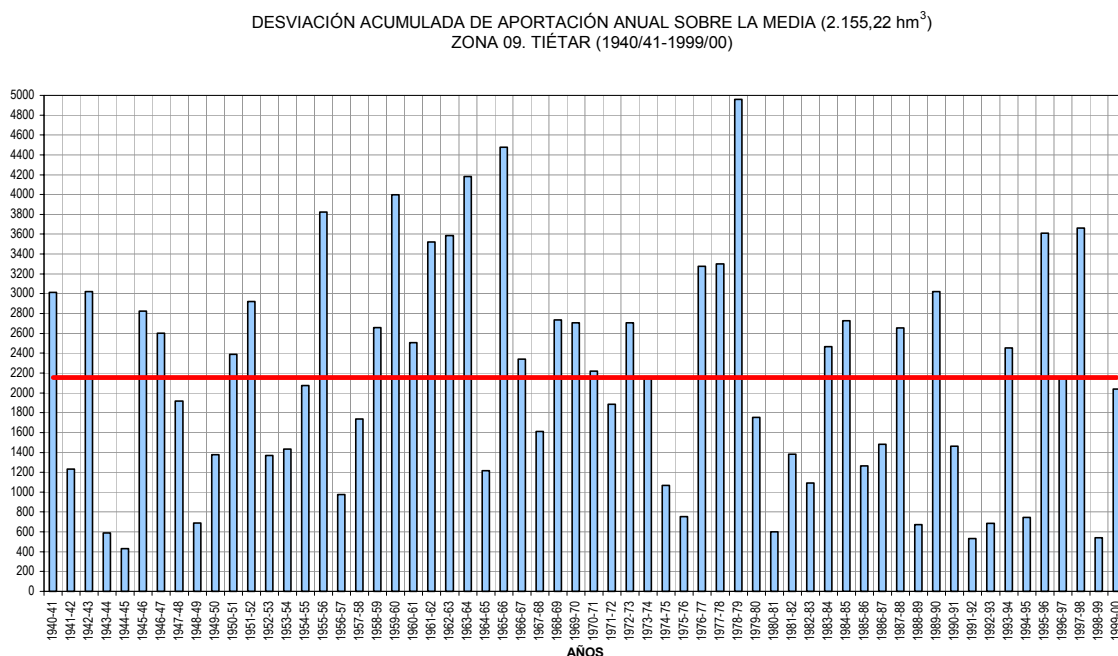


8.8.3.- Índice SPI

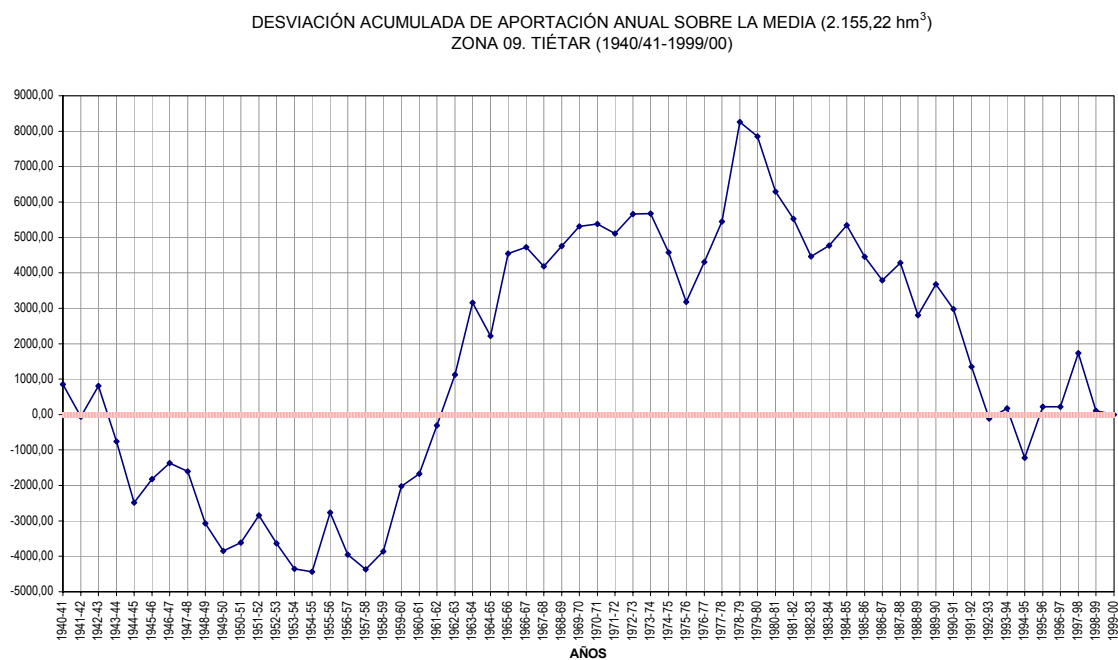
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 08.
MARGEN IZQUIERDA EN TAJO MEDIO.

8.9.- Zona 9

8.9.1.- Evolución de la aportación anual

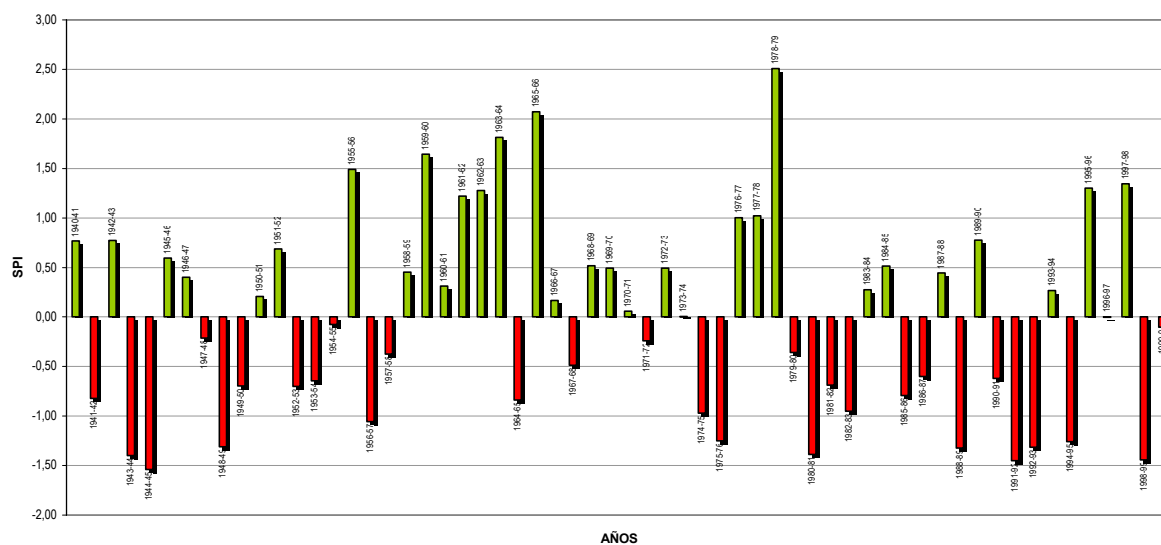


8.9.2.- Aportaciones acumuladas



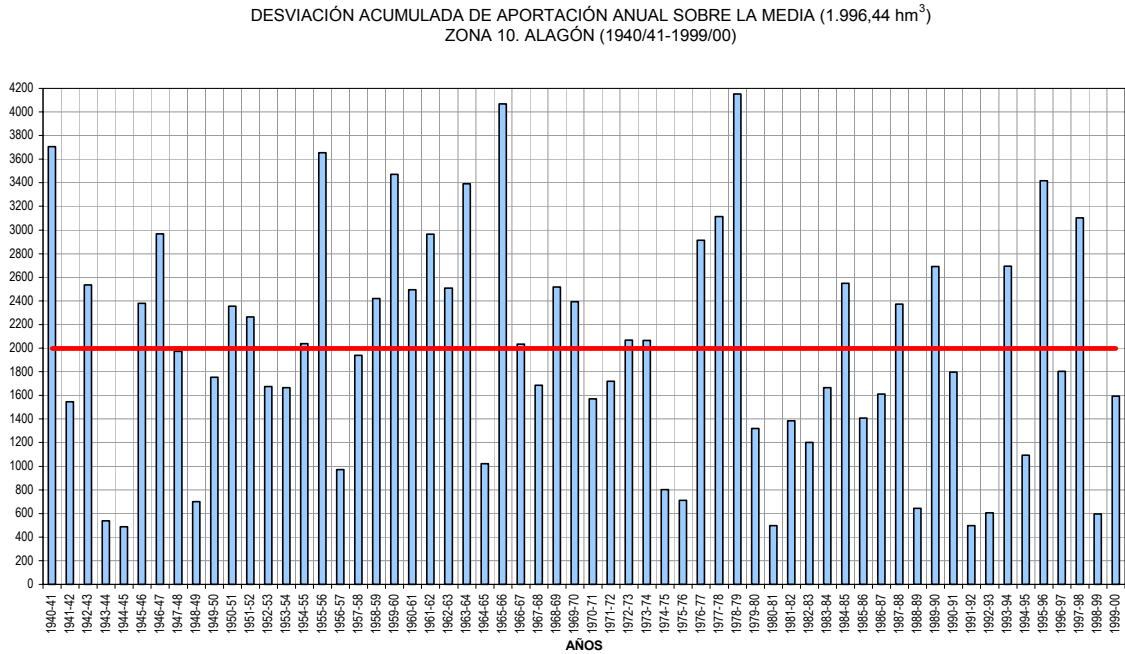
8.9.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 09. TIÉTAR.

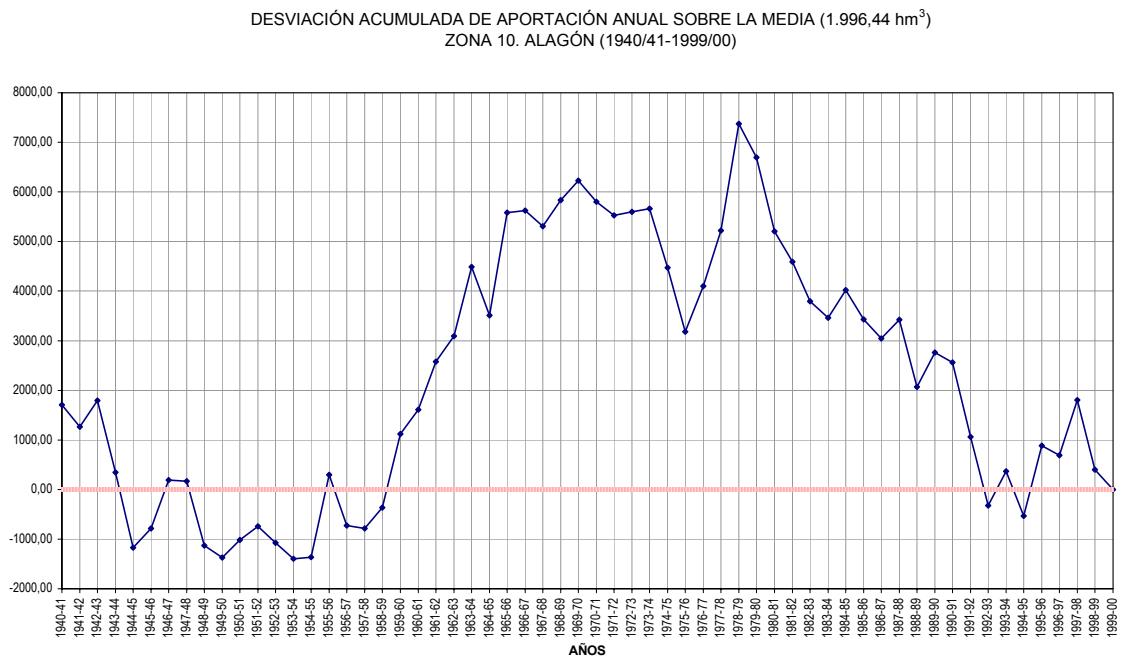


8.10.- Zona 10

8.10.1.- Evolución de la aportación anual

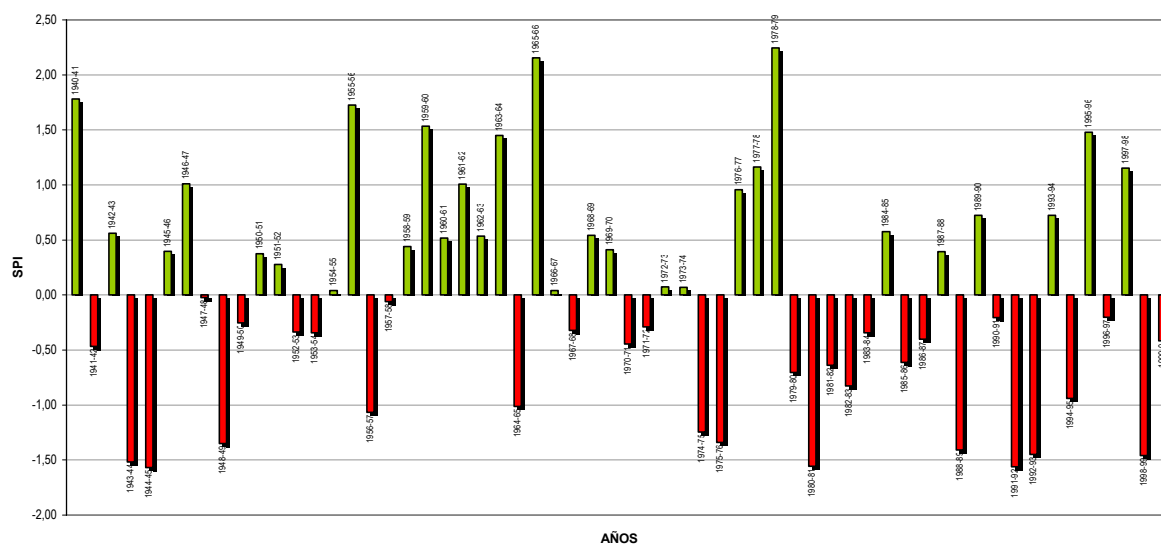


8.10.2.- Aportaciones acumuladas



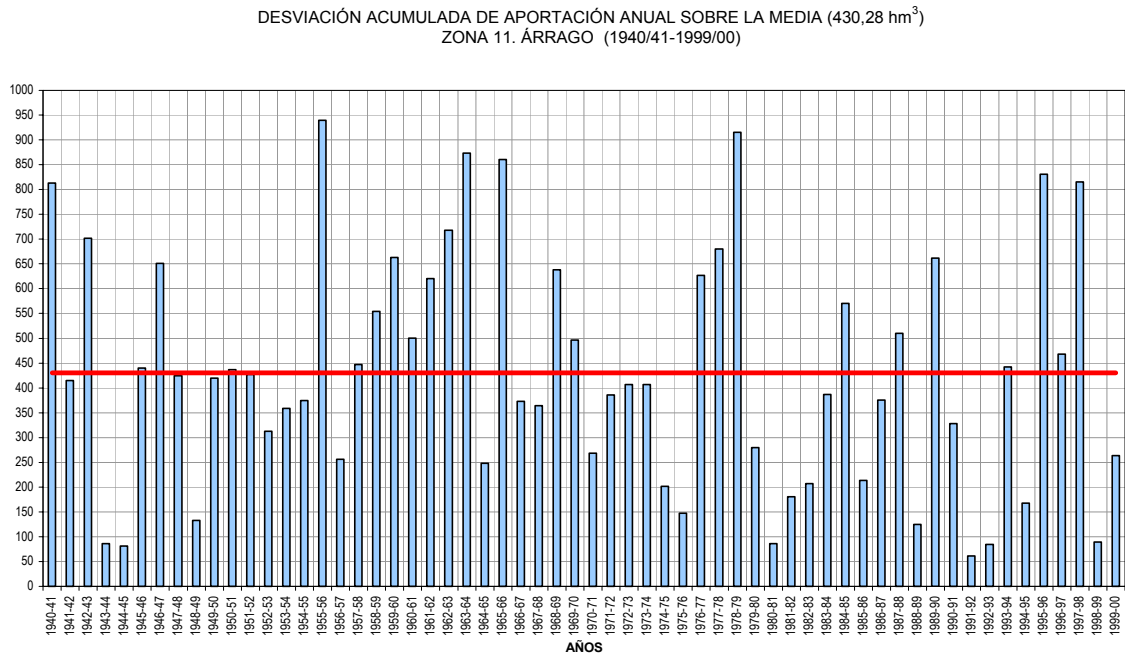
8.10.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 10. ALAGÓN.

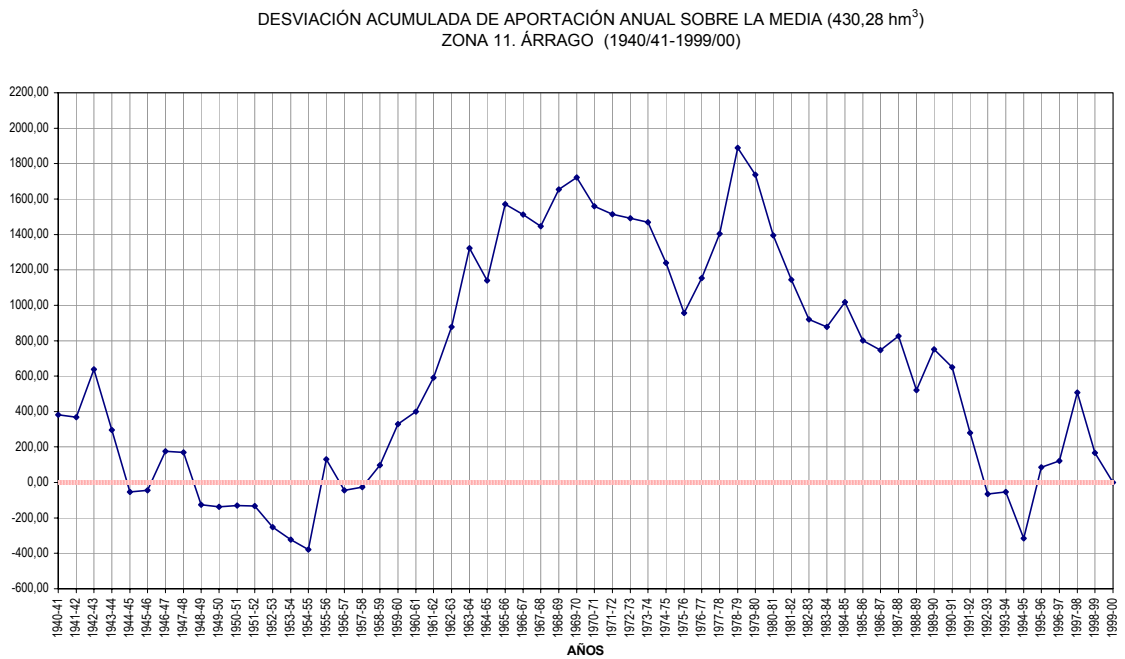


8.11.- Zona 11

8.11.1.- Evolución de la aportación anual

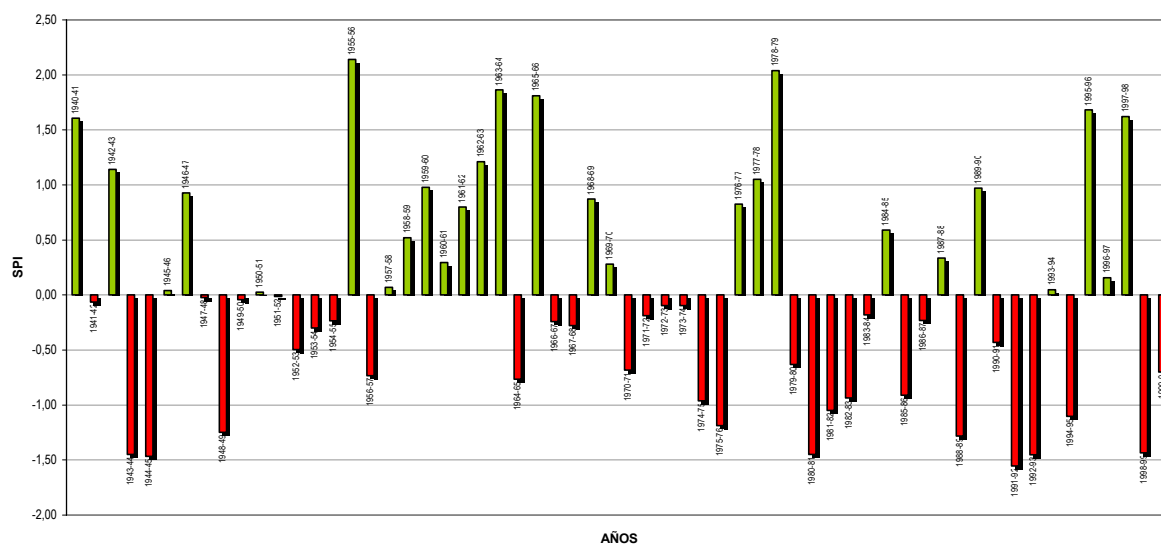


8.11.2.- Aportaciones acumuladas



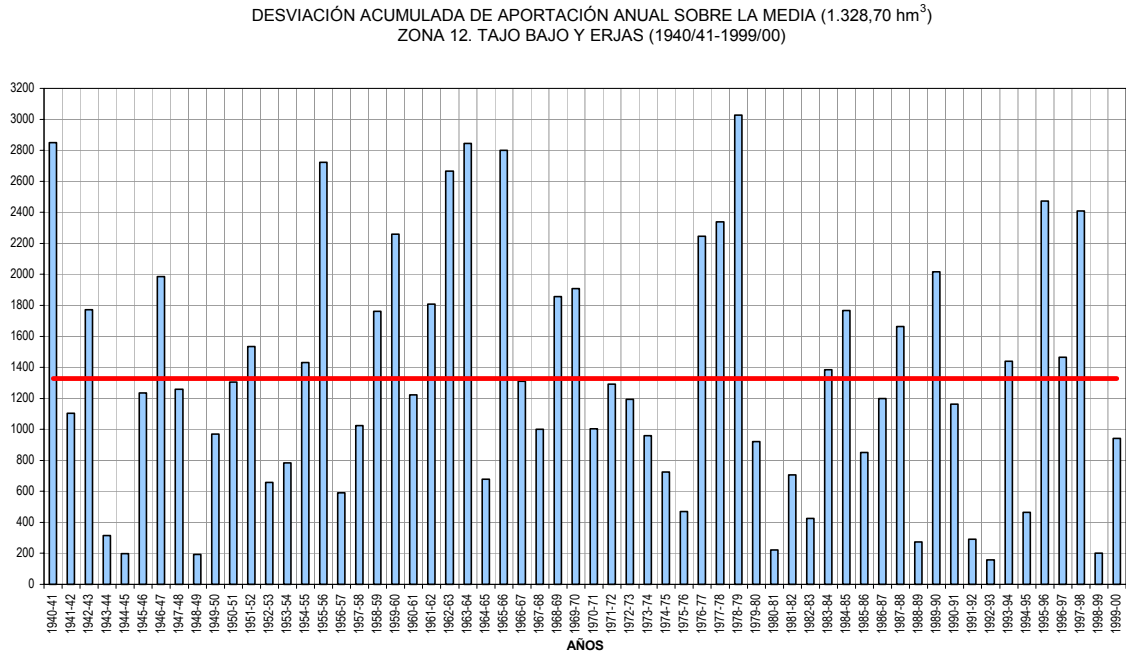
8.11.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 11. ÁRRAGO.

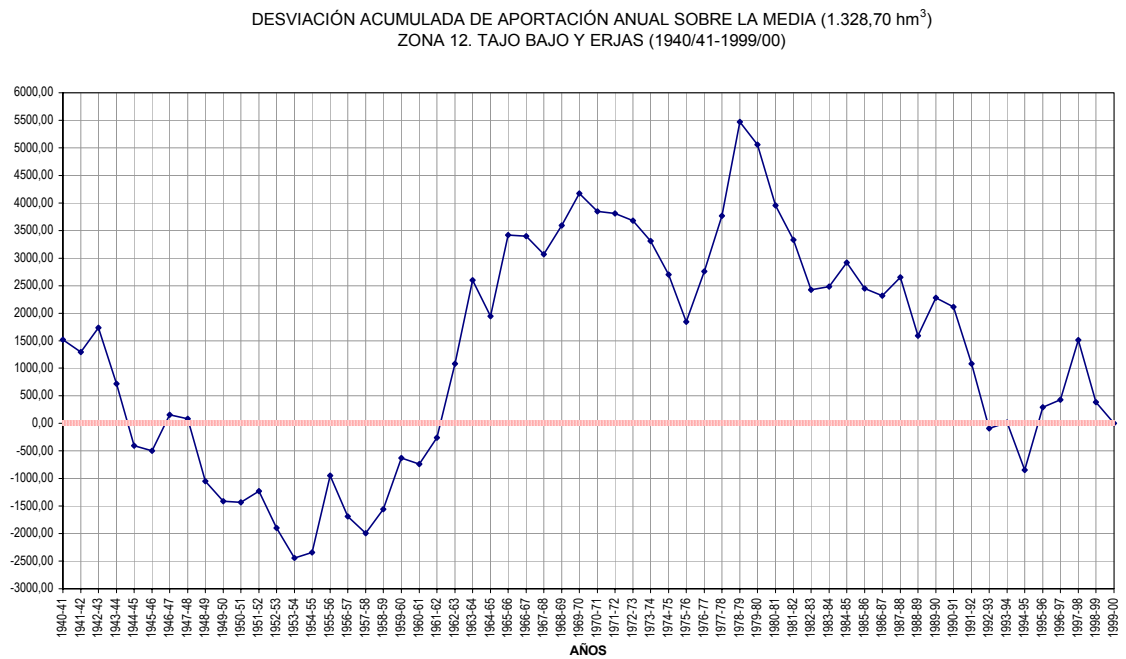


8.12.- Zona 12

8.12.1.- Evolución de la aportación anual

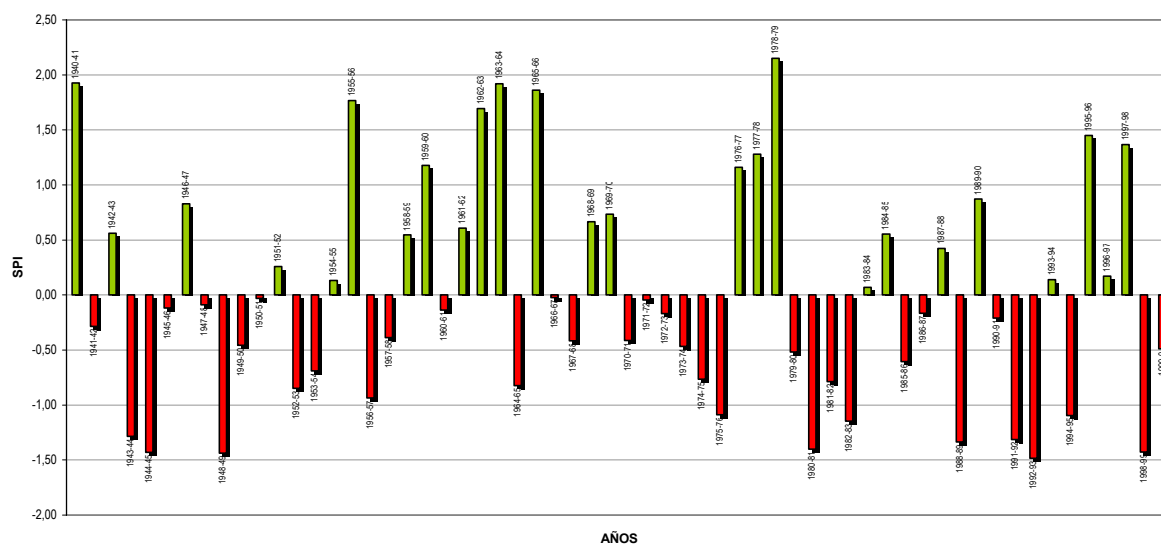


8.12.2.- Aportaciones acumuladas



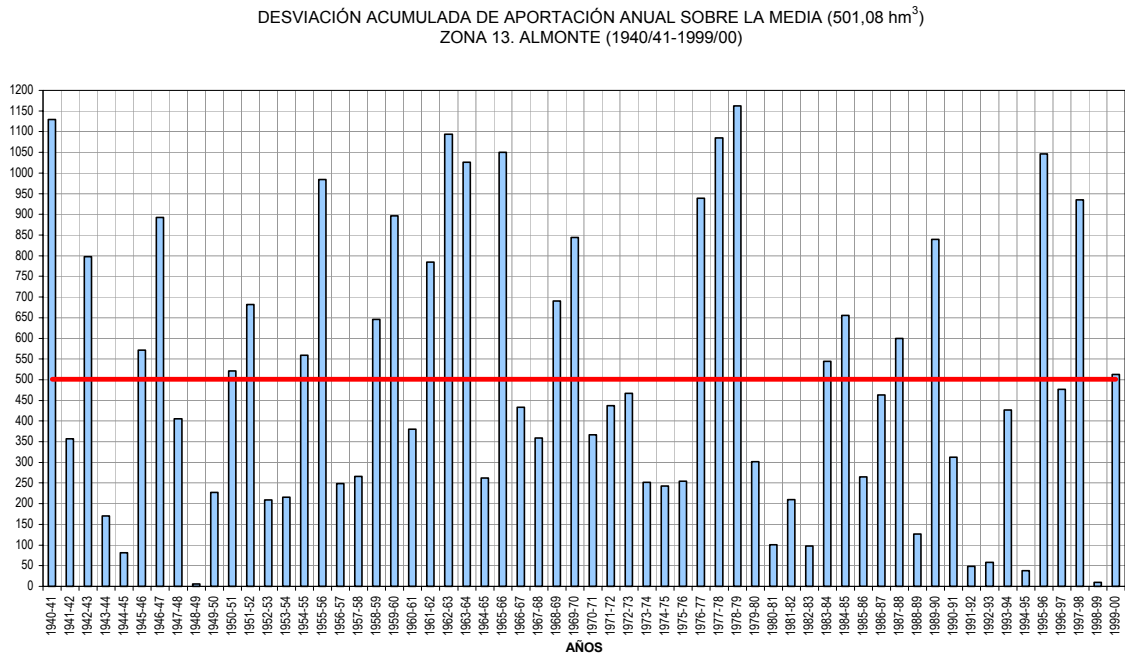
8.12.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 12. TAJO BAJO Y ERJAS.

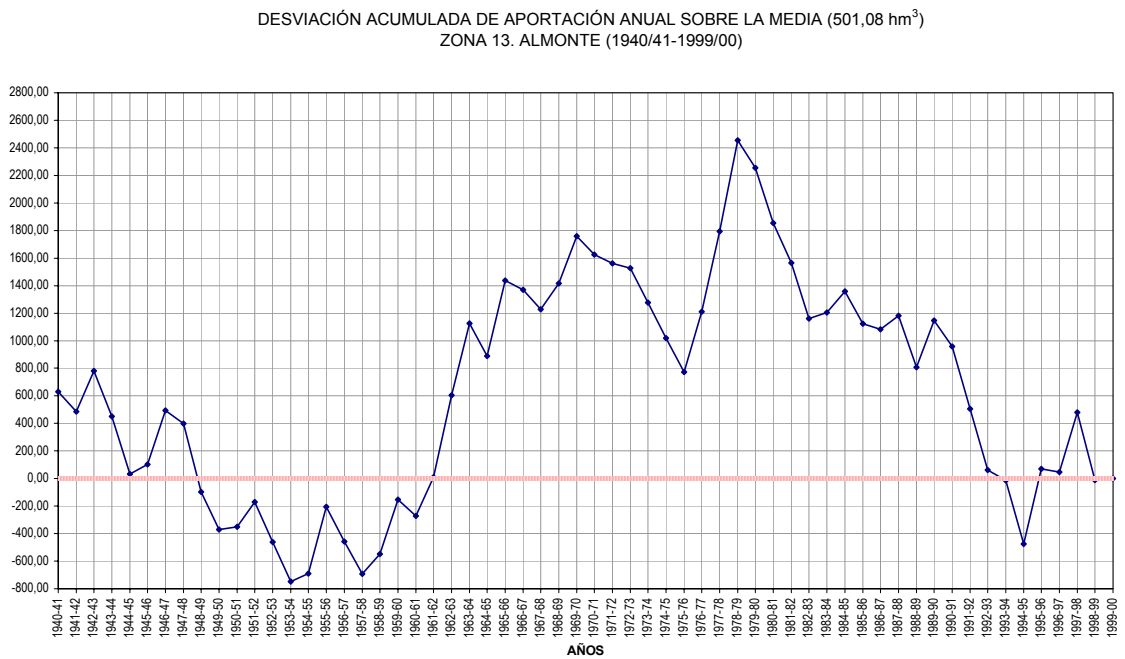


8.13.- Zona 13

8.13.1.- Evolución de la aportación anual

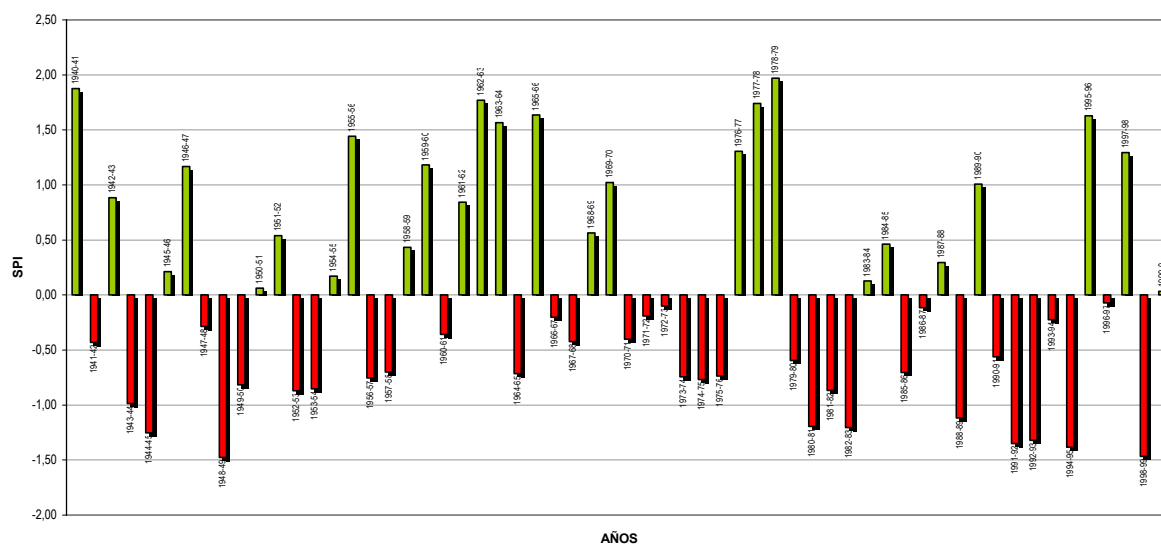


8.13.2.- Aportaciones acumuladas



8.13.3.- Índice SPI

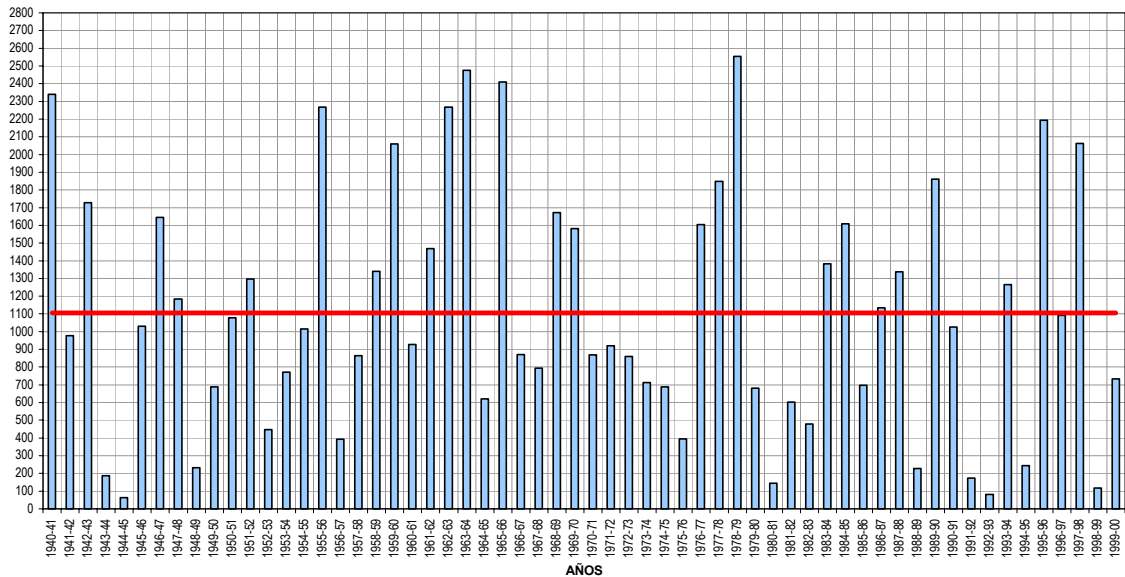
EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 13. ALMONTE.



8.14.- Zona 14

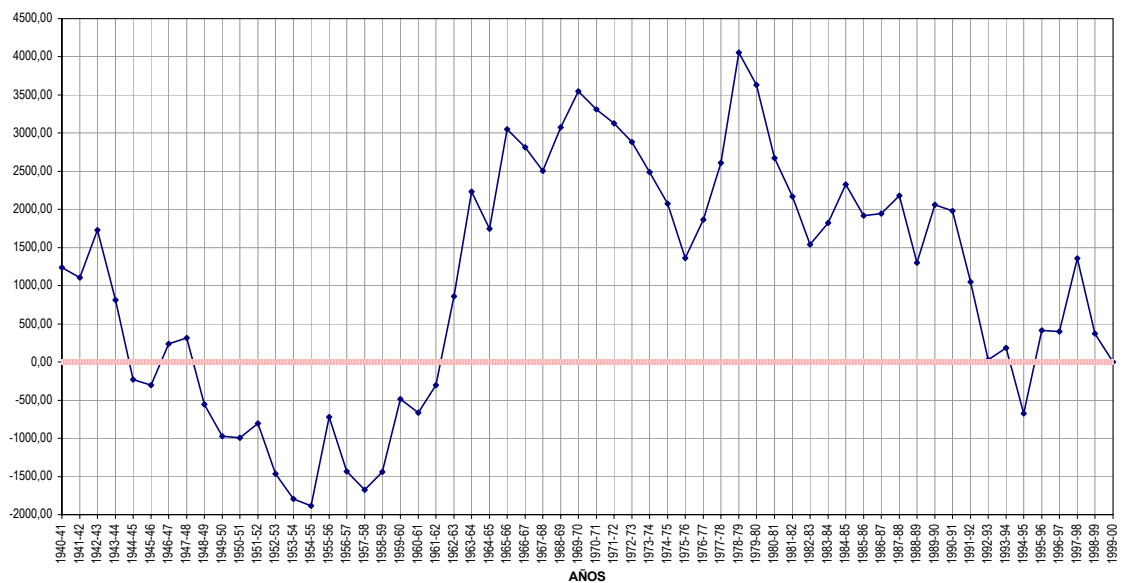
8.14.1.- Evolución de la aportación anual

DESVIACIÓN ACUMULADA DE APORTACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (1.104,88 hm³)
ZONA 14. TAJO INTERNACIONAL Y SALOR - EXTREMADURA (1940/41-1999/00)

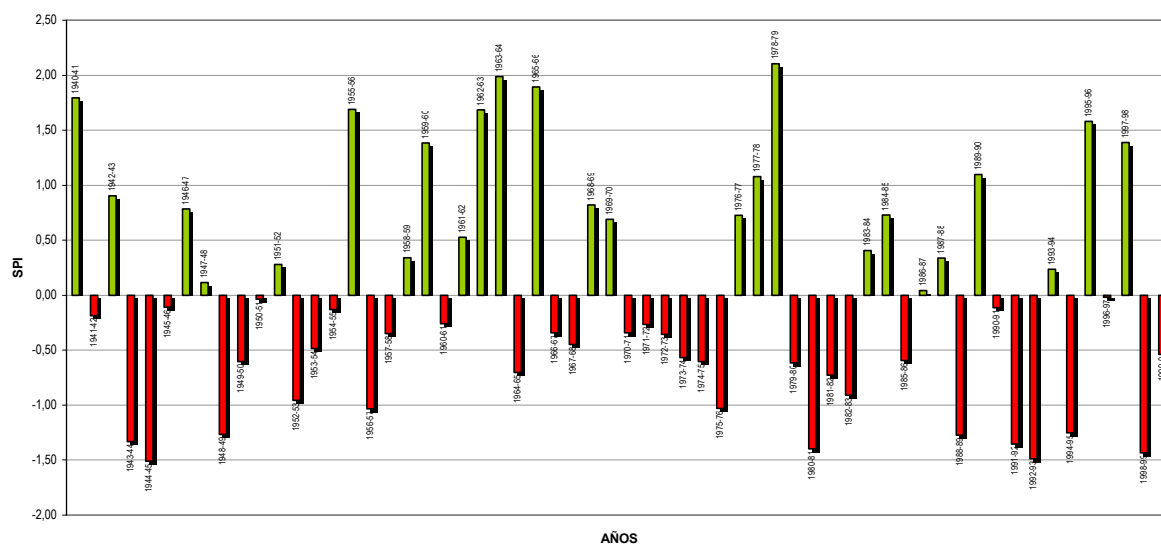


8.14.2.- Aportaciones acumuladas

DESVIACIÓN ACUMULADA DE APORTACIÓN ANUAL SOBRE LA MEDIA (1.104,88 hm³)
ZONA 14. TAJO INTERNACIONAL Y SALOR - EXTREMADURA (1940/41-1999/00)



8.14.3.- Índice SPI

EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE SPI DE LA APORTACIÓN ANUAL EN LA ZONA 14.
TAJO INTERNACIONAL Y SALOR.

APÉNDICE II.2

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS SERIES

Apéndice II.2.- Análisis estadístico de las series

Índice

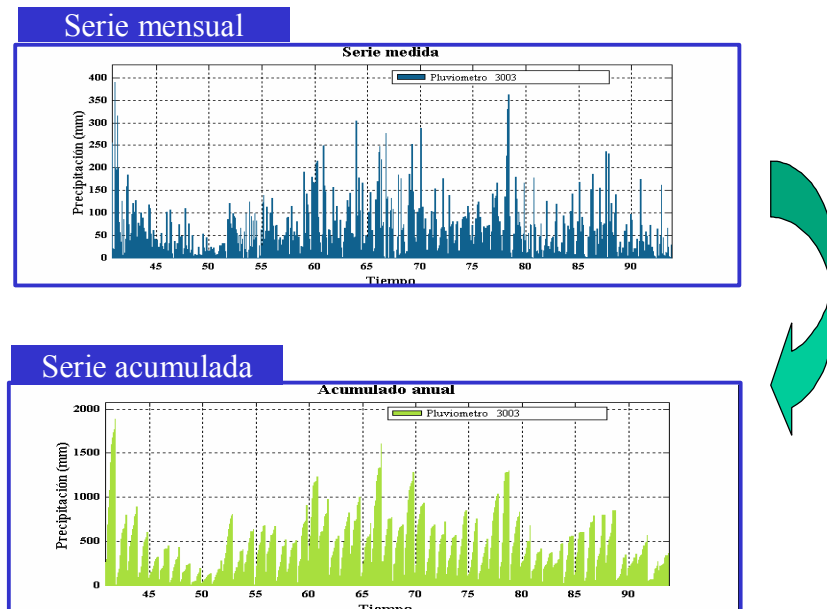
1.- SERIES ANALIZADAS	1
2.- ANÁLISIS DE LAS SERIES.....	3
3.- CORRELACIÓN EN SUBCUENCAS	4
4.- CORRELACIÓN CRUZADA EN SUBCUENCAS.....	19
5.- CAPACIDAD DE PRONÓSTICO	33

1.- SERIES ANALIZADAS

La primera fase del estudio de sequías consiste en el análisis de las características estadísticas de las series naturales y sintéticas utilizadas en el trabajo.

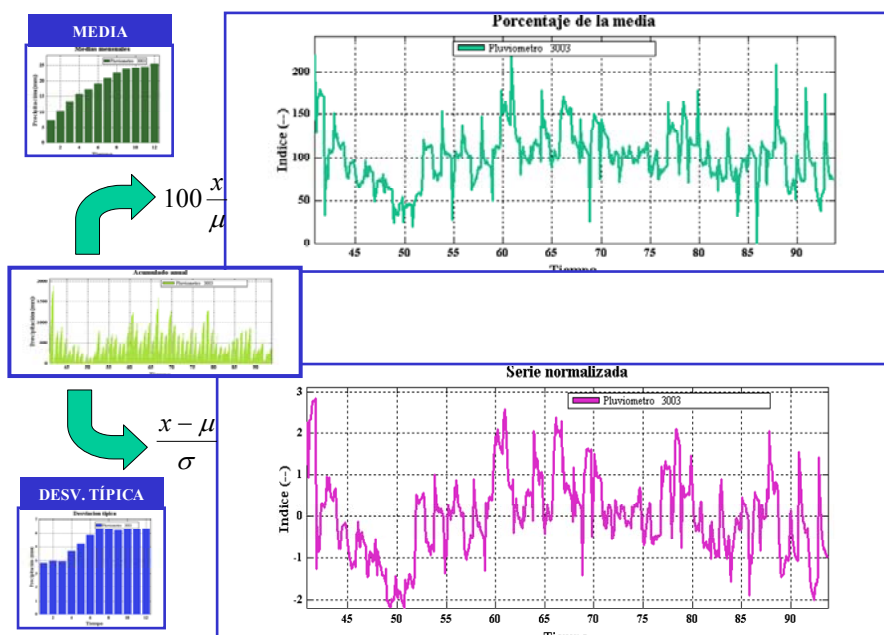
- Se han elaborado las siguientes series derivadas a partir de las series mensuales originales:
- Series anuales, por acumulación de los doce valores mensuales en pluviometría y aportación

Series mensuales de acumulación, por acumulación progresiva de los valores mensuales dentro de un año hidrológico.



Para obtener un tratamiento homogéneo de las series en todos los emplazamientos analizados se ha trabajado con series normalizadas en dos versiones:

- Porcentaje con respecto a la media: Se divide la serie por la media y se multiplica por 100.
- Serie normalizada: Se resta la media y se divide por la desviación típica.

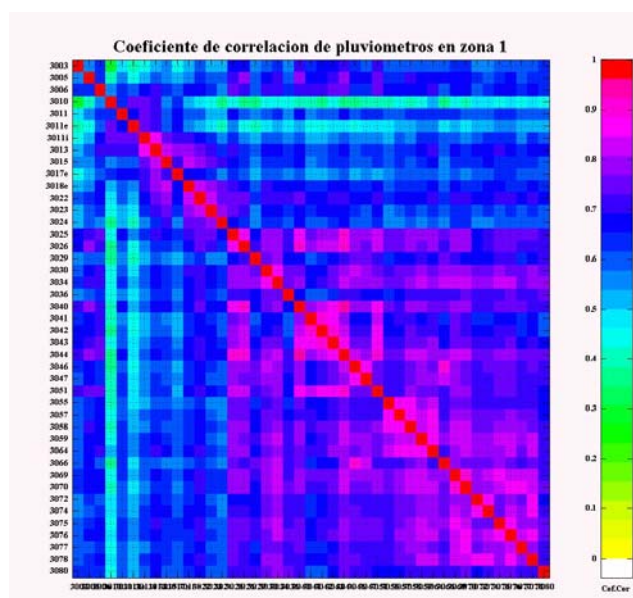


2.- ANÁLISIS DE LAS SERIES

Se han calculado los estadísticos más representativos de las series a efectos de análisis de sequías.

Se ha estudiado la correlación a escala mensual entre distintas variables:

- Correlación cruzada entre pluviómetros
- Correlación cruzada entre esorrentía en subcuencas
- Correlación cruzada entre embalses
- Correlación entre pluviómetros y lluvia en subcuencas
- Correlación entre pluviómetros y aportación en subcuencas (en porcentaje de la media)
- Correlación entre pluviómetros y aportación en subcuencas (normalizada)



3.- CORRELACIÓN EN SUBCUENCAS

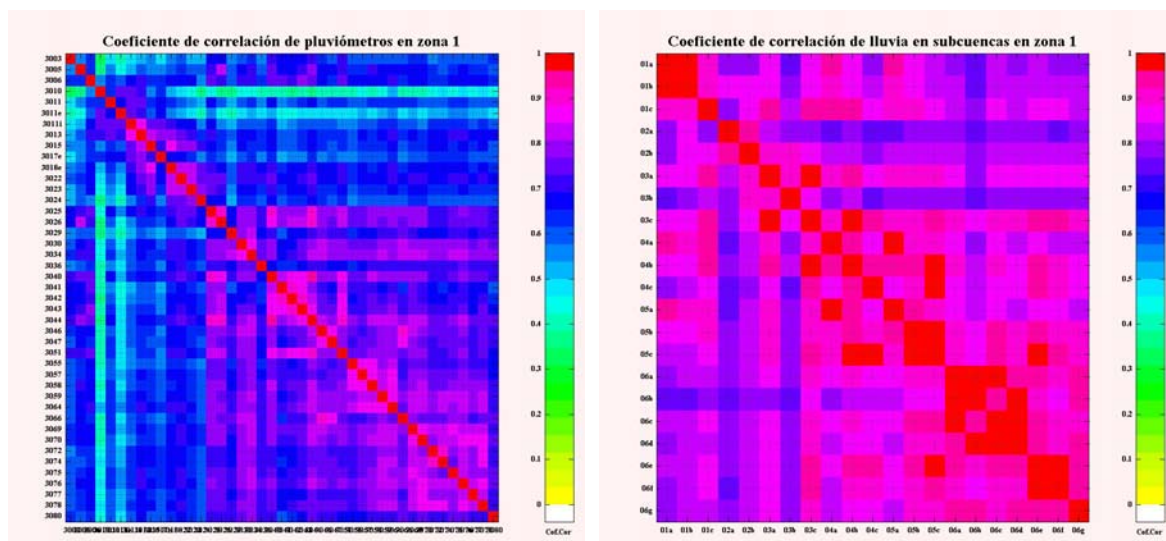
A continuación se presentan los gráficos correspondientes al cálculo de los coeficientes de correlación en subcuencas. En todos los gráficos se presentan los coeficientes de una variable consigo misma en distintos emplazamientos de la zona. Los gráficos que se presentan son:

- Coeficientes de correlación de lluvia medida en pluviómetros
- Coeficientes de correlación de lluvia media en subcuencas
- Coeficientes de correlación de escorrentía en subcuencas

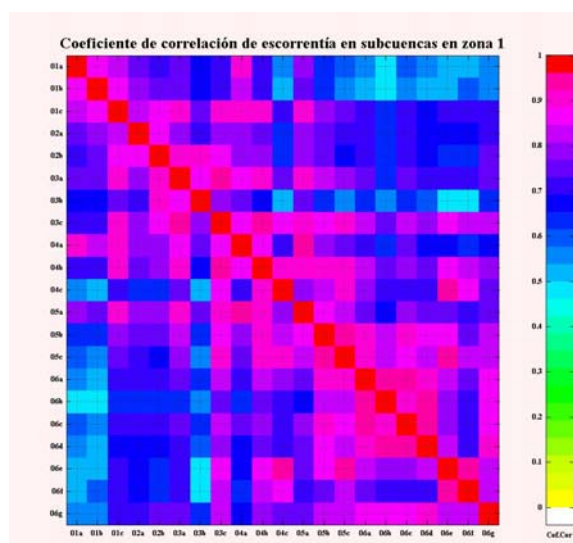
Los datos de lluvia corresponden a precipitación normalizada, mientras que los datos de escorrentía corresponden a aportación normalizada.

3.1.- Zona 1

3.1.1.- Precipitación

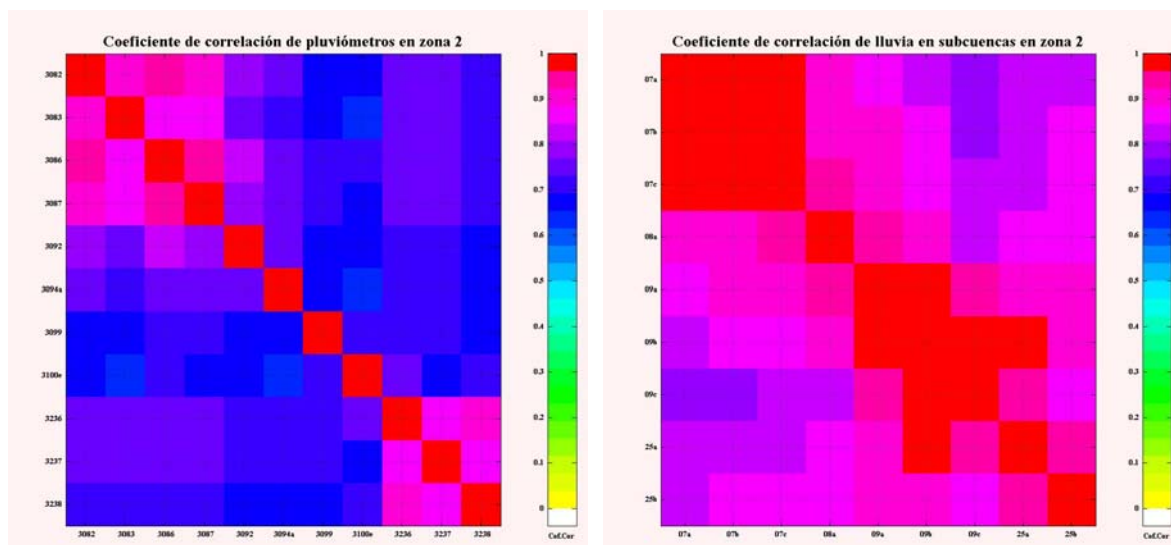


3.1.2.- Escorrentía

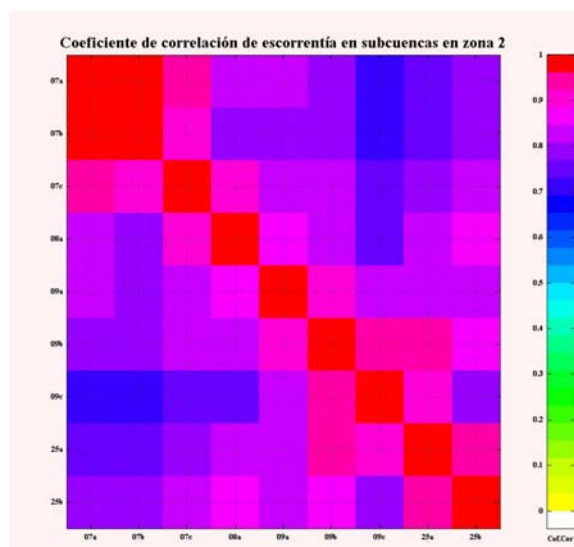


3.2.- Zona 2

3.2.1.- Precipitación

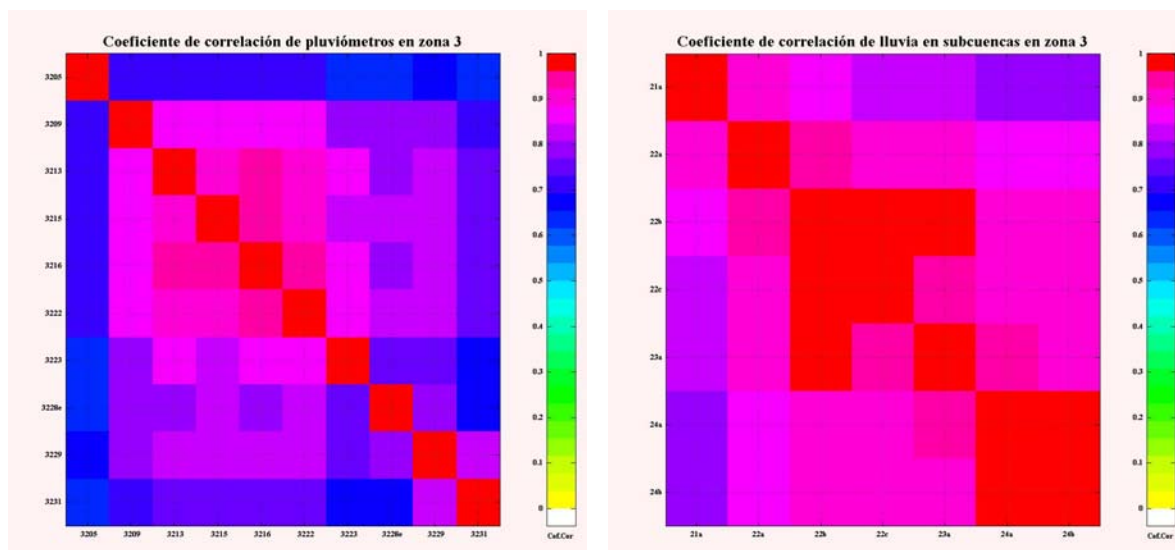


3.2.2.- Escorrentía

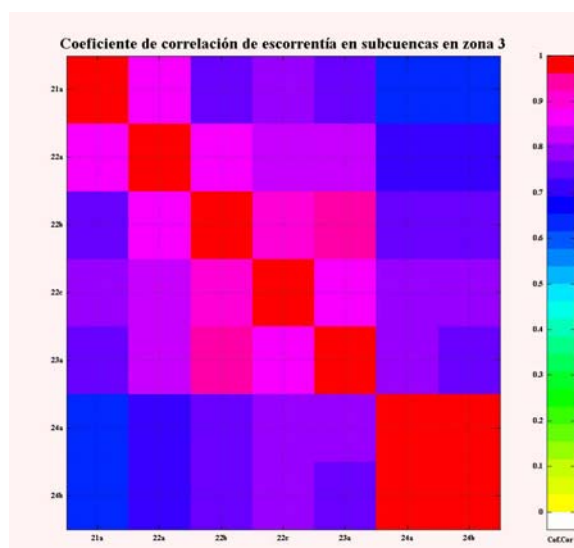


3.3.- Zona 3

3.3.1- Precipitación

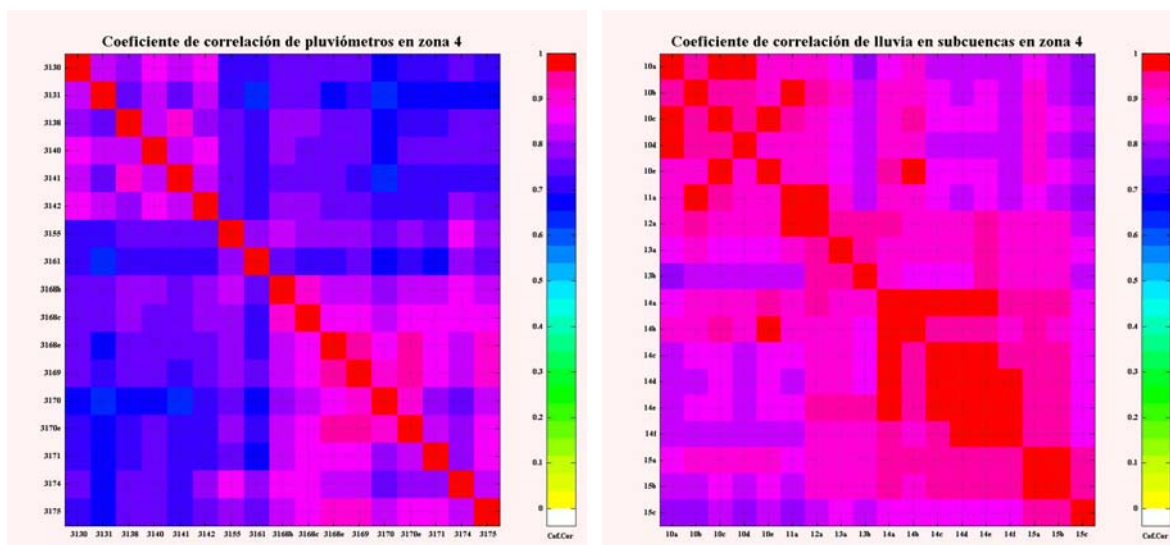


3.3.2.- Escorrentía

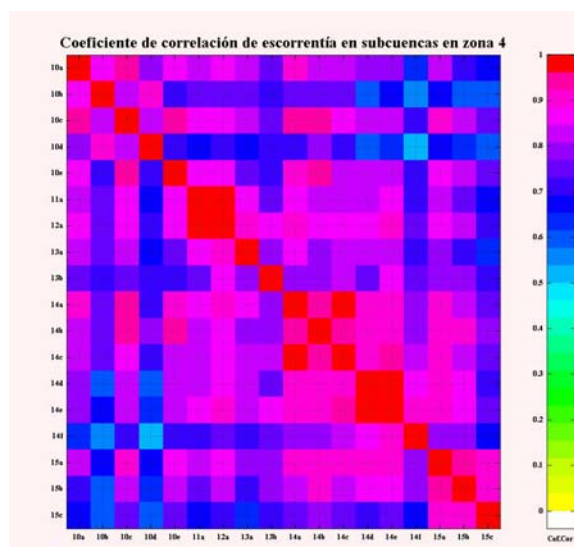


3.4.- Zona 4

3.4.1- Precipitación

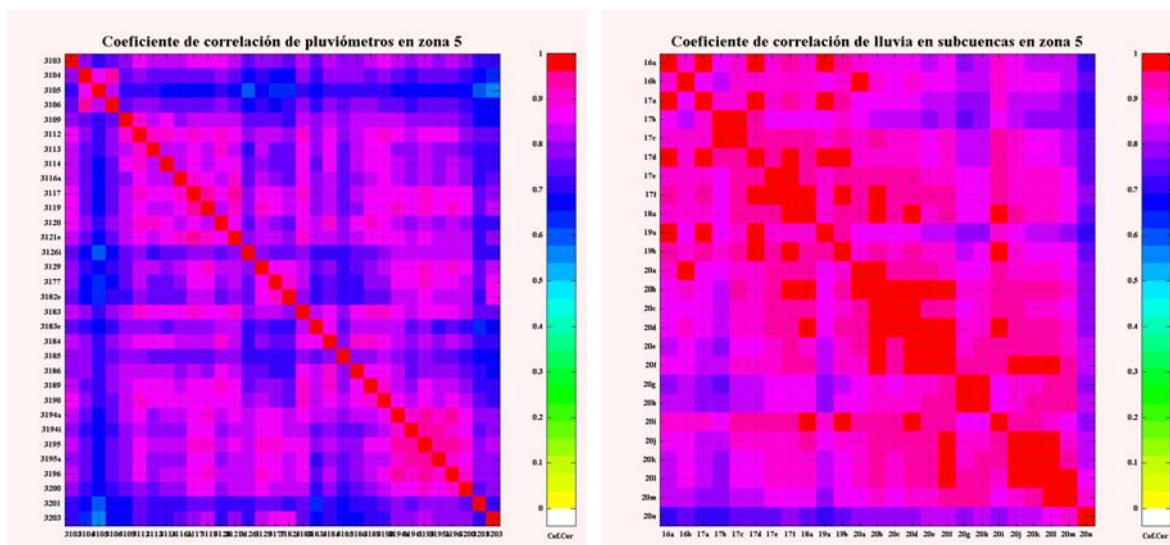


3.4.2.- Escorrentía

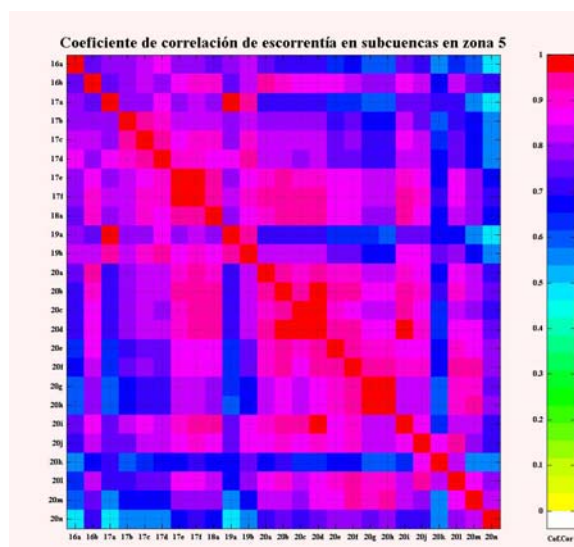


3.5.- Zona 5

3.5.1- Precipitación

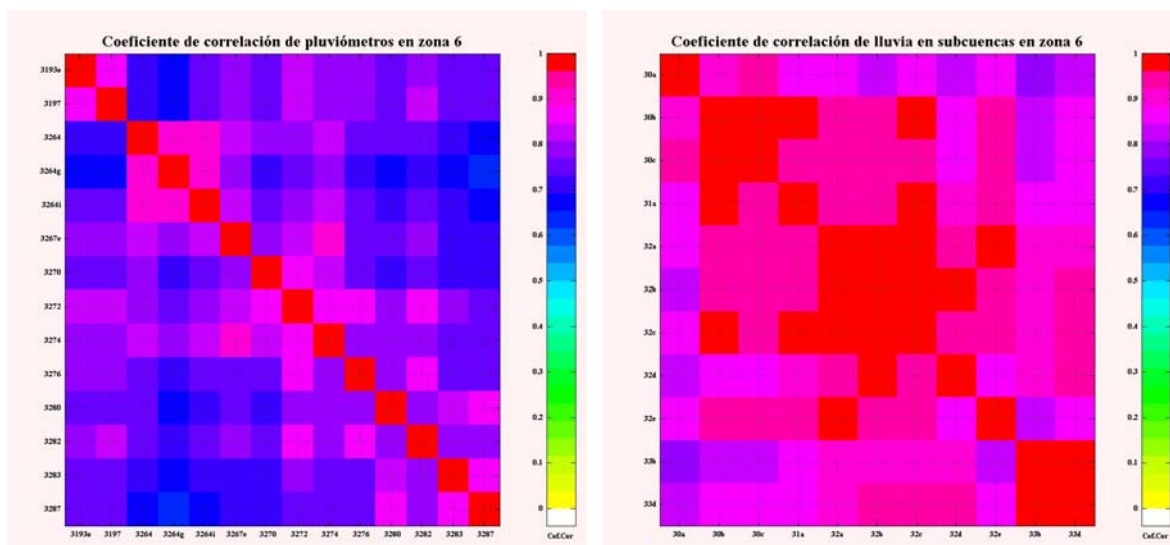


3.5.2.- Escorrentía

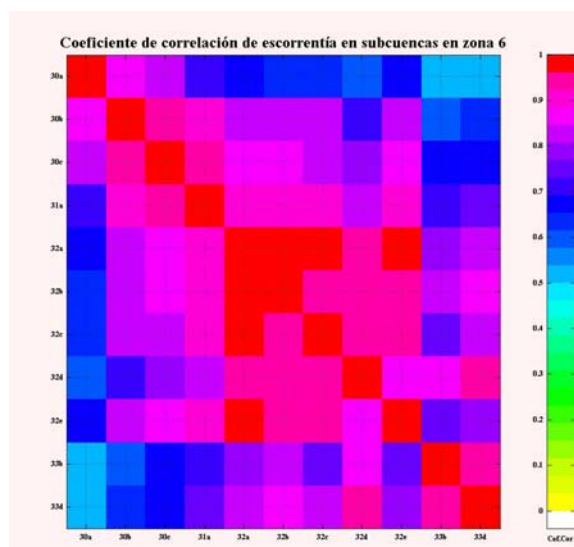


3.6.- Zona 6

3.6.1- Precipitación

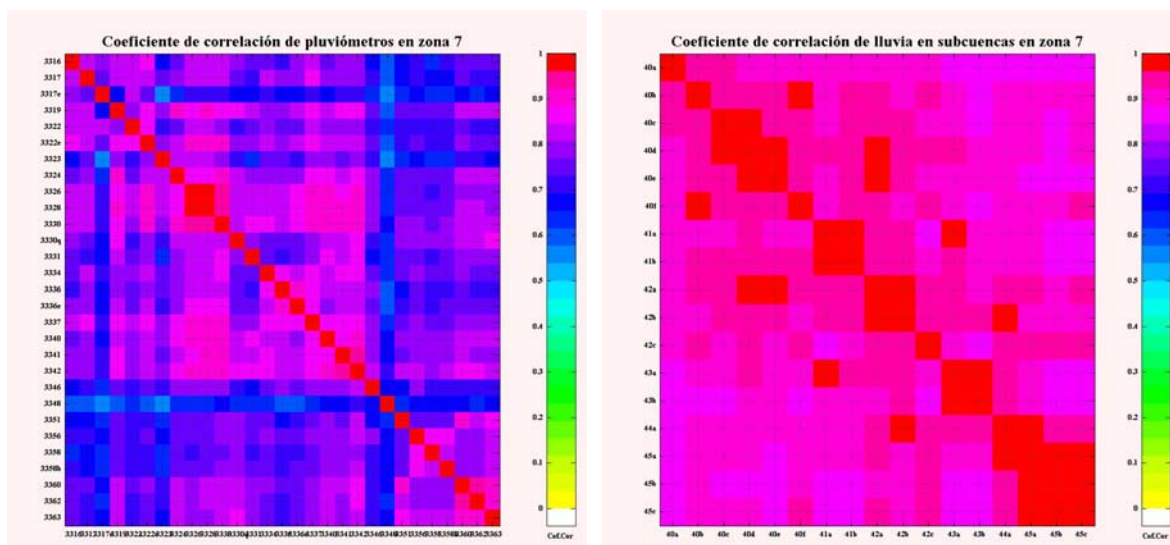


3.6.2.- Escorrentía

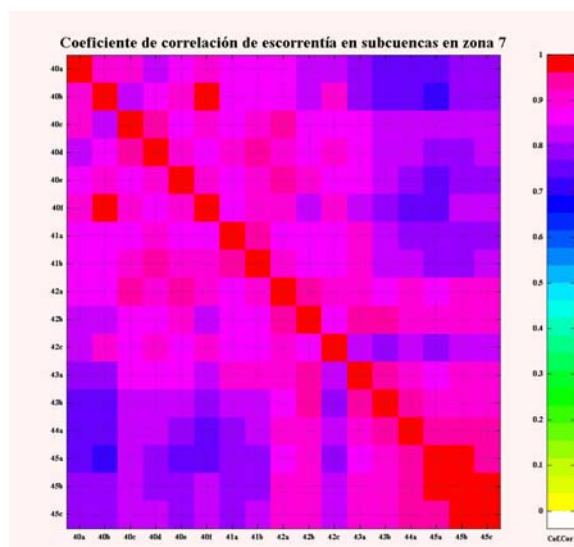


3.7.- Zona 7

3.7.1- Precipitación

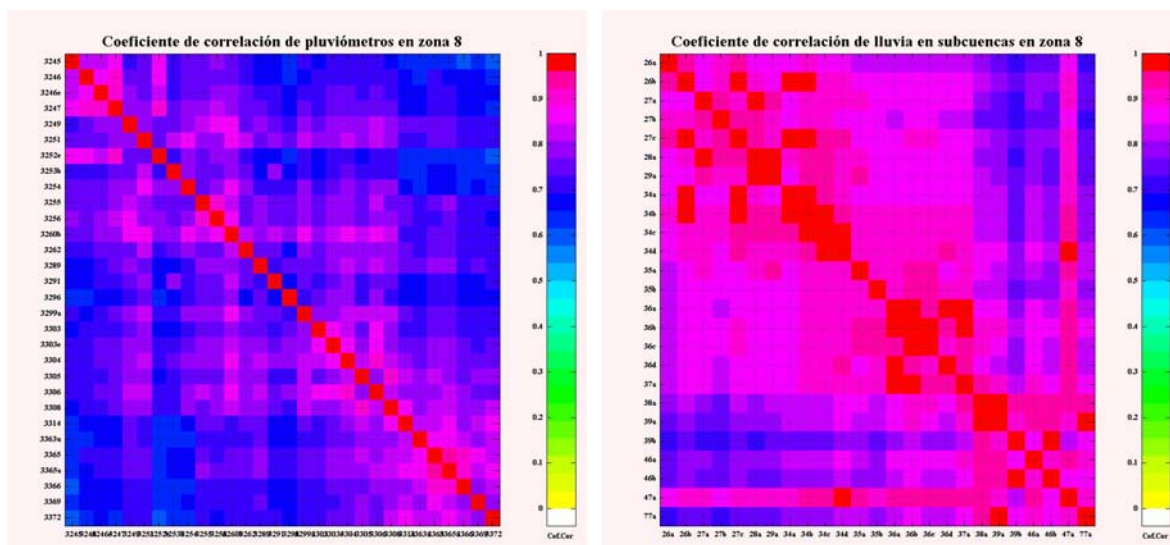


3.7.2.- Escorrentía

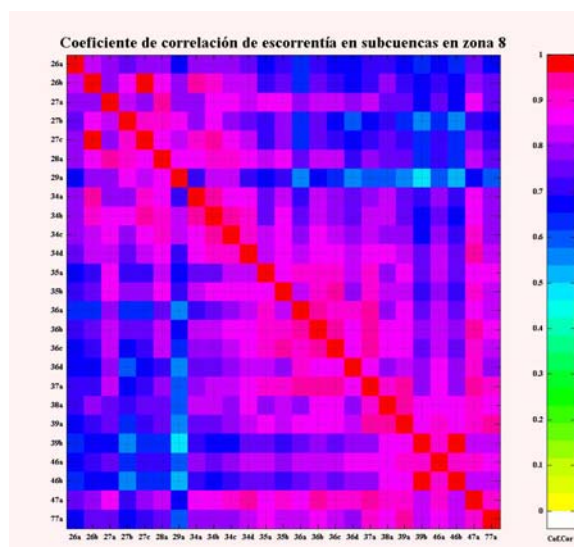


3.8.- Zona 8

3.8.1- Precipitación

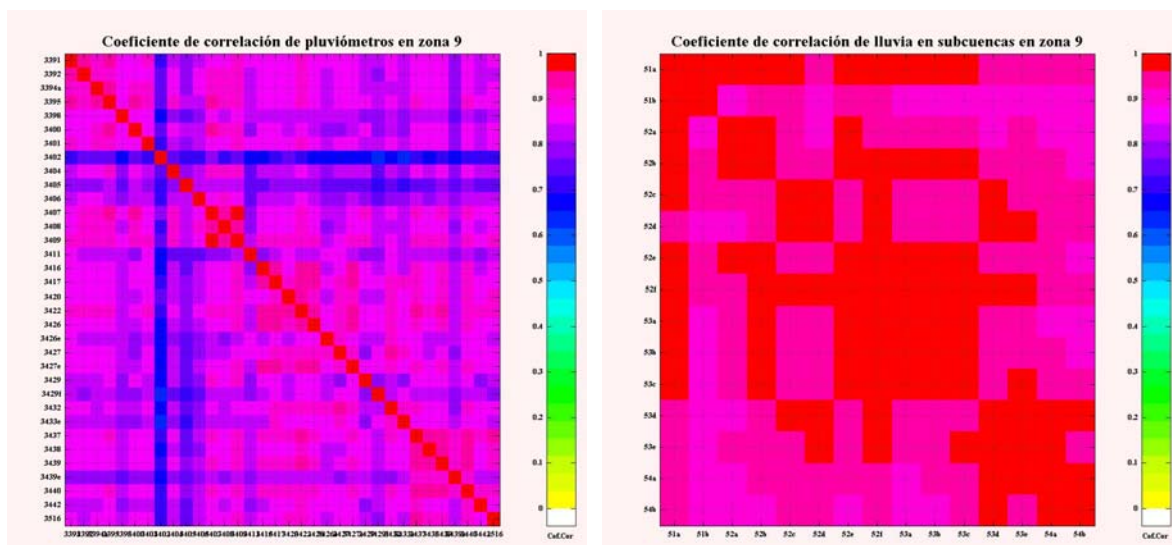


3.8.2.- Escorrentía

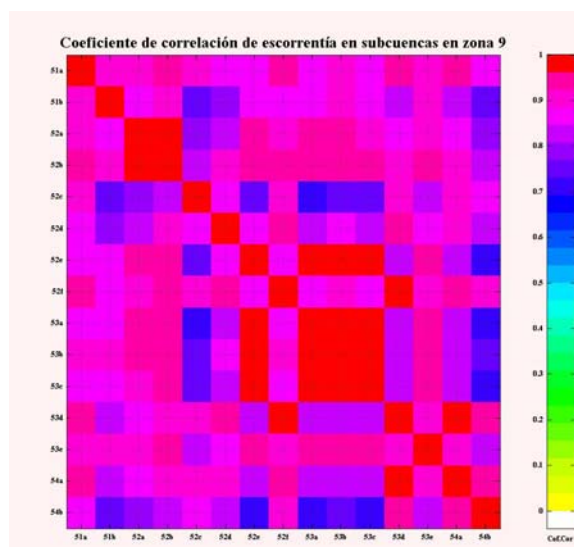


3.9.- Zona 9

3.9.1- Precipitación

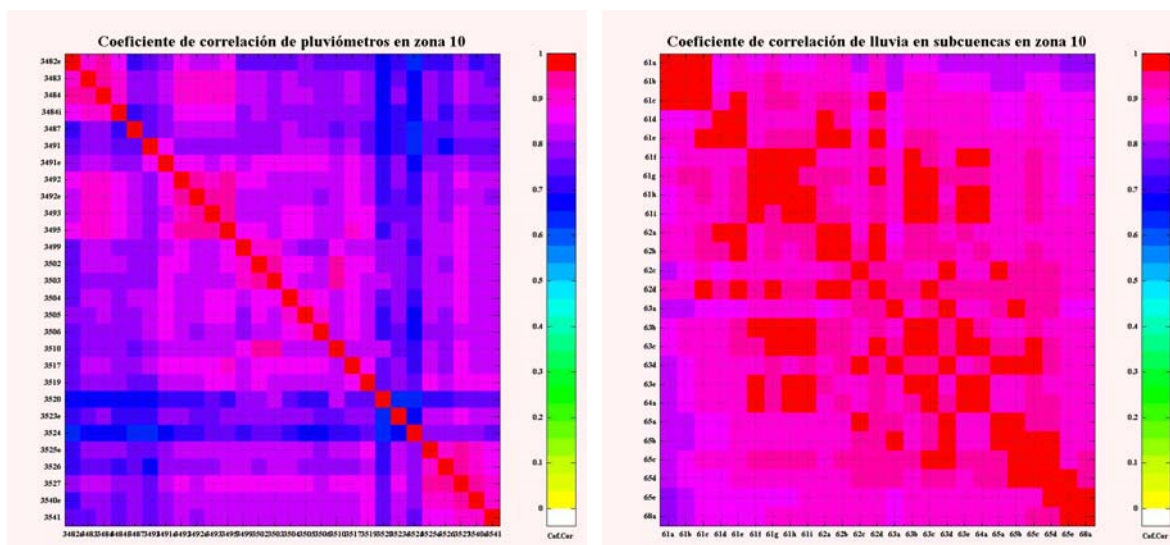


3.9.2.- Escorrentía

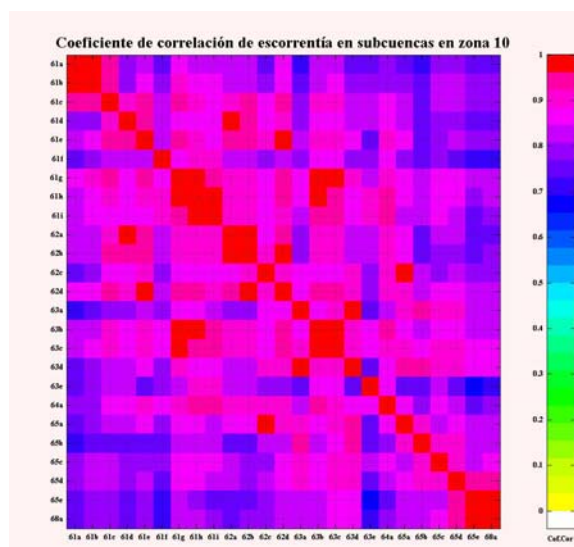


3.10.- Zona 10

3.10.1- Precipitación

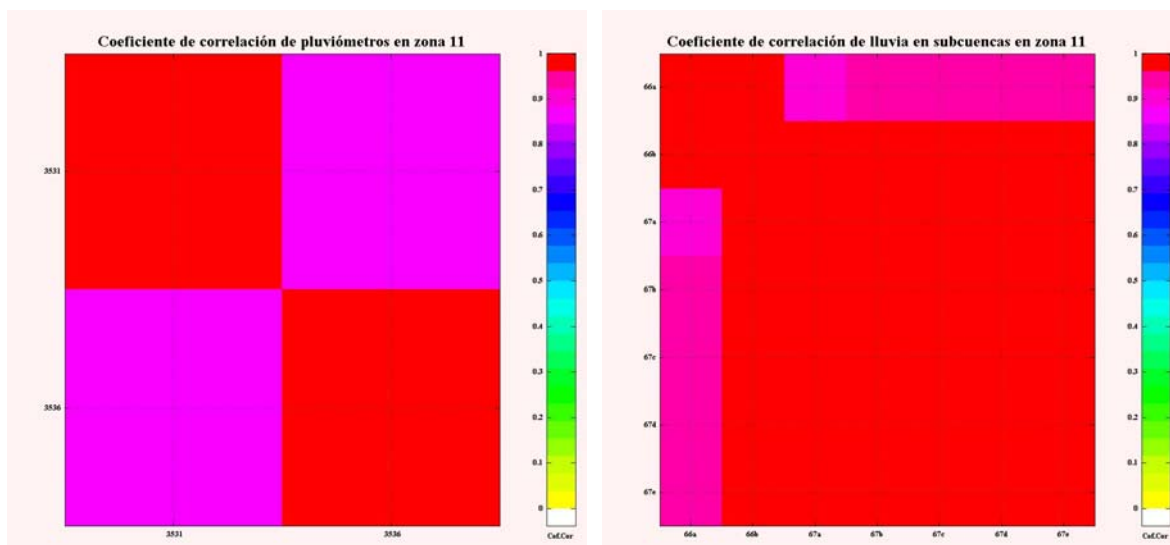


3.10.2.- Escorrentía

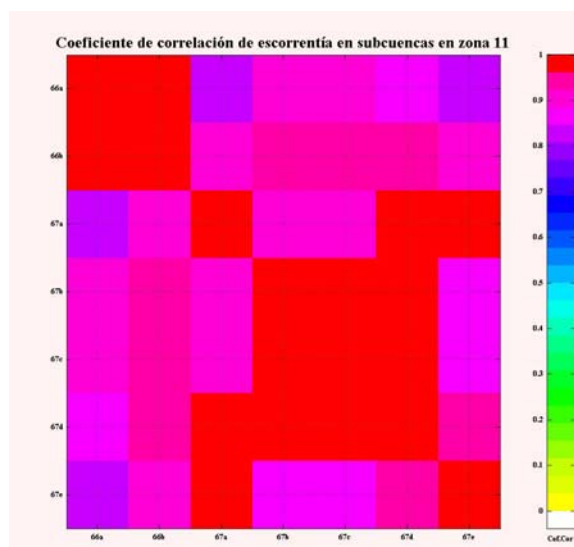


3.11.- Zona 11

3.11.1- Precipitación

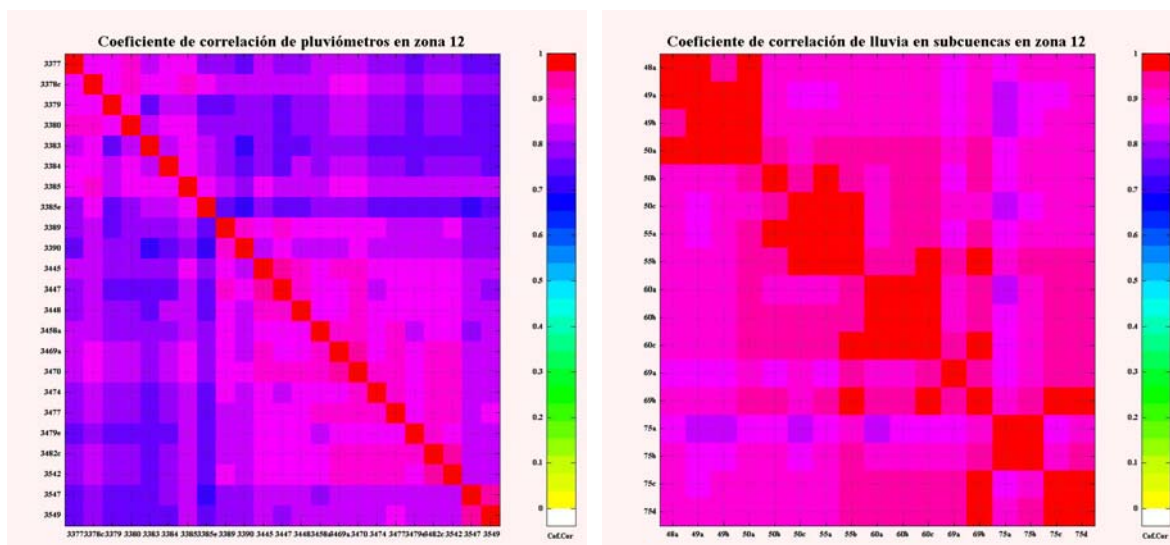


3.11.2.- Escorrentía

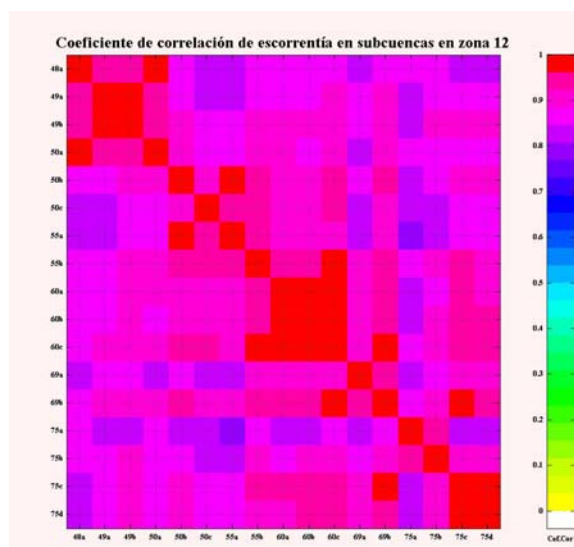


3.12.- Zona 12

3.12.1- Precipitación

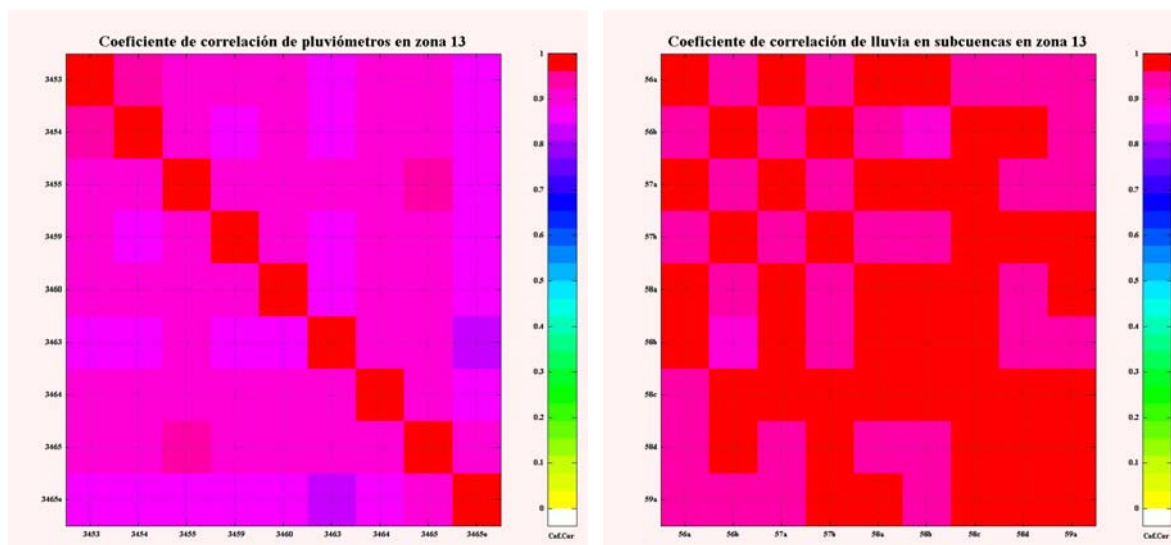


3.12.2.- Escorrentía

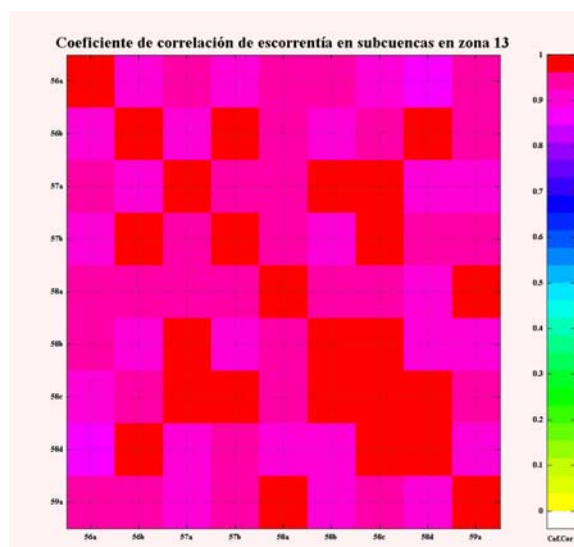


3.13.- Zona 13

3.13.1- Precipitación

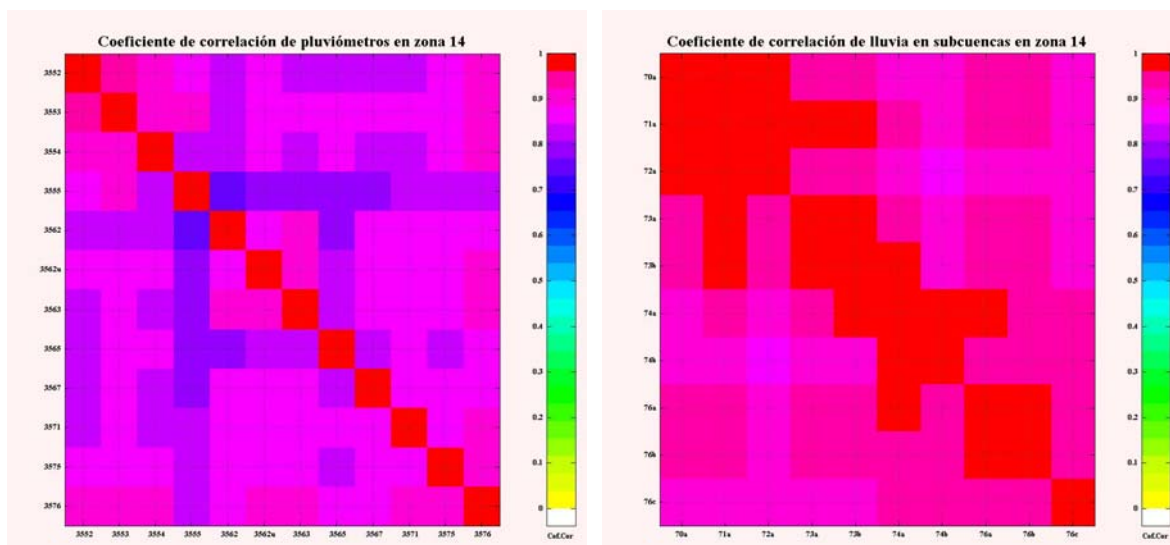


3.13.2.- Escorrentía

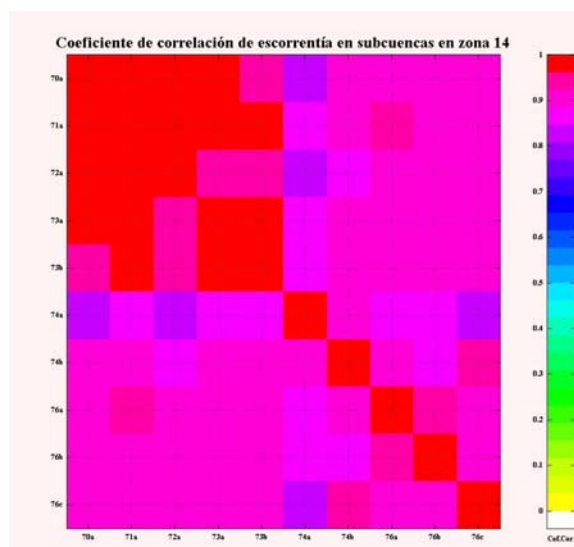


3.14.- Zona 14

3.14.1- Precipitación



3.14.2.- Escorrentía



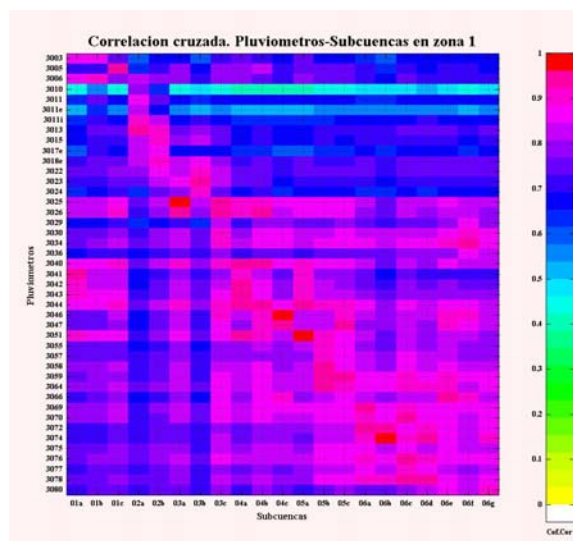
4.- CORRELACIÓN CRUZADA EN SUBCUENCAS

A continuación se presentan los gráficos correspondientes al cálculo de los coeficientes de correlación cruzada en subcuencas. Se han analizado las siguientes combinaciones

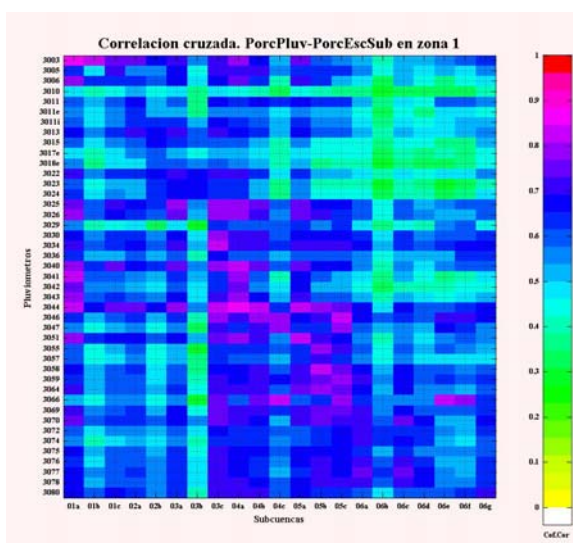
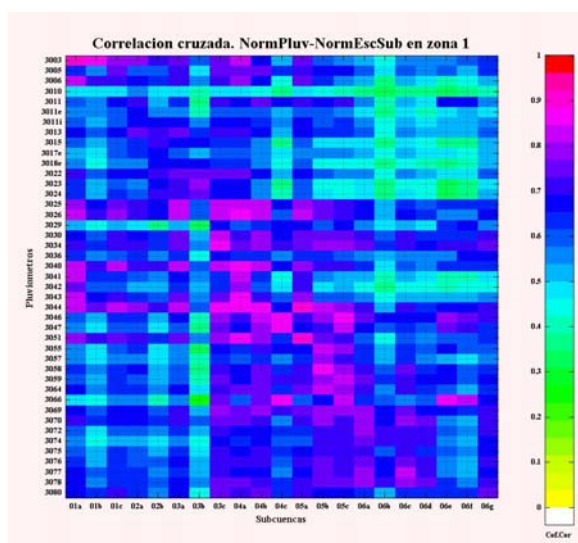
- Coeficientes de correlación de lluvia en pluviómetros frente a lluvia en subcuencas.
- Coeficientes de correlación del porcentaje de la media de lluvia en pluviómetros frente a porcentaje de la media de aportación en subcuencas.
- Coeficientes de correlación de lluvia normalizada en pluviómetros frente a lluvia normalizada en subcuencas.

4.1.- Zona 1

4.1.1- Precipitación

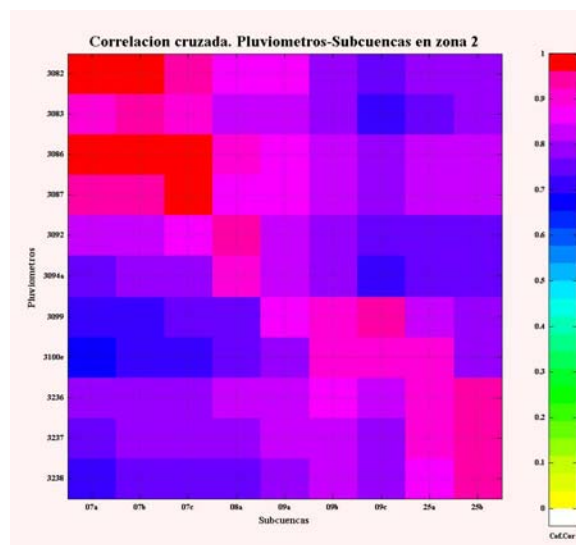


4.1.2.- Escorrentía

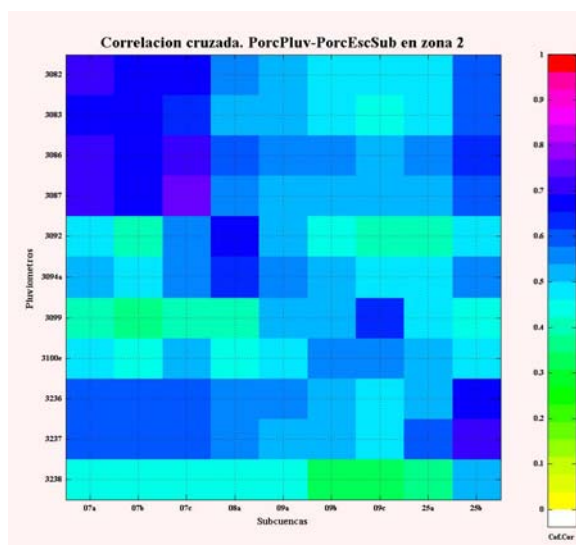
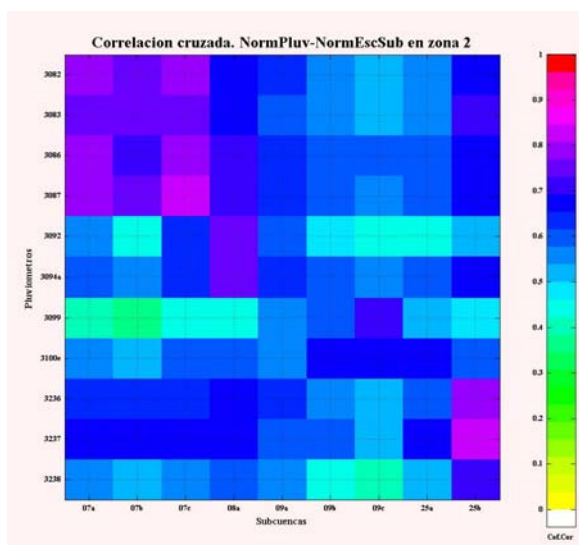


4.2.- Zona 2

4.2.1- Precipitación

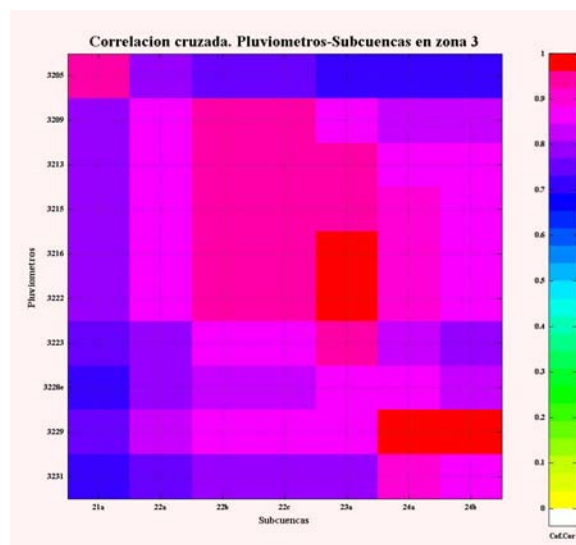


4.2.2.- Escorrentía

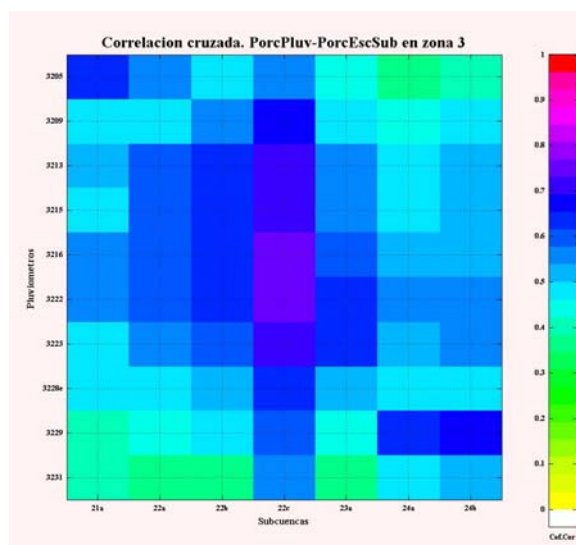
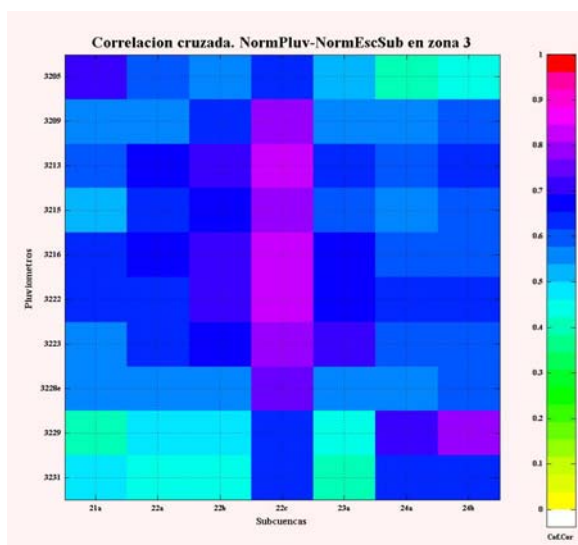


4.3.- Zona 3

4.3.1- Precipitación

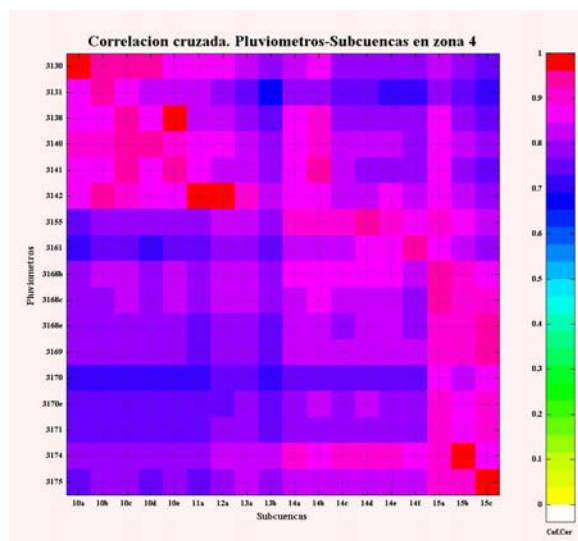


4.3.2.- Escorrentía

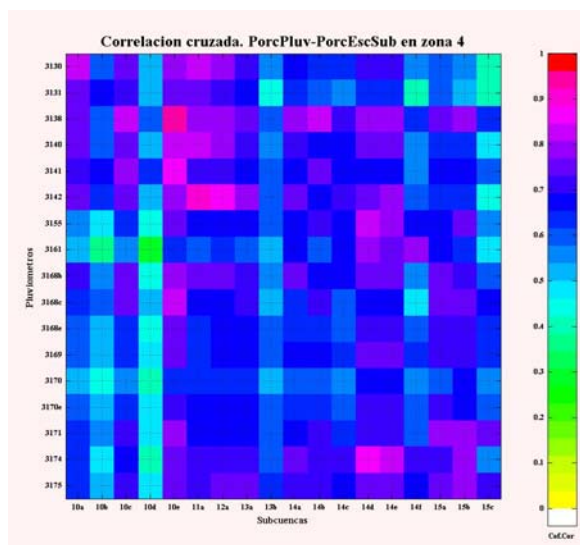
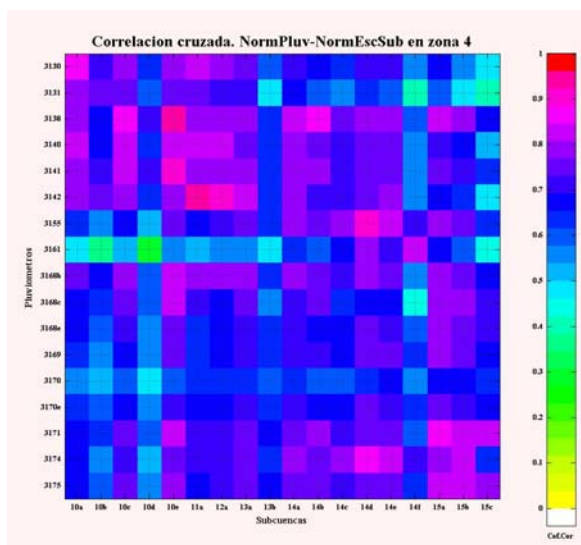


4.4.- Zona 4

4.4.1- Precipitación

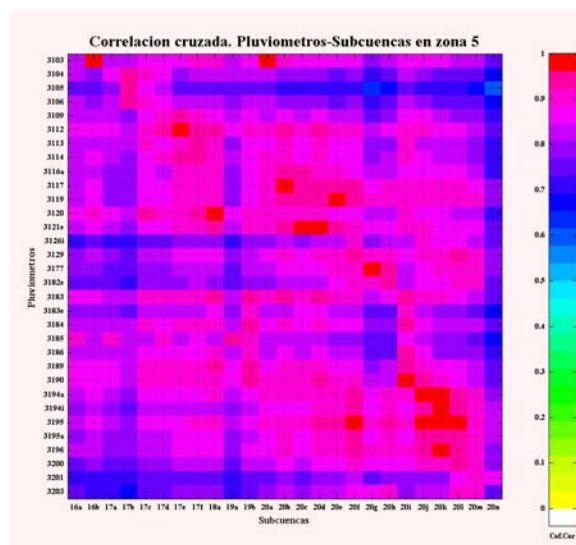


4.4.2.- Escorrentía

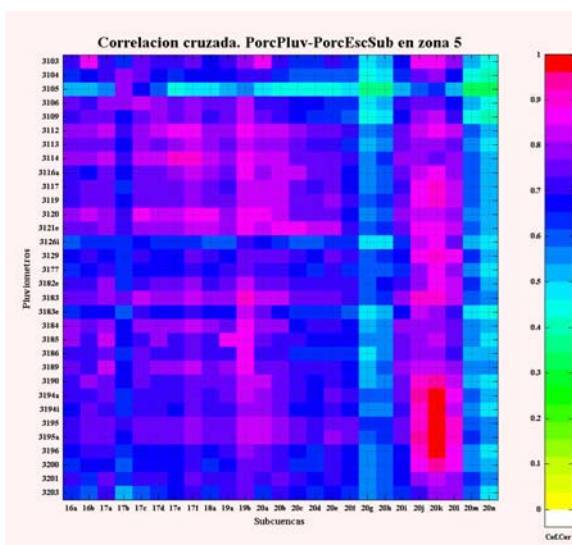
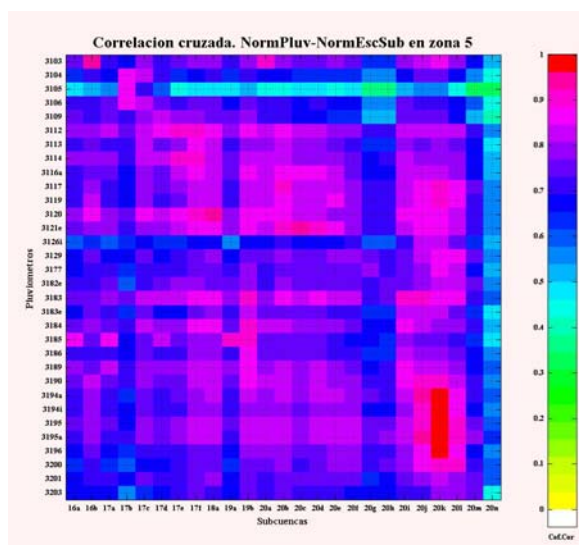


4.5.- Zona 5

4.5.1- Precipitación

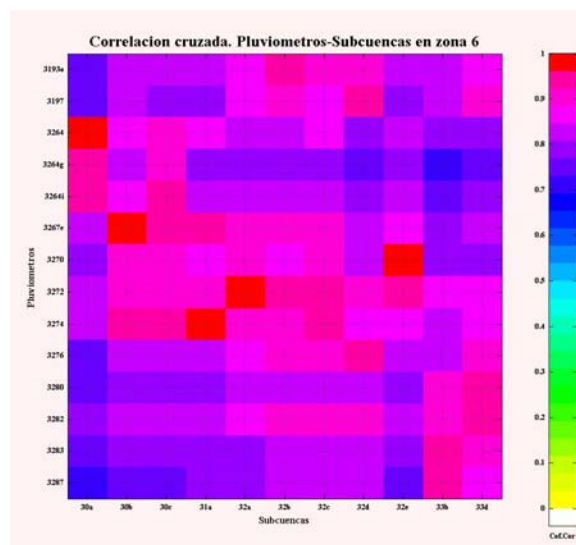


4.5.2.- Escorrentía

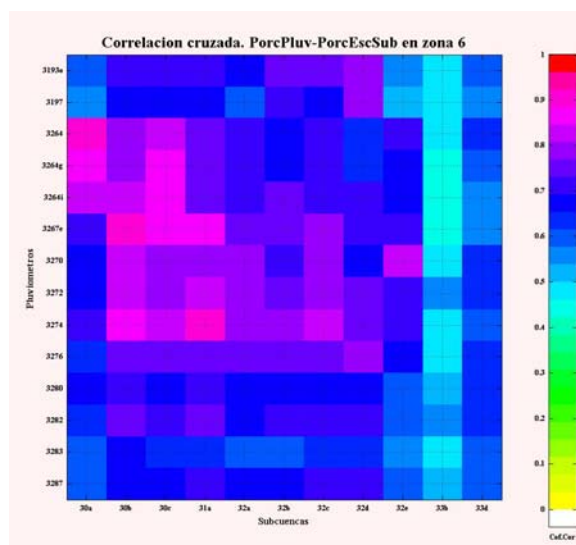
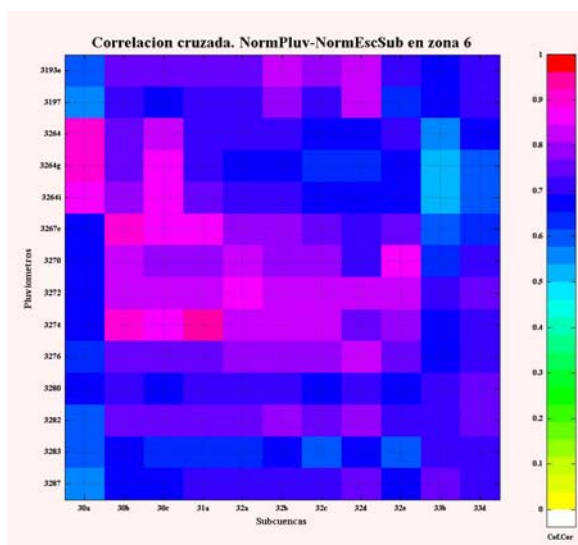


4.6.- Zona 6

4.6.1- Precipitación

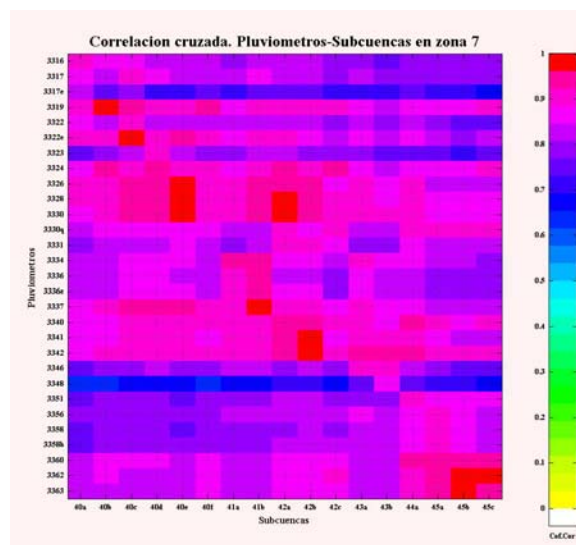


4.6.2.- Escorrentía

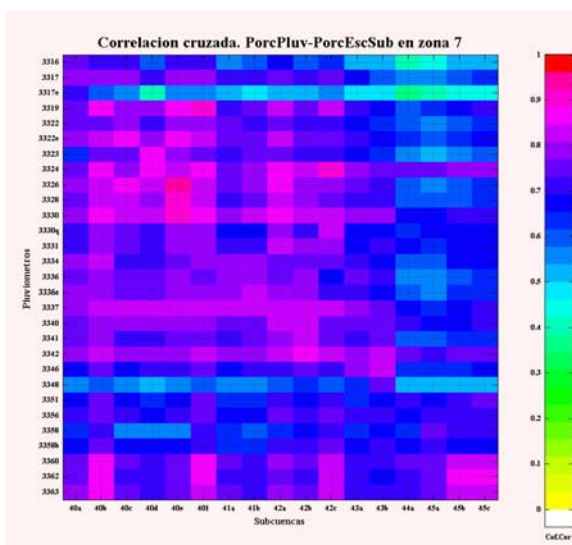
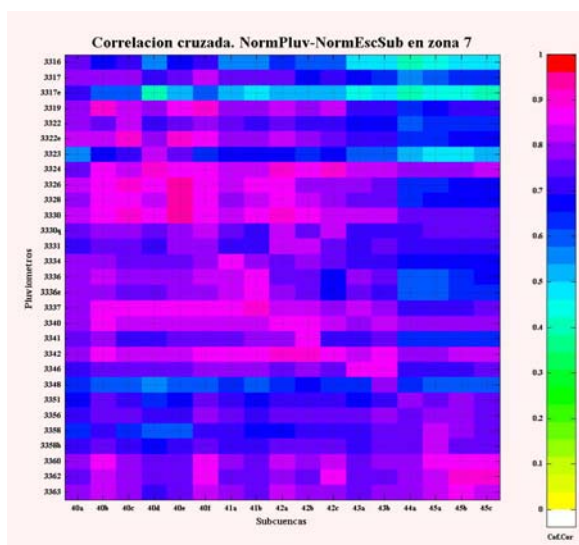


4.7.- Zona 7

4.7.1- Precipitación

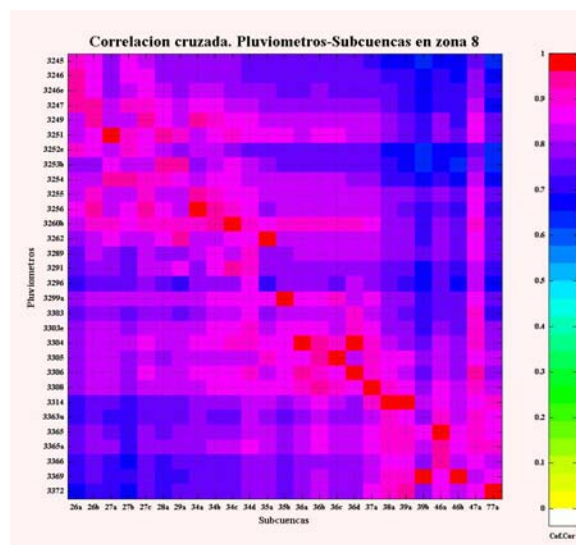


4.7.2.- Escorrentía

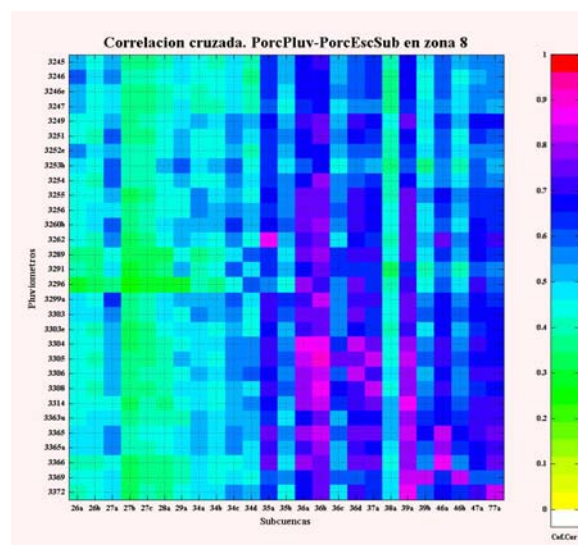
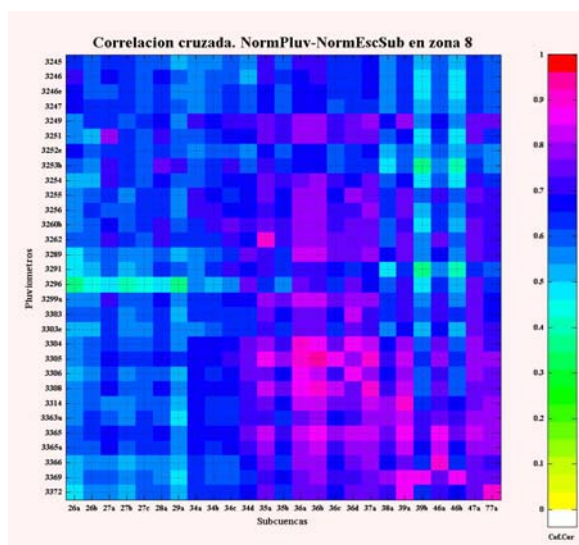


4.8.- Zona 8

4.8.1- Precipitación

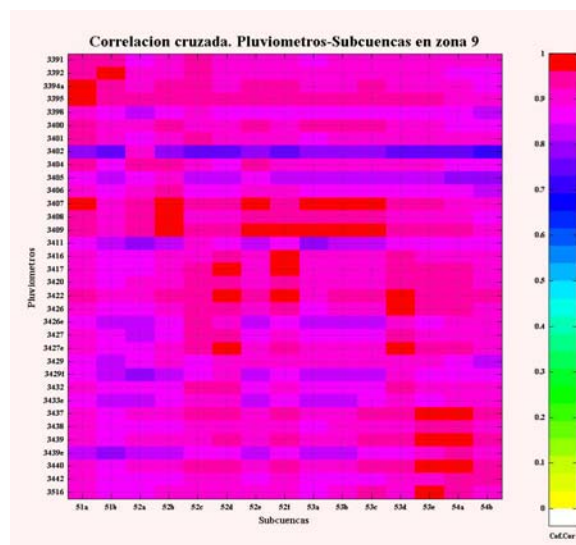


4.8.2.- Escorrentía

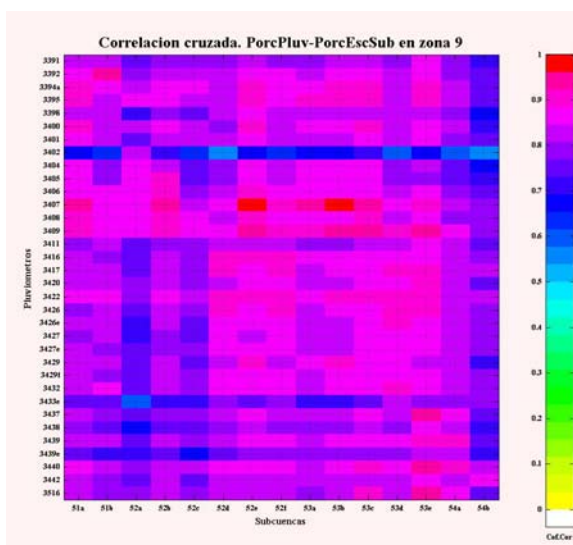
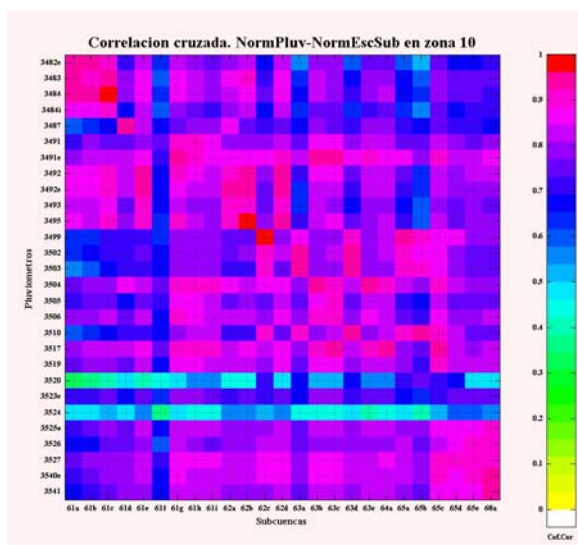


4.9.- Zona 9

4.9.1- Precipitación

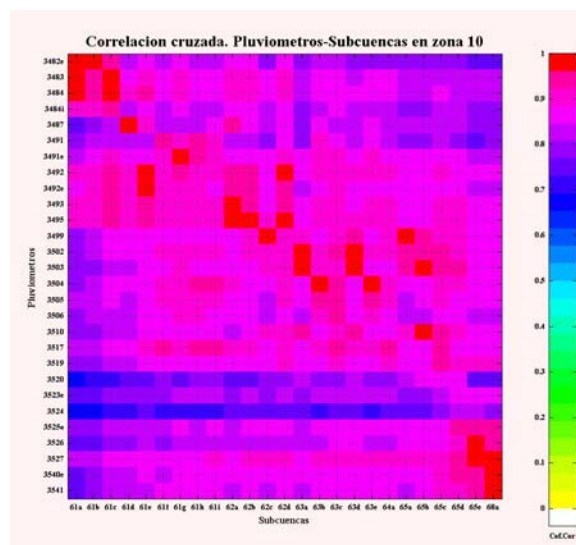


4.9.2.- Escorrentía

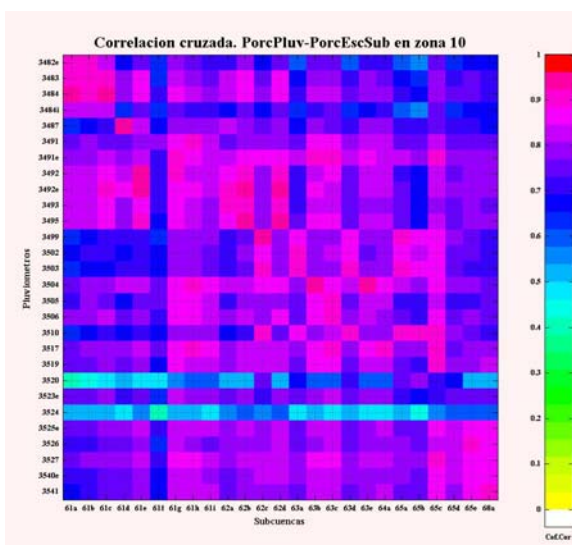
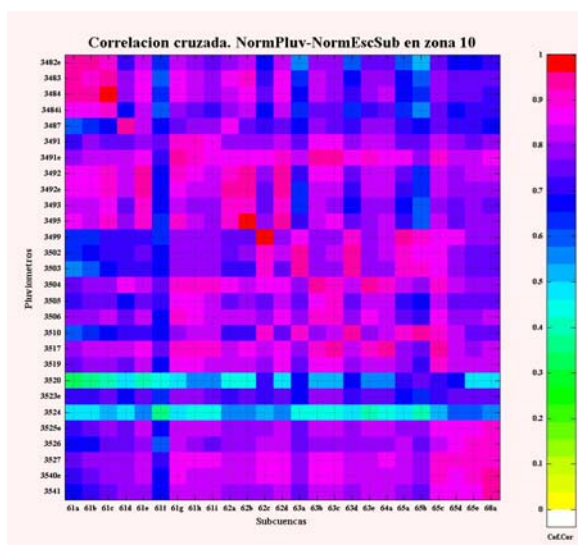


4.10.- Zona 10

4.10.1.- Precipitación

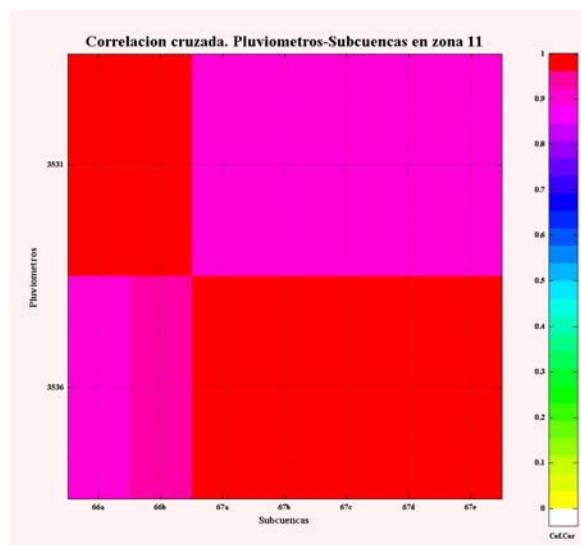


4.10.2.- Escorrentía

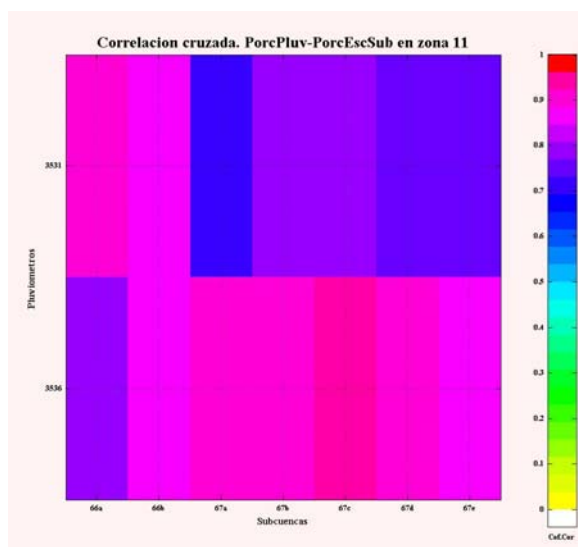
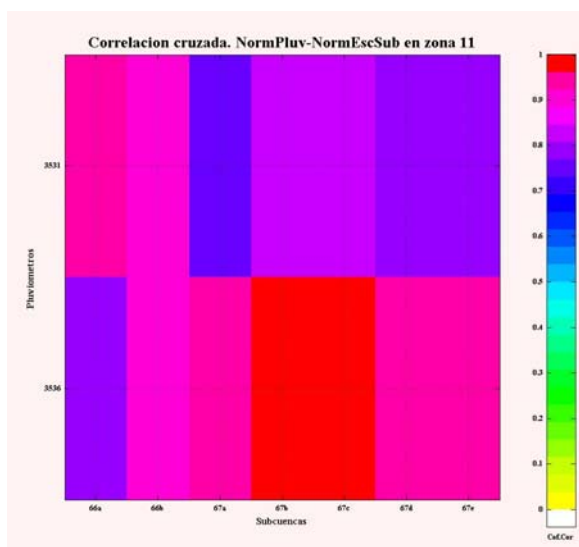


4.11.- Zona 11

4.11.1.- Precipitación

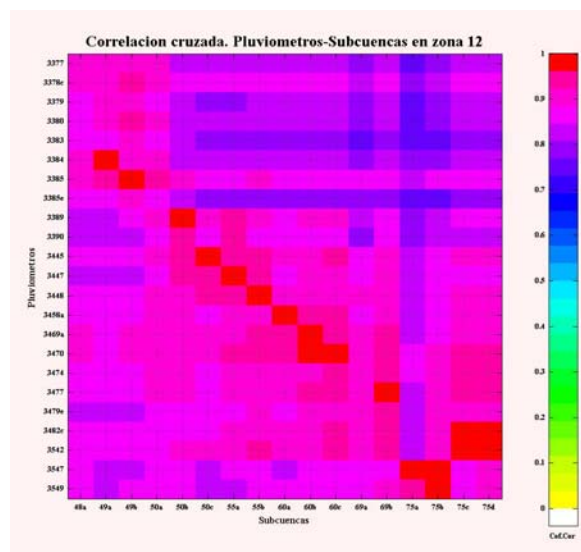


4.11.2.- Escorrentía

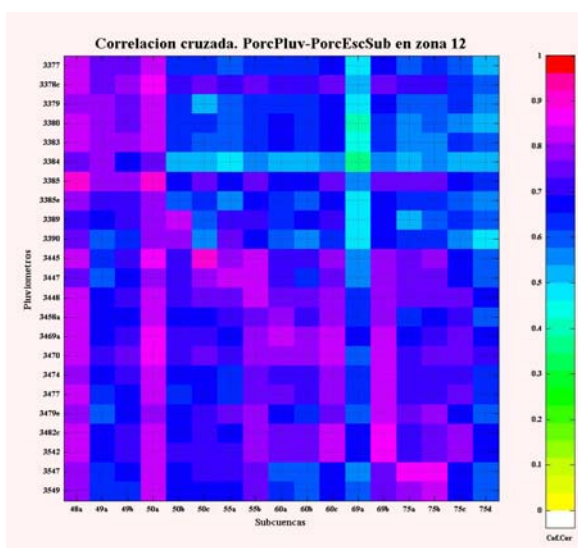
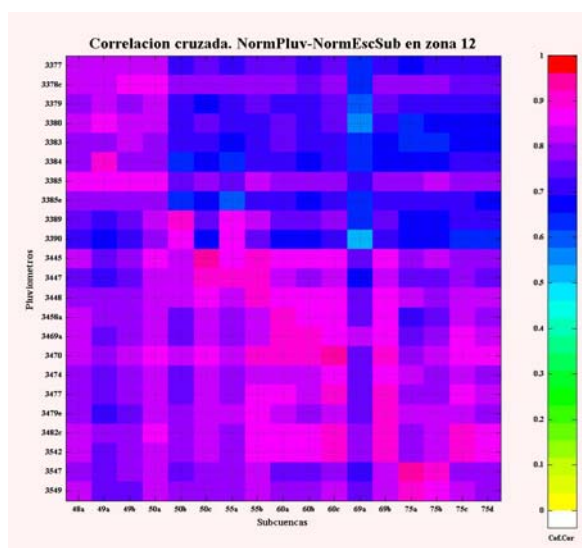


4.12.- Zona 12

4.12.1.- Precipitación

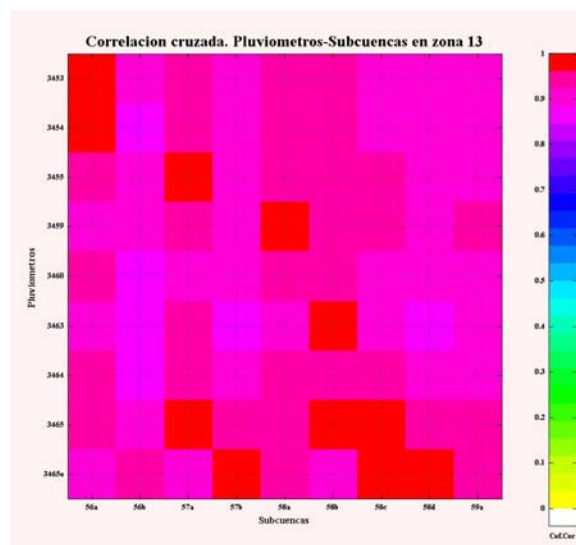


4.12.2.- Escorrentía

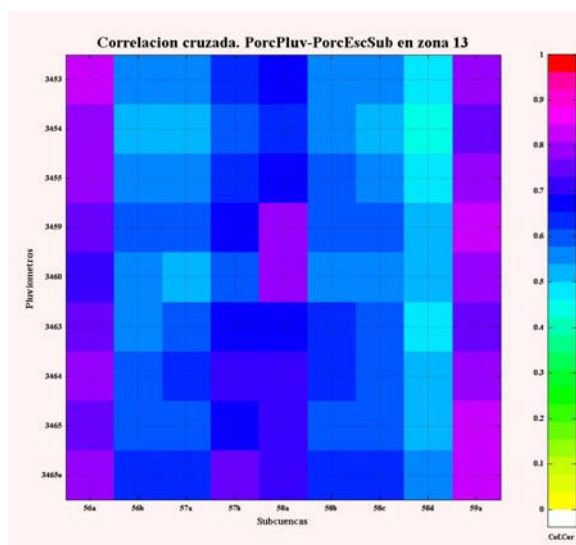
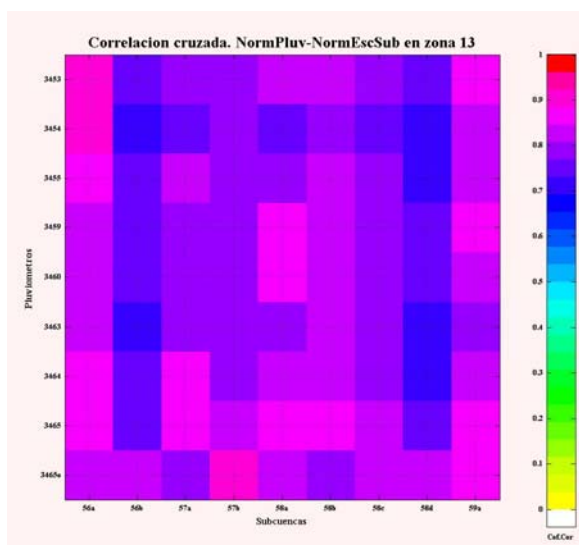


4.13.- Zona 13

4.13.1.- Precipitación

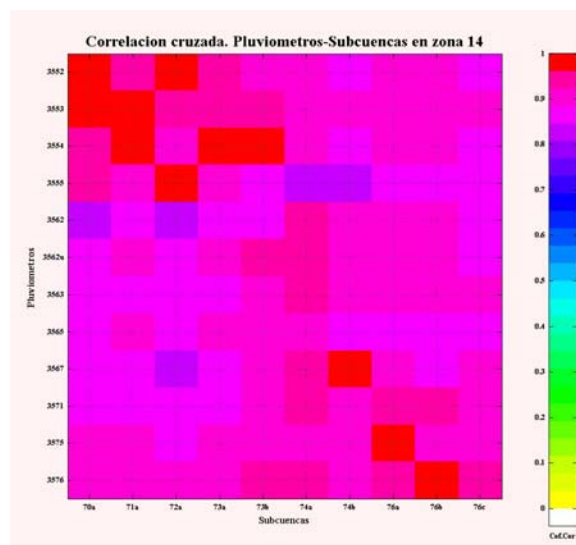


4.13.2.- Escorrentía

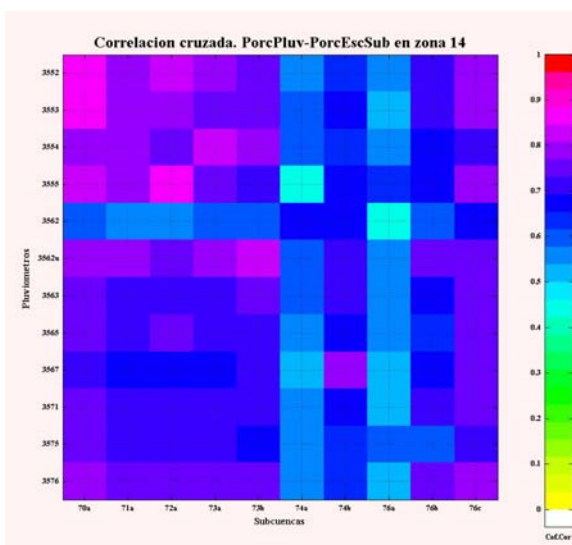
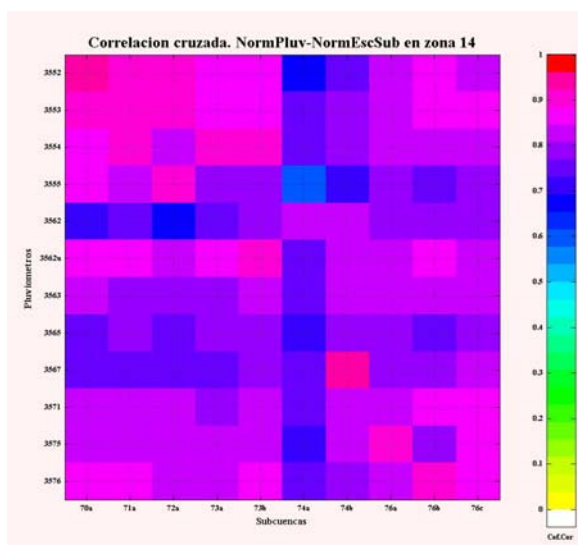


4.14.- Zona 14

4.14.1.- Precipitación



4.14.2.- Escorrentía



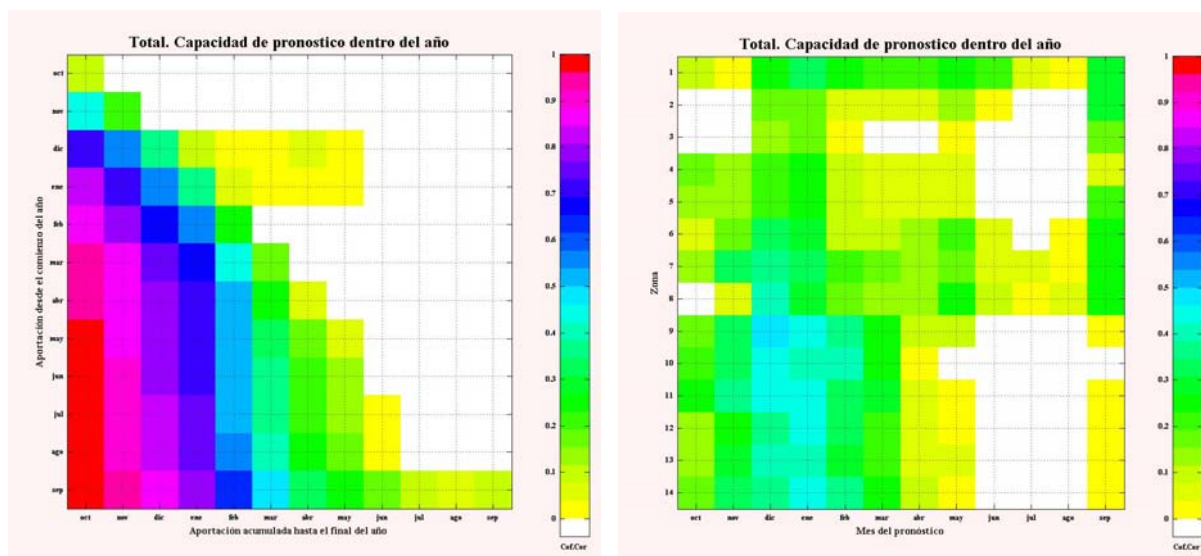
5.- CAPACIDAD DE PRONÓSTICO

A continuación se presentan los gráficos correspondientes al cálculo de los coeficientes de correlación para valorar la capacidad de pronóstico dentro de un mismo año hidrológico. EN cada año se han analizado las correlaciones entre las variables (precipitación y aportación) acumuladas desde el comienzo del año hidrológico hasta un mes determinado y las variables desde un mes determinado hasta el final del año hidrológico. De esta manera se evalúa cómo condiciona el hecho de que un año haya comenzado siendo, por ejemplo, más seco de lo normal, sobre el resto del año hidrológico.

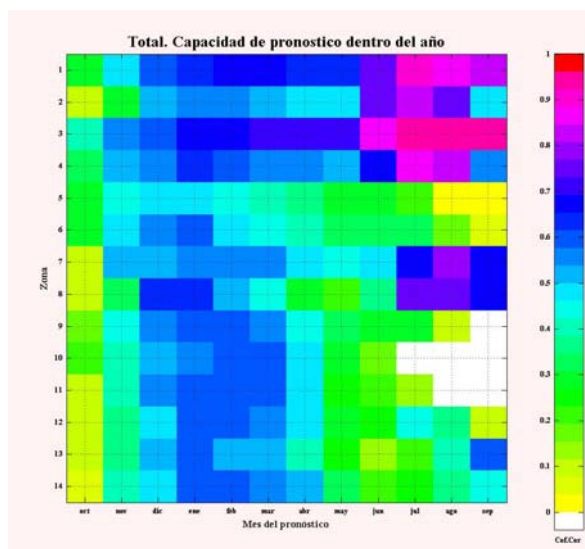
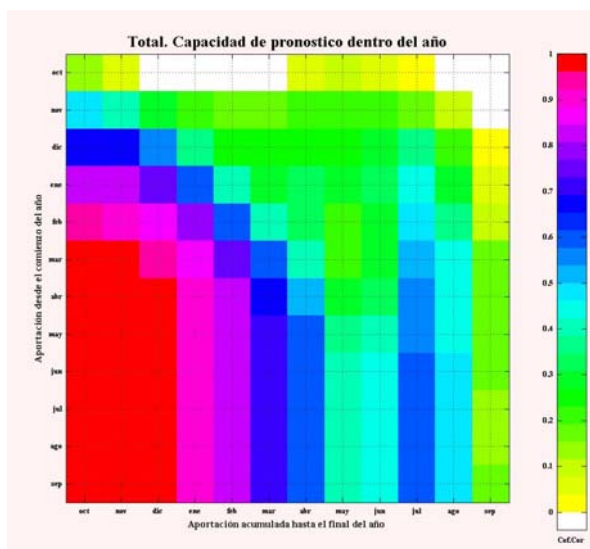
- Coeficientes de correlación de lluvia acumulada desde el comienzo del año hidrológico frente a lluvia hasta el final del año hidrológico.
- Coeficientes de correlación de aportación acumulada desde el comienzo del año hidrológico frente a aportación hasta el final del año hidrológico..

Se han calculado los coeficientes de correlación correspondientes a los valores medios de precipitación y aportación en cada zona hidrológica. Se presentan inicialmente los resultados agregados para el total de la cuenca y los resúmenes de los resultados obtenidos por zonas. A continuación, se presentan los resultados desagregados por zonas. Como puede apreciarse, la capacidad de pronóstico de precipitaciones del resto del año hidrológico a partir de lo sucedido desde el comienzo del año hidrológico es prácticamente nula. Sin embargo, en el caso de las aportaciones sí existe un cierto grado de correlación lineal, que alcanza un valor máximo entre los meses de enero y febrero, con coeficientes de correlación lineal superiores a 0,6. Asimismo, en las cuencas en las que el flujo de base de aguas subterráneas es importantes (cuencas del Alto Tajo, Guadiela, Tajuña, Henares y, en menor medida, Alberche), los coeficientes de correlación en verano son muy elevados.

Valores medios en la cuenca: Aportación

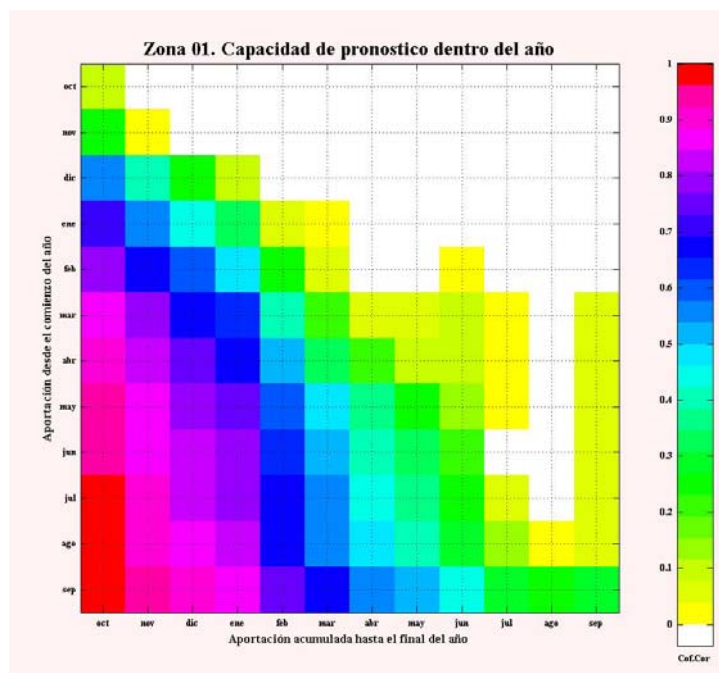


Valores medios en la cuenca: Aportación

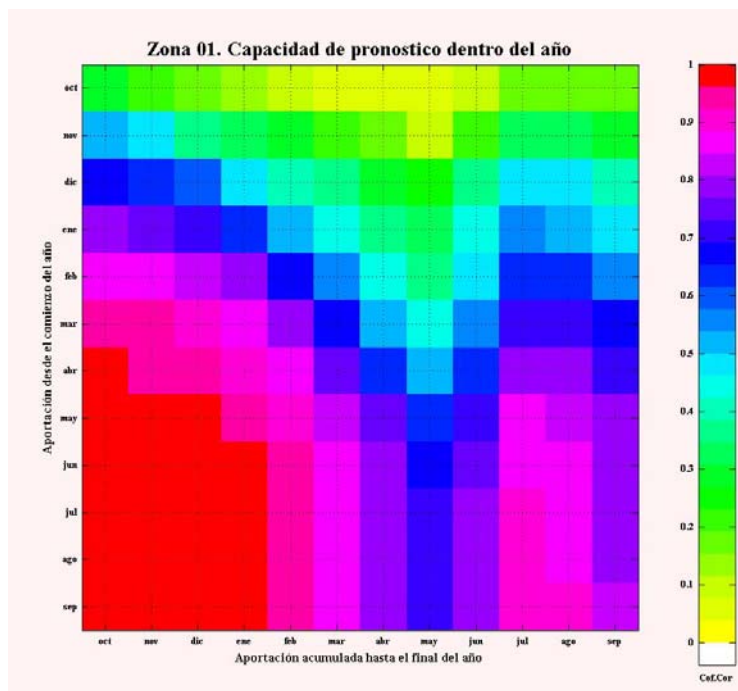


5.1.- Zona 1

5.1.1- Precipitación

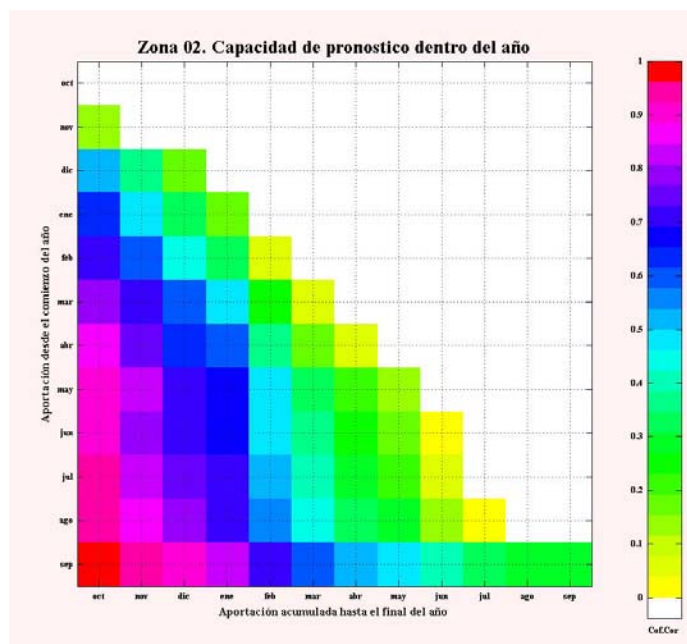


5.1.2.- Aportación

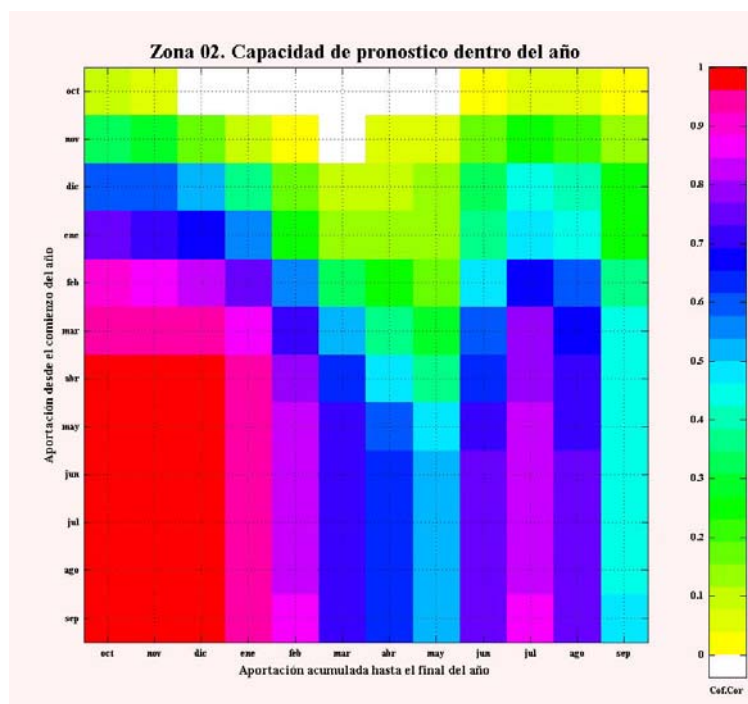


5.2.- Zona 2

5.2.1- Precipitación

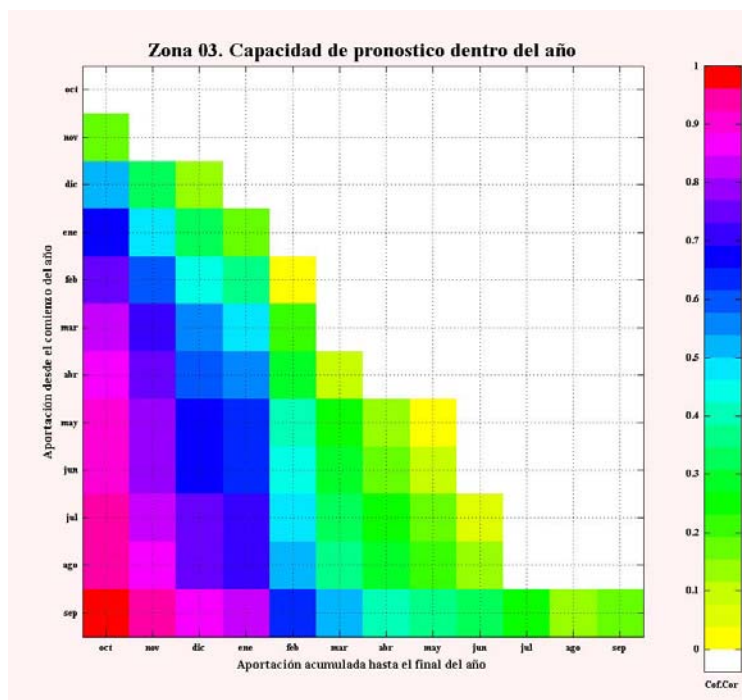


5.2.2.- Aportación

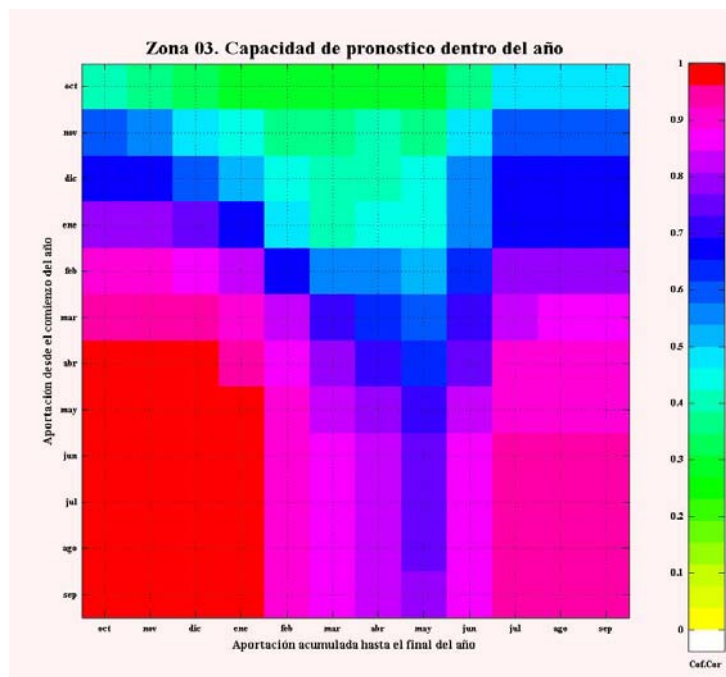


5.3.- Zona 3

5.3.1- Precipitación

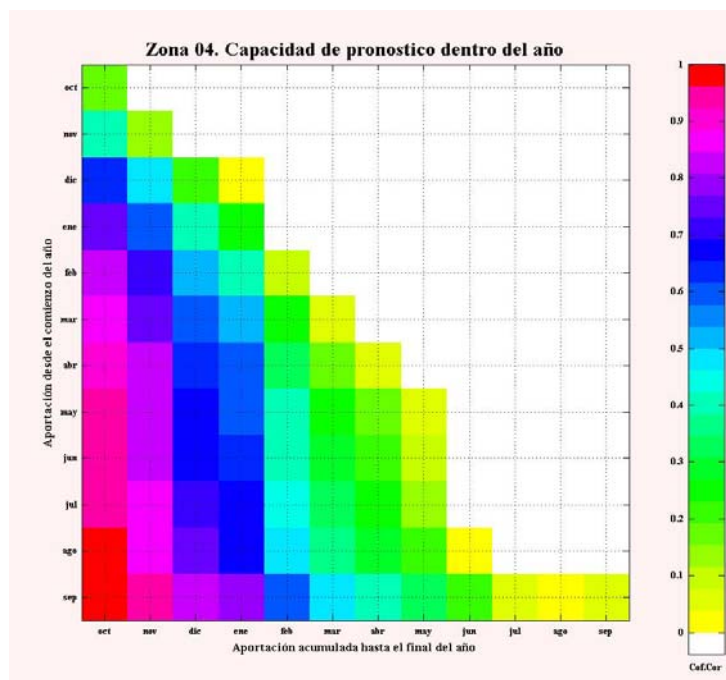


5.3.2.- Aportación

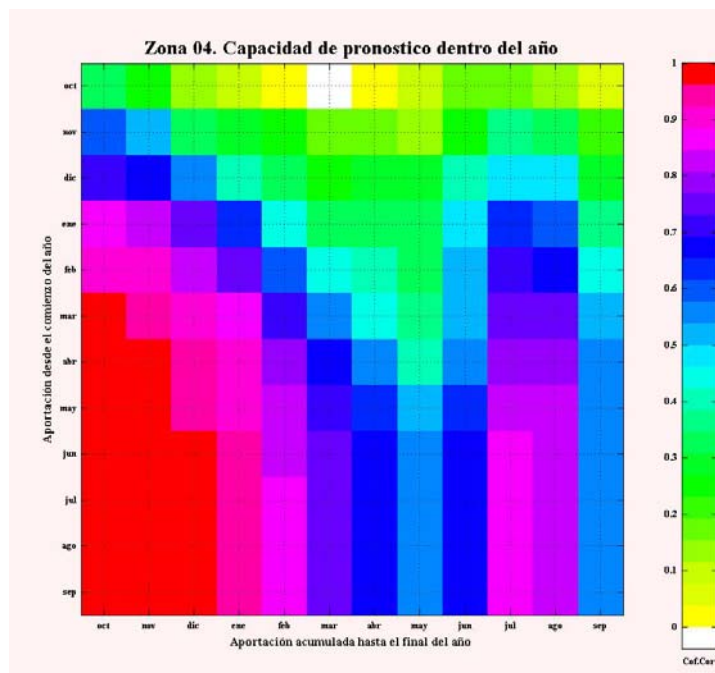


5.4.- Zona 4

5.4.1- Precipitación

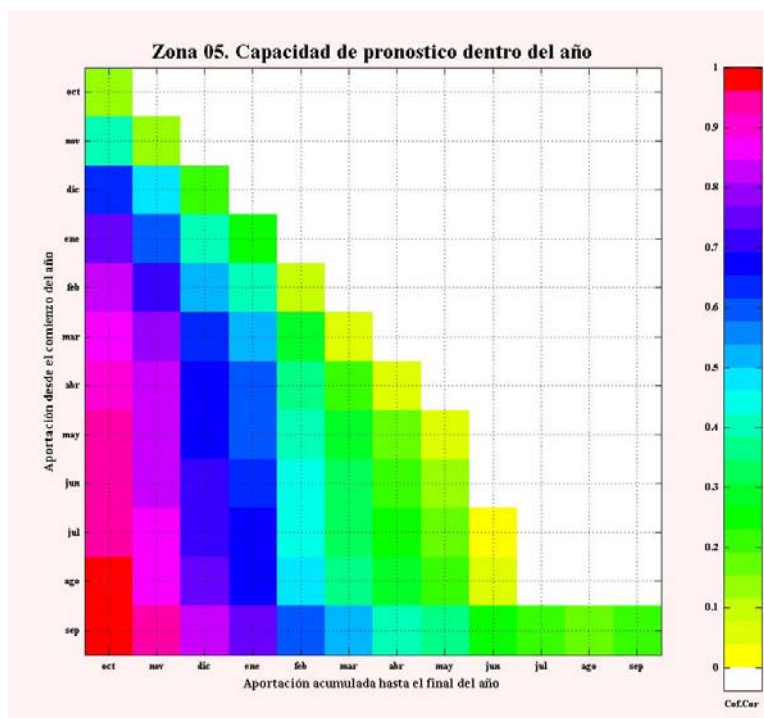


5.4.2.- Aportación

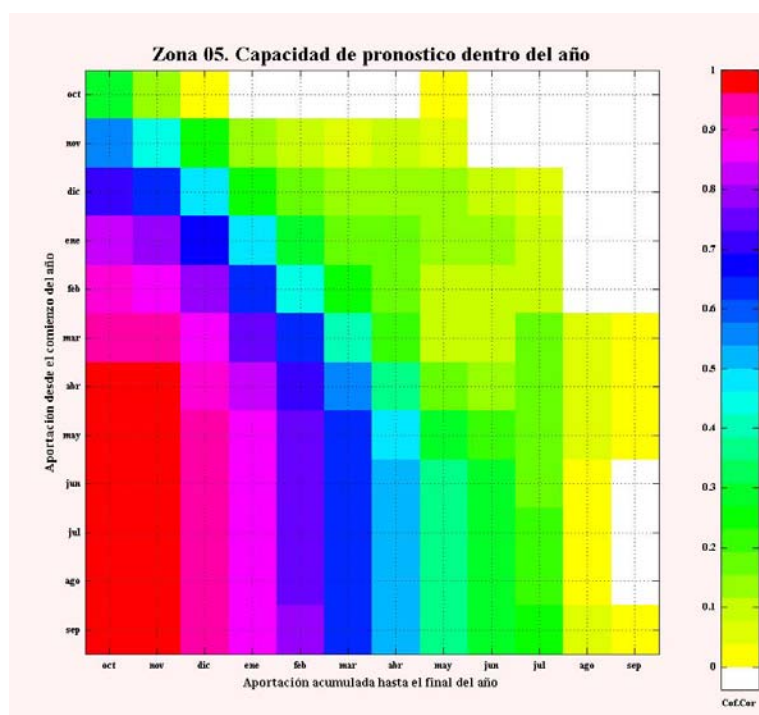


5.5.- Zona 5

5.5.1- Precipitación

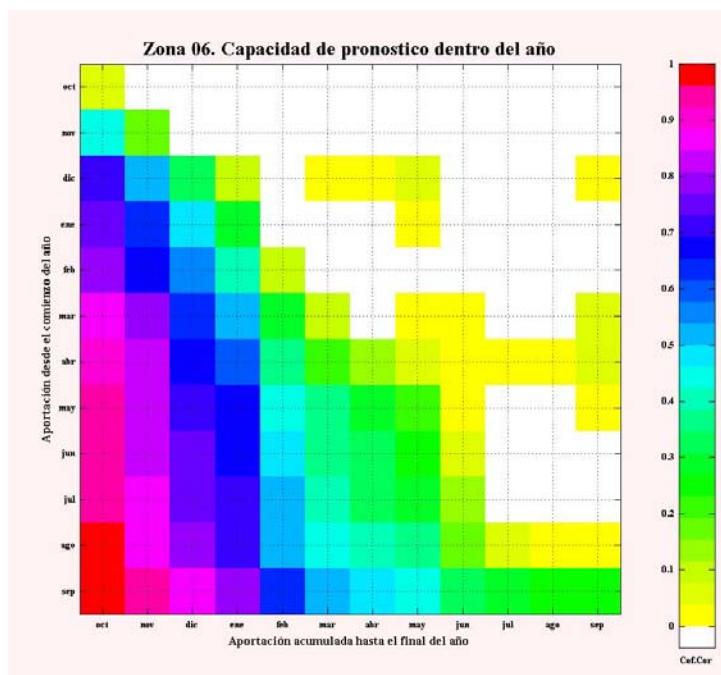


5.5.2.- Aportación

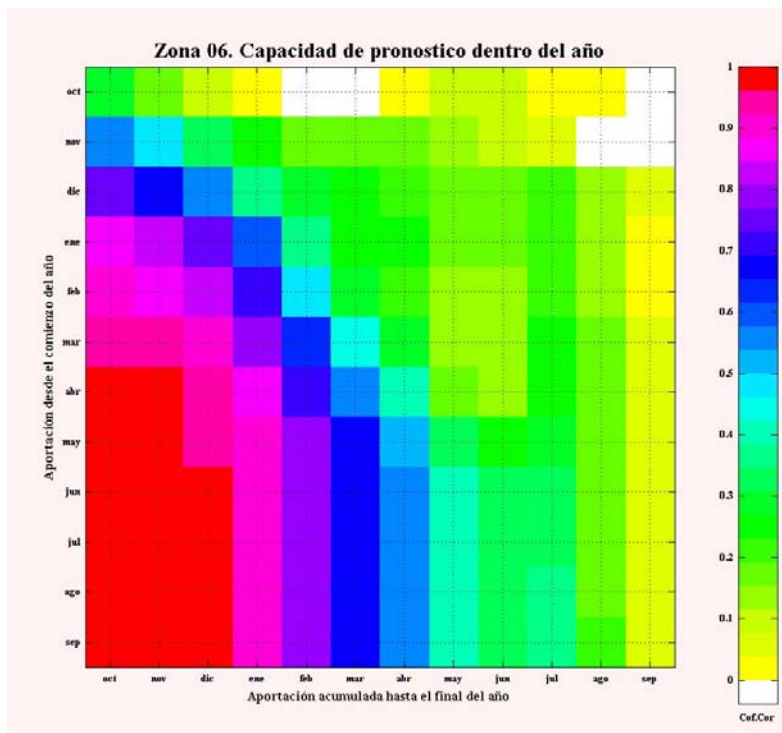


5.6.- Zona 6

5.6.1- Precipitación

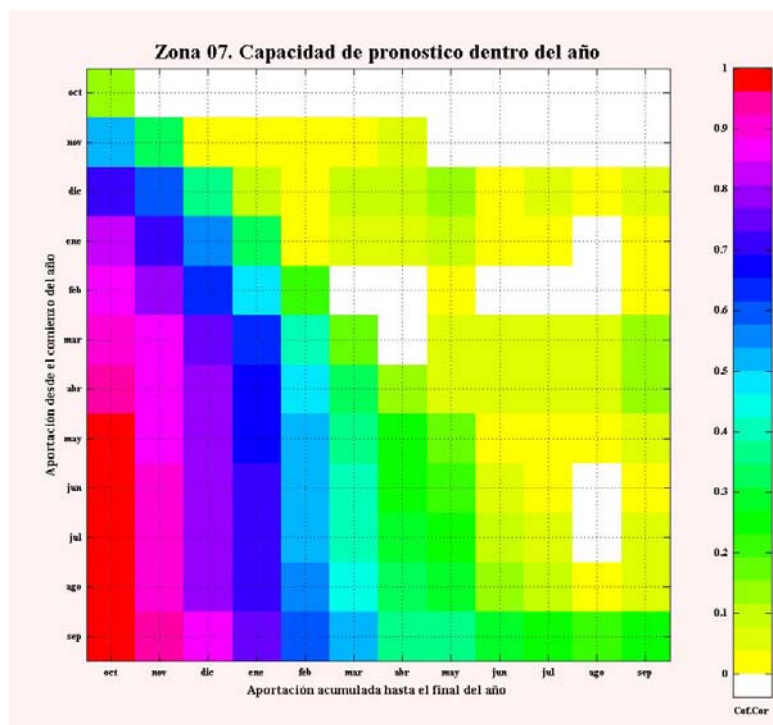


5.6.2.- Aportación

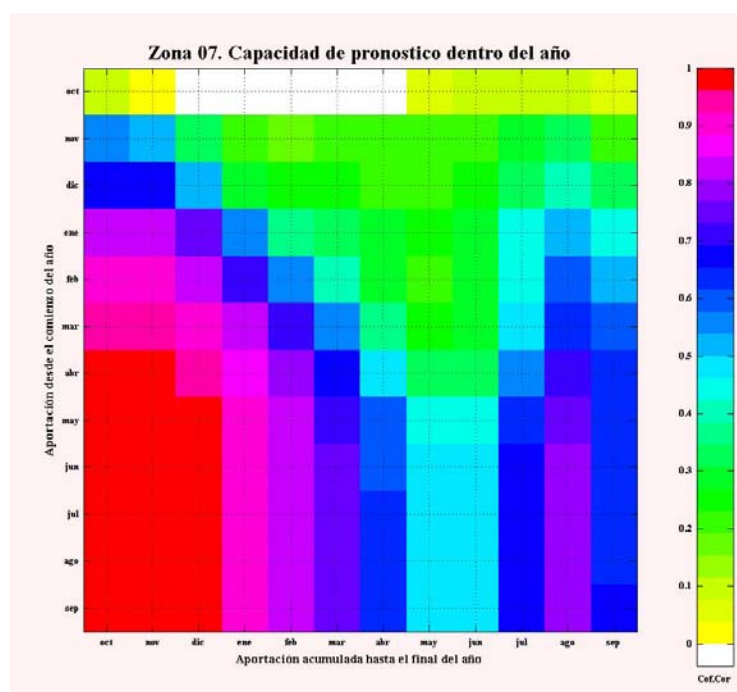


5.7.- Zona 7

5.7.1- Precipitación

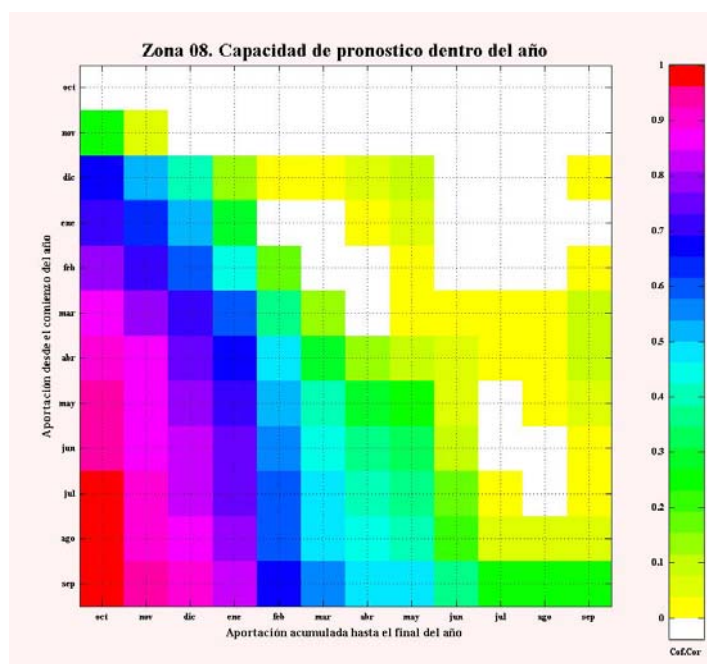


5.7.2.- Aportación

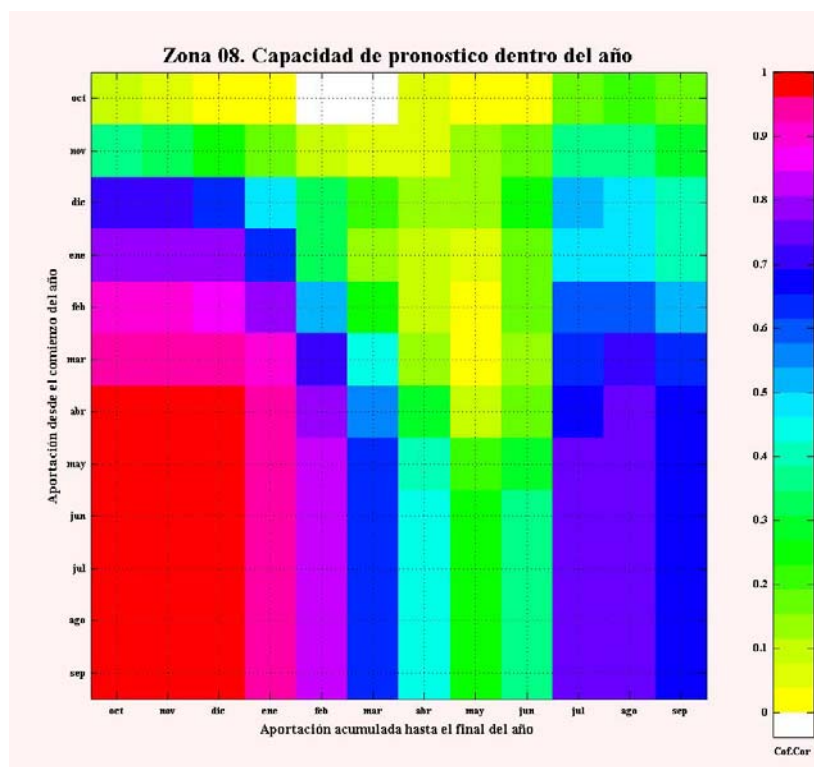


5.8.- Zona 8

5.8.1- Precipitación

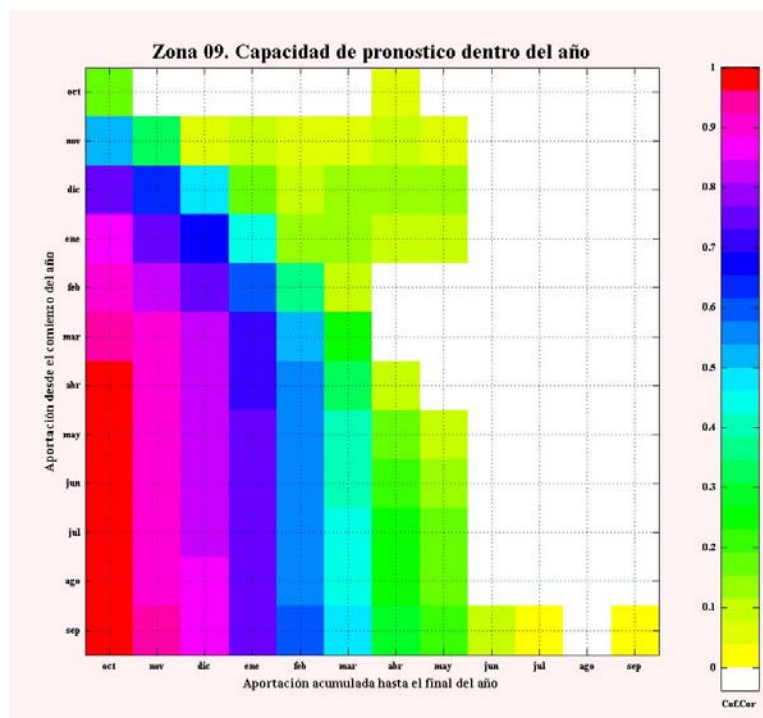


5.8.2.- Aportación

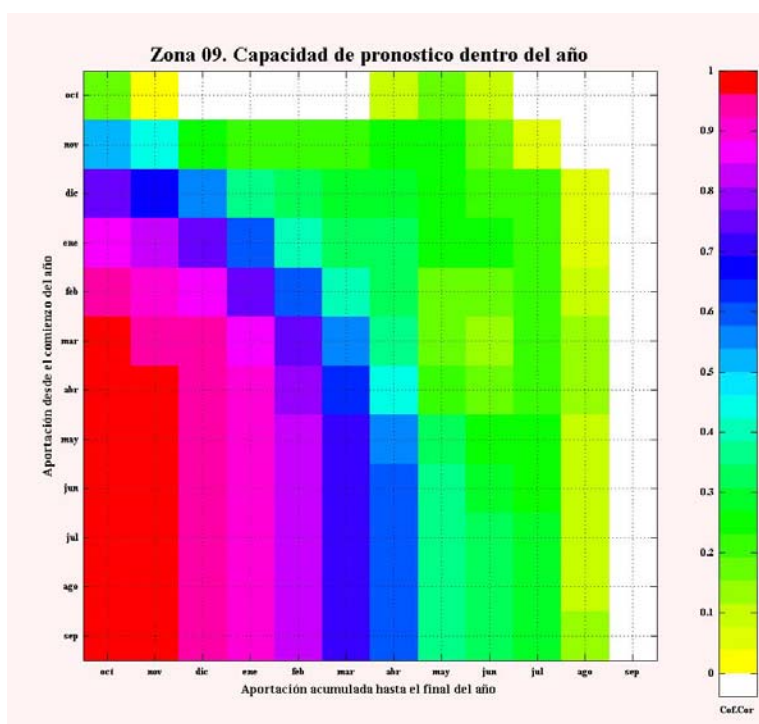


5.9.- Zona 9

5.9.1- Precipitación

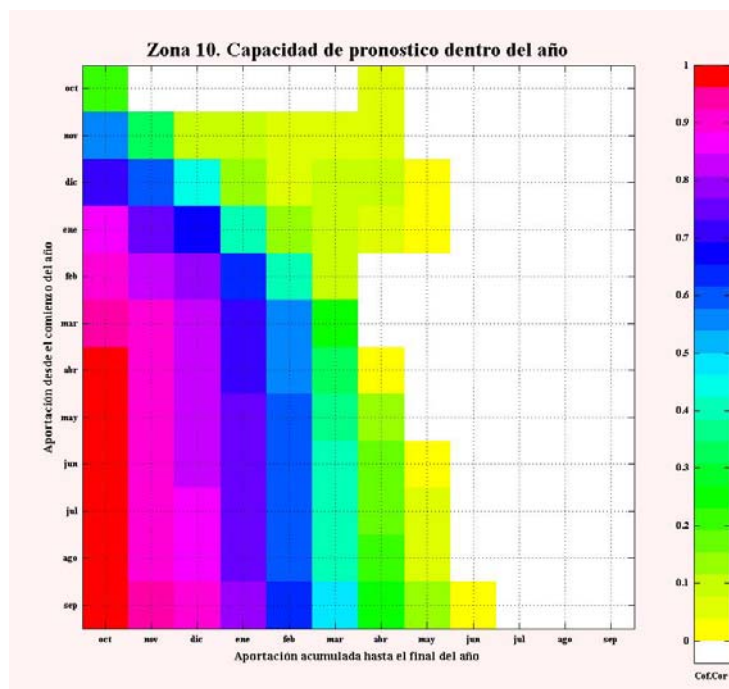


5.9.2.- Aportación

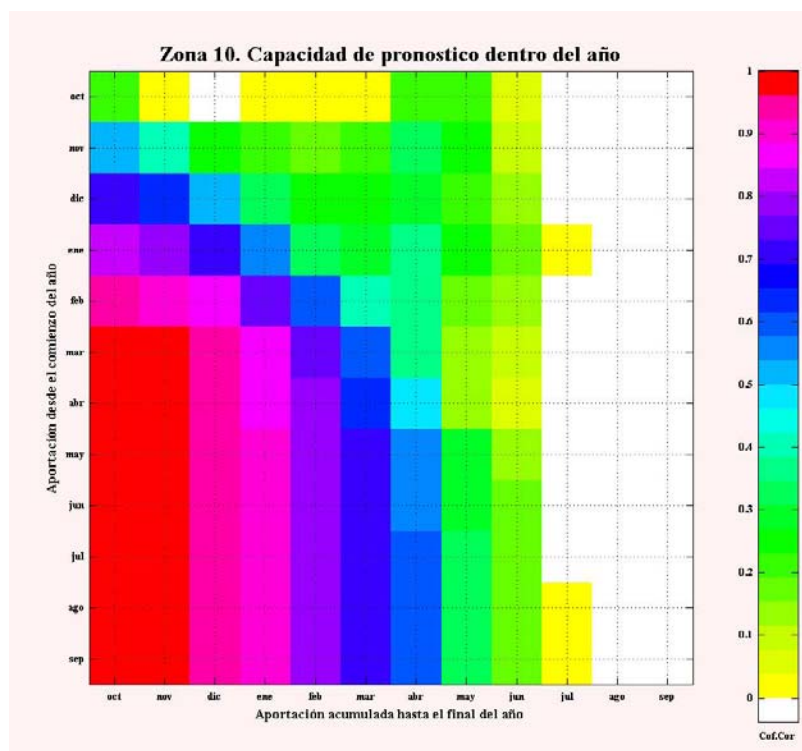


5.10.- Zona 10

5.10.1.- Precipitación

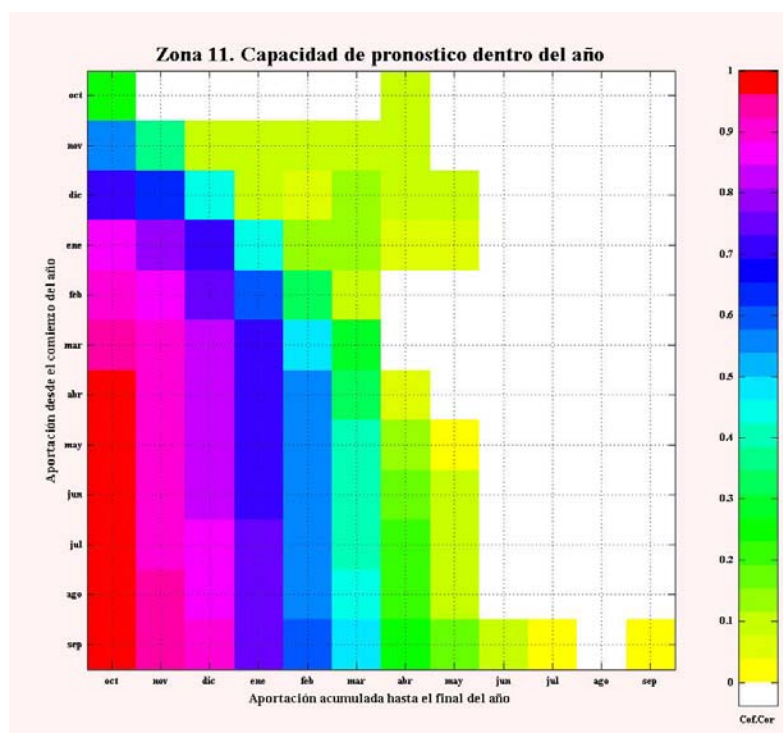


5.10.2.- Aportación

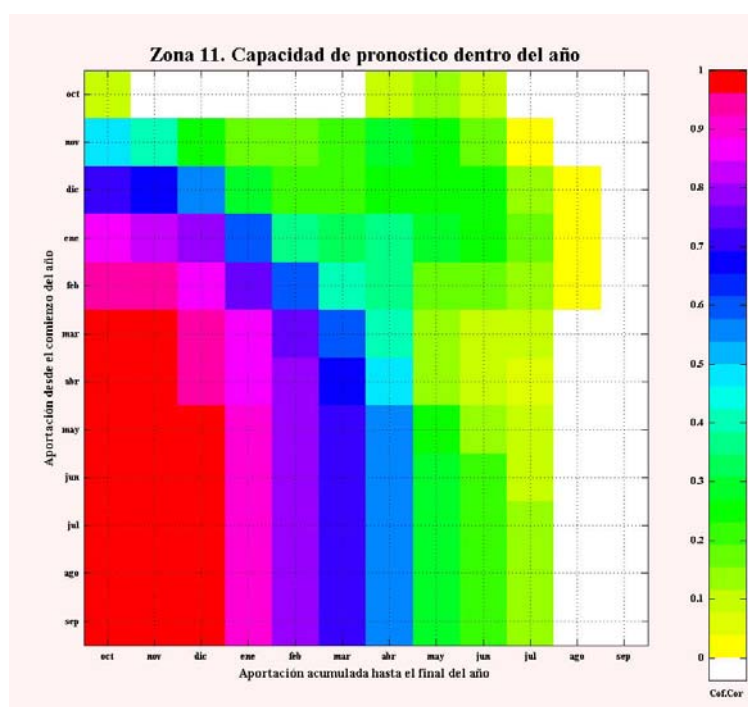


5.11.- Zona 11

5.11.1.- Precipitación

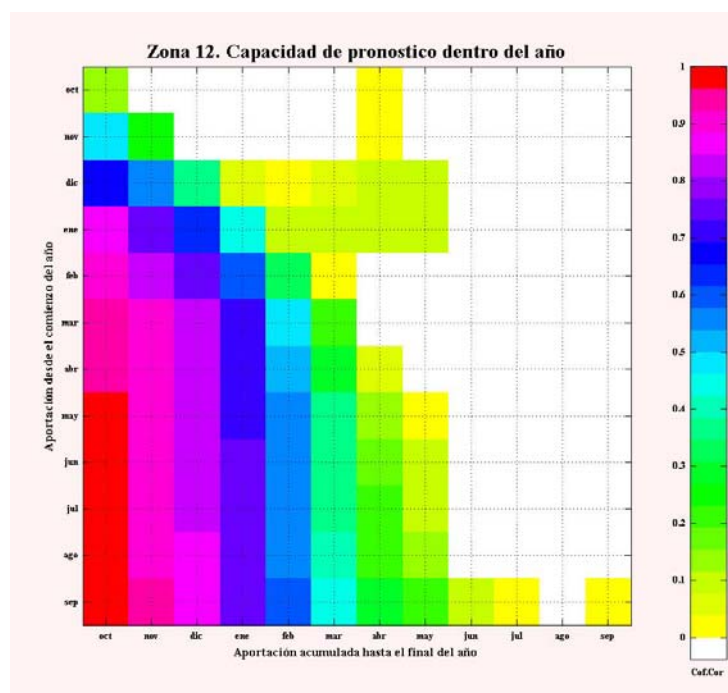


5.11.2.- Aportación

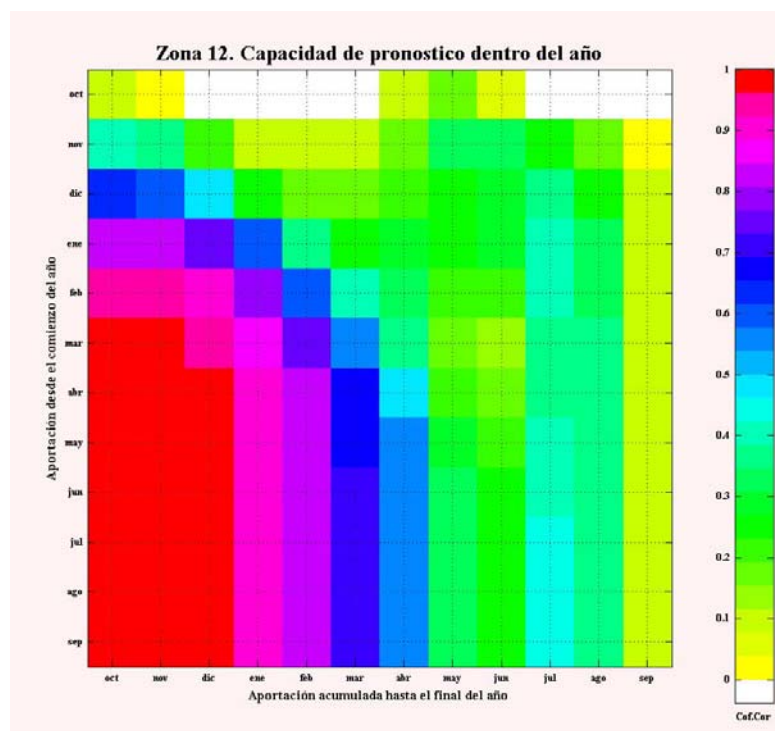


5.12.- Zona 12

5.12.1.- Precipitación

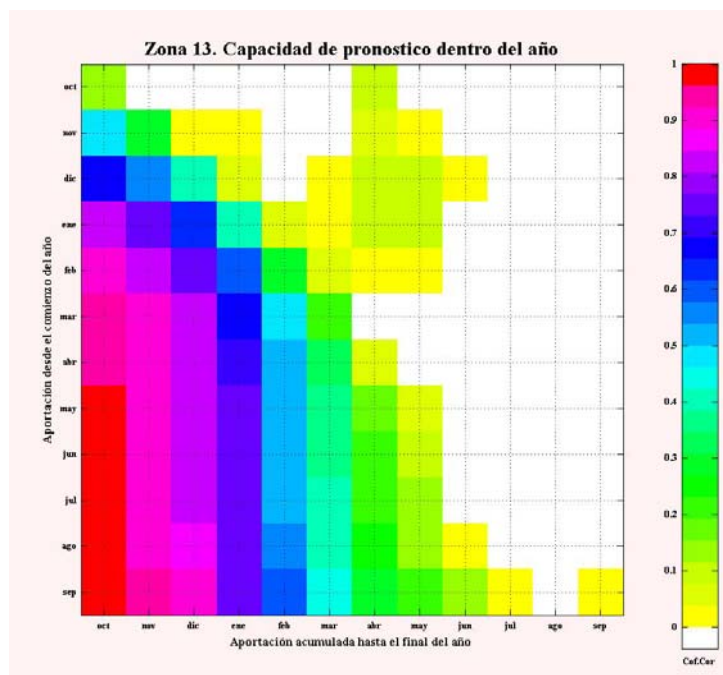


5.12.2.- Aportación

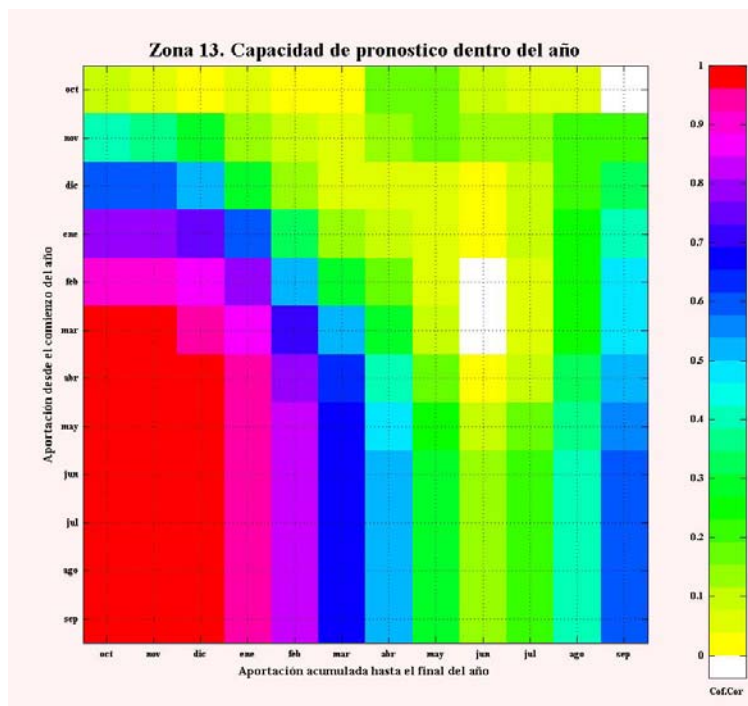


5.13.- Zona 13

5.13.1.- Precipitación

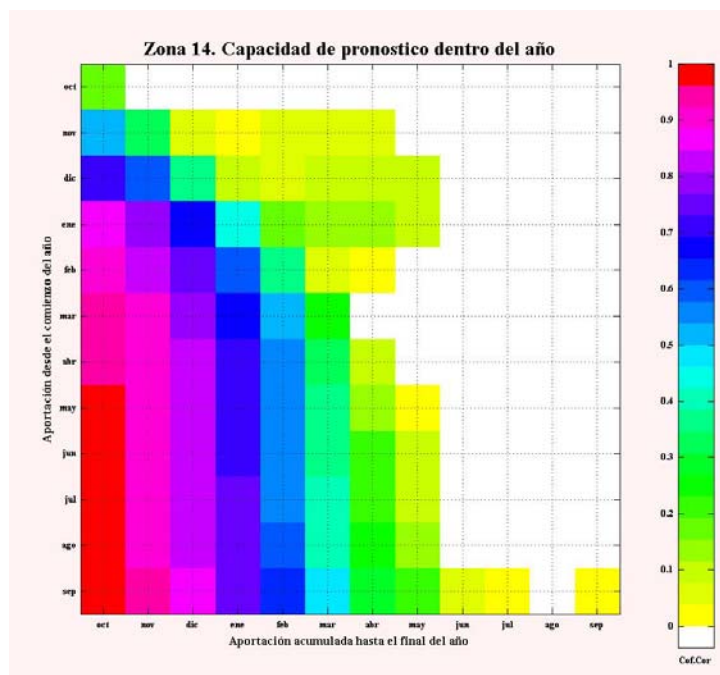


5.13.2.- Aportación

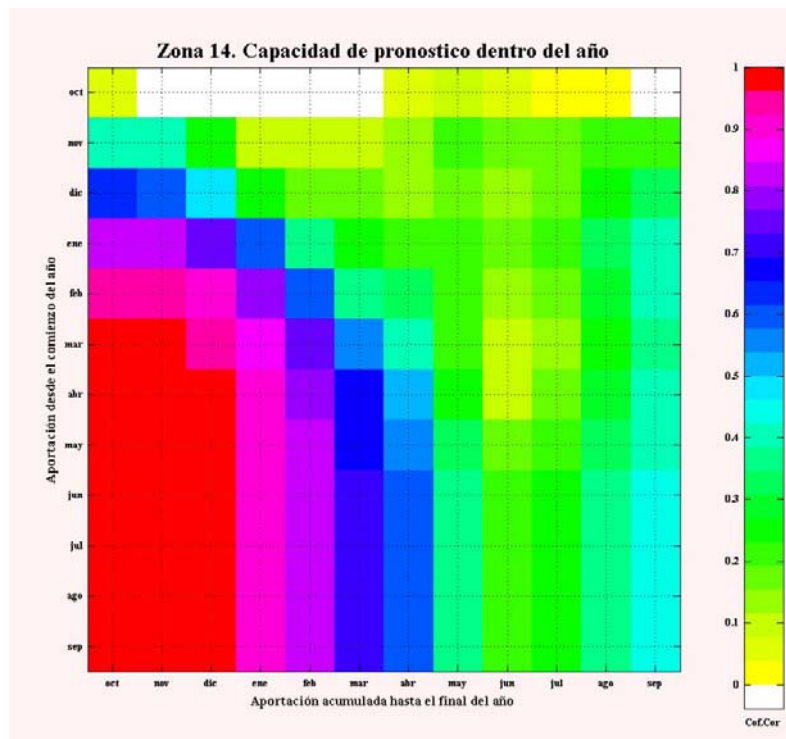


5.14.- Zona 14

5.14.1.- Precipitación



5.14.2.- Aportación



APÉNDICE II.3

ANÁLISIS DE ÍNDICES DE SEQUÍA

Apéndice II.3.- Análisis de índices de sequía

Índice

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
2.- SEQUÍAS METEOROLÓGICAS	2
3.- SERIES DE RACHAS DE SPI	5
4.- SEQUÍAS HIDROLÓGICAS.....	34
5.- SERIES DE RACHAS DE DESVIACIONES CON RELACIÓN A LA MEDIA	34
6.- SEQUÍA DE DISPONIBILIDAD DE RECURSOS	63
7.- SERIES DE RACHAS DE SEQUÍA EN EL ÍNDICE SWSI.....	65
7.1.- Componentes	65
7.2.- Global	67

1.- INTRODUCCIÓN

En este anejo se presenta el estudio de las sequías históricas registradas en la cuenca del Tajo, analizadas siguiendo tres criterios diferentes: sequía de precipitación, sequía de aportación y sequía de recursos disponibles.

Para el estudio de las sequías se han utilizado índices de sequía documentados en la literatura científica y técnica, ya que, de esta manera, se puede disponer de una referencia de comparación con otros climas y situaciones de explotación de recursos. Se han seleccionado tres índices:

- índice de precipitación estandarizada, SPI
- desviaciones con relación a la media, DESV
- índice de recursos superficiales, SWSI

Estos tres índices están ampliamente documentados en la literatura y se utilizan de manera sistemática como indicadores de sequía en muchas regiones del mundo. La utilización de índices de sequía permite agregar en un único valor una multiplicidad de datos dispares, lo que facilita la interpretación de la información y la toma de decisiones.

El índice SPI es un indicador de sequía meteorológica, ya que únicamente tiene en cuenta la precipitación en la cuenca. La desviación de aportaciones con respecto a la media es un indicador de sequía hidrológica. El índice SWSI es un indicador de sequía operacional, ya que tiene en cuenta las reservas en los sistemas de explotación. Estos tres índices son complementarios, ya que el SPI permite identificar las sequías en un estado incipiente, la desviación de aportaciones caracteriza la sequía de aportaciones, mientras que el SWSI describe mejor la situación real de sequía en una cuenca regulada.

2.- SEQUÍAS METEOROLÓGICAS

El índice de precipitación estandarizada (Standardized Precipitation Index, SPI) mide el déficit de precipitación en una cuenca en distintas escalas temporales.

El cálculo del SPI se basa en el registro histórico de precipitaciones en un emplazamiento. La muestra de valores de precipitación se ajusta a una función de distribución de probabilidad teórica y, posteriormente, se realiza una transformación que permita obtener una distribución normal centrada en la mediana del registro histórico de precipitaciones con desviación típica unidad. El valor del SPI se obtiene a partir de la precipitación observada, calculando su valor normalizado.

La tabla siguiente muestra la clasificación de episodios en función del valor de SPI.

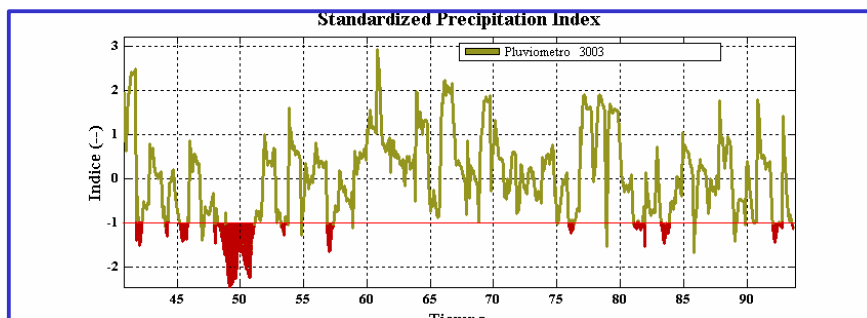
TABLA 1.- CLASIFICACIÓN DE EPISODIOS	
VALOR SPI	CLASIFICACIÓN PERIODO
2,0 y mayor	Extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	Muy húmedo
1,0 a 1,49	Moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	Normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Muy seco
-2,0 y menor	Extremadamente seco

Un episodio de sequía se define como un periodo en el que el índice SPI es continuamente negativo y alcanza el valor -1 o inferior. El episodio comienza cuando el SPI se hace negativo y finaliza cuando se recupera el valor positivo. La intensidad mensual de la sequía es el valor del SPI y su magnitud es la suma acumulada del índice SPI.

INDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADA

SPI: Desviaciones de la variable estándar normalizada

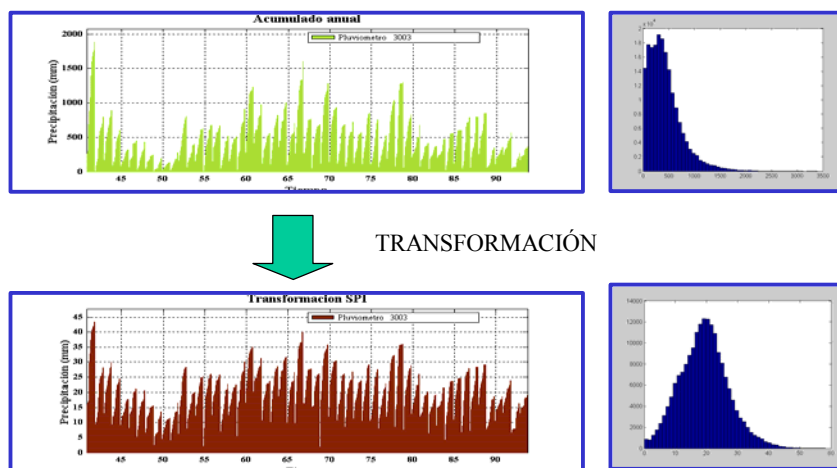
CRITERIO: Se considera sequía valores del SPI inferiores a 1 durante más de seis meses consecutivos



Se ha adoptado la transformación $P_n = P^{1/2}$, que permite obtener una distribución simétrica próxima a la normal.

INDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADA

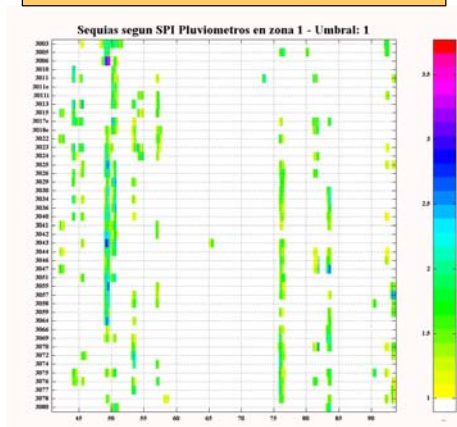
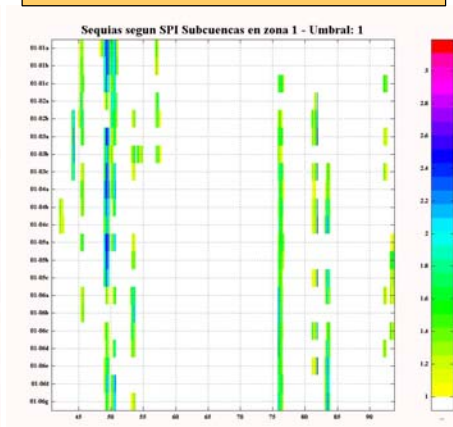
Transformación para conseguir distribución marginal normal



El valor del SPI se ha calculado para las series de lluvia registradas en las 296 estaciones pluviométricas con datos y para las series de precipitación media en las 216 subcuencas de la zonificación hidrológica.

INDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADA

Sequías según el SPI

SPI EN PLUVIÓMETROS**SPI EN SUBCUENCAS**

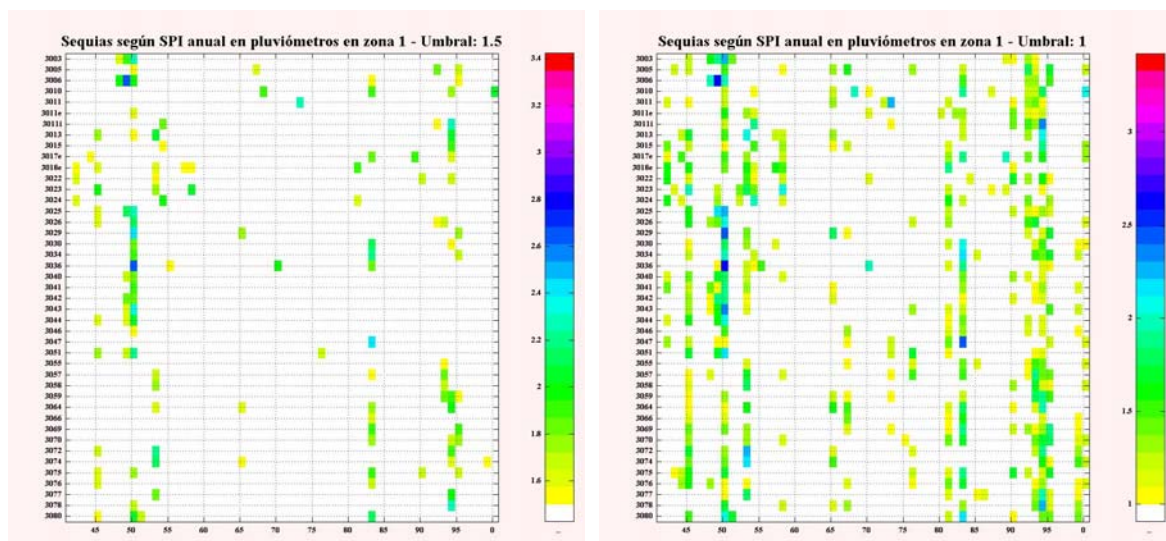
3.- SERIES DE RACHAS DE SPI

A continuación se presentan los gráficos correspondientes a las sequías identificadas en cada una de las 14 zonas de la cuenca según el indicador SPI. Se ha realizado el análisis en dos escalas temporales: anual y mensual. En cada una de ellas se han analizado las sequías en pluviómetros y en subcuencas.

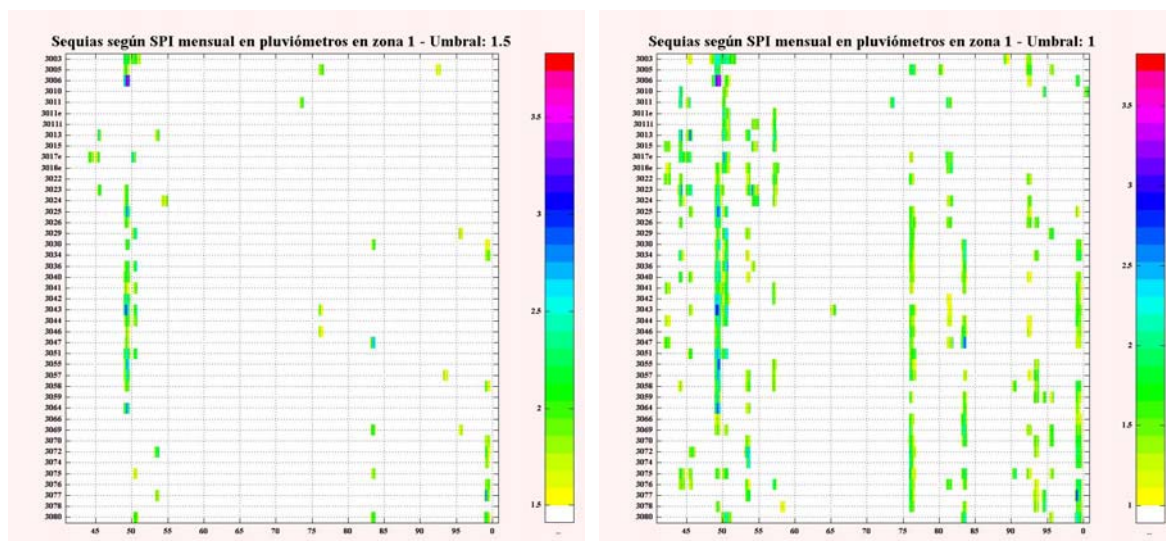
- Los gráficos de la izquierda corresponden a sequías en las que el SPI alcanza un valor de -1,5 o inferior. En el caso de análisis mensual únicamente se han considerado rachas de 6 o más meses de duración.
- Los gráficos de la izquierda corresponden a sequías en las que el SPI alcanza un valor de -1,0 o inferior. En el caso de análisis mensual únicamente se han considerado rachas de 6 o más meses de duración.

3.1.- Zona 1

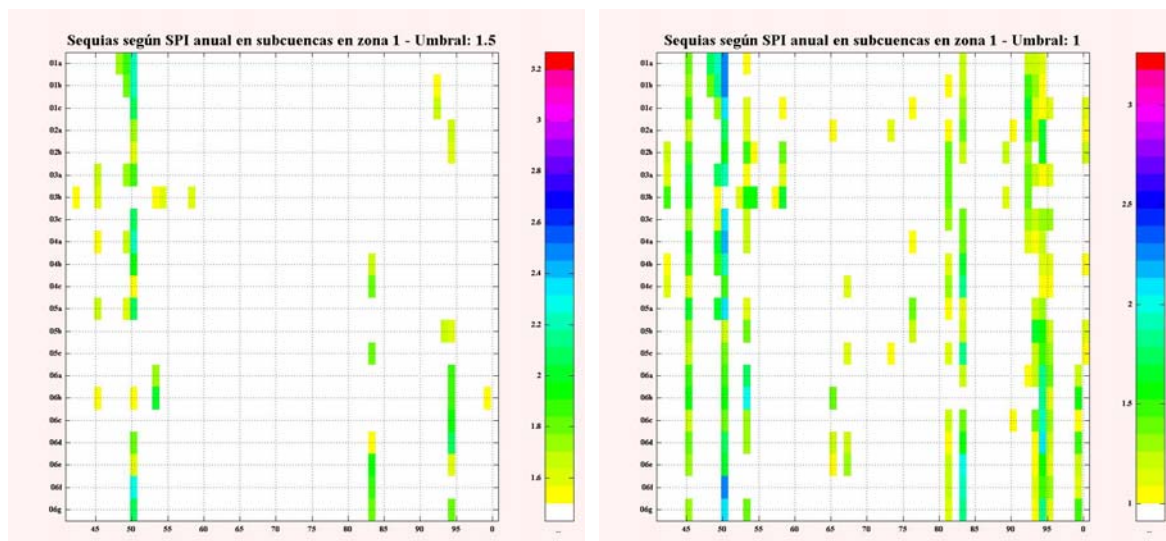
3.1.1. Anual pluviómetros



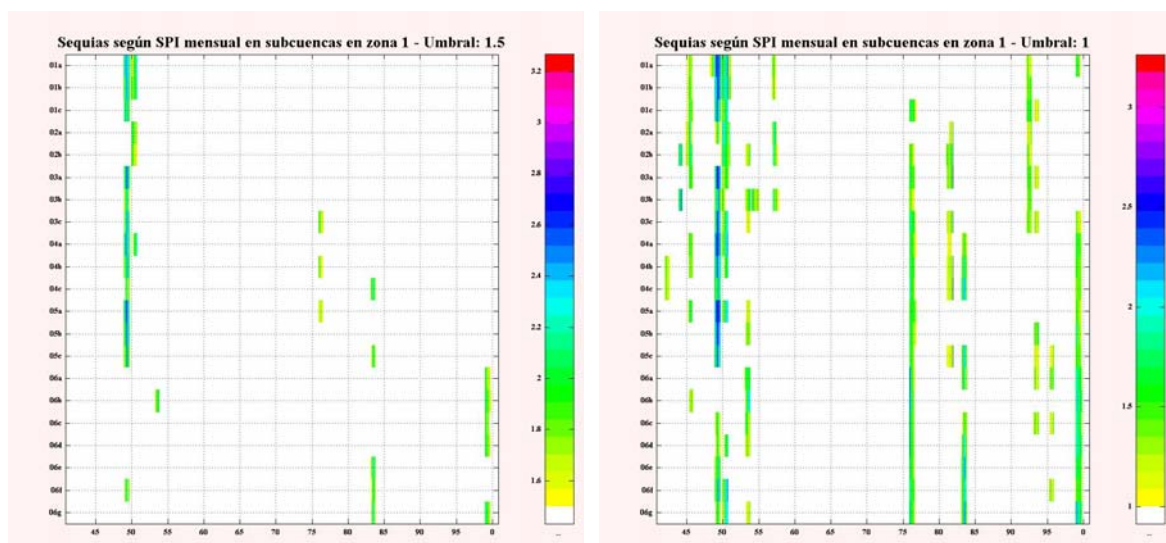
3.1.2.- Mensual pluviómetros



3.1.3.- Anual subcuencas

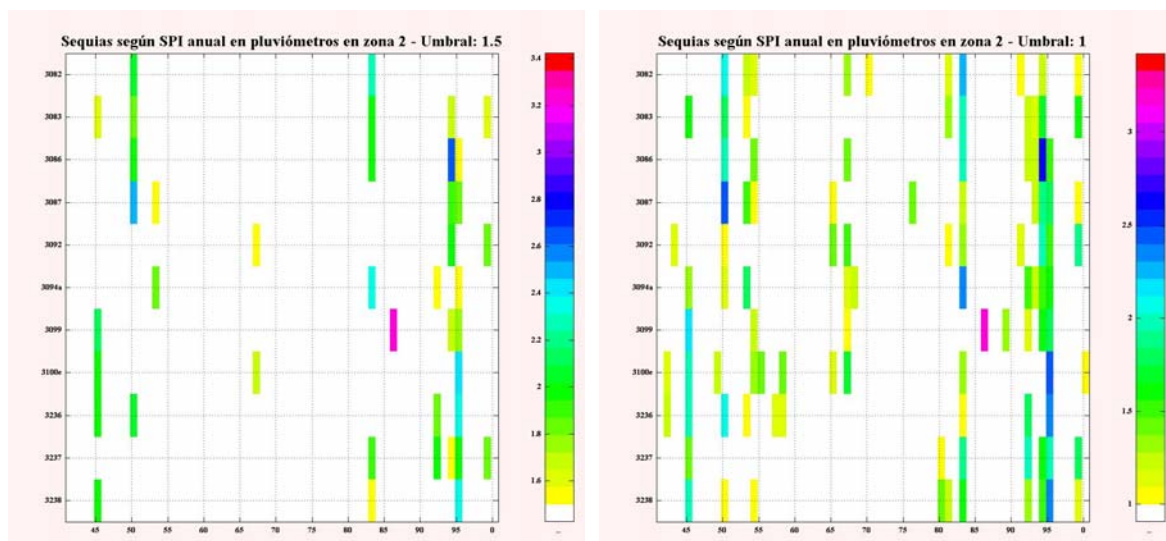


3.1.4.- Mensual subcuencas

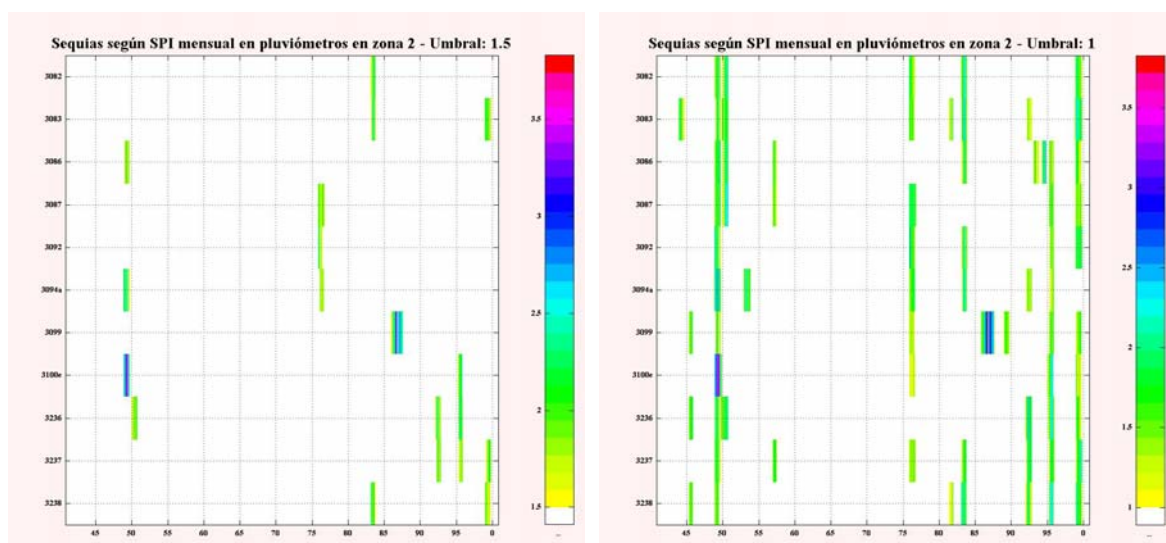


3.2.- Zona 2

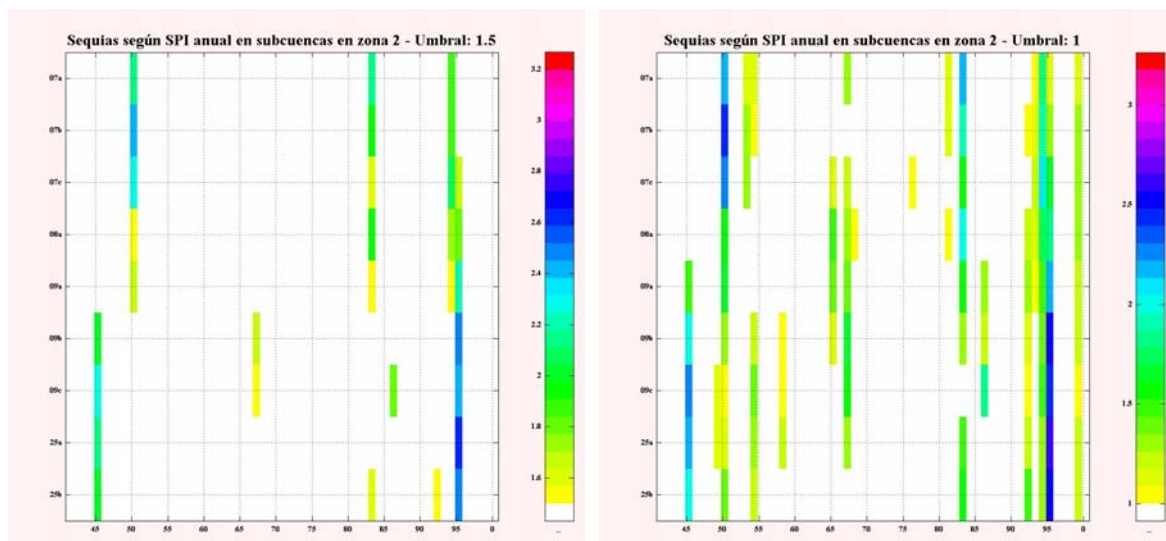
3.2.1. Anual pluviómetros



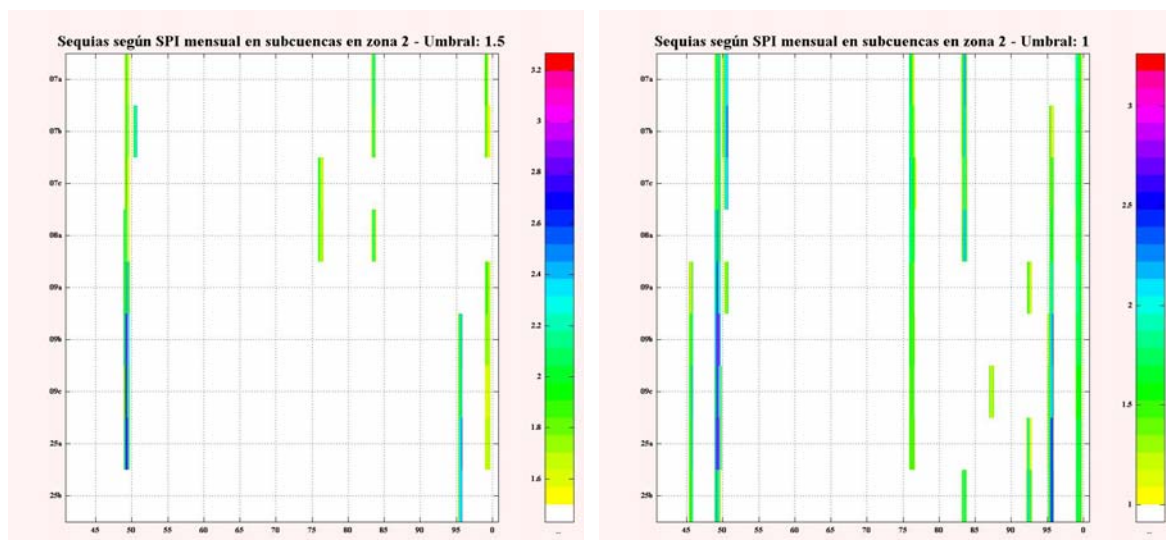
3.2.2.- Mensual pluviómetros



3.2.3.- Anual subcuencas

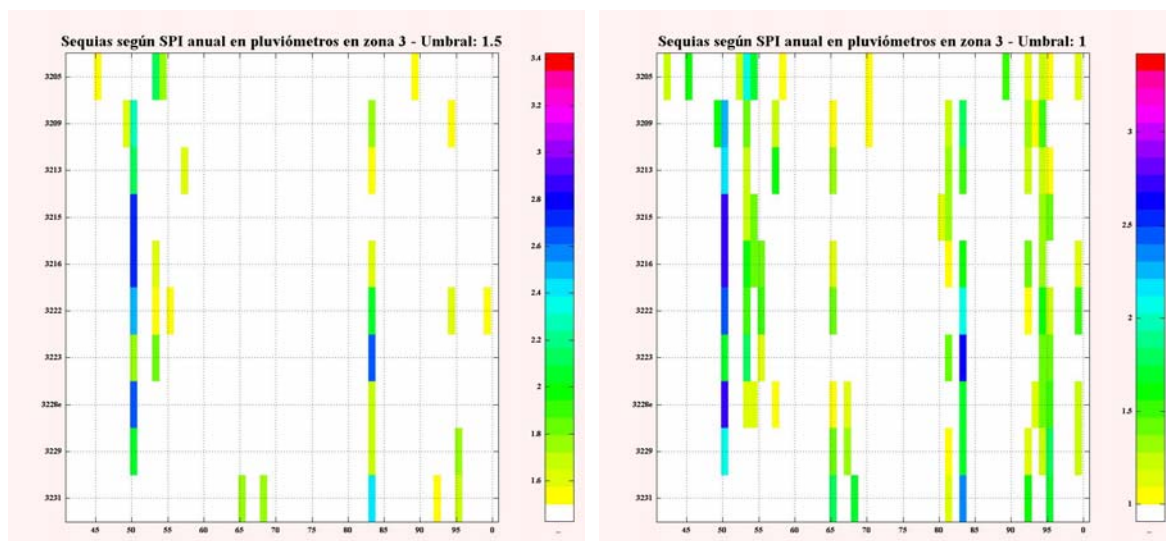


3.2.4.- Mensual subcuencas

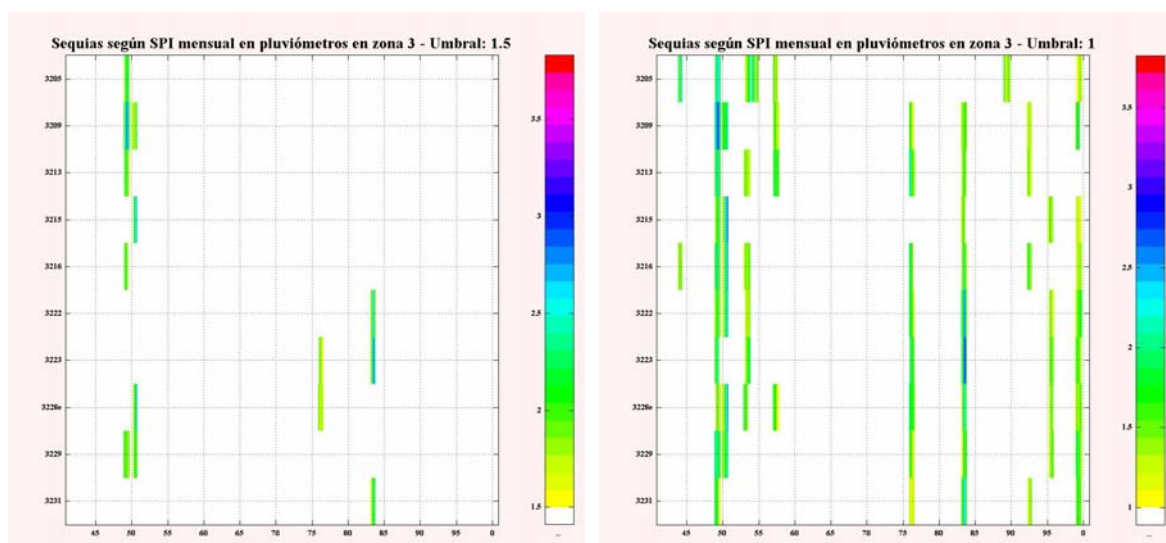


3.3.- Zona 3

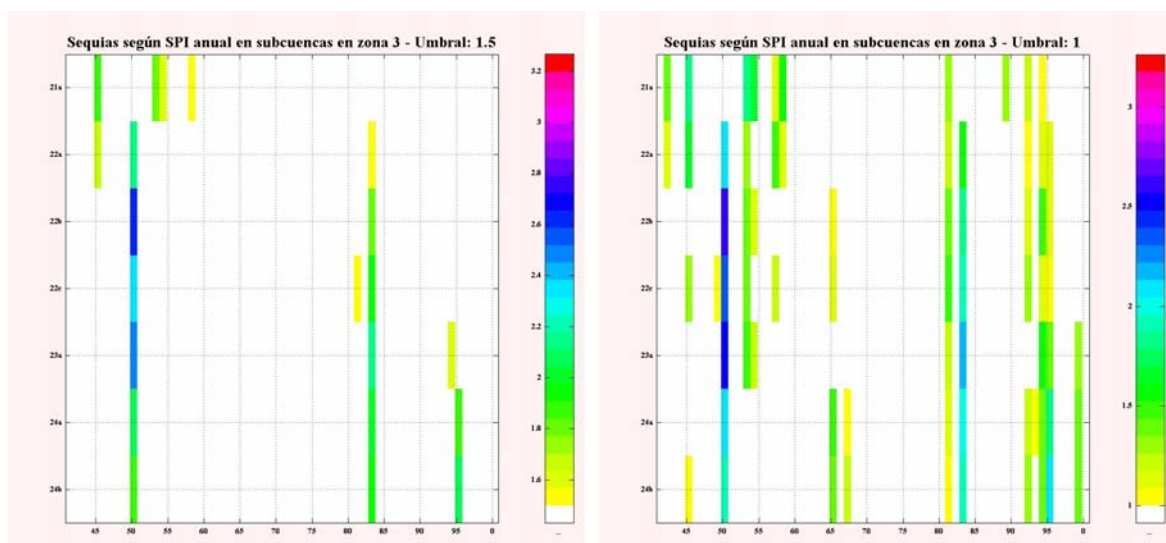
3.3.1. Anual pluviómetros



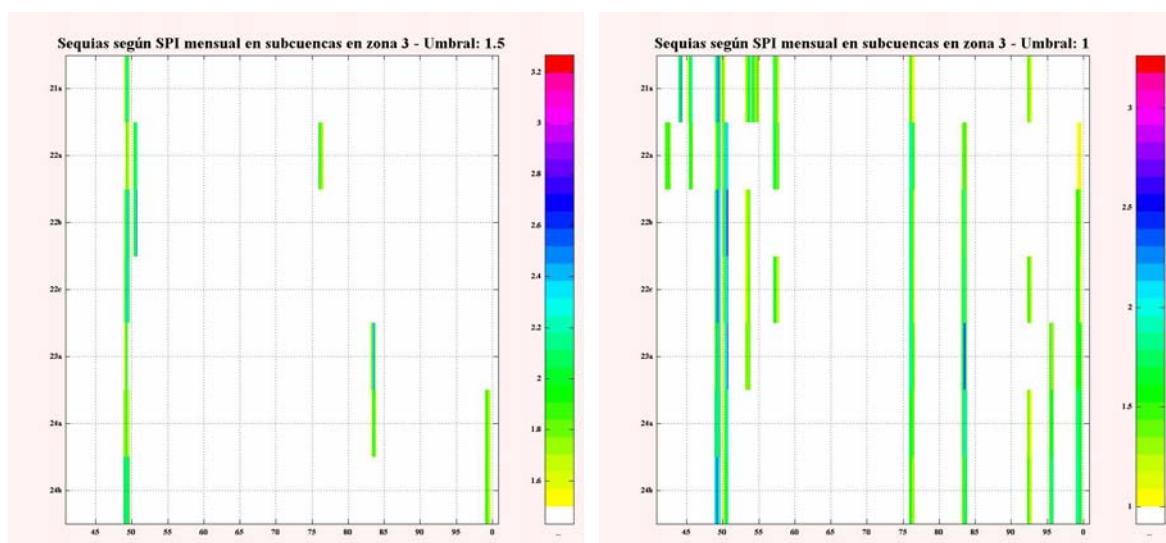
3.3.2.- Mensual pluviómetros



3.3.3.- Anual subcuencas

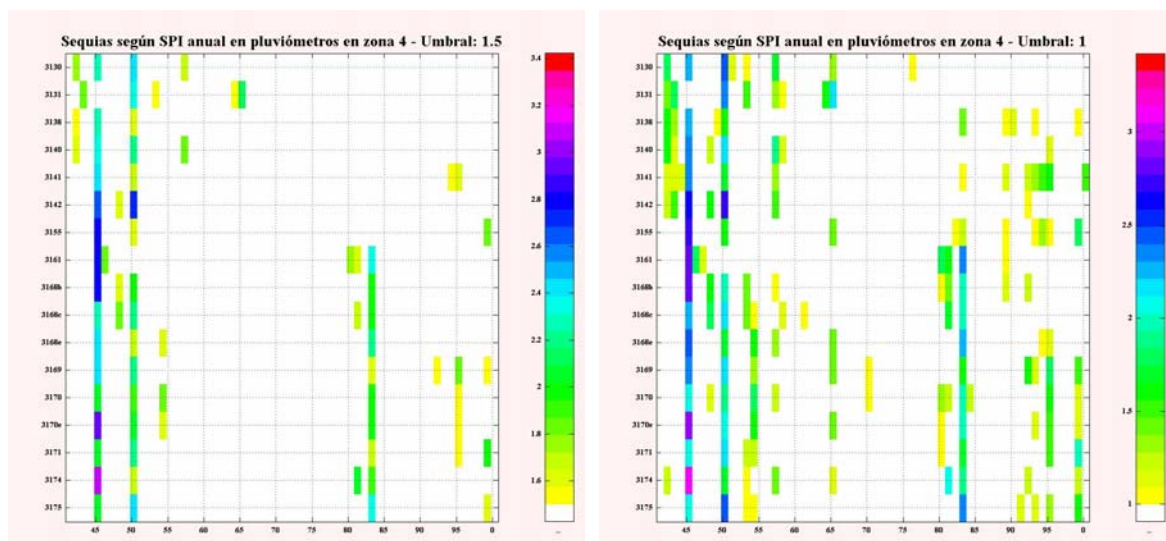


3.3.4.- Mensual subcuencas

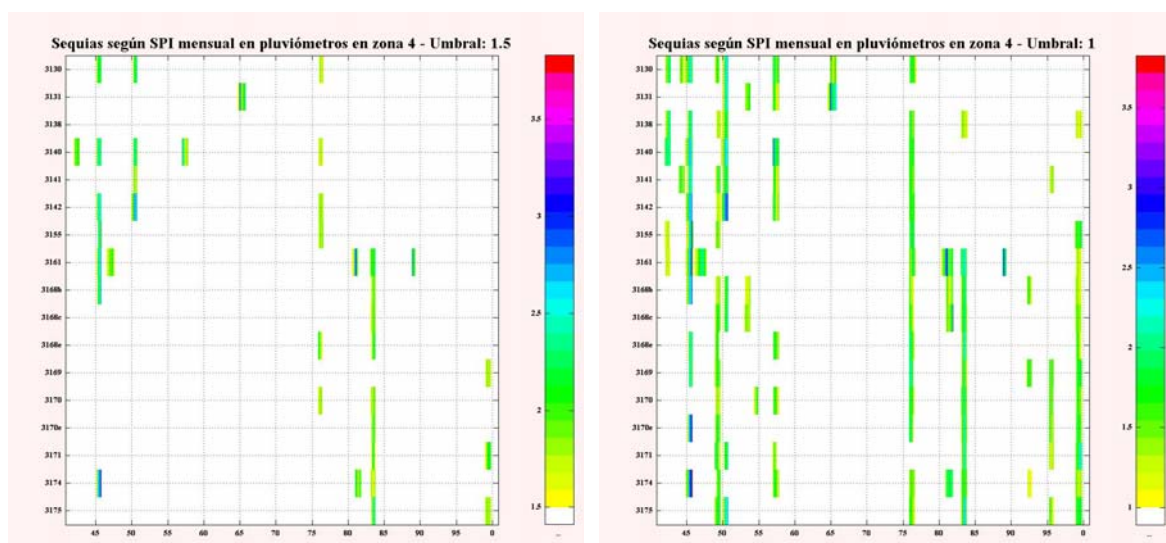


3.4.- Zona 4

3.4.1. Anual pluviómetros

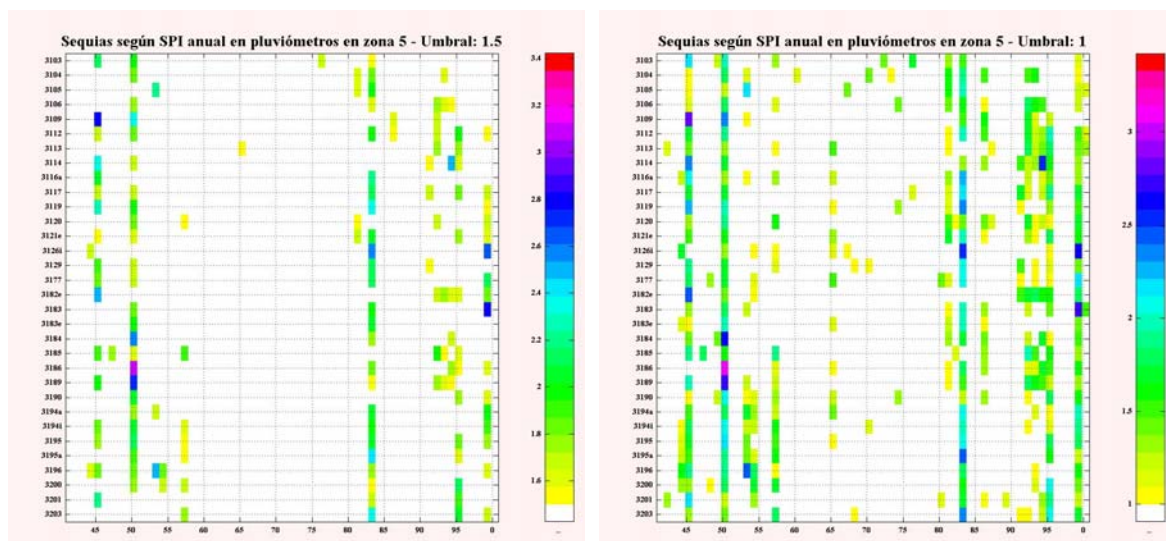


3.4.2.- Mensual pluviómetros

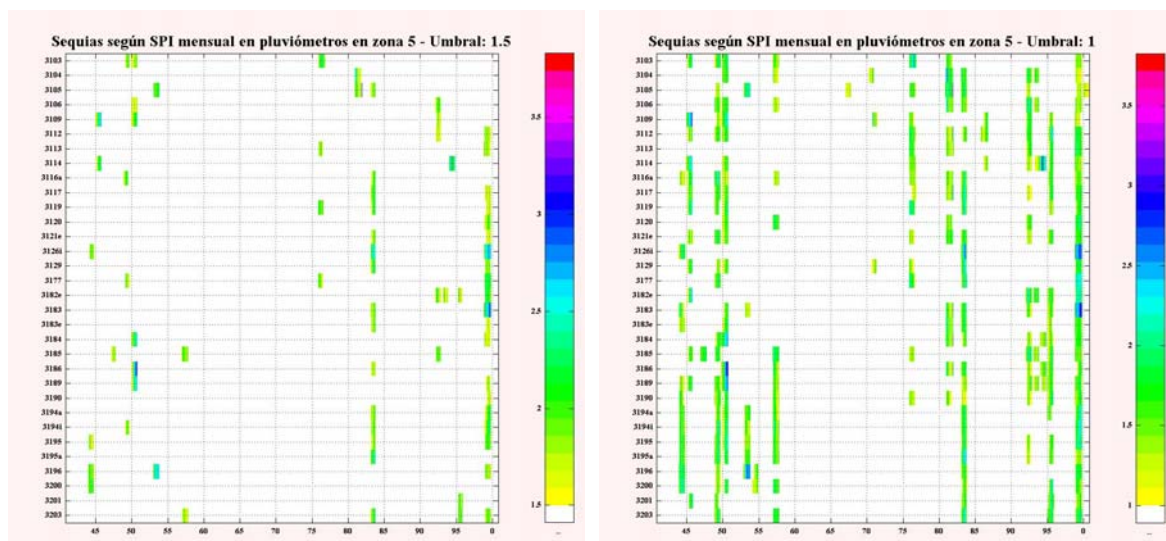


3.5.- Zona 5

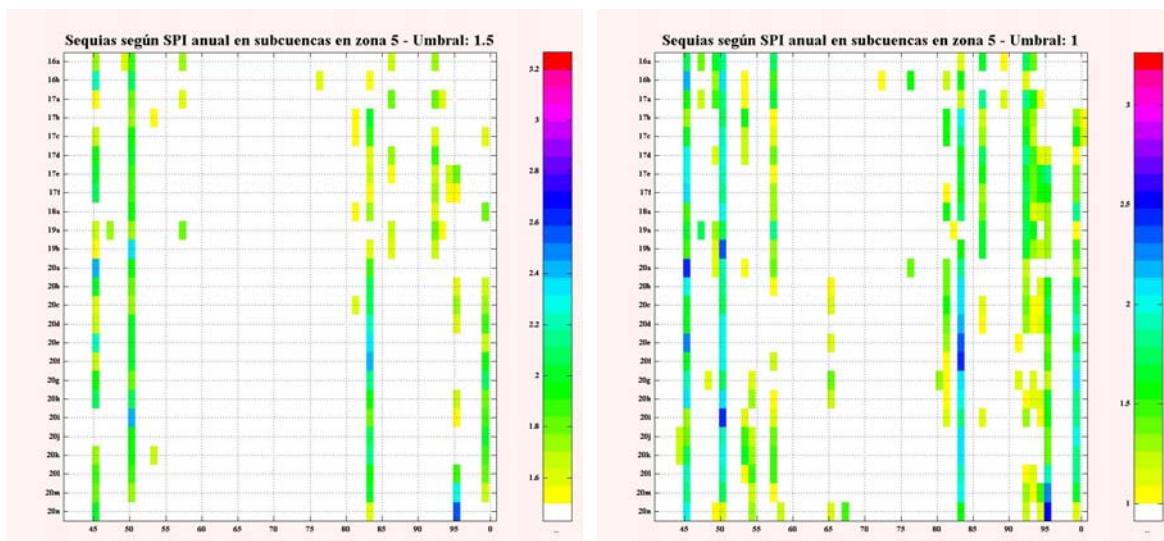
3.5.1. Anual pluviómetros



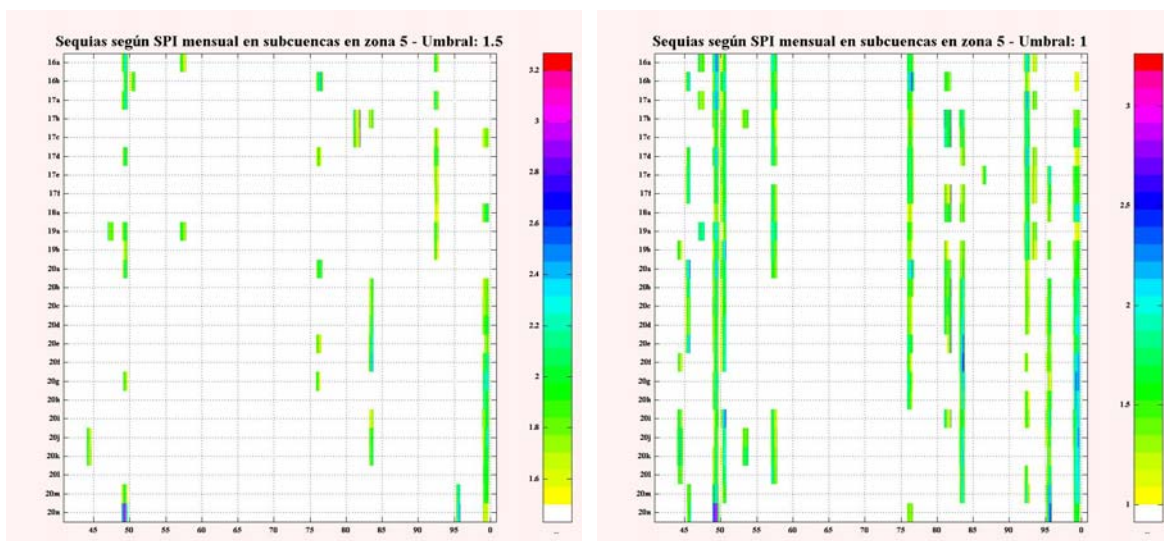
3.5.2.- Mensual pluviómetros



3.5.3.- Anual subcuencas

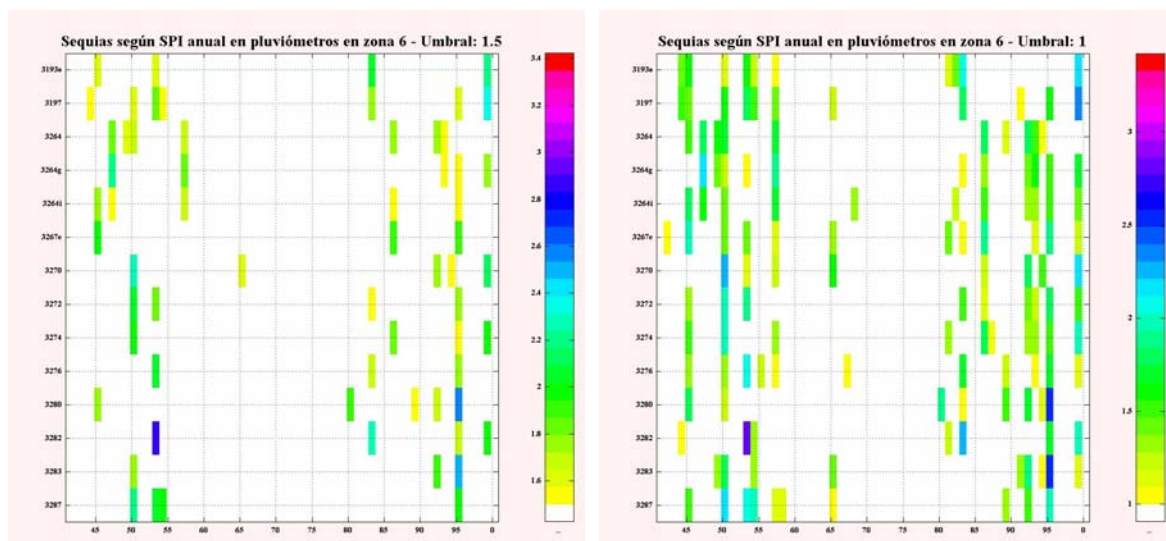


3.5.4.- Mensual subcuencas

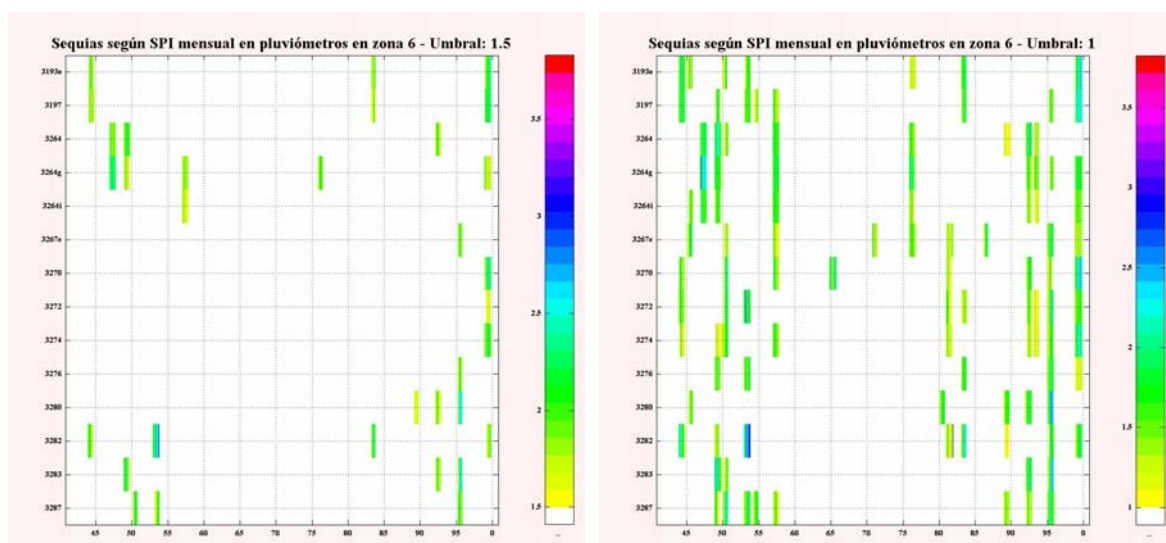


3.6.- Zona 6

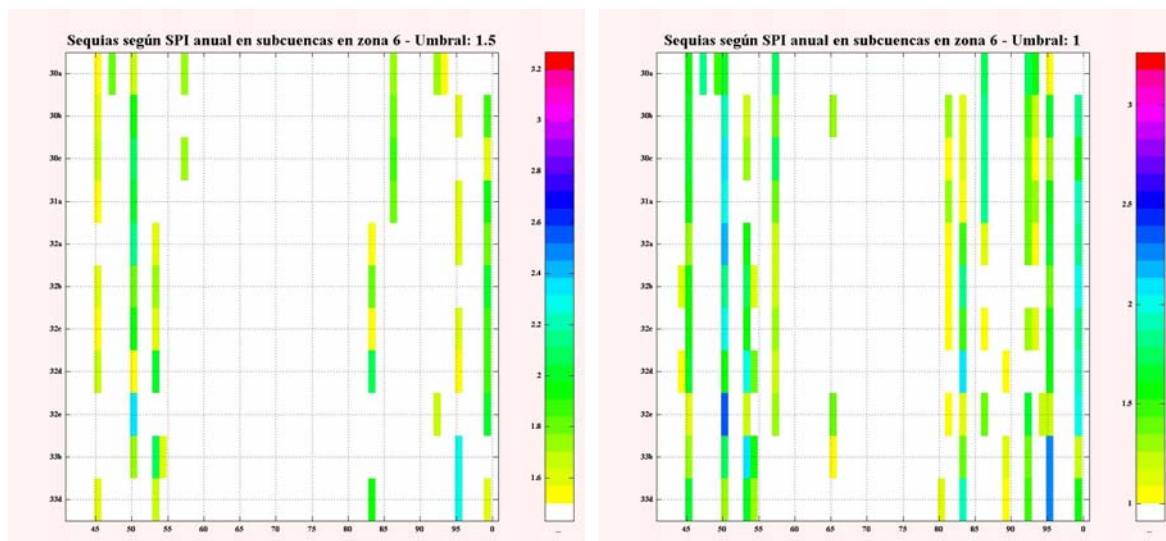
3.6.1. Anual pluviómetros



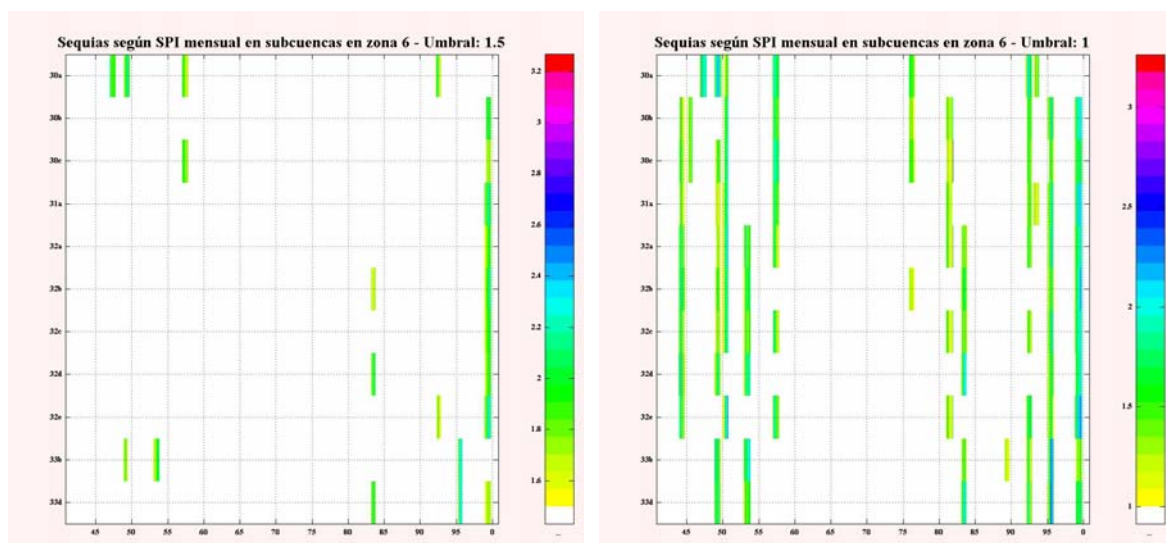
3.6.2.- Mensual pluviómetros



3.6.3.- Anual subcuencas

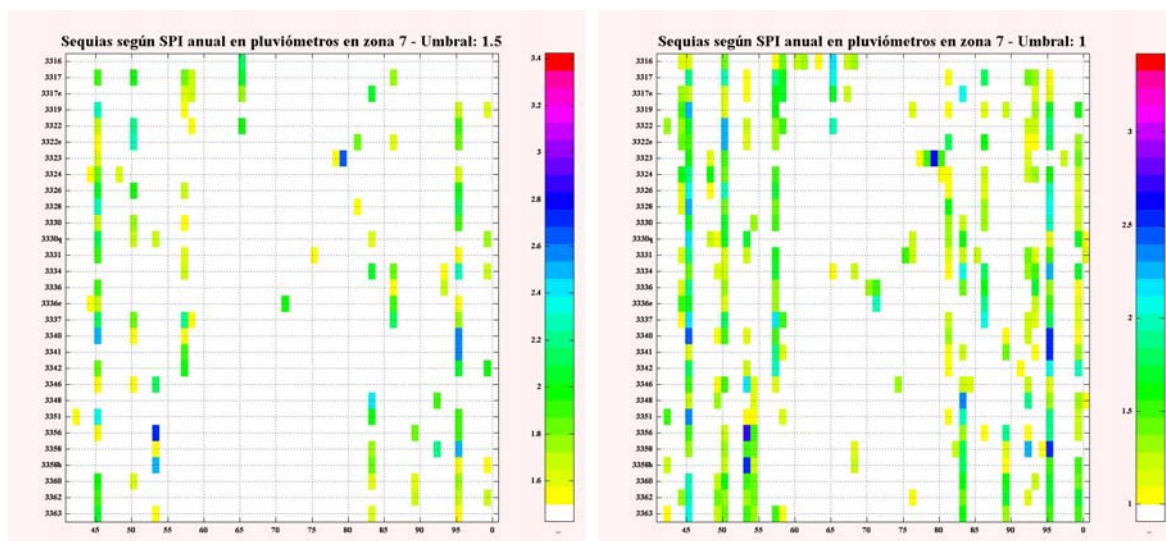


3.6.4.- Mensual subcuencas

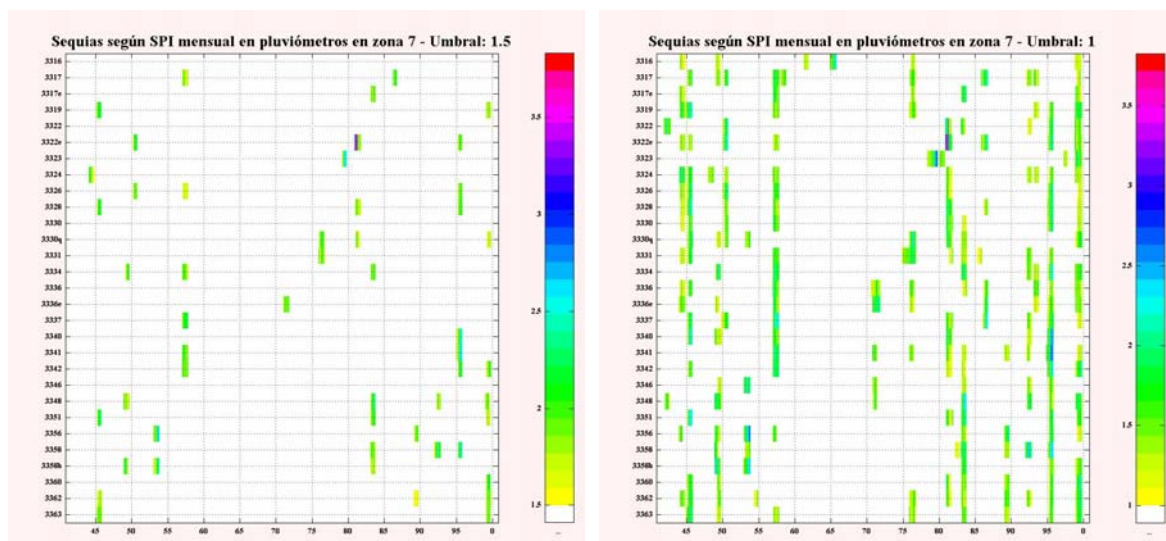


3.7.- Zona 7

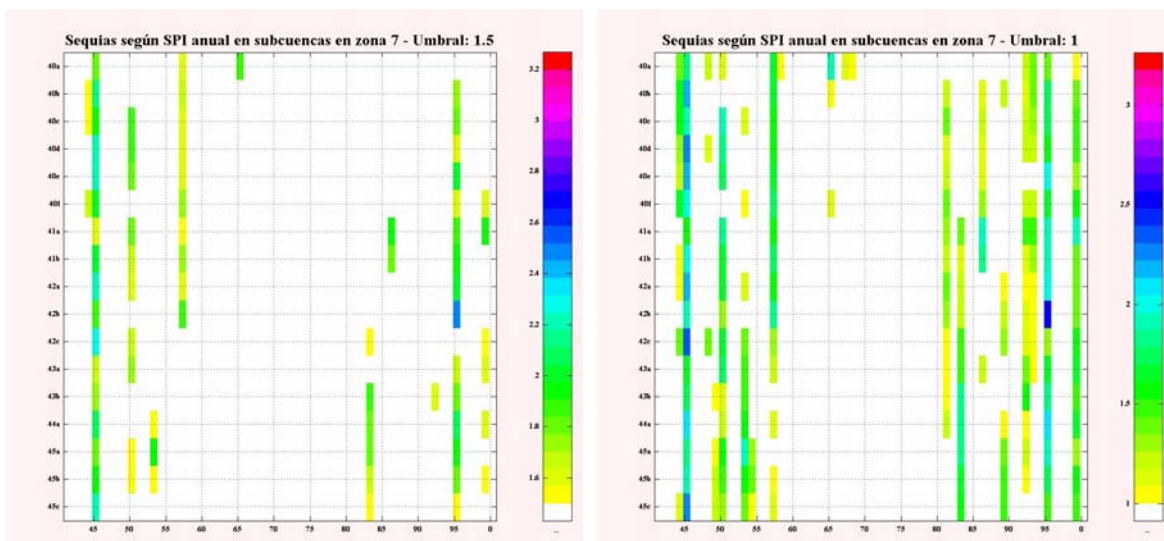
3.7.1. Anual pluviómetros



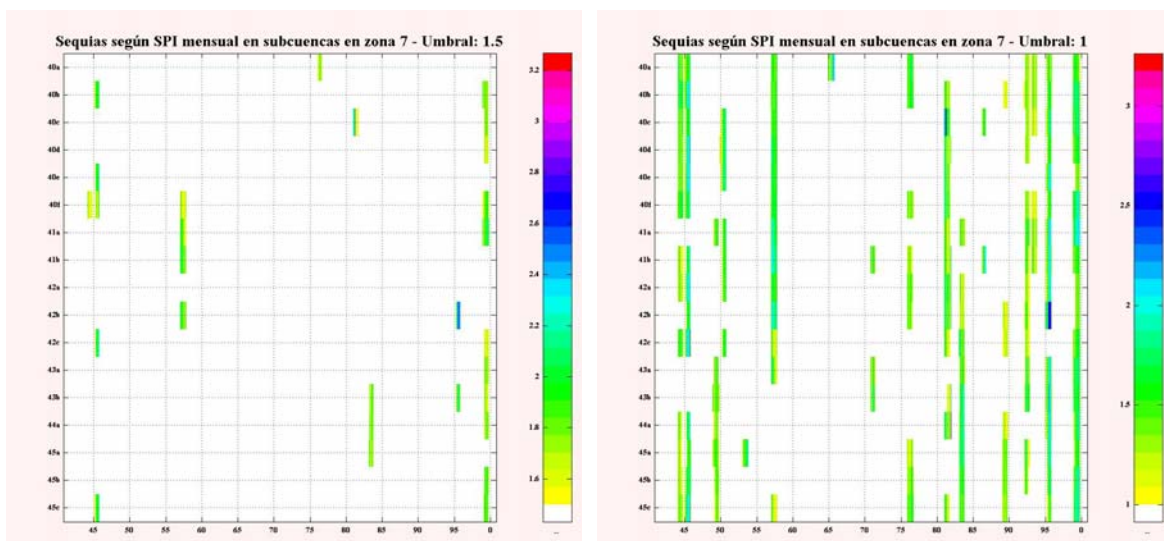
3.7.2.- Mensual pluviómetros



3.7.3.- Anual subcuencas

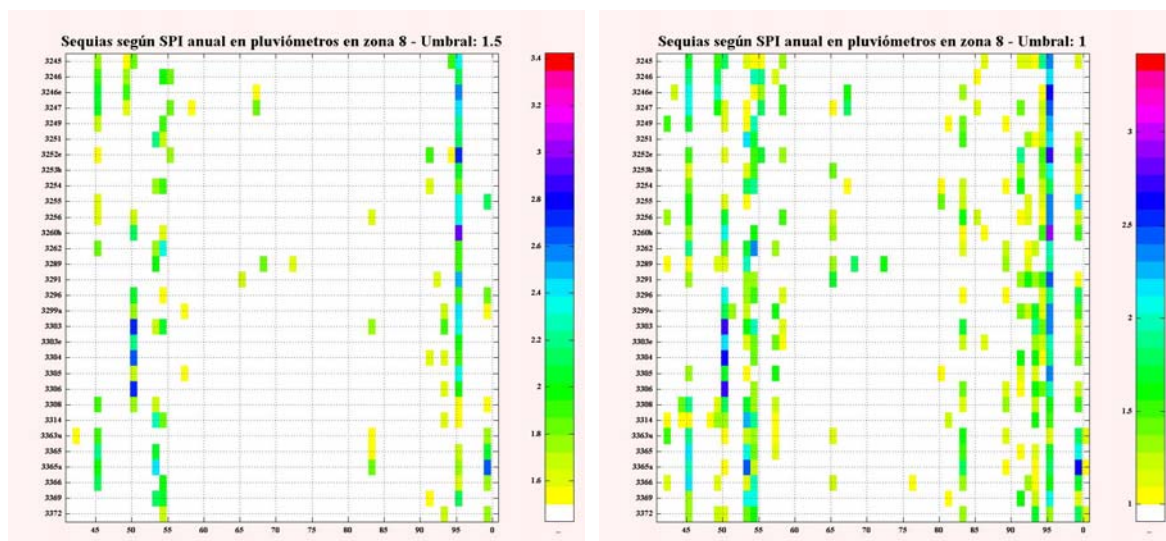


3.7.4.- Mensual subcuencas

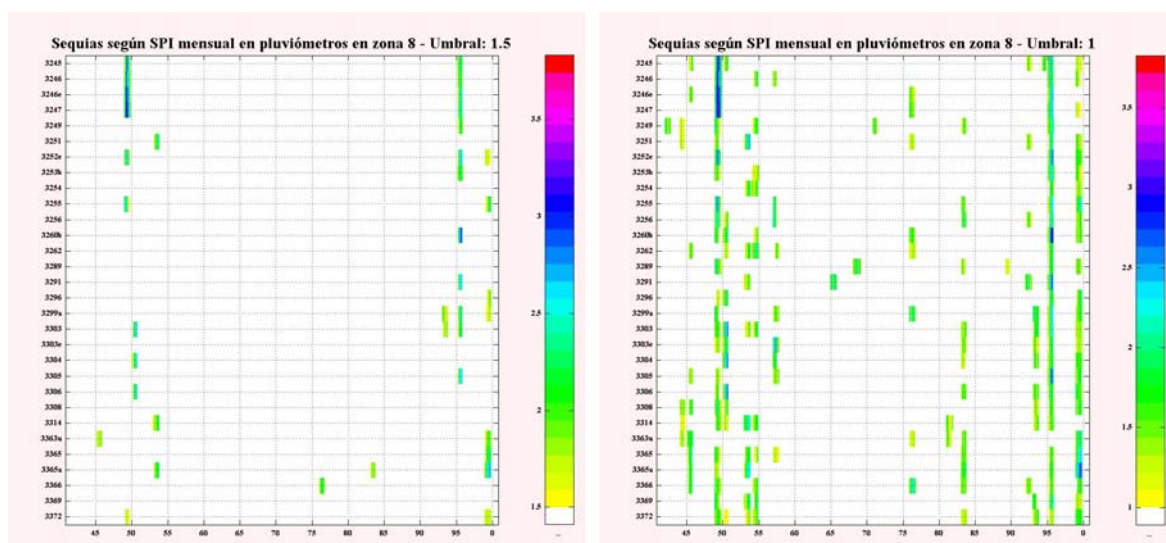


3.8.- Zona 8

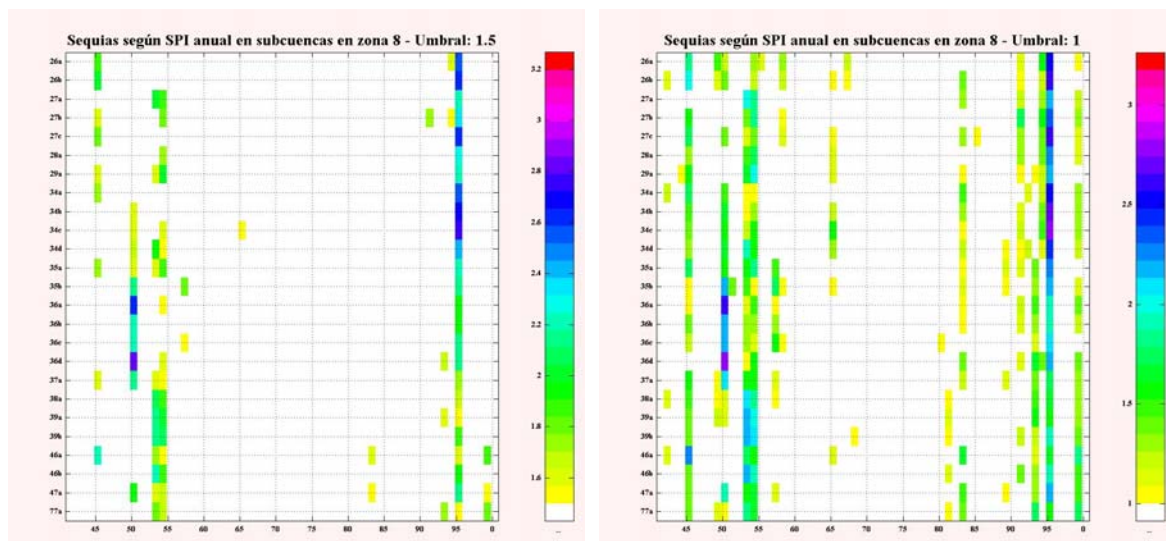
3.8.1. Anual pluviómetros



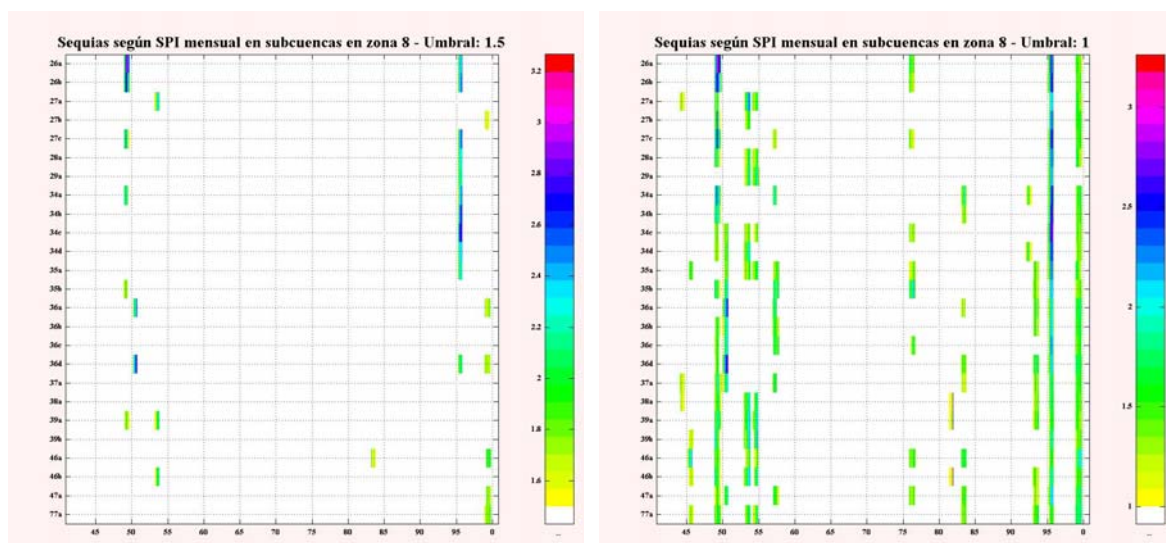
3.8.2.- Mensual pluviómetros



3.8.3.- Anual subcuencas

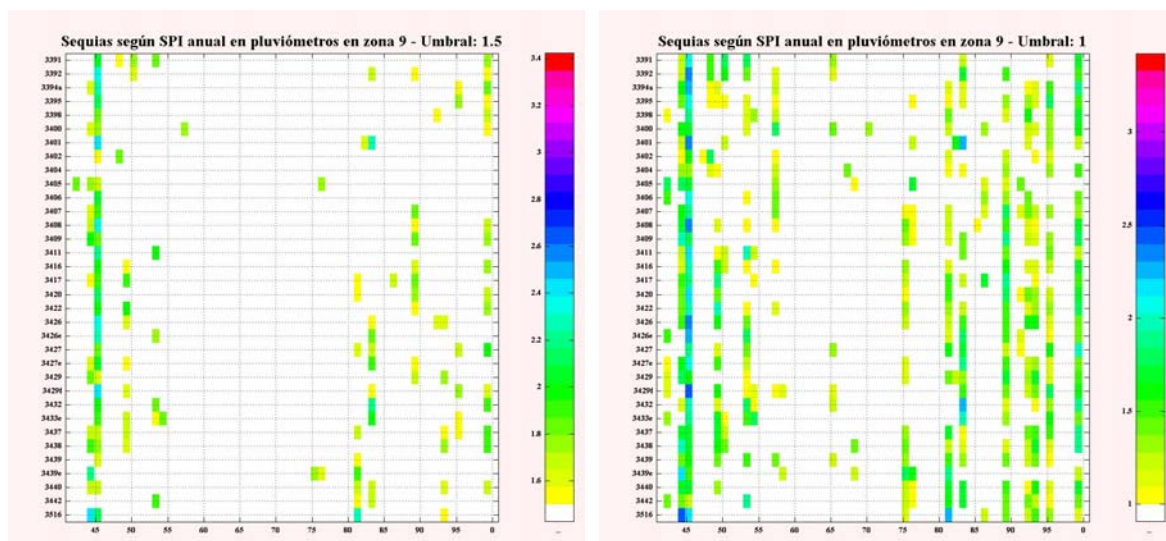


3.8.4.- Mensual subcuencas

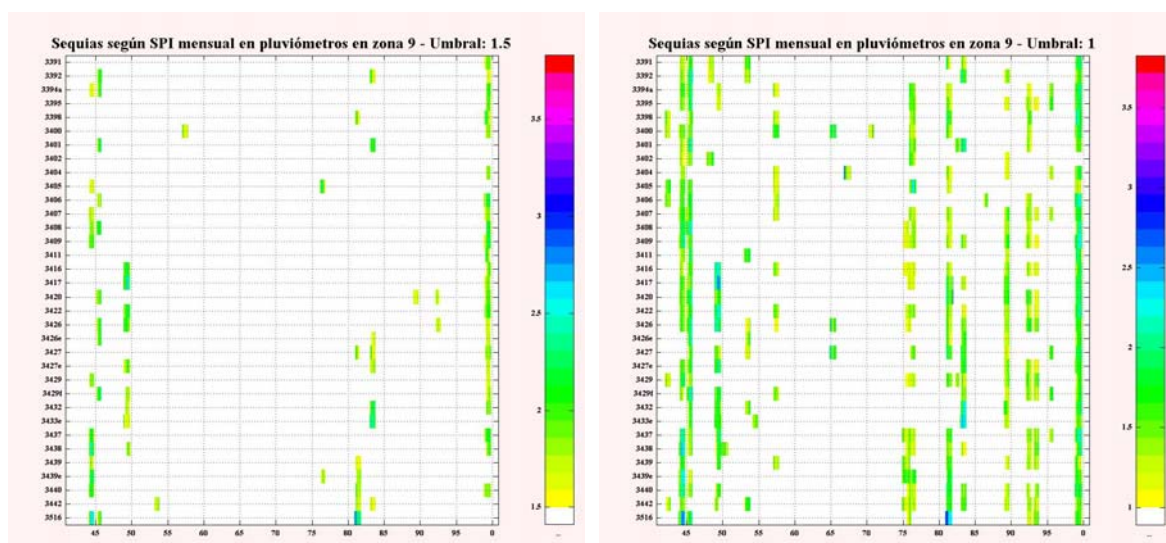


3.9.- Zona 9

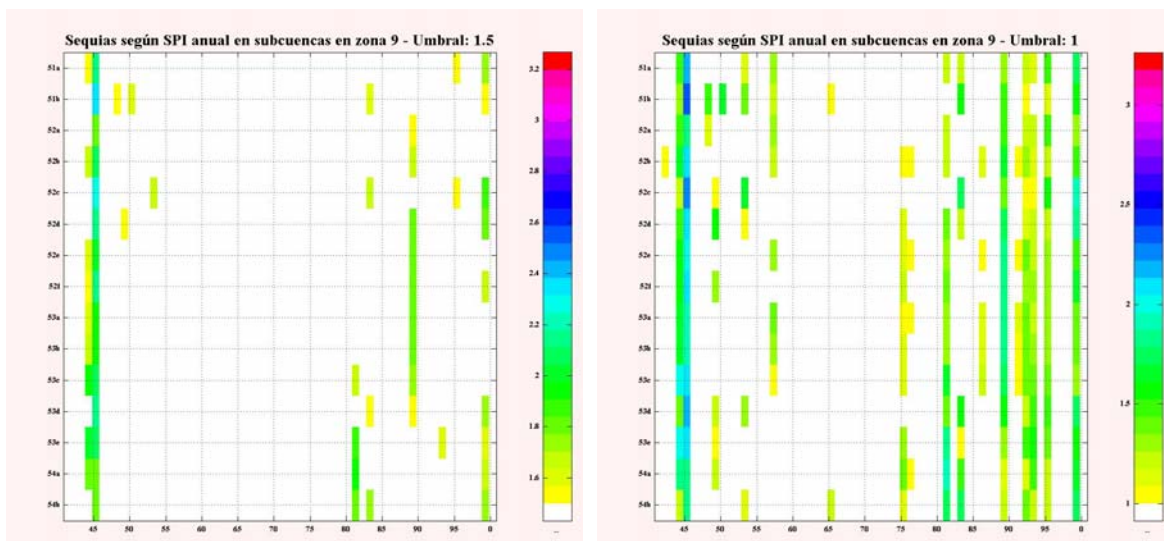
3.9.1. Anual pluviómetros



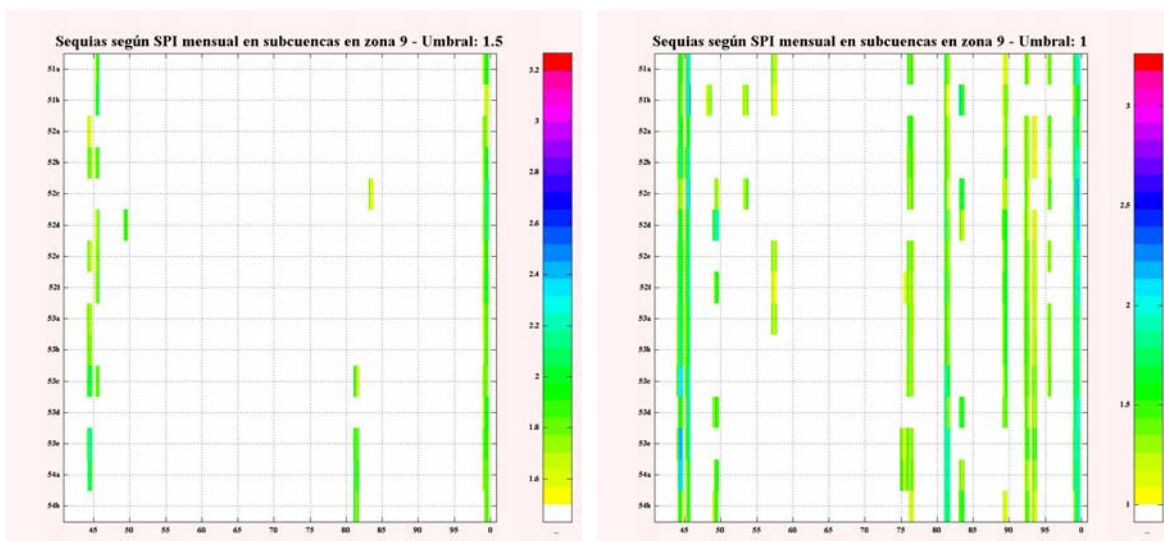
3.9.2.- Mensual pluviómetros



3.9.3.- Anual subcuencas

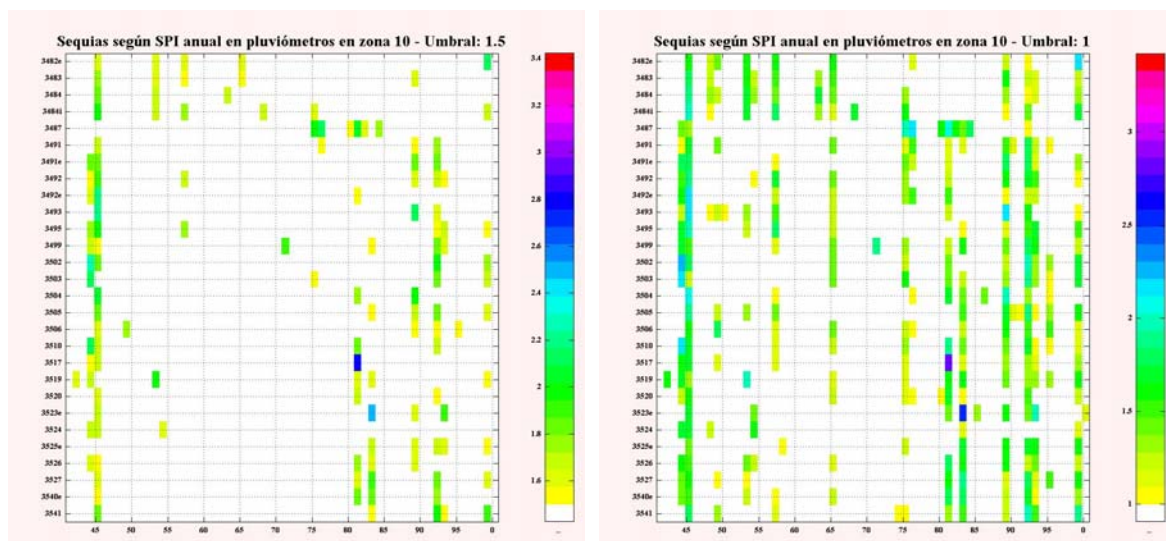


3.9.4.- Mensual subcuencas

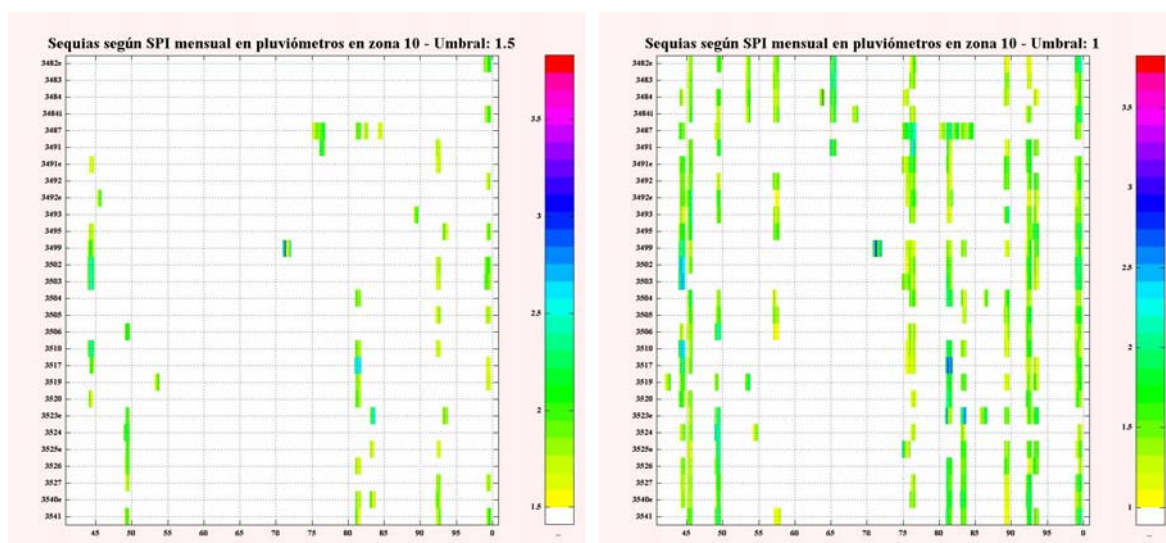


3.10.- Zona 10

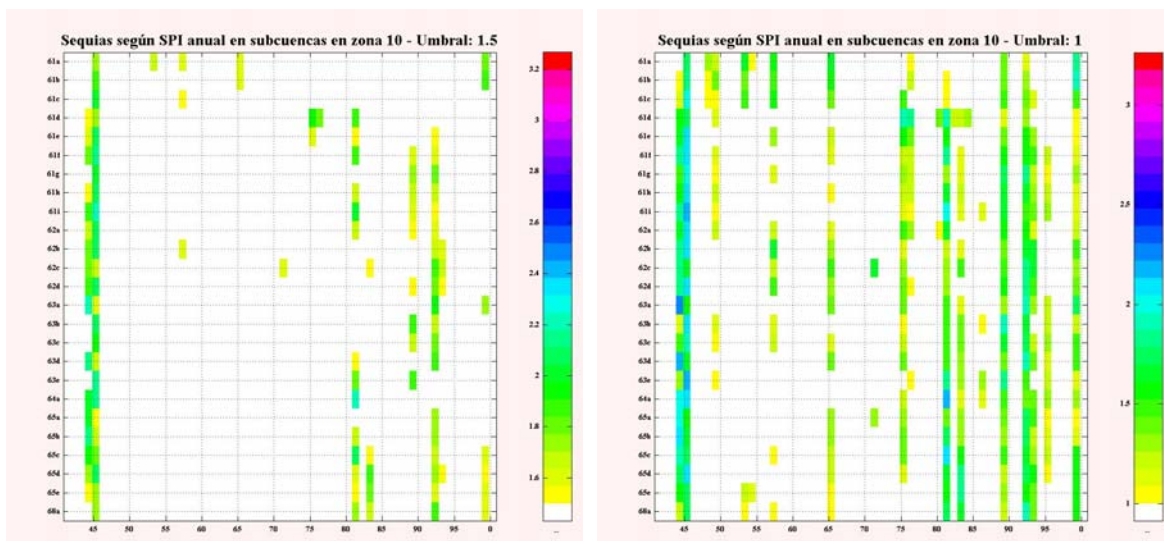
3.10.1. Anual pluviómetros



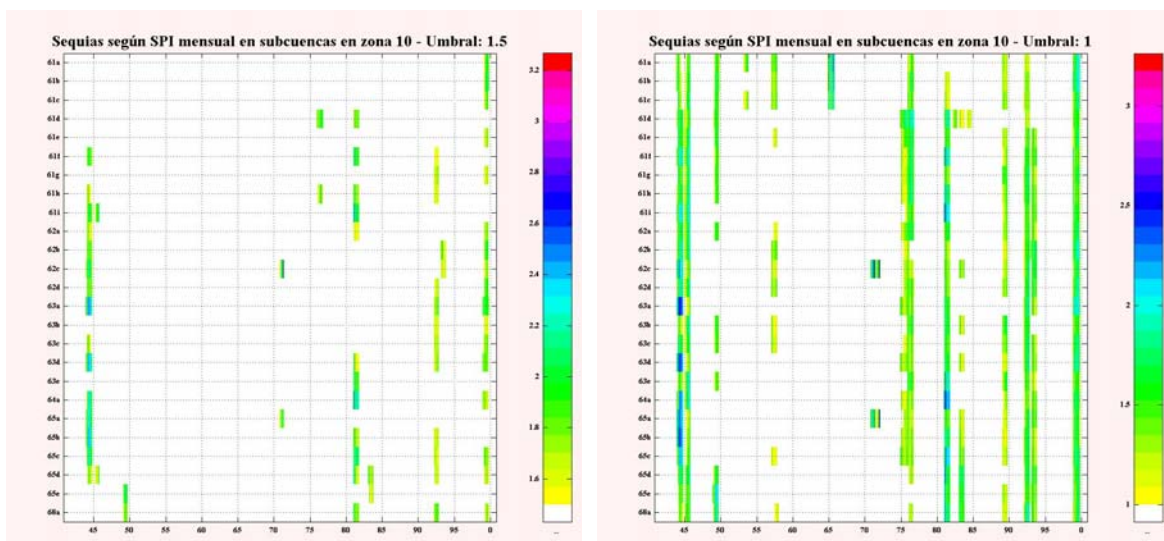
3.10.2.- Mensual pluviómetros



3.10.3.- Anual subcuencas

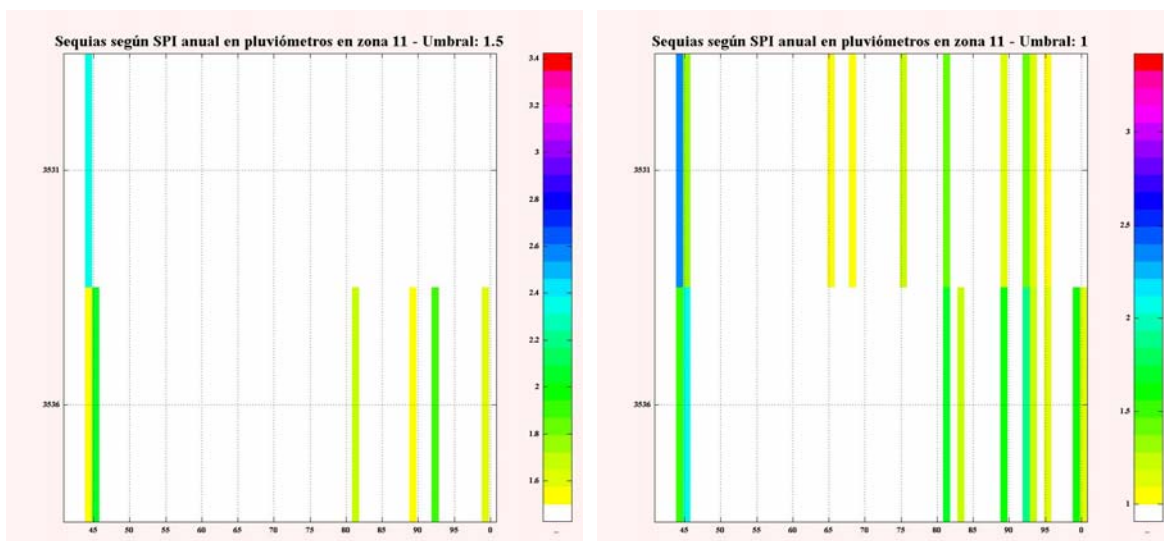


3.10.4.- Mensual subcuencas

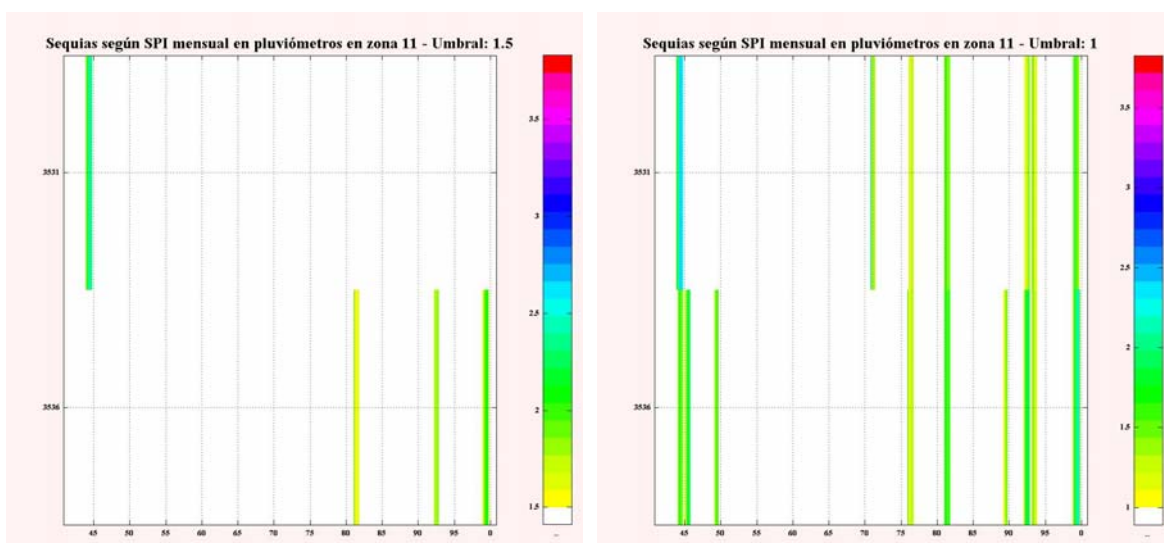


3.11.- Zona 11

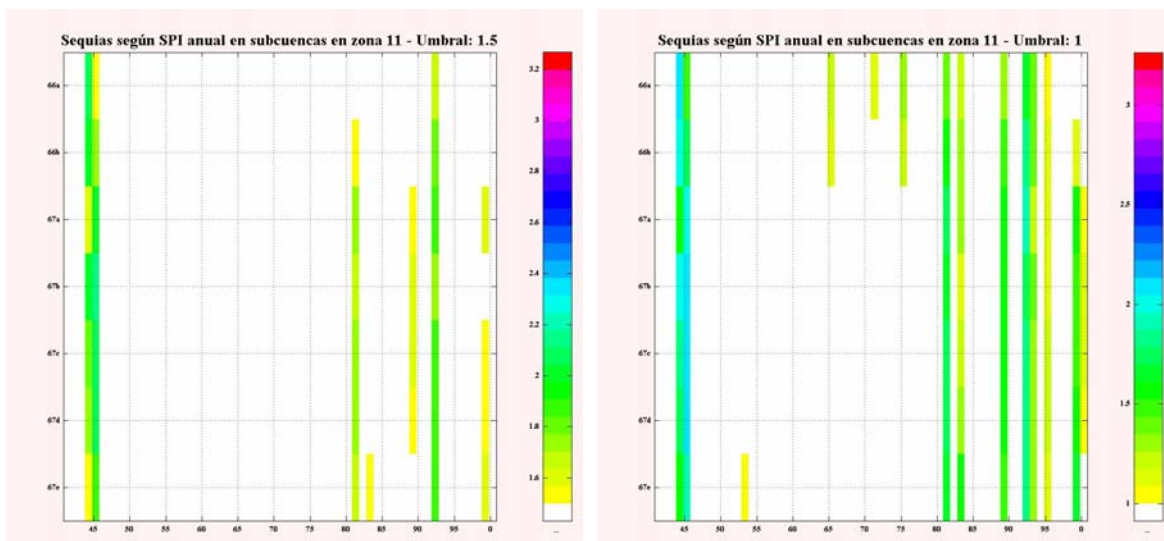
3.11.1. Anual pluviómetros



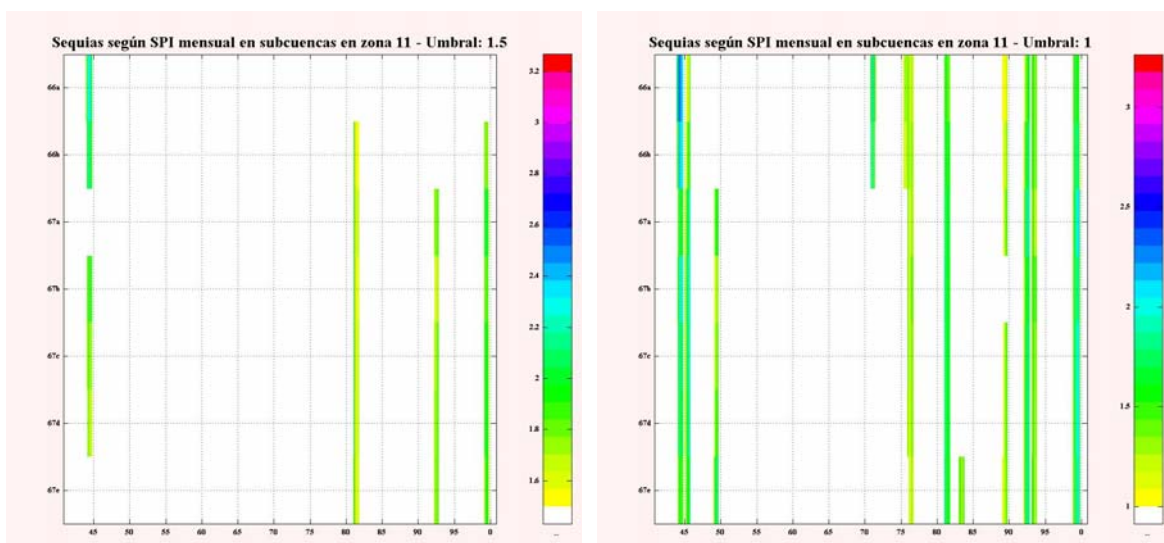
3.11.2.- Mensual pluviómetros



3.11.3.- Anual subcuencas

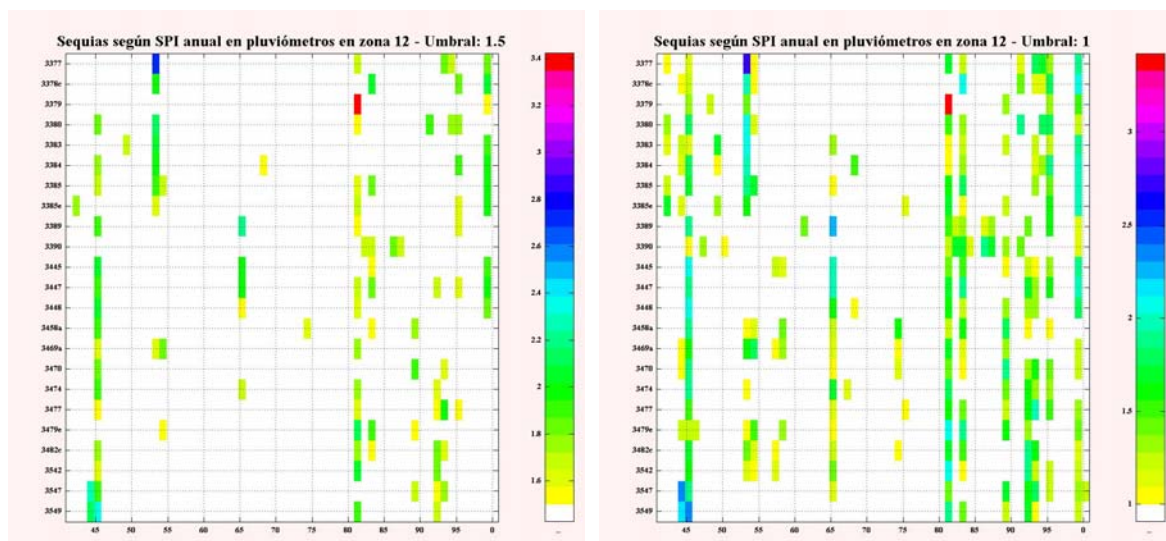


3.11.4.- Mensual subcuencas

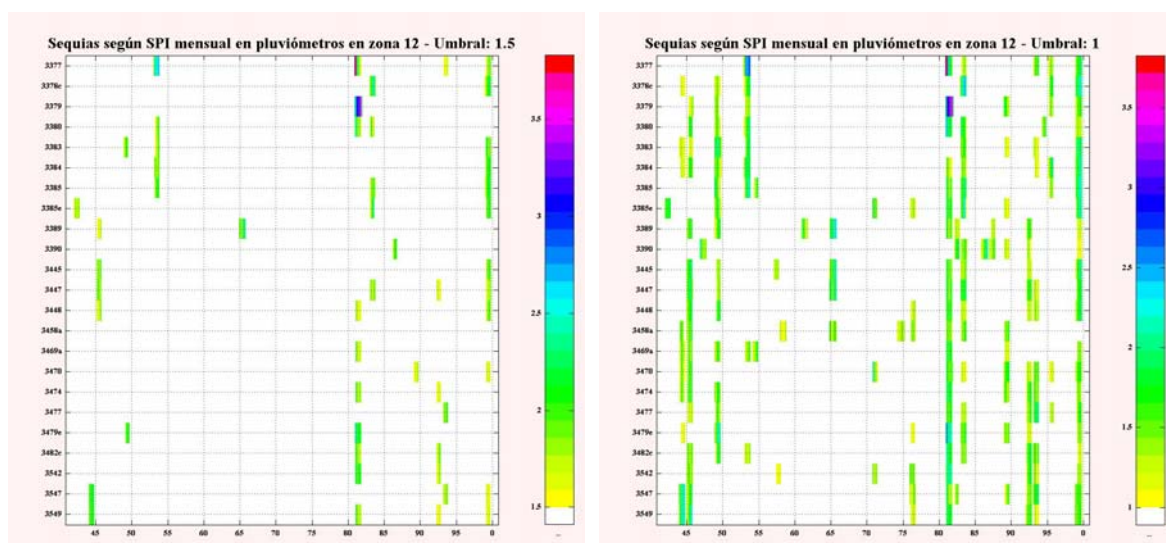


3.12.- Zona 12

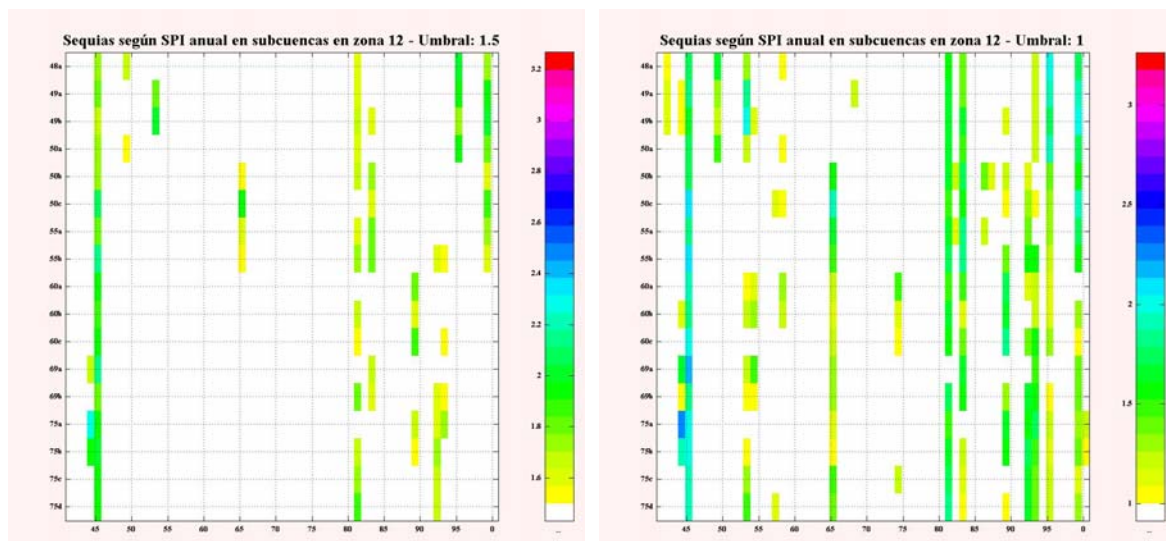
3.12.1. Anual pluviómetros



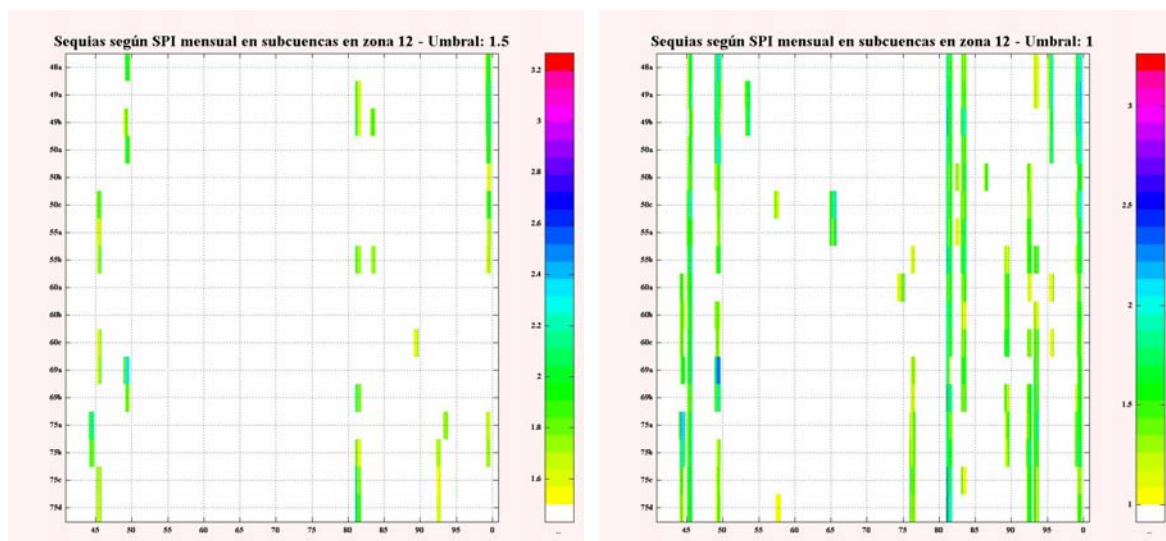
3.12.2.- Mensual pluviómetros



3.12.3.- Anual subcuencas

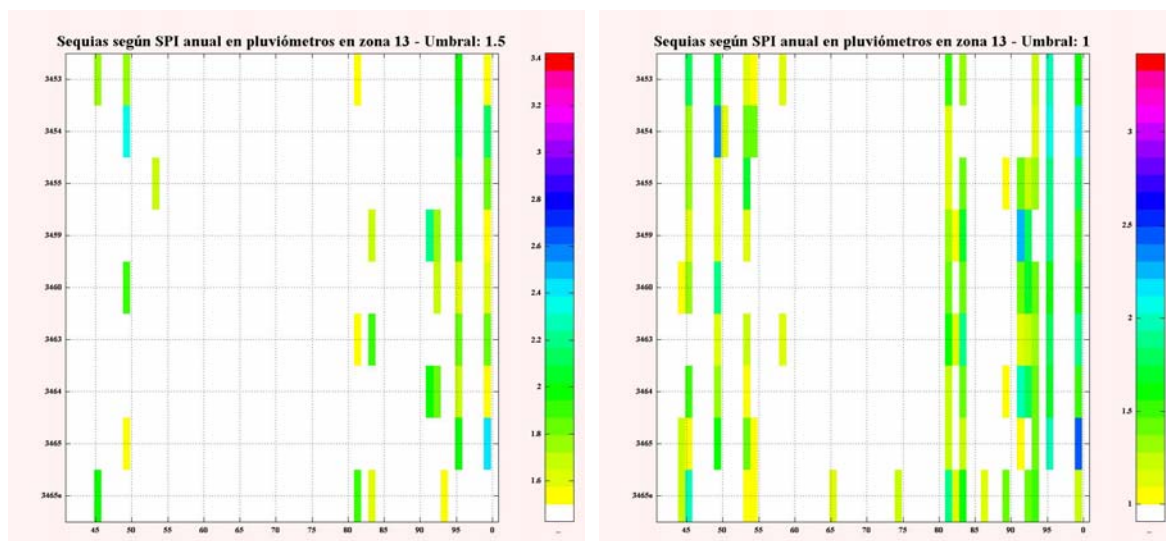


3.12.4.- Mensual subcuencas

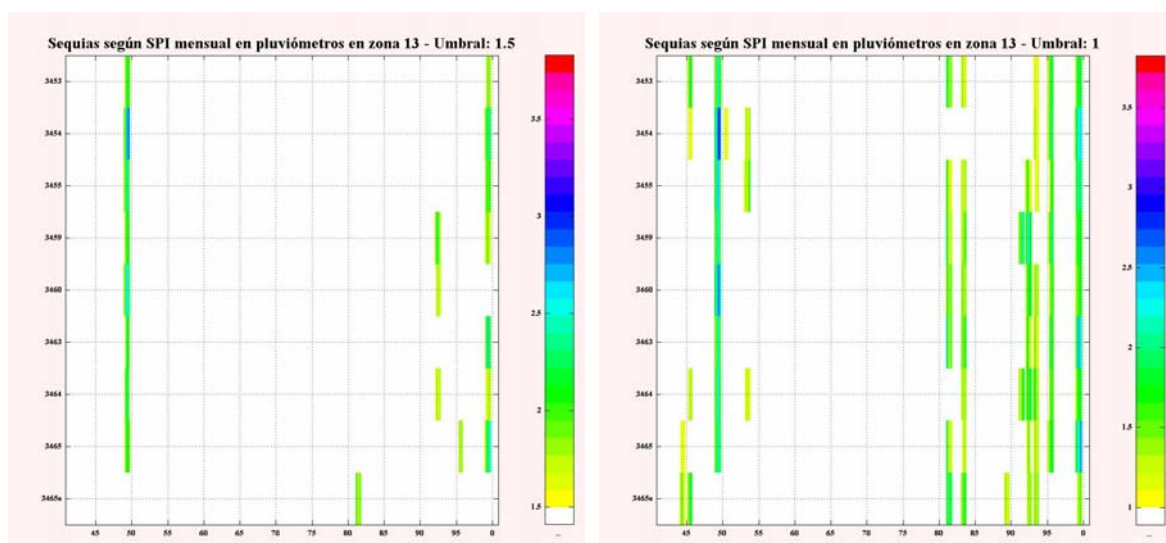


3.13.- Zona 13

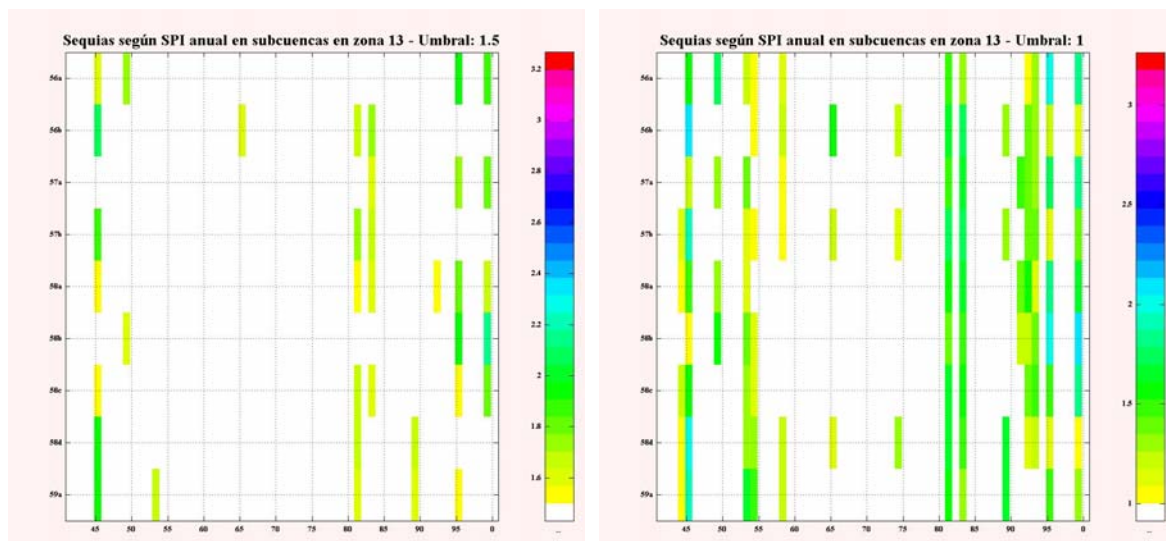
3.13.1. Anual pluviómetros



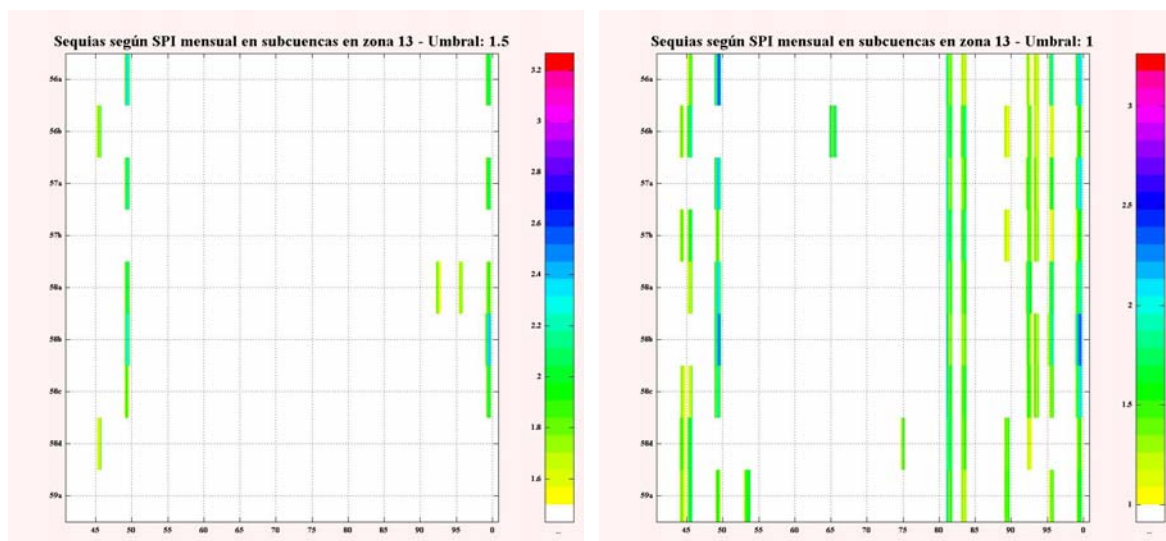
3.13.2.- Mensual pluviómetros



3.13.3.- Anual subcuencas

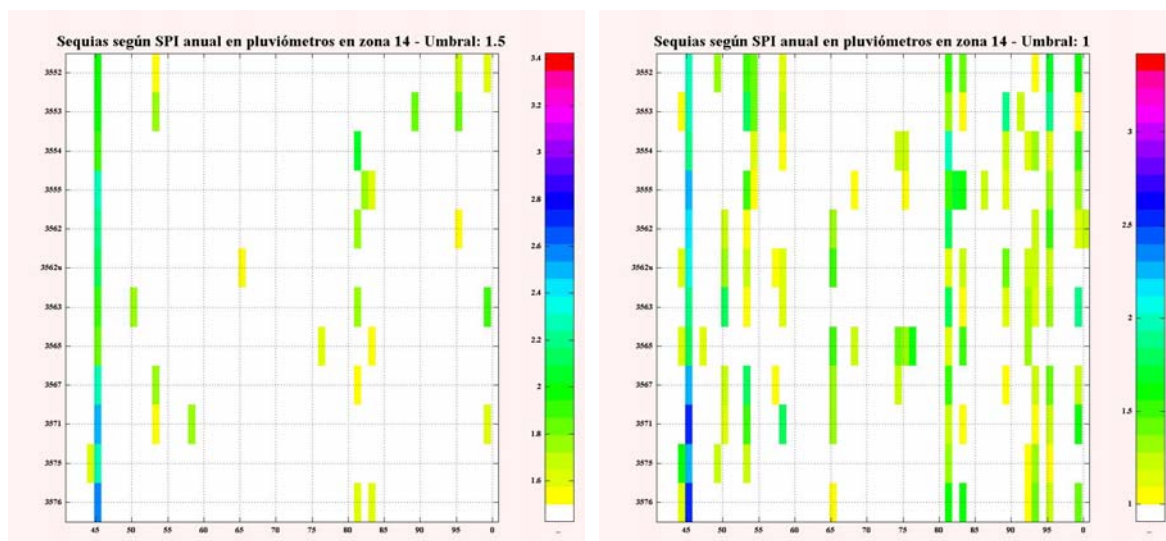


3.13.4.- Mensual subcuencas

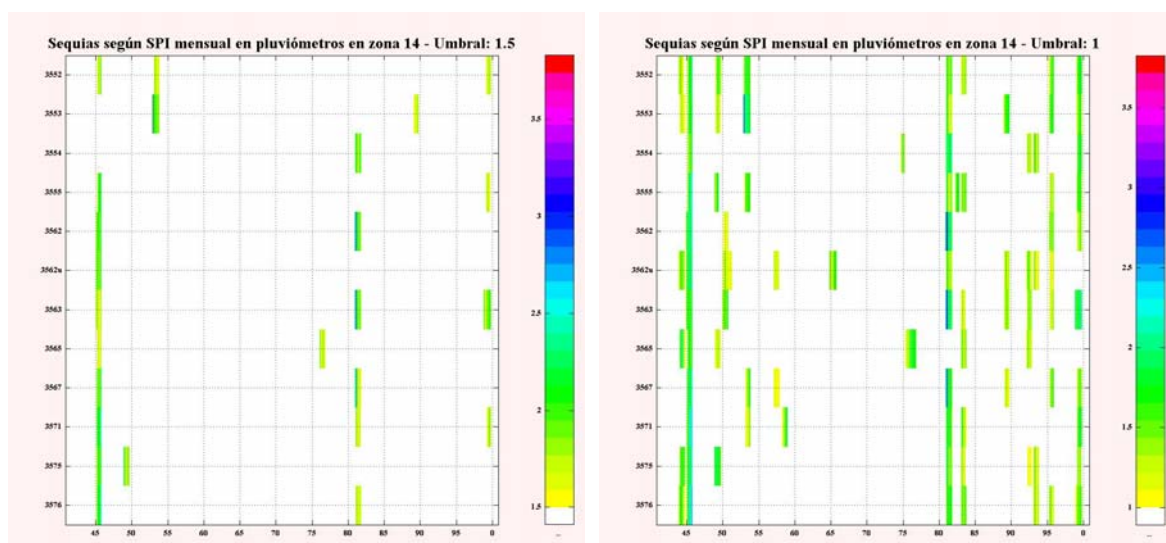


3.14.- Zona 14

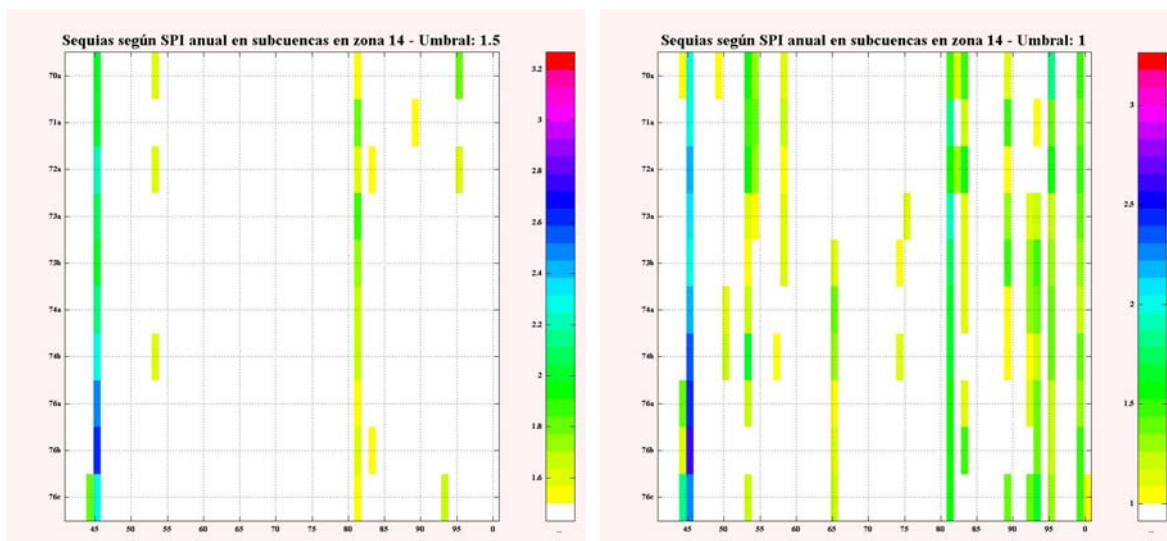
3.14.1. Anual pluviómetros



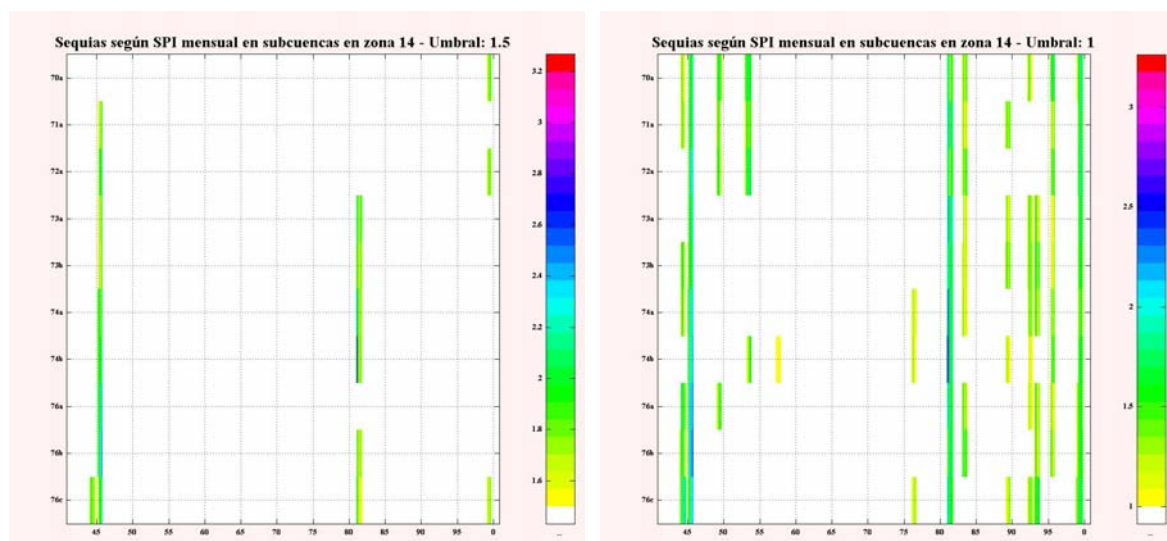
3.14.2.- Mensual pluviómetros



3.14.3.- Anual subcuencas



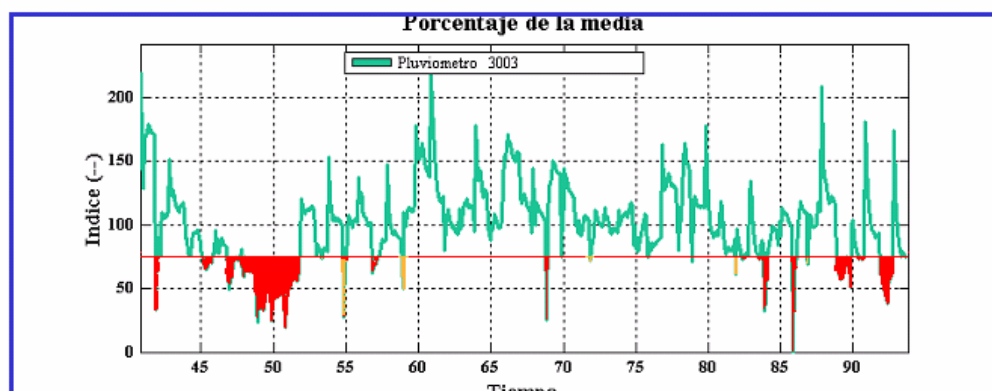
3.14.4.- Mensual subcuencas



4.- SEQUÍAS HIDROLÓGICAS

La caracterización de las sequías hidrológicas se ha realizado mediante el análisis de la rachas de desviación con relación a la aportación media. Para la identificación de los periodos de sequía se han aplicado los siguientes criterios:

- Valor umbral: se considera sequía el periodo consecutivo de intervalos de tiempo en que el valor de la serie es inferior a un umbral. Se ha trabajado con el porcentaje respecto de la media de las series mensuales de acumulación. Se han adoptado como valores umbral desviaciones por debajo del 25%, el 50% y el 75% del valor medio durante el período histórico.
- Duración: se han considerado rachas de duración igual o superior a 6 meses.



Una vez identificados los periodos de sequía se ha calculado la duración, la magnitud (máxima desviación) y la severidad (déficit acumulado), y se han calculado los estadísticos de esas variables (valor medio y desviación típica).

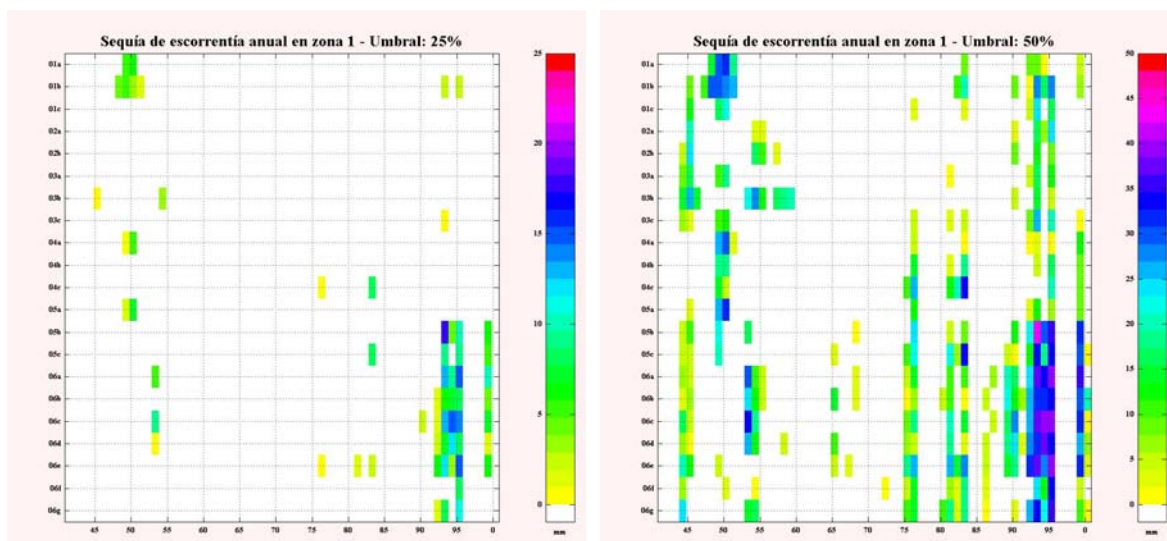
5.- SERIES DE RACHAS DE DESVIACIONES CON RELACIÓN A LA MEDIA

A continuación se presentan los gráficos correspondientes a las sequías identificadas en cada una de las 14 zonas de la cuenca según la desviación con respecto a la media. Se ha realizado el análisis en dos escalas temporales: anual y mensual. En cada una de ellas se han analizado las sequías en de escorrentía diferencias, generada localmente en cada subcuenca y de aportación acumulada generada aguas arriba de la subcuenca.

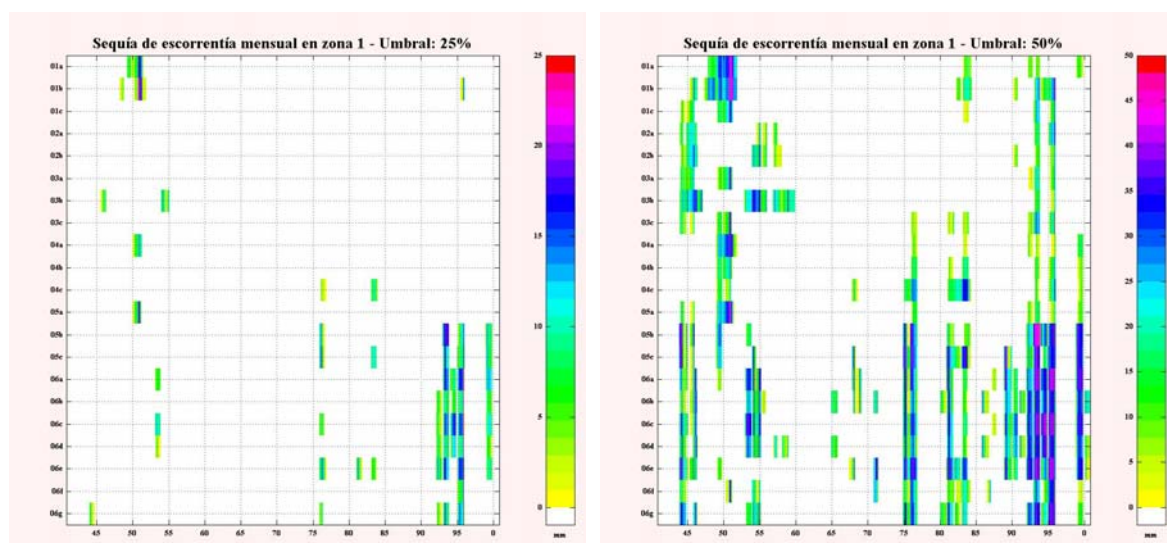
- Los gráficos de la izquierda corresponden a sequías en las que se alcanza un valor del 25% de la media o inferior. En el caso de análisis mensual únicamente se han considerado rachas de 6 o más meses de duración.
- Los gráficos de la izquierda corresponden a sequías en las que se alcanza un valor del 50% de la media o inferior. En el caso de análisis mensual únicamente se han considerado rachas de 6 o más meses de duración.

5.1.- Zona 1

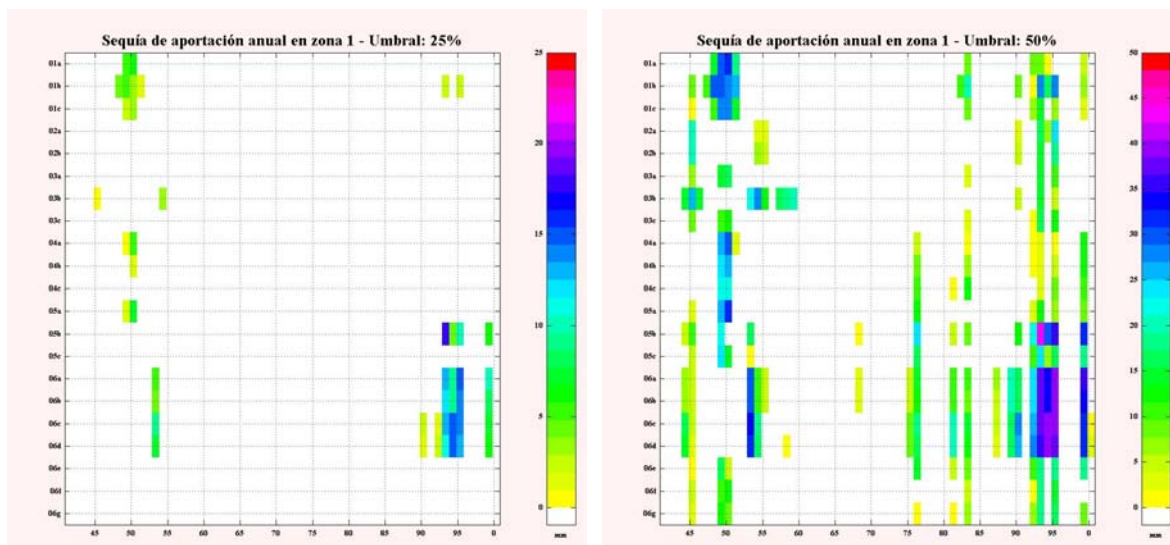
5.1.1.- Escorrentía diferencial anual



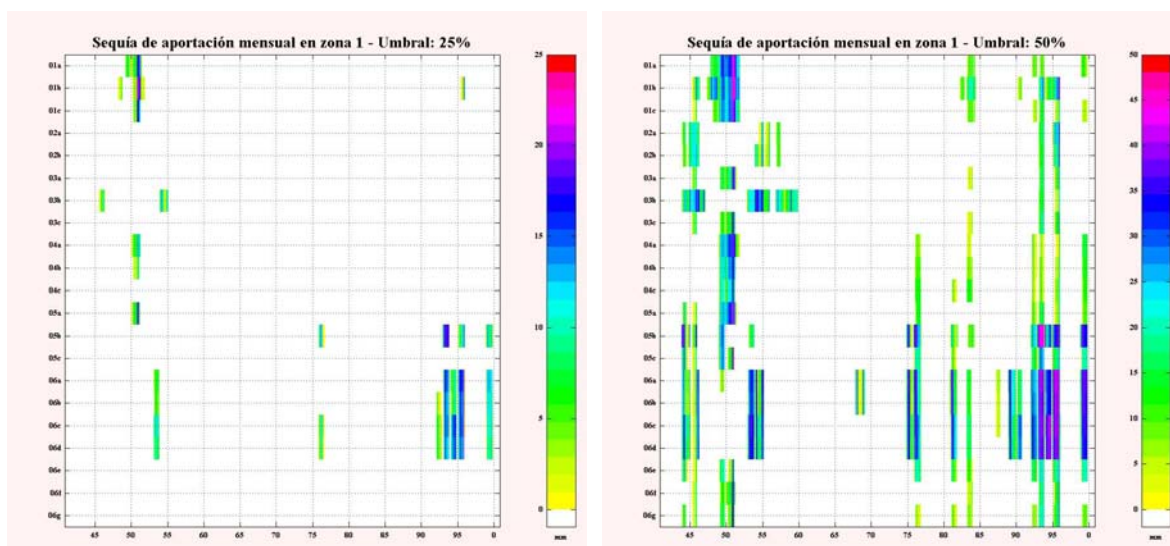
5.1.2.- Escorrentía diferencial mensual



5.1.3.- Aportación acumulada anual

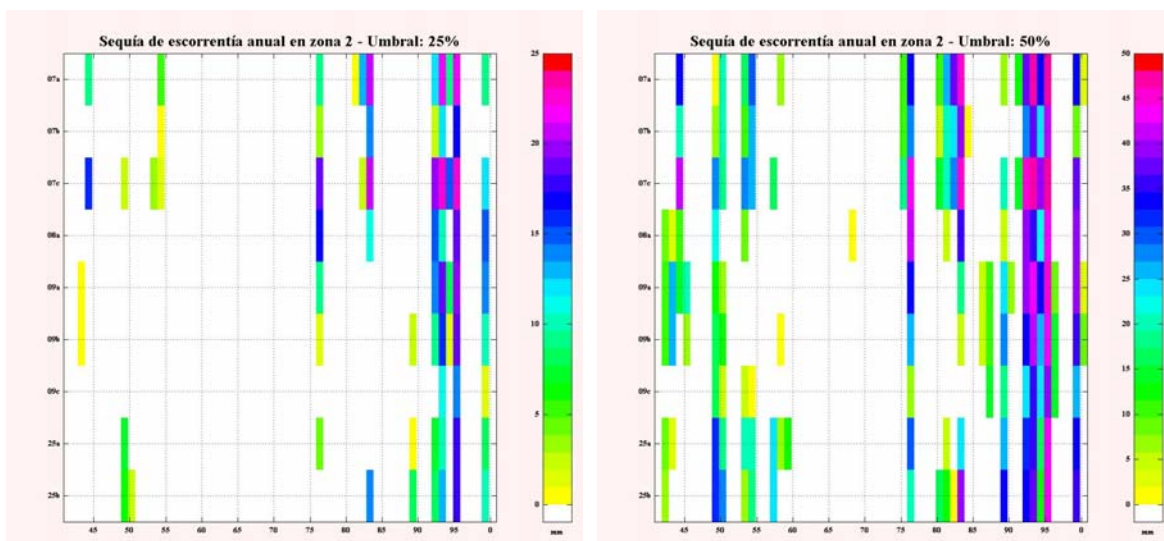


5.1.4.- Aportación acumulada mensual

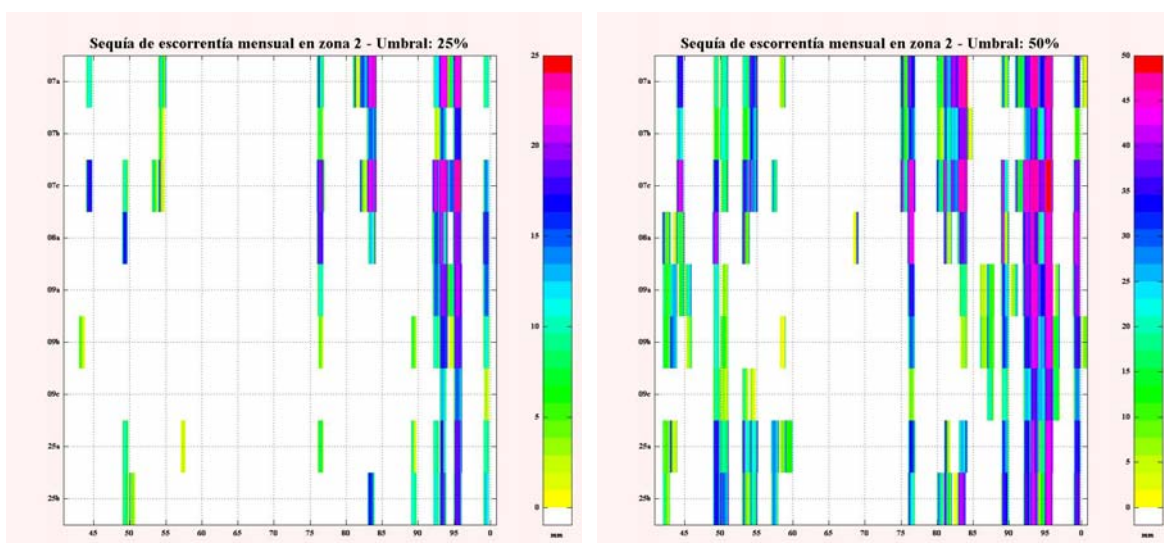


5.2.- Zona 2

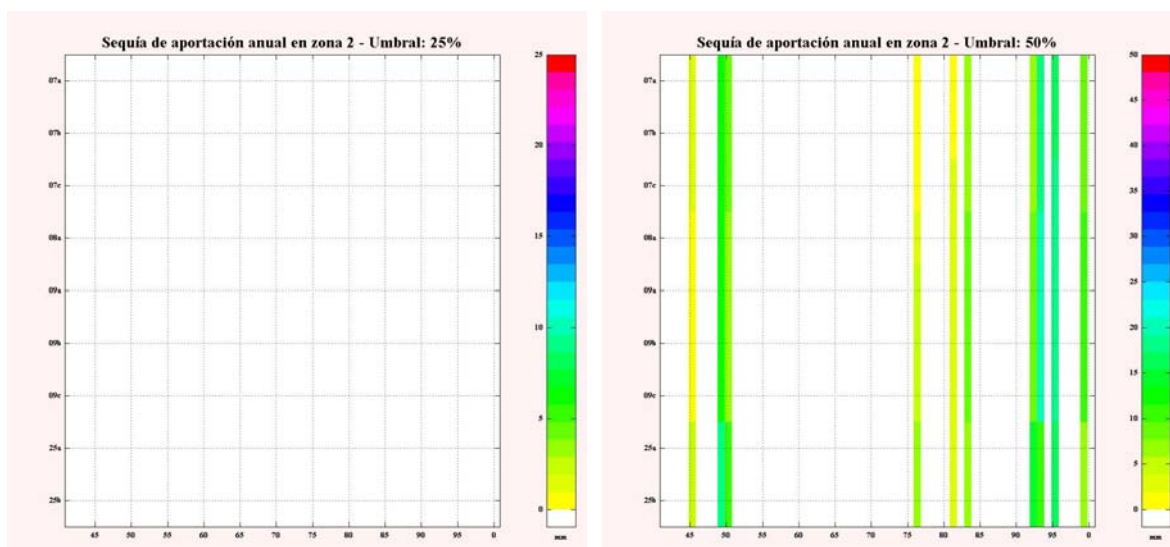
5.2.1.- Escorrentía diferencial anual



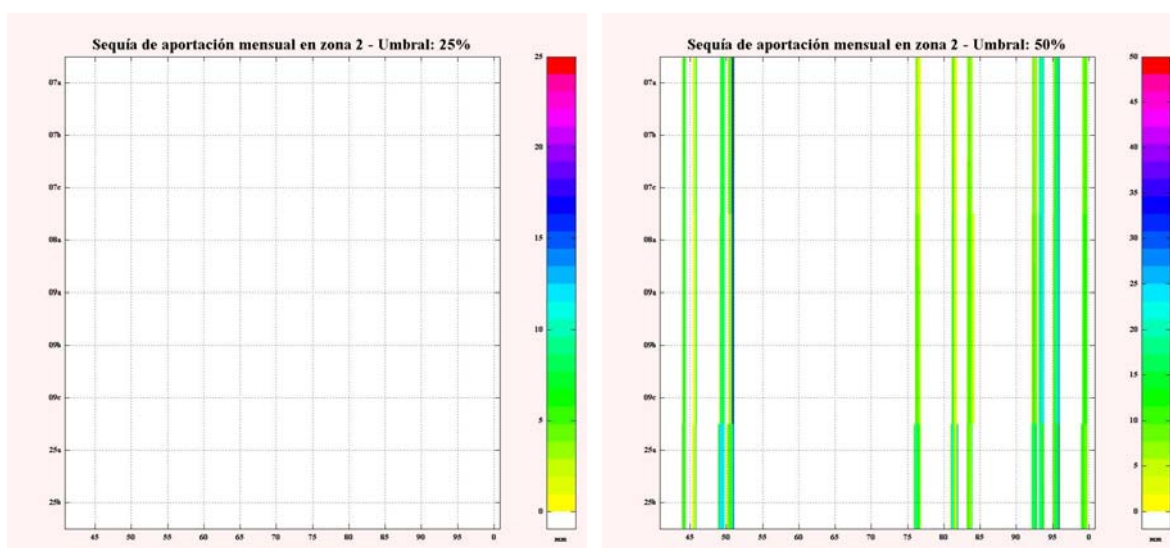
5.2.2.- Escorrentía diferencial mensual



5.2.3.- Aportación acumulada anual

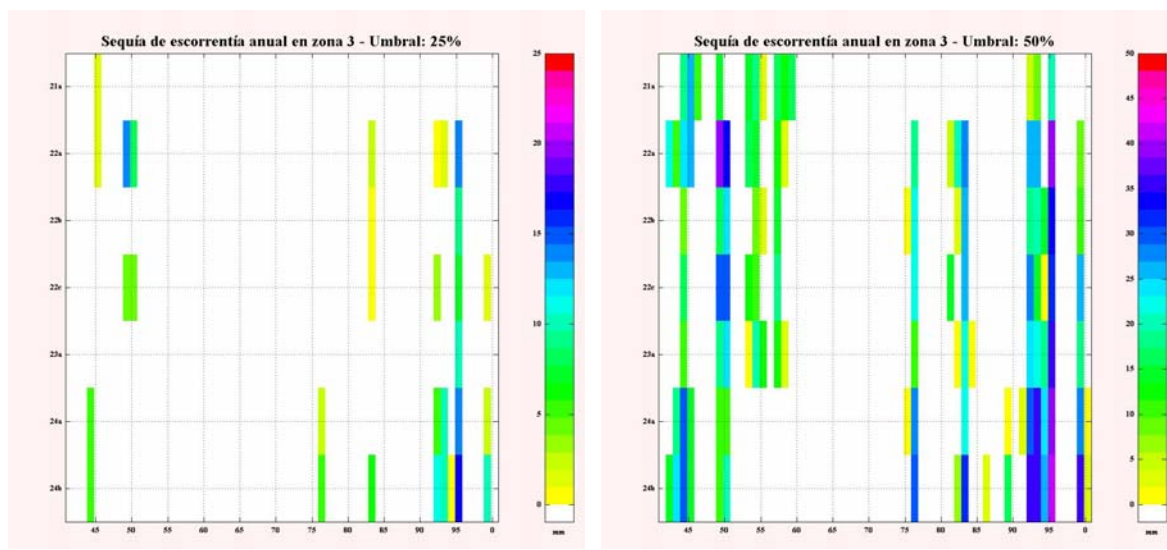


5.2.4.- Aportación acumulada mensual

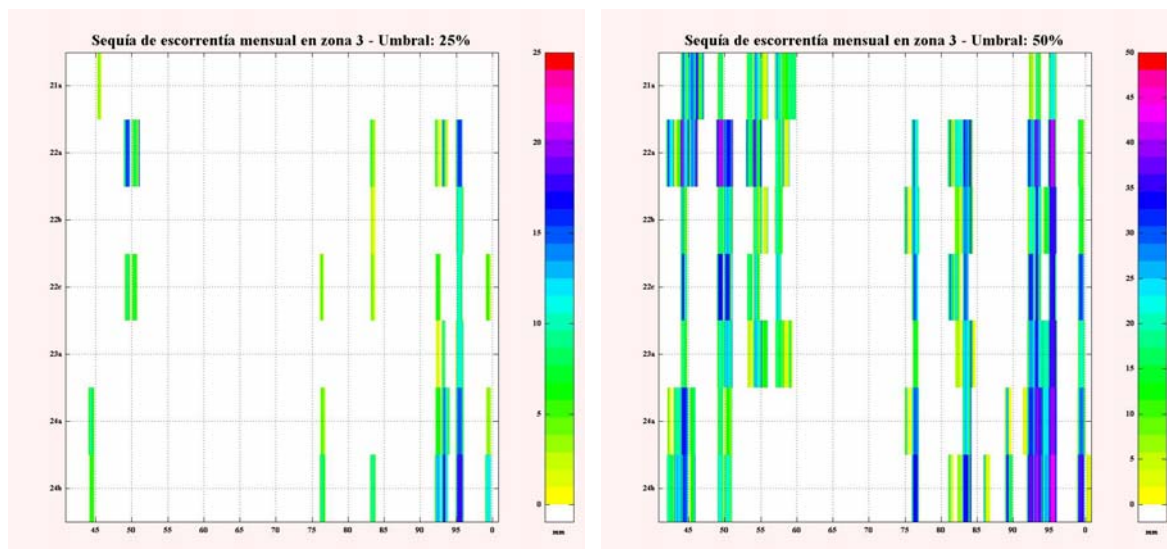


5.3.- Zona 3

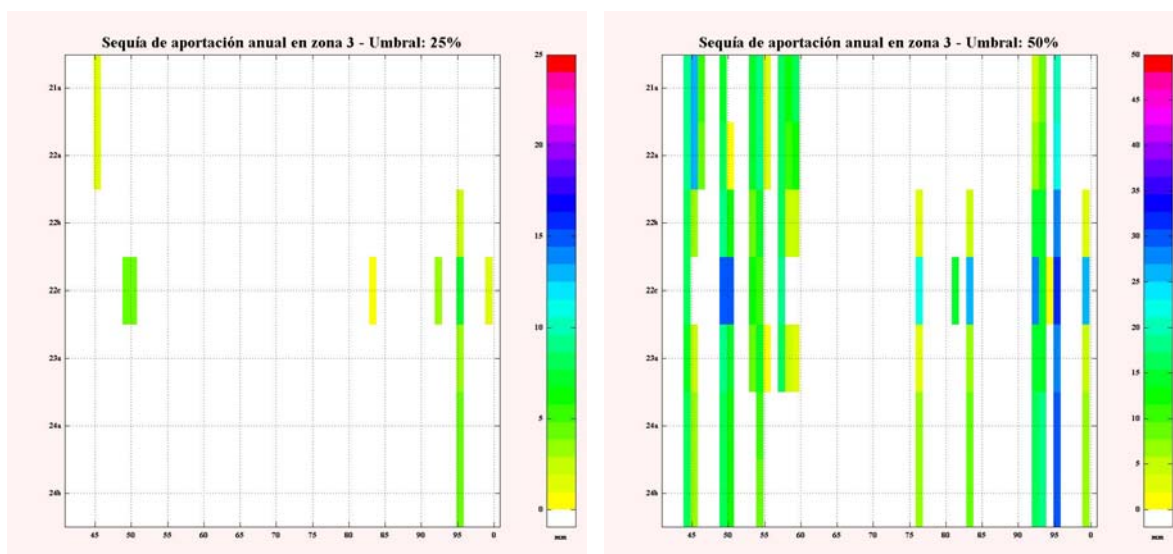
5.3.1.- Escorrentía diferencial anual



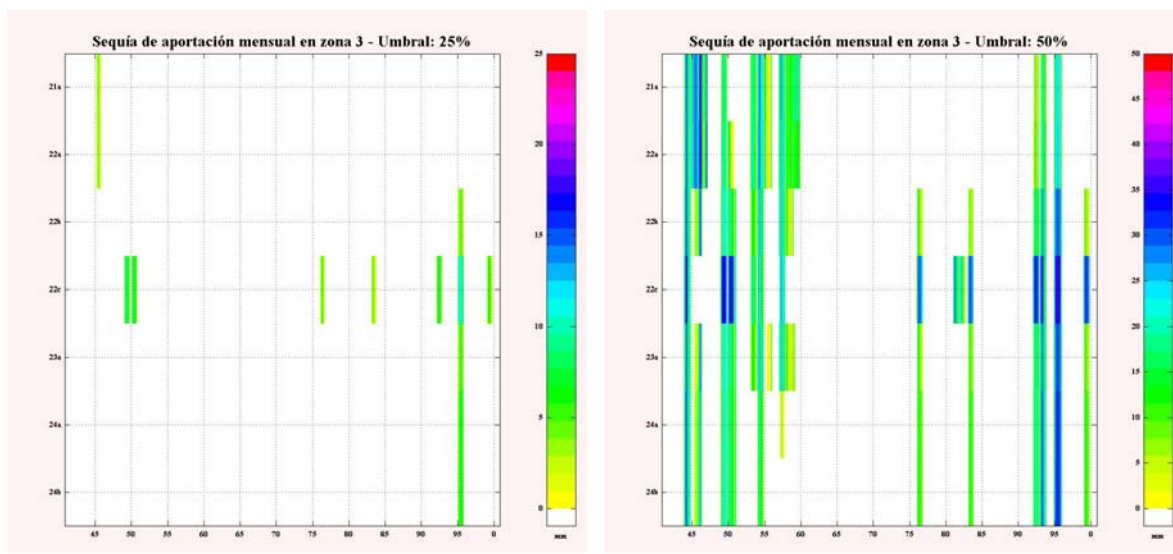
5.3.2.- Escorrentía diferencial mensual



5.3.3- Aportación acumulada anual

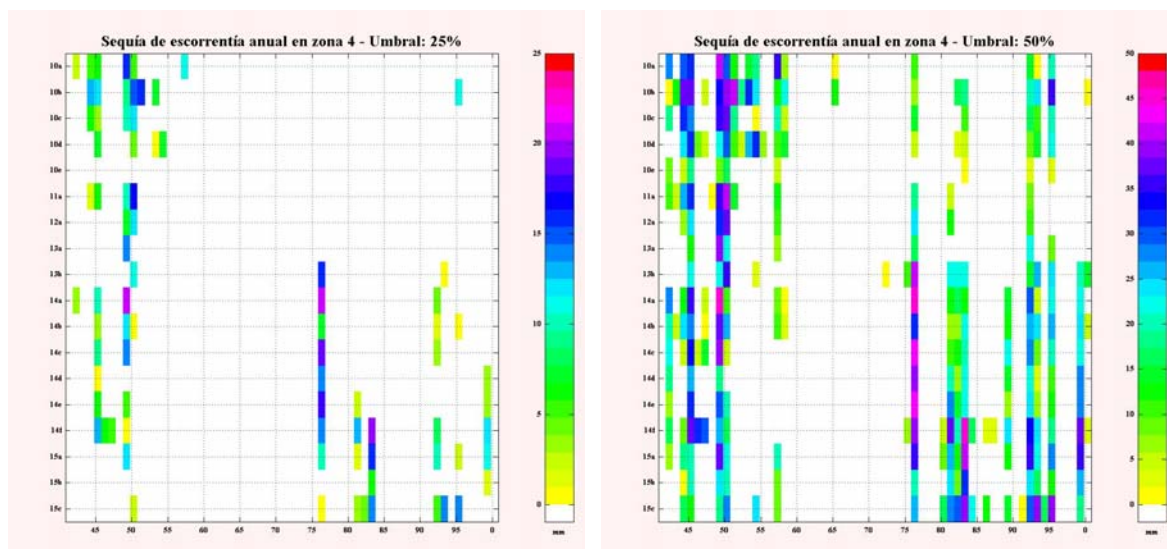


5.3.4.- Aportación acumulada mensual

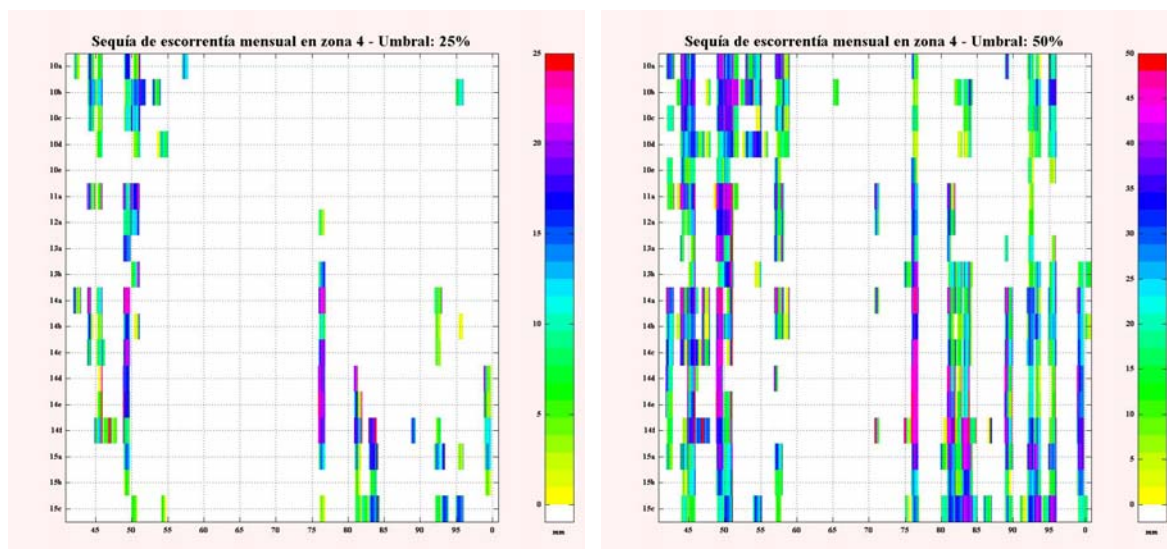


5.4.- Zona 4

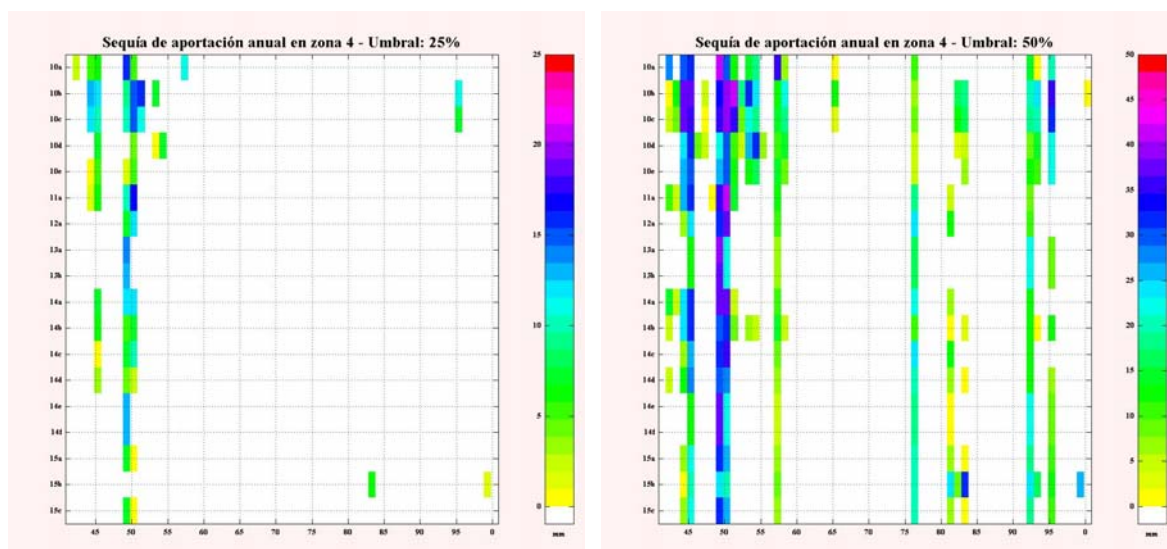
5.4.1.- Escorrentía diferencial anual



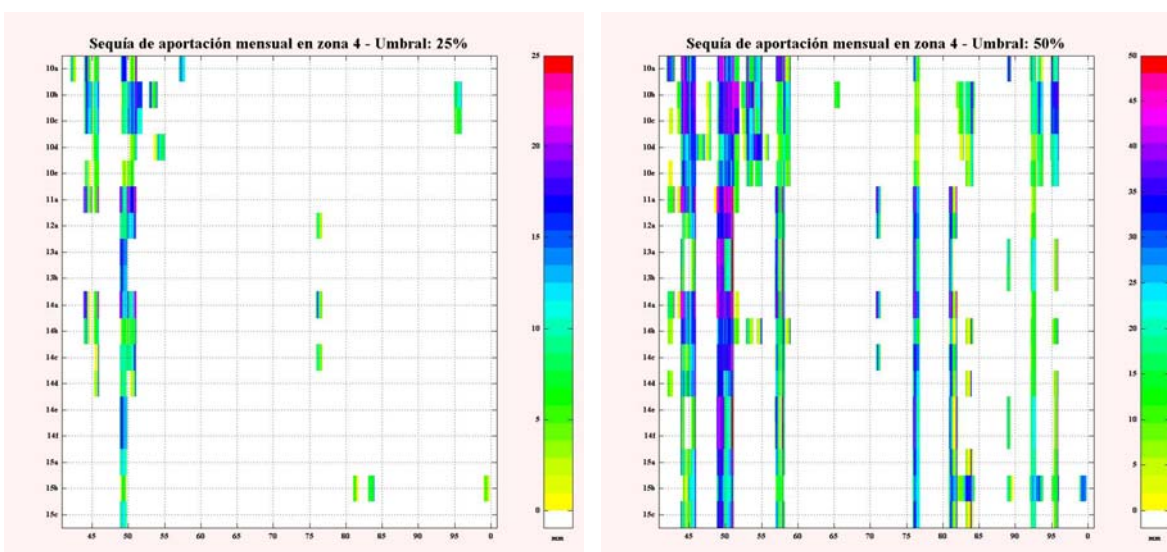
5.4.2.- Escorrentía diferencial mensual



5.4.3.- Aportación acumulada anual

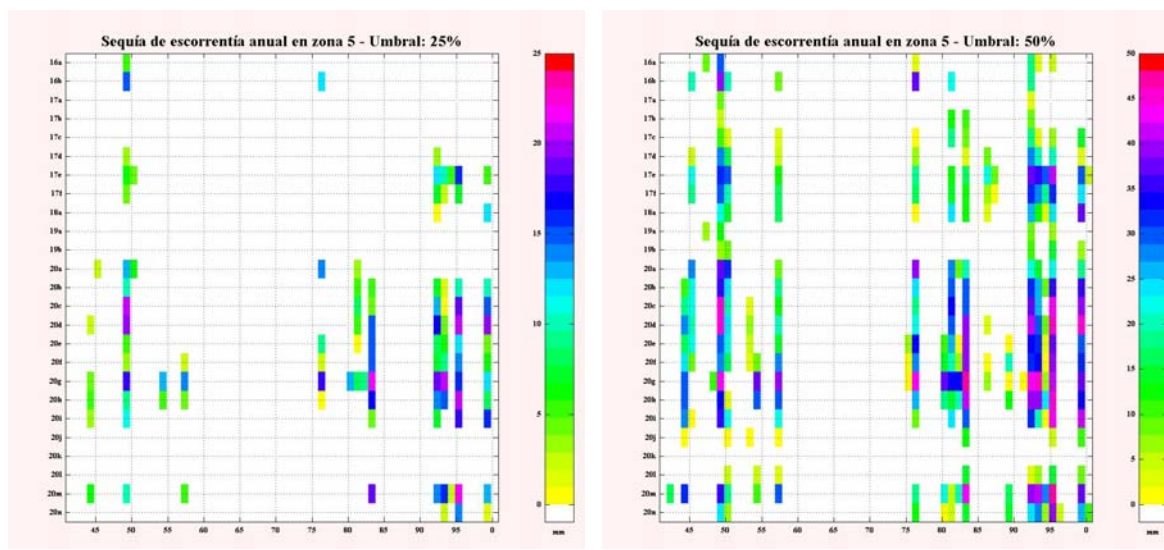


5.4.4.- Aportación acumulada mensual

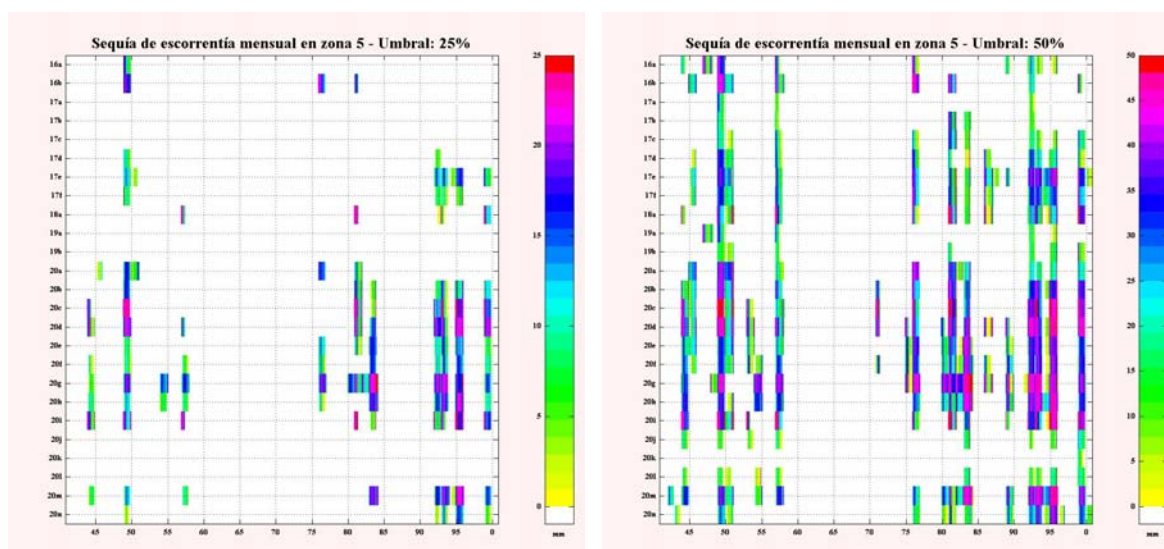


5.5.- Zona 5

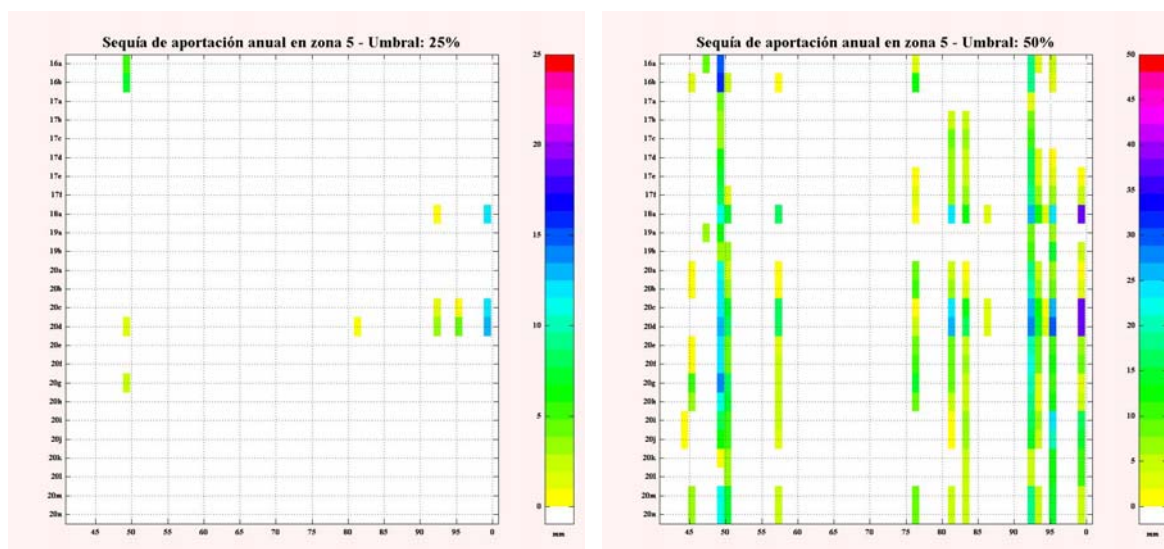
5.5.1.- Escorrentía diferencial anual



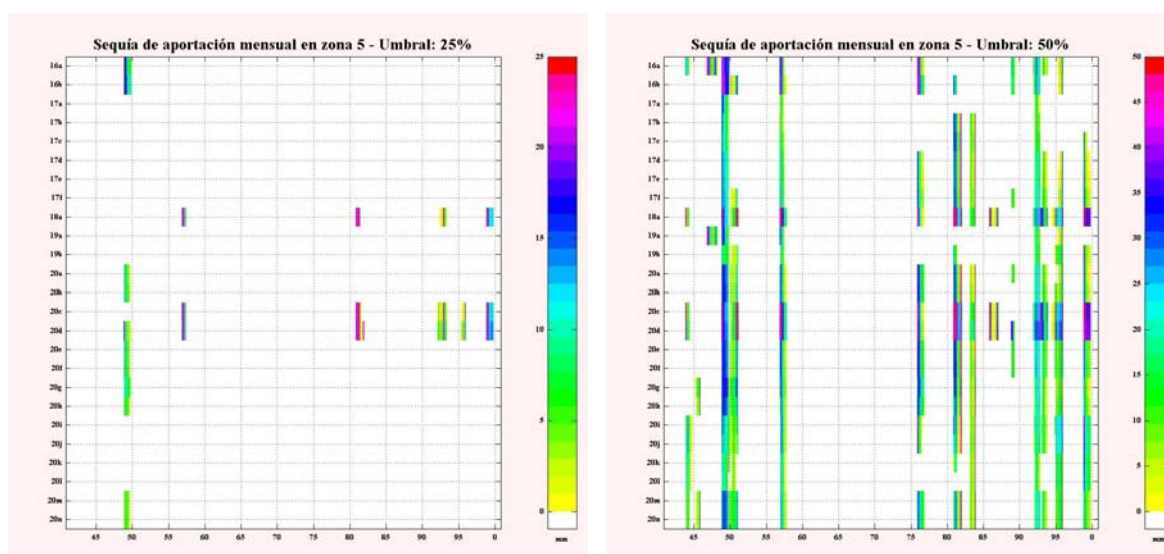
5.5.2.- Escorrentía diferencial mensual



5.5.3.- Aportación acumulada anual

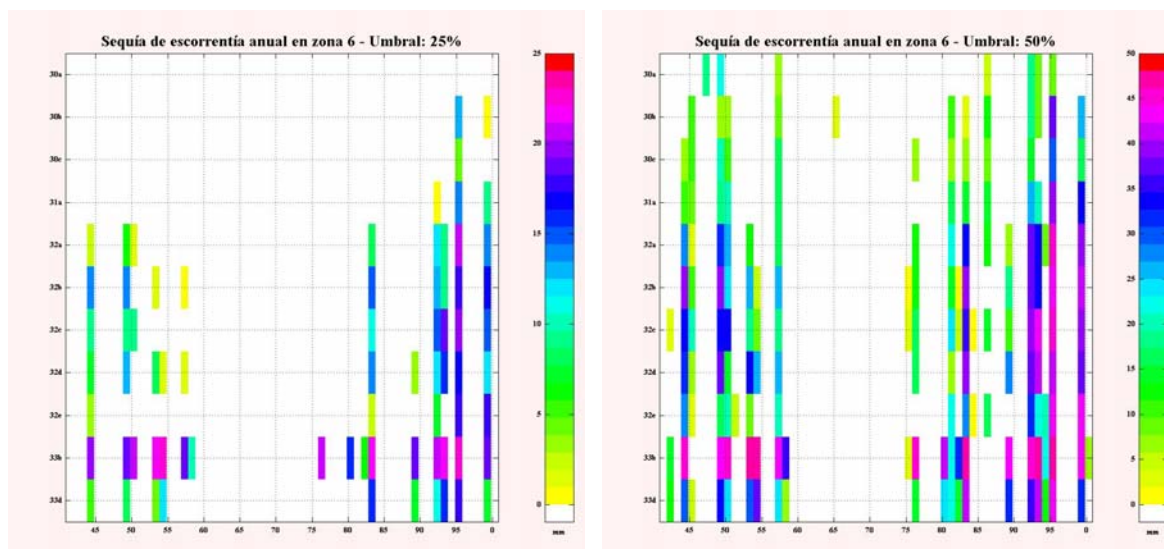


5.5.4.- Aportación acumulada mensual

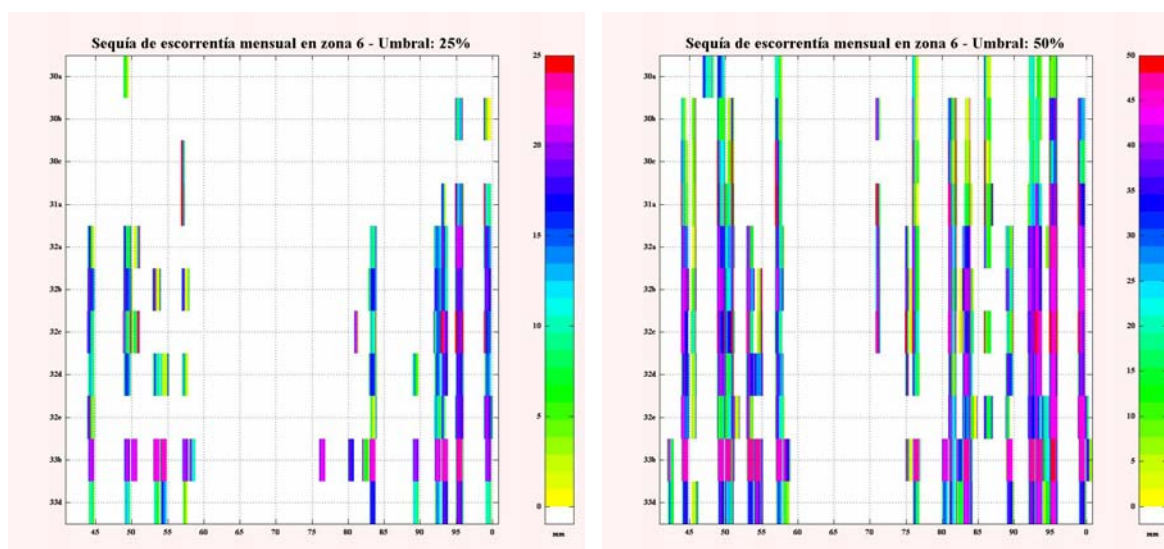


5.6.- Zona 6

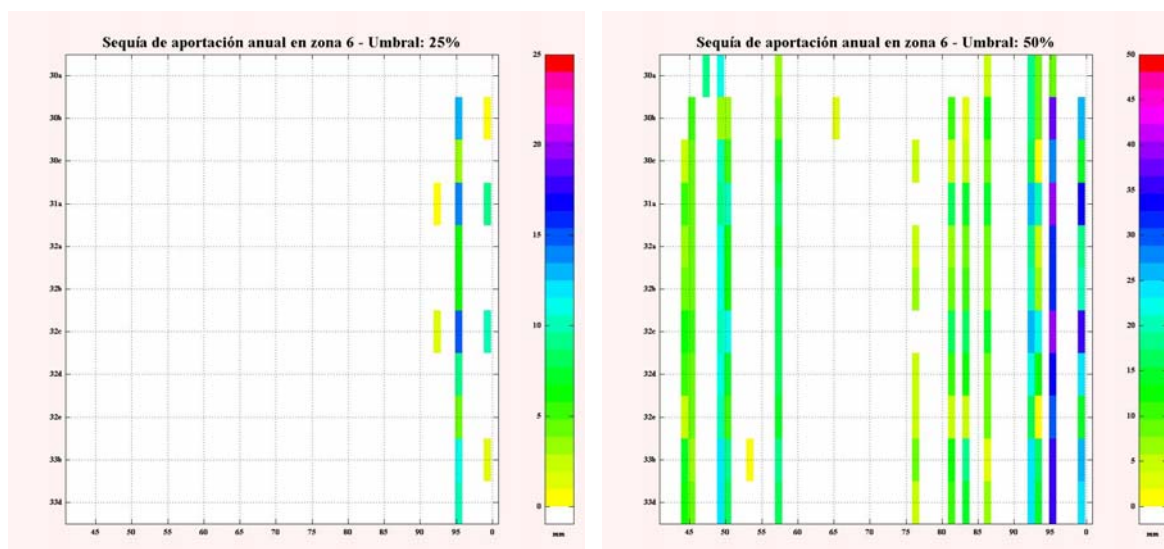
5.6.1.- Escorrentía diferencial anual



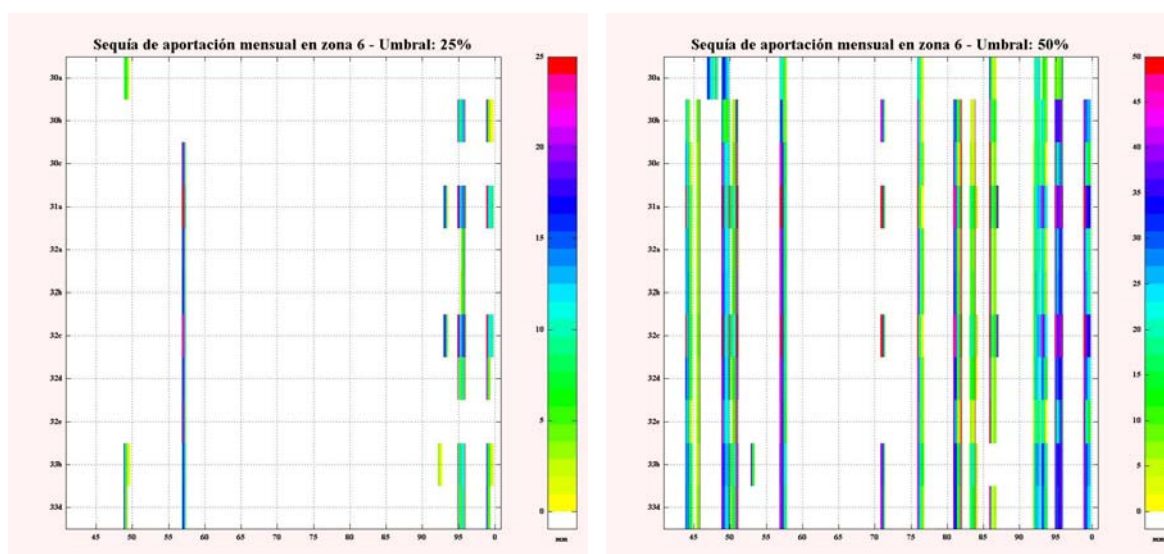
5.6.2.- Escorrentía diferencial mensual



5.6.3.- Aportación acumulada anual

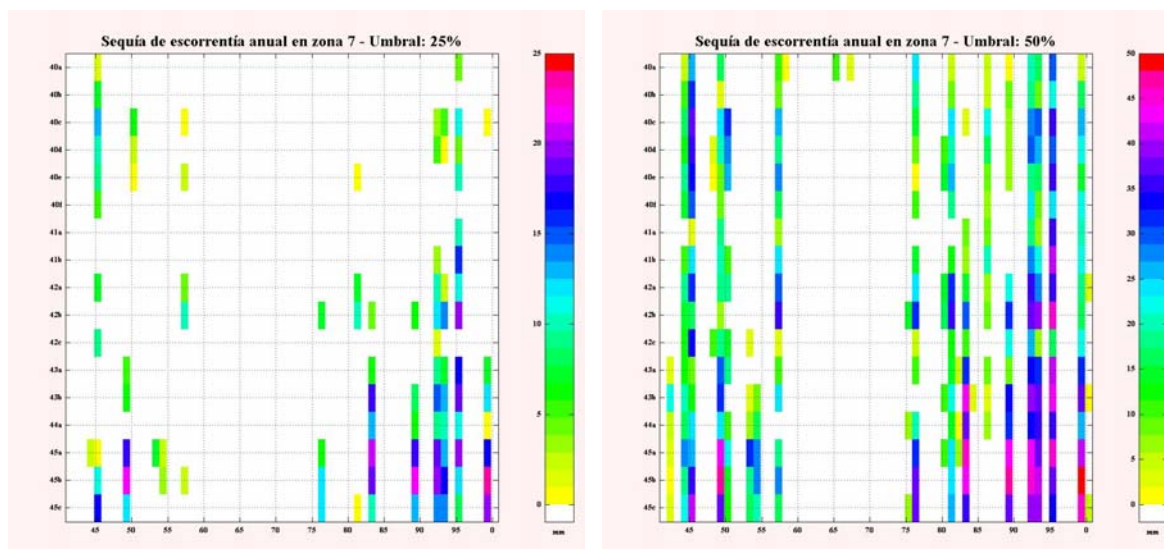


5.6.4.- Aportación acumulada mensual

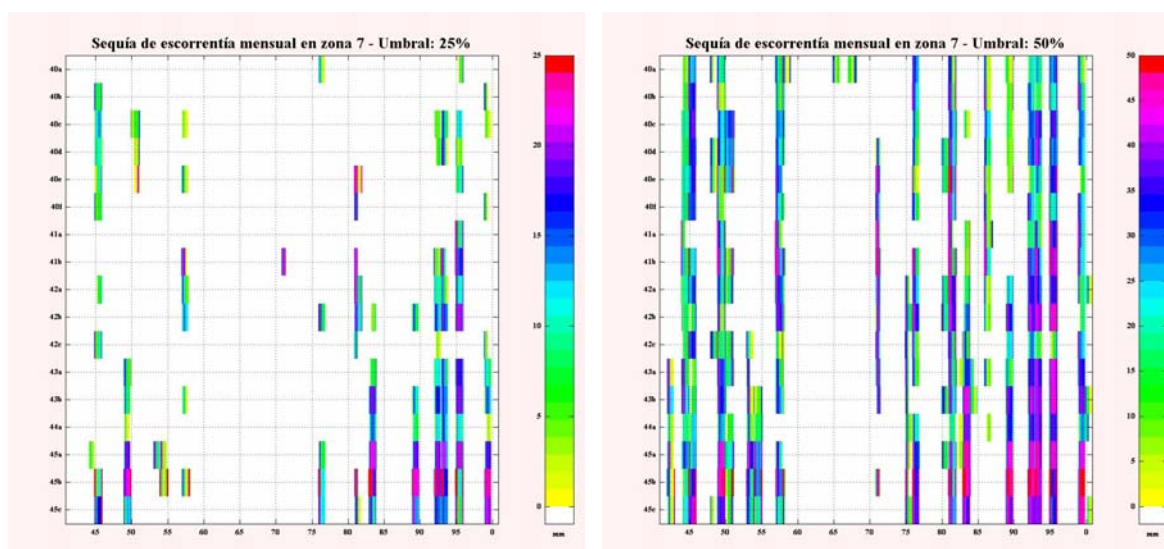


5.7.- Zona 7

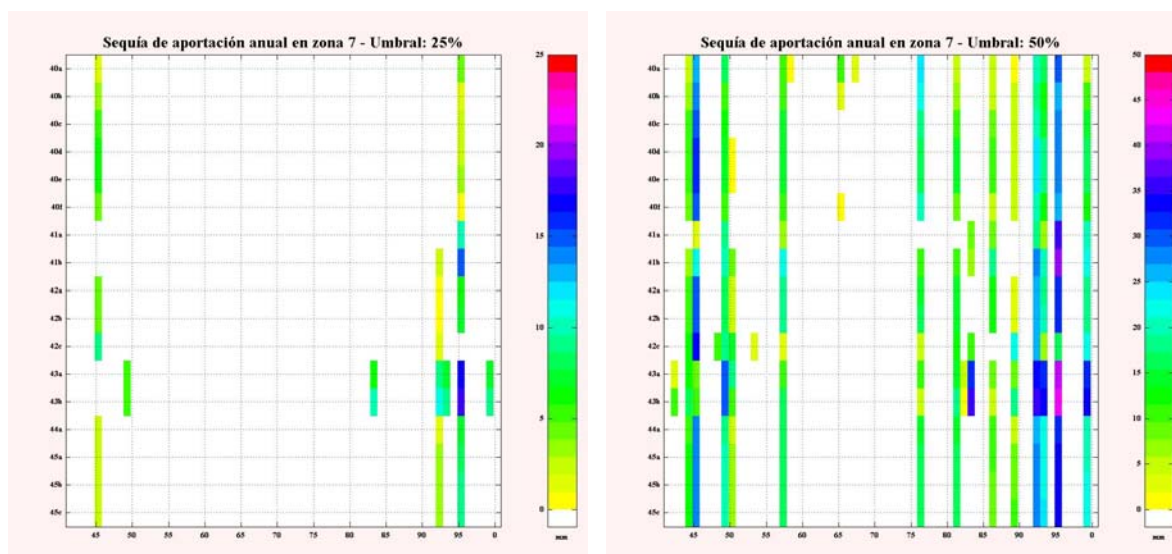
5.7.1.- Escorrentía diferencial anual



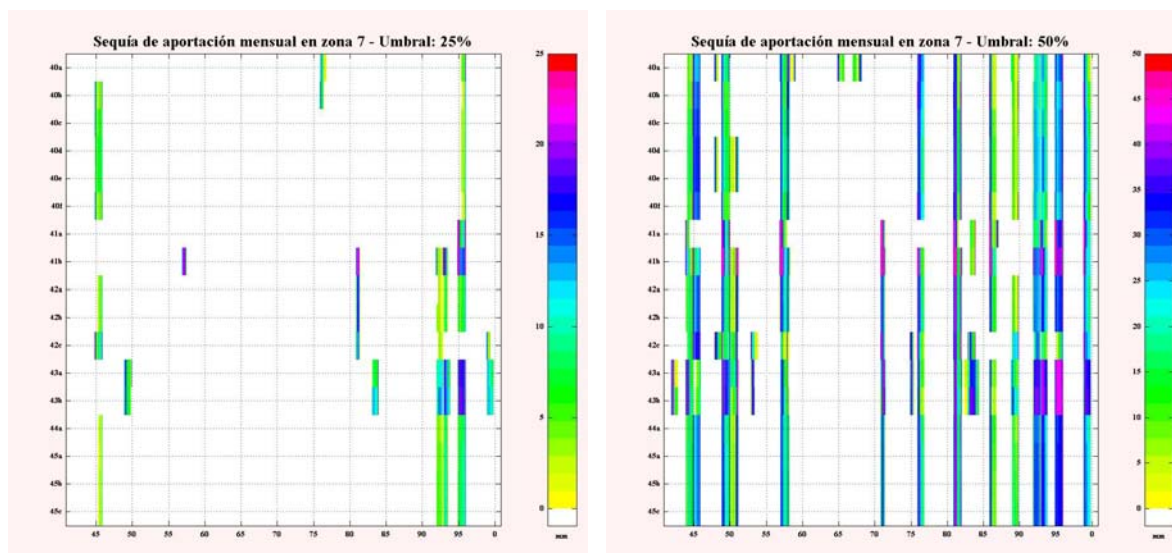
5.7.2.- Escorrentía diferencial mensual



5.7.3.- Aportación acumulada anual

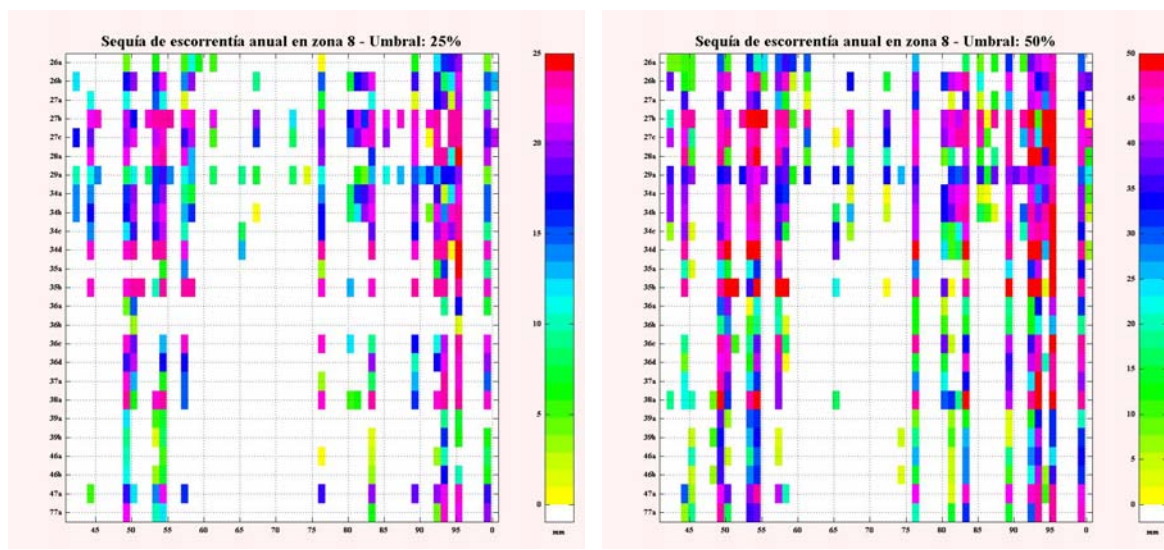


5.7.4.- Aportación acumulada mensual

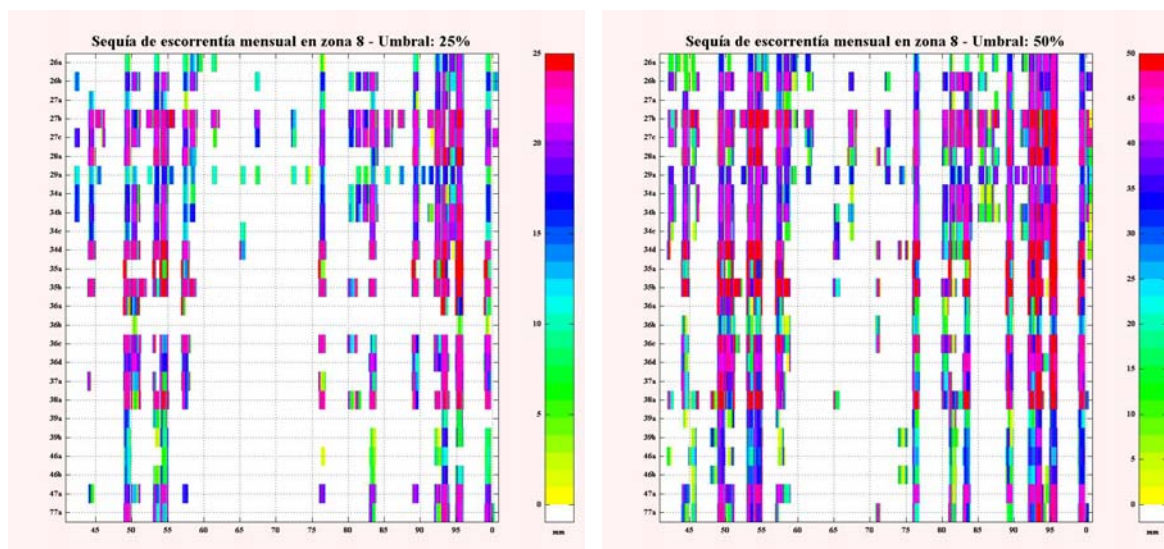


5.8.- Zona 8

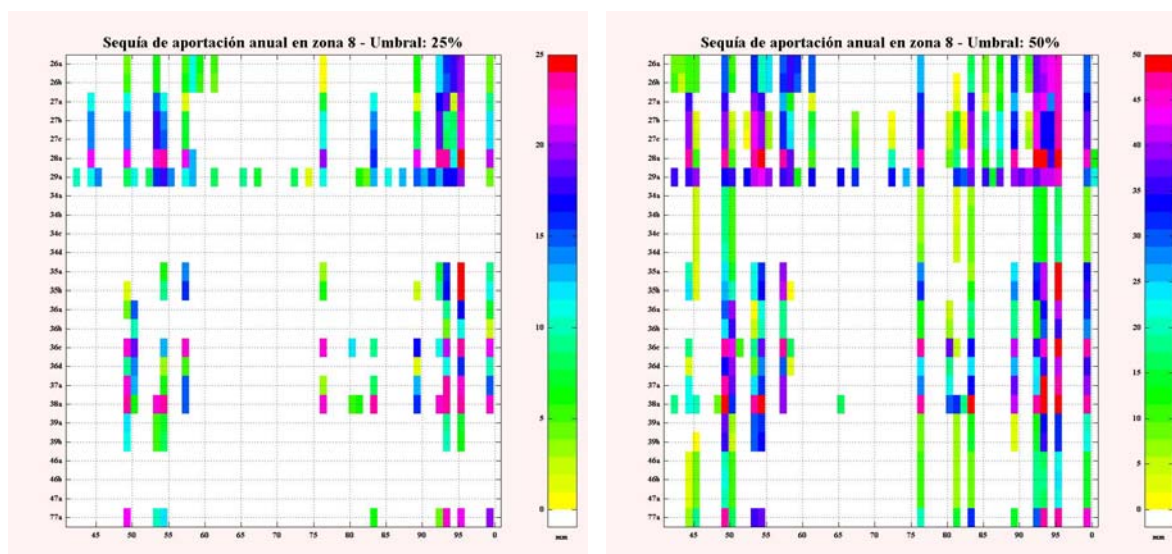
5.8.1.- Escorrentía diferencial anual



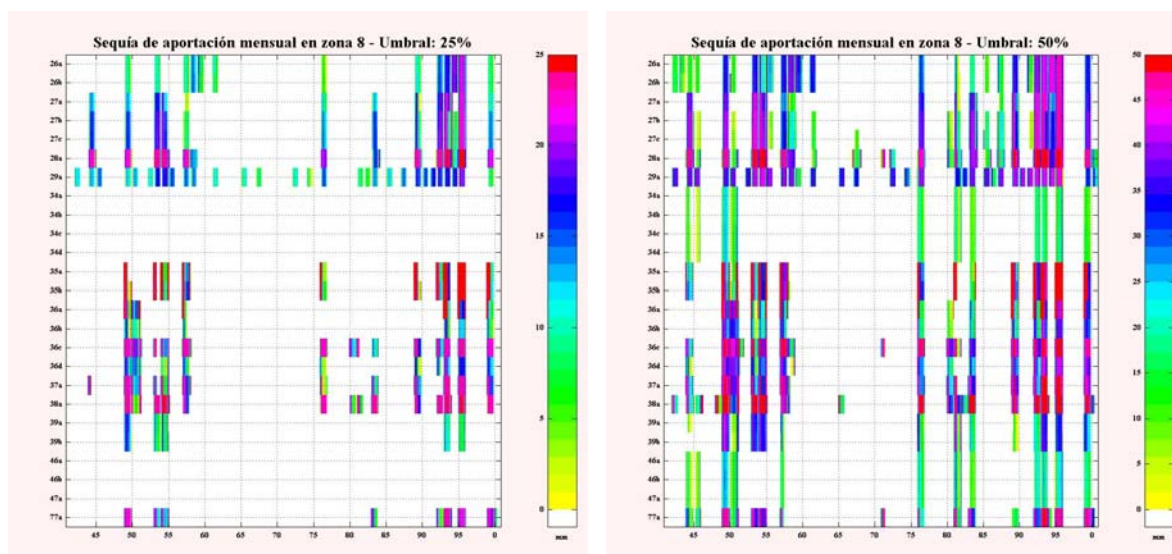
5.8.2.- Escorrentía diferencial mensual



5.8.3.- Aportación acumulada anual

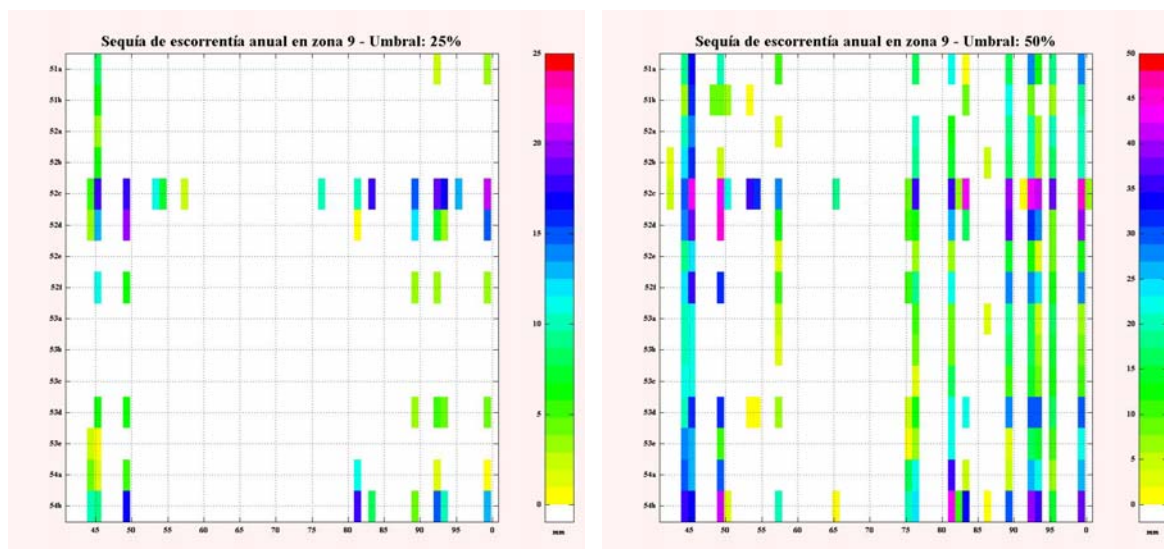


5.8.4.- Aportación acumulada mensual

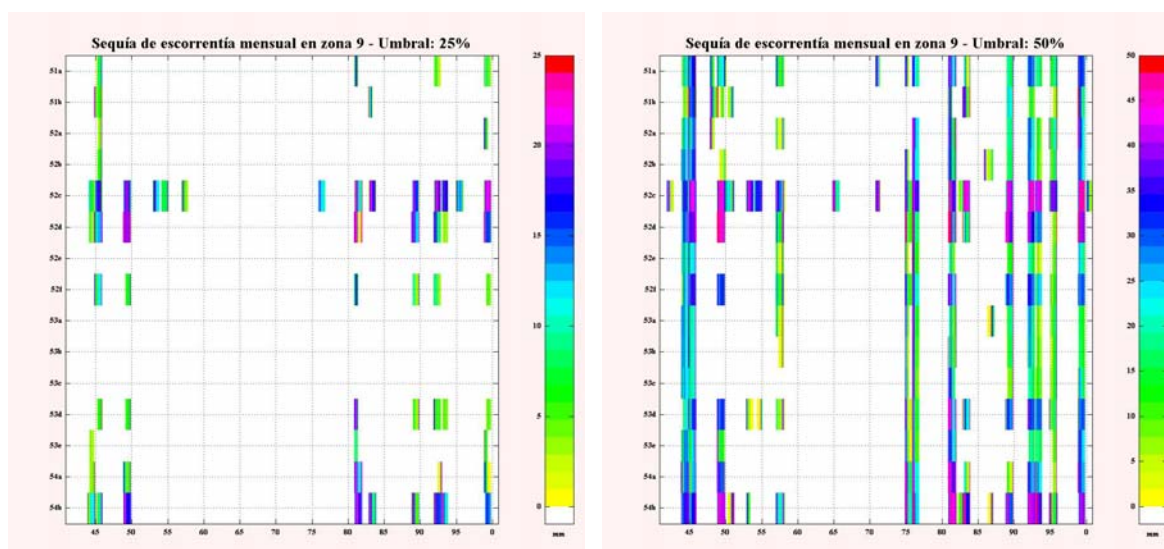


5.9.- Zona 9

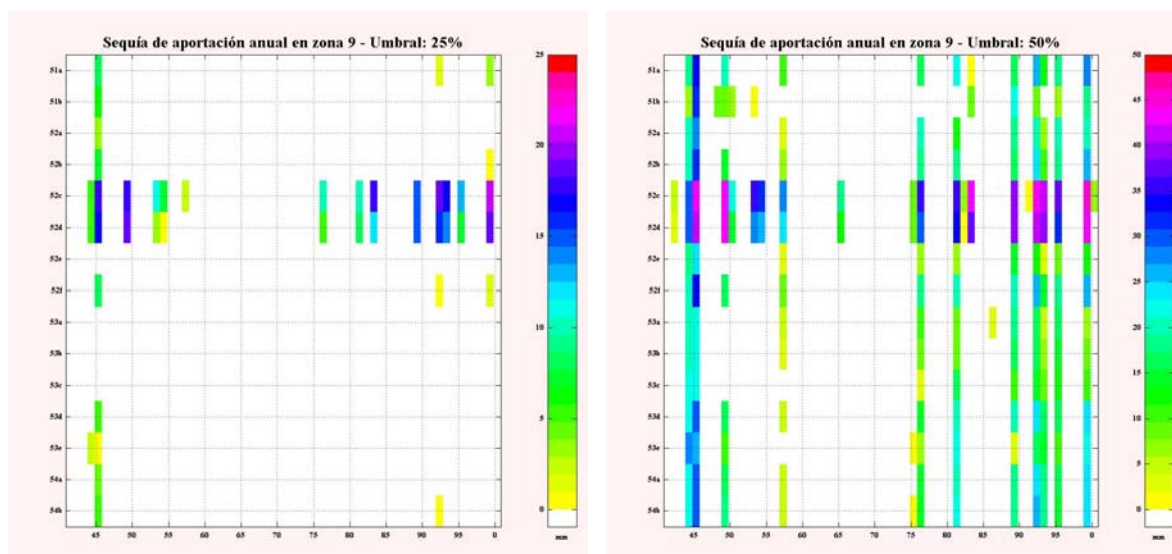
5.9.1.- Escorrentía diferencial anual



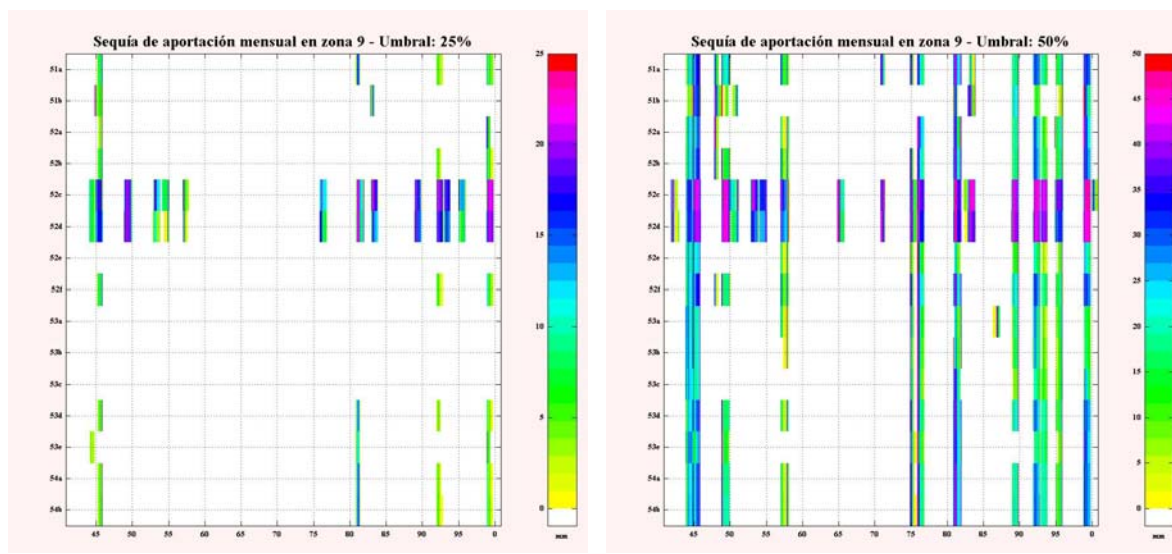
5.9.2.- Escorrentía diferencial mensual



5.9.3.- Aportación acumulada anual

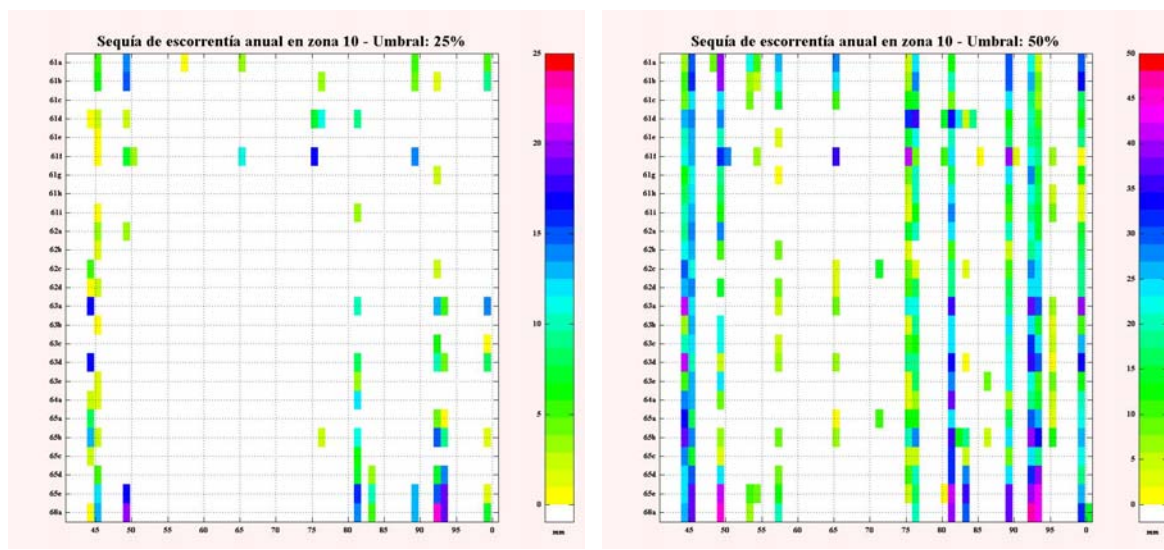


5.9.4.- Aportación acumulada mensual

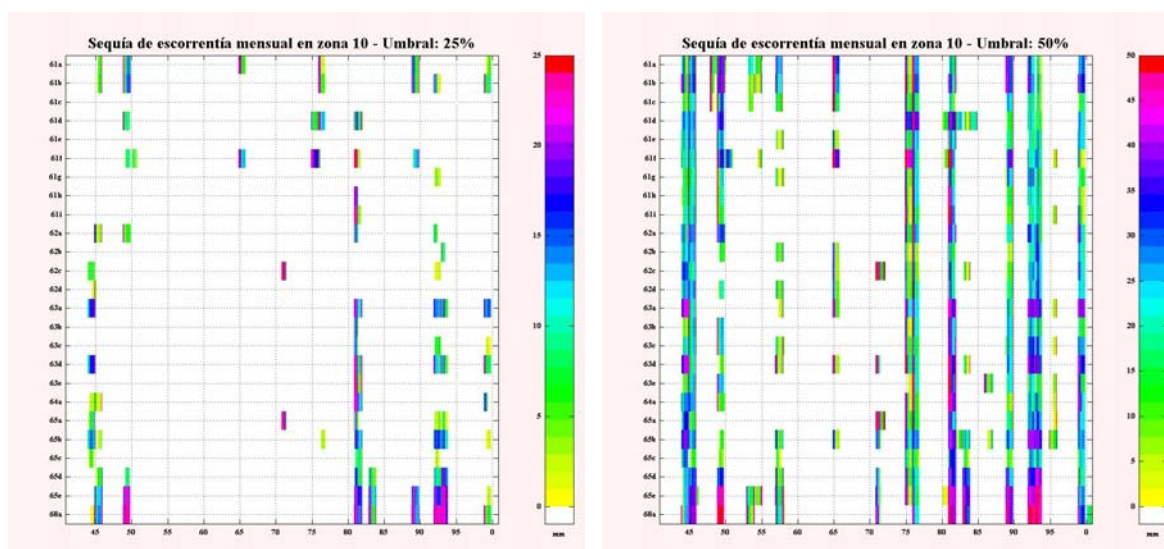


5.10.- Zona 10

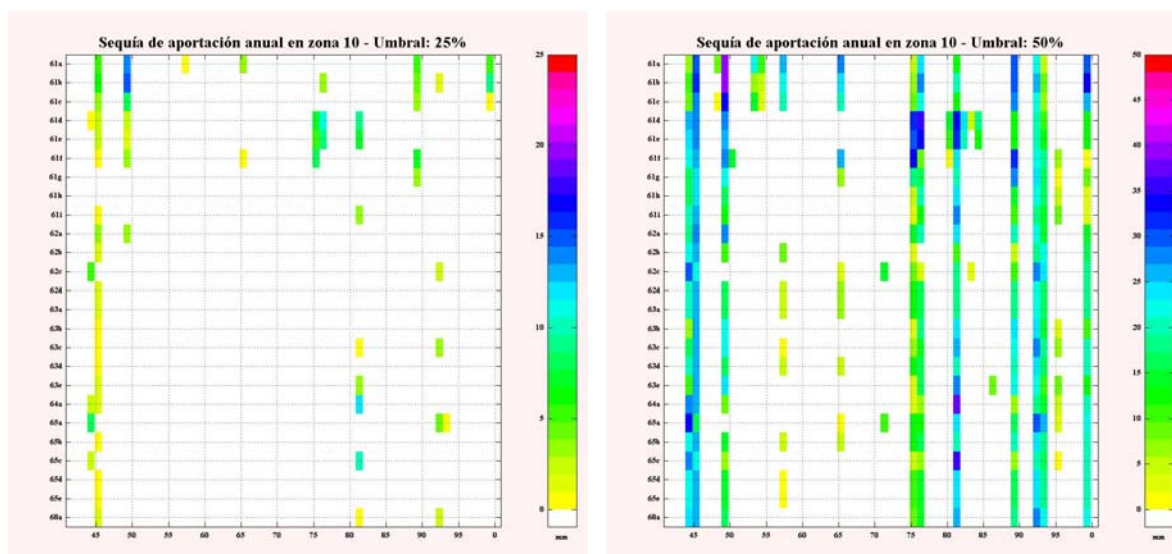
5.10.1.- Escorrentía diferencial anual



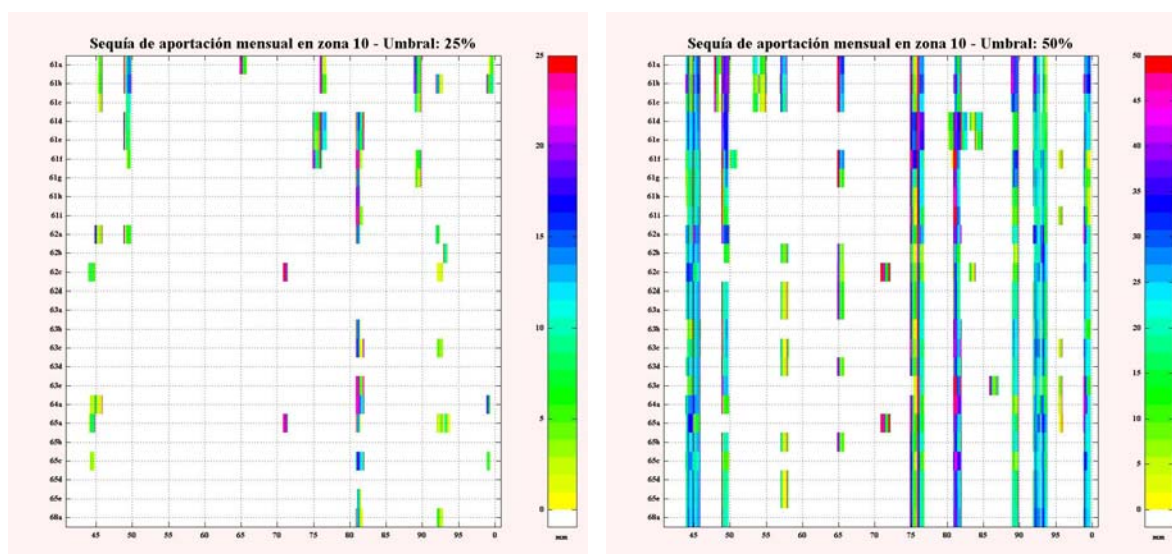
5.10.2.- Escorrentía diferencial mensual



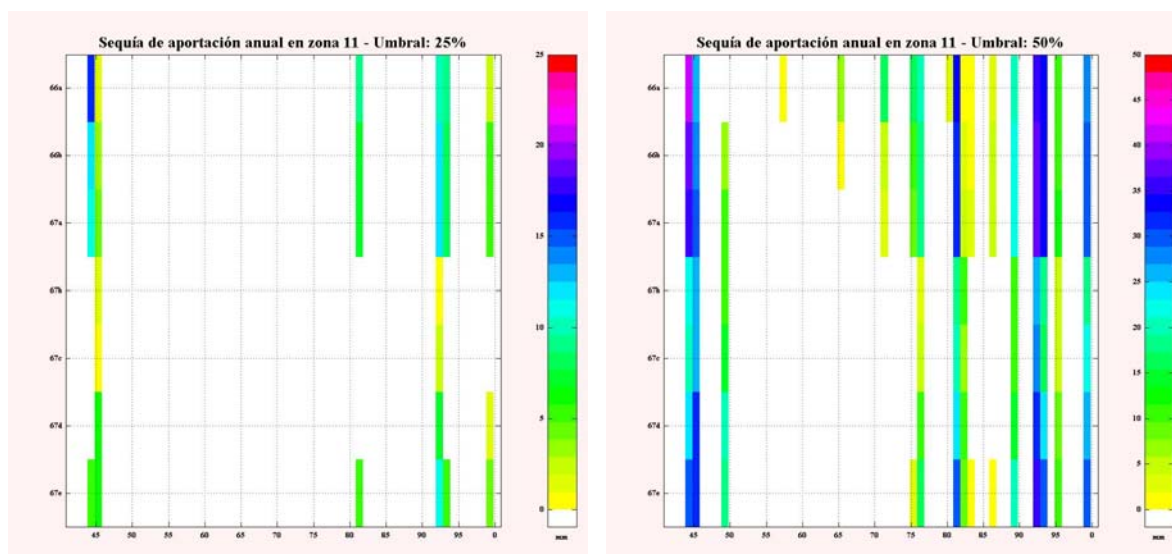
5.10.3- Aportación acumulada anual



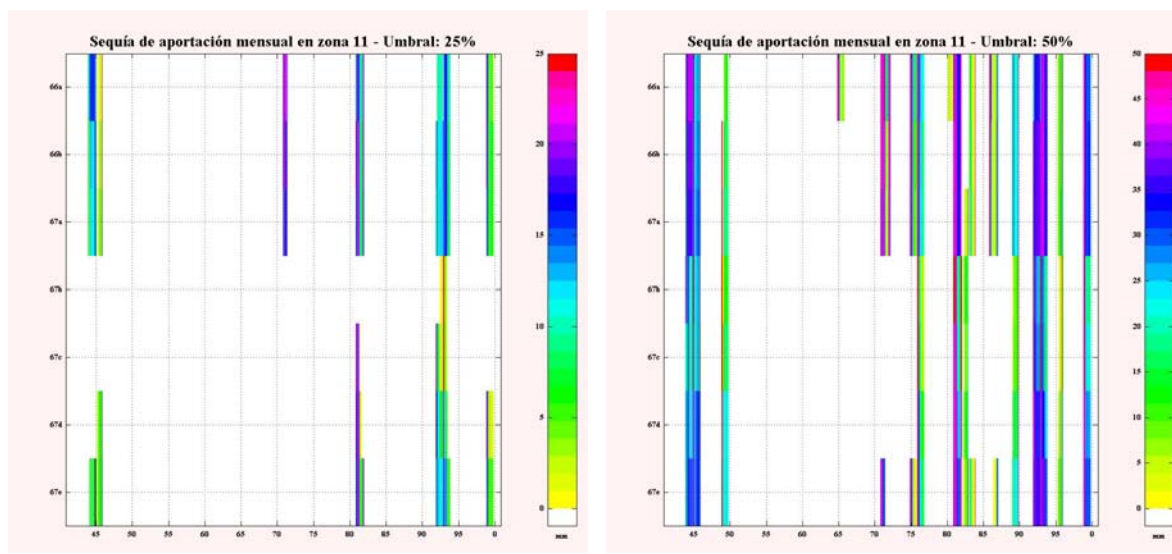
5.10.4.- Aportación acumulada mensual



5.11.3.- Aportación acumulada anual

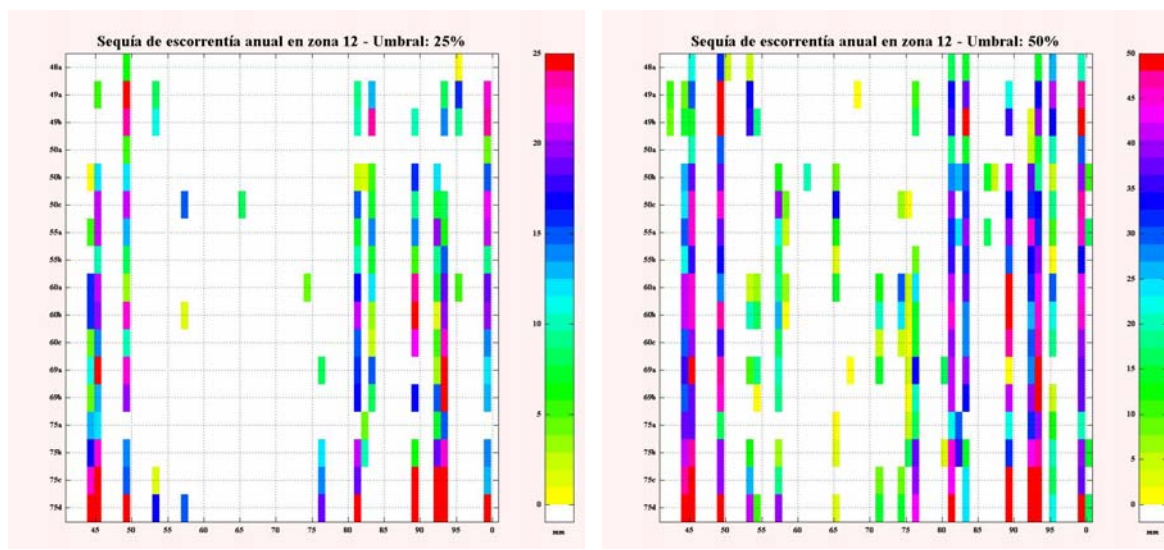


5.11.4.- Aportación acumulada mensual

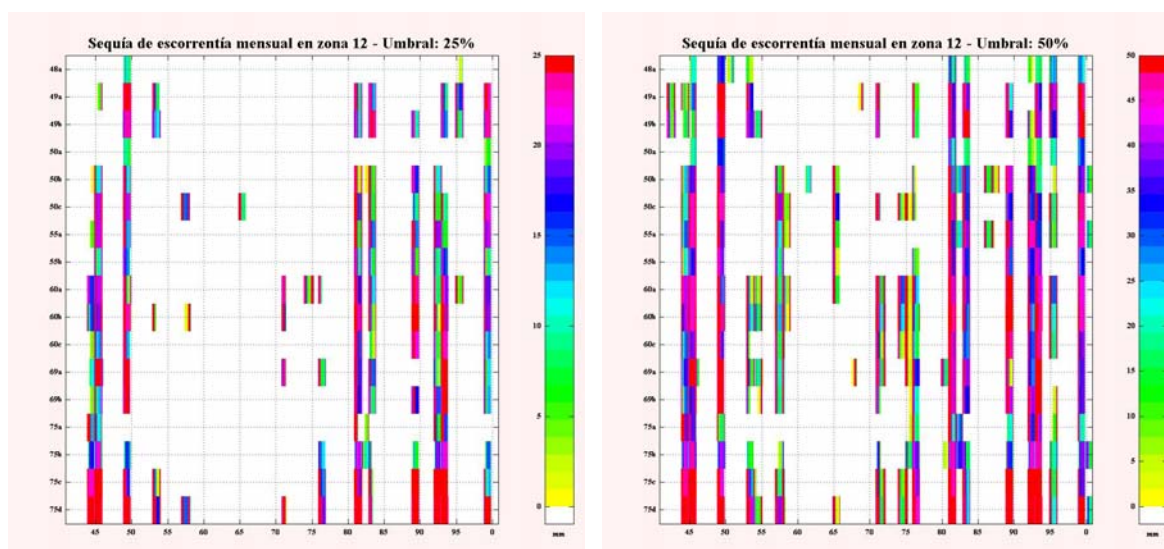


5.12.- Zona 12

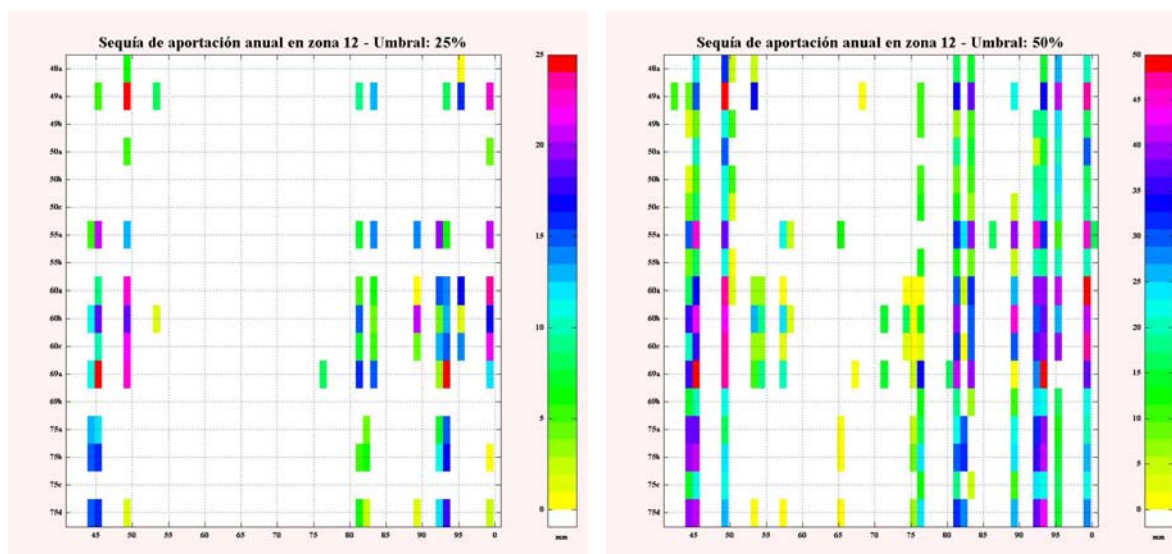
5.12.1.- Escorrentía diferencial anual



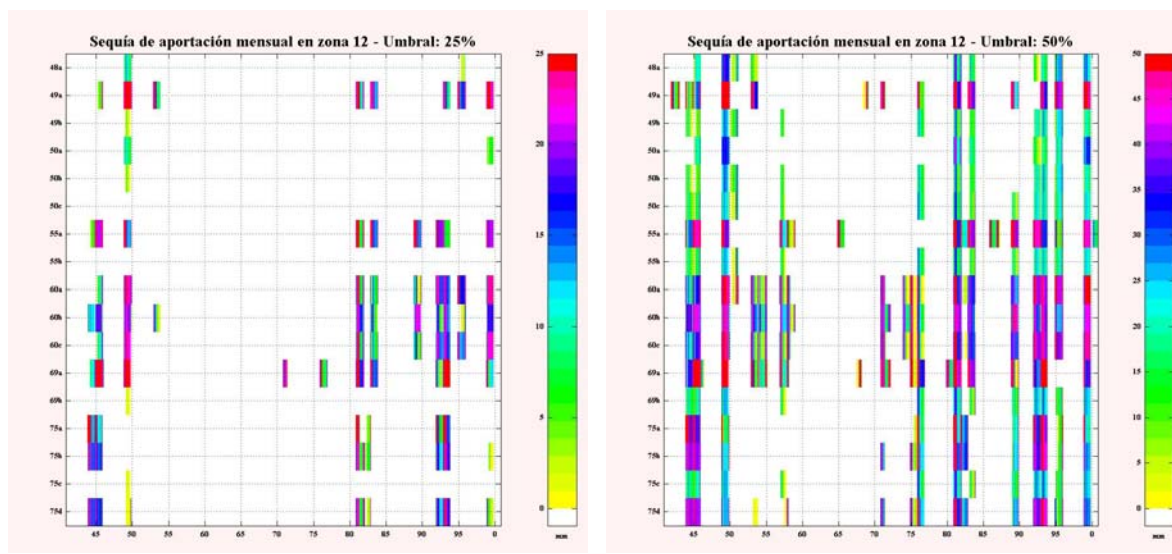
5.12.2.- Escorrentía diferencial mensual



5.12.3- Aportación acumulada anual

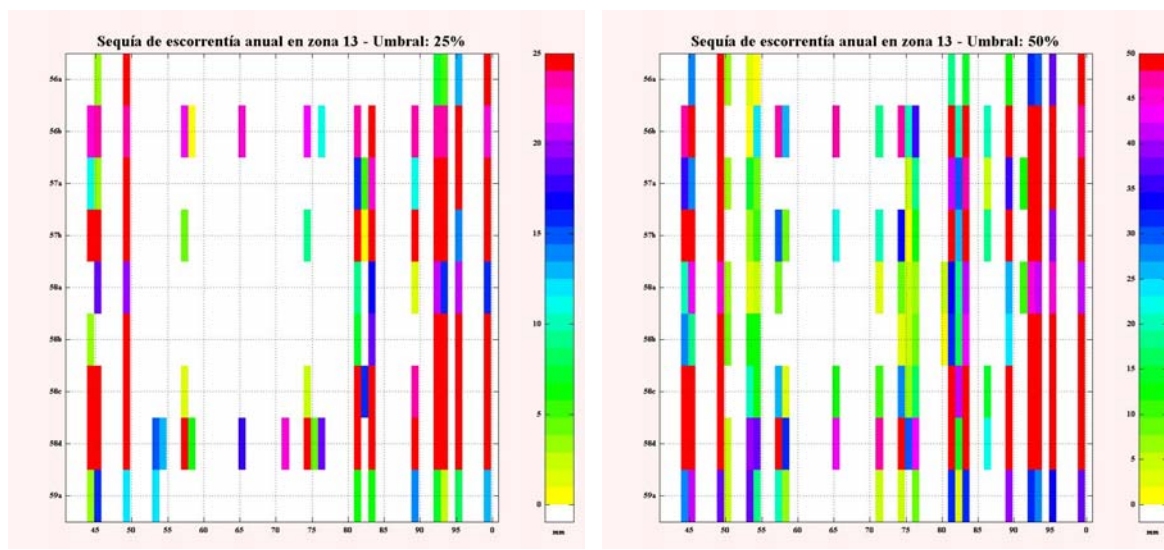


5.12.4.- Aportación acumulada mensual

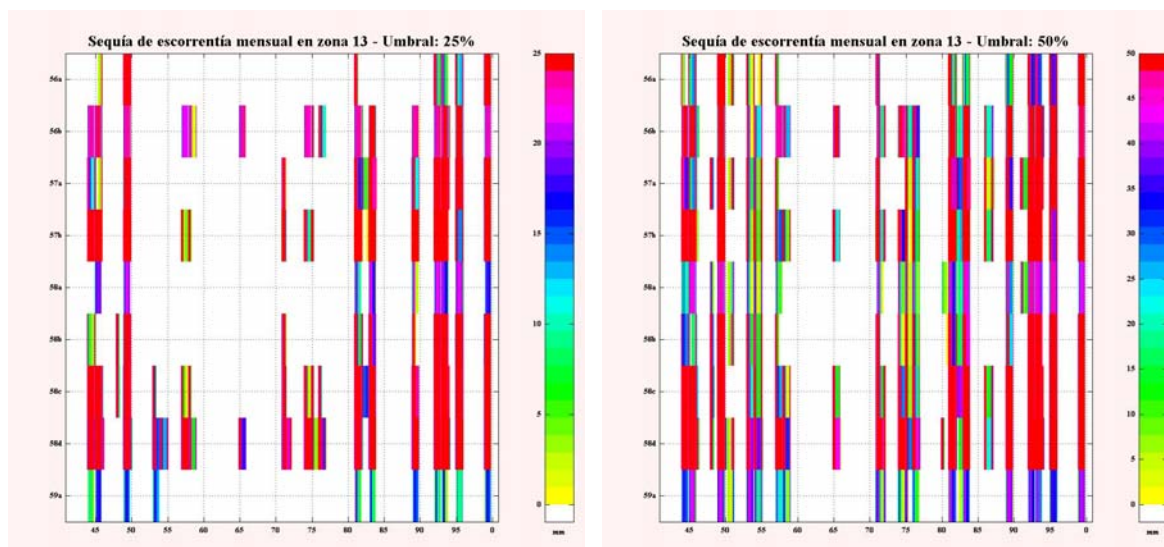


5.13.- Zona 13

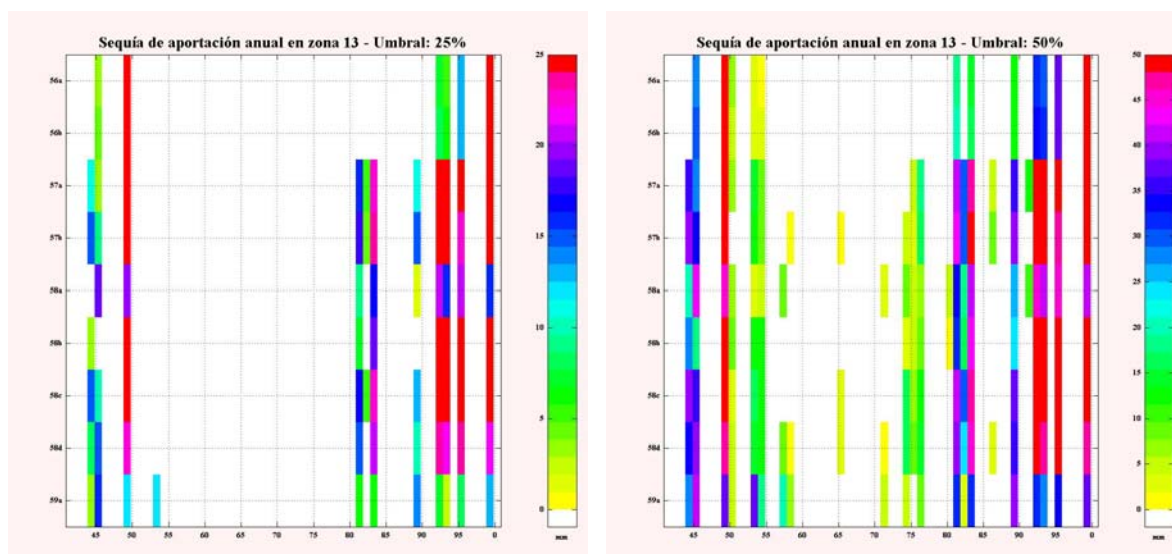
5.13.1.- Escorrentía diferencial anual



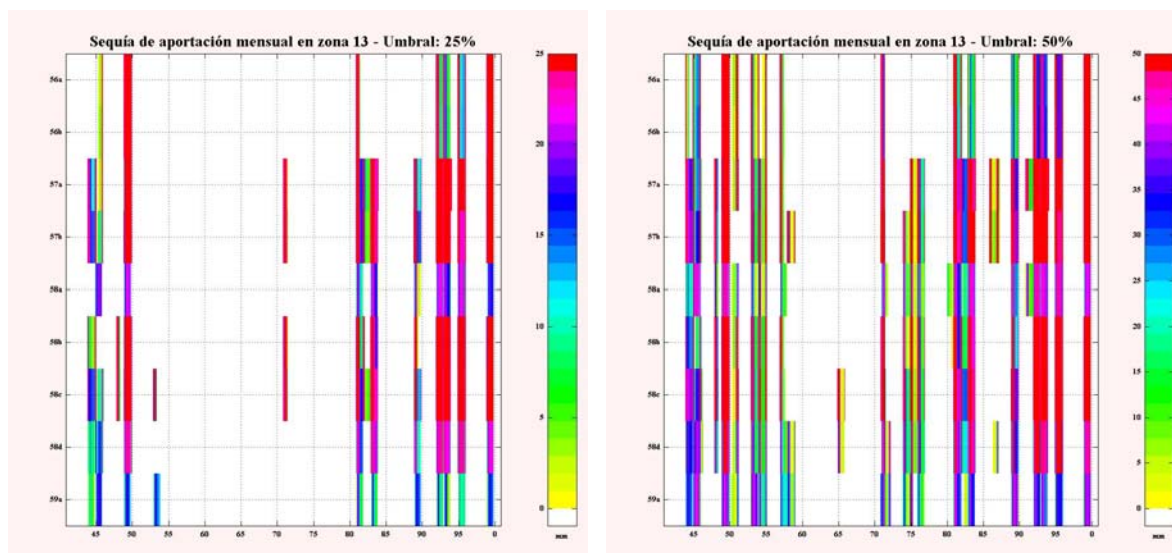
5.13.2- Escorrentía diferencial mensual



5.13.3.- Aportación acumulada anual

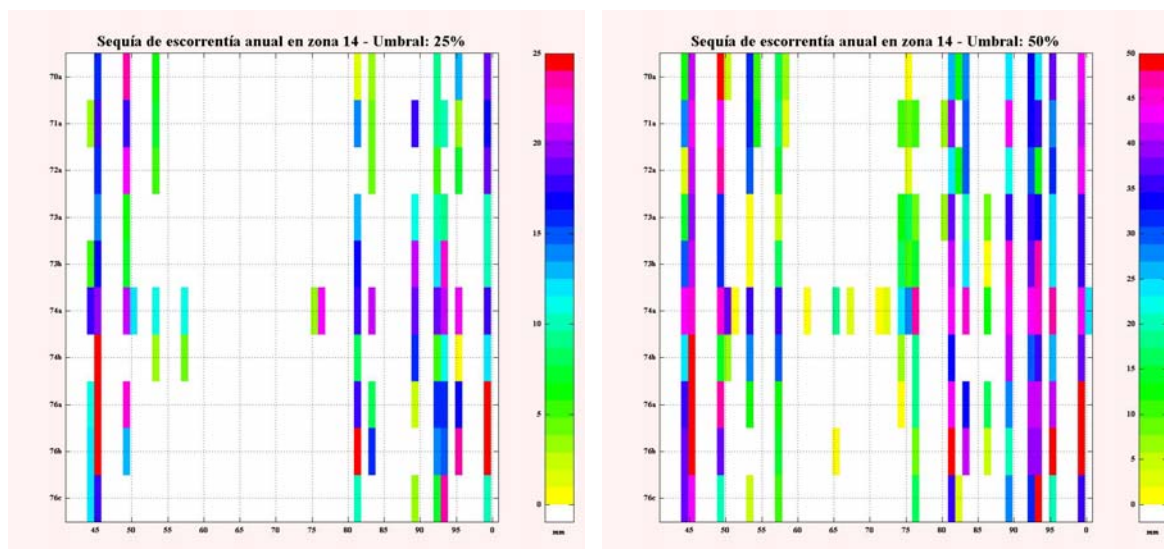


5.13.4.- Aportación acumulada mensual

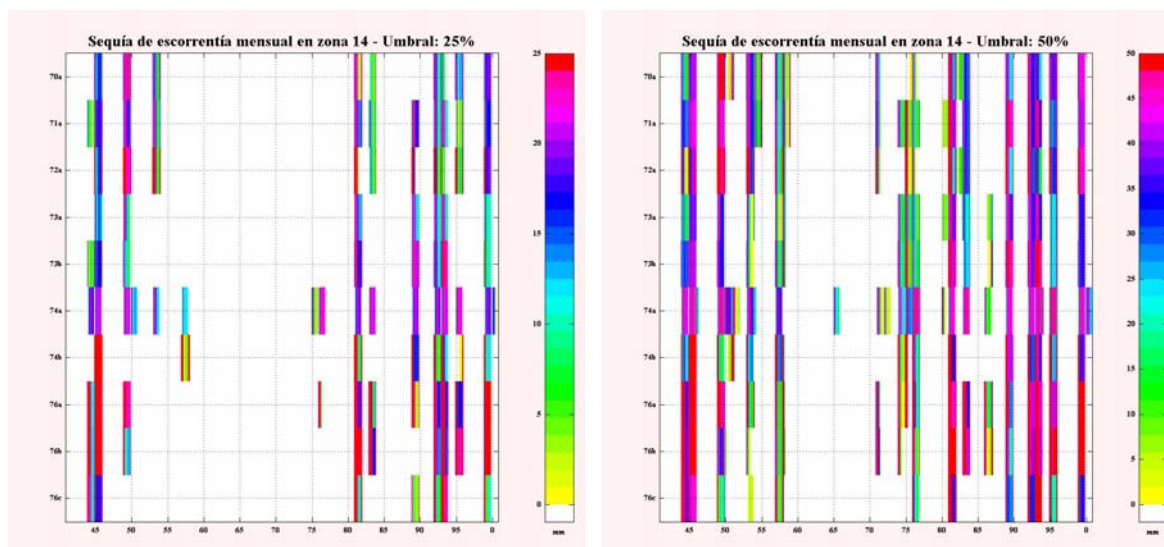


5.14.- Zona 14

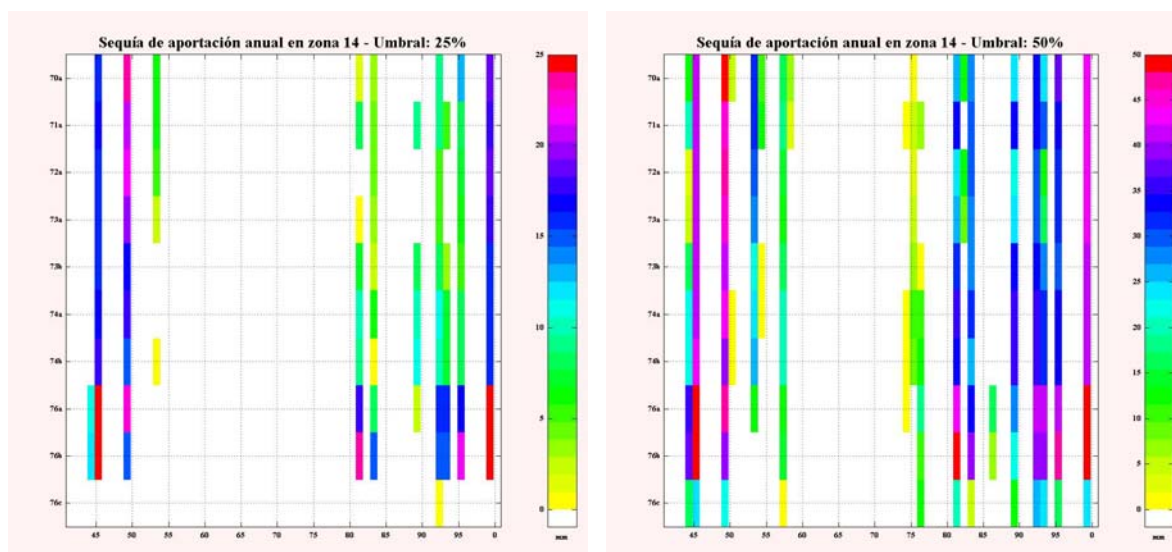
5.14.1.- Escorrentía diferencial anual



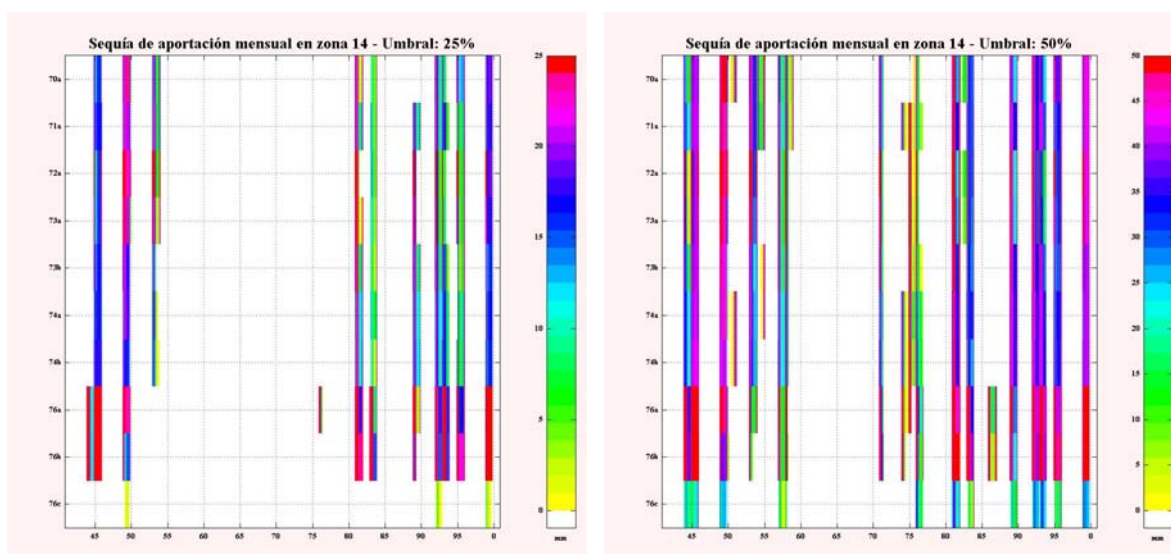
5.14.2.- Escorrentía diferencial mensual



5.14.3.- Aportación acumulada anual



5.14.4.- Aportación acumulada mensual



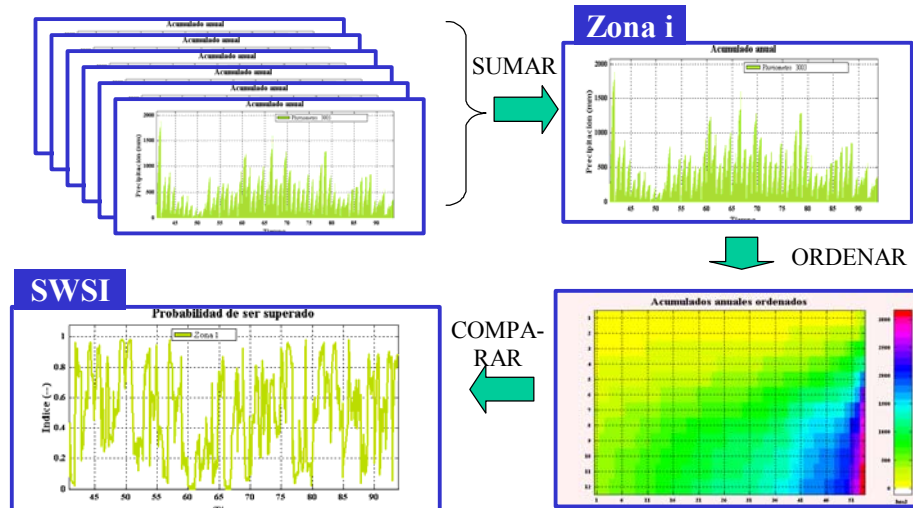
6.- SEQUÍA DE DISPONIBILIDAD DE RECURSOS

El índice de recursos superficiales (Surface Water Supply Index, SWSI) tiene como finalidad integrar las características meteorológicas, hidrológicas y operativas en un único índice a nivel de cuenca hidrográfica que describe la disponibilidad de recursos. Para ello se combinan los valores de precipitación, aportación y reservas en un índice agregado que representa las condiciones globales en la cuenca.

El cálculo del SWSI es como sigue: se calculan los valores acumulados de precipitación, aportación y reservas en la cuenca y se obtiene para cada uno de ellos la probabilidad de no excedencia; es decir, la probabilidad de que valores subsiguientes de las variables no sean superiores a los actuales. El valor del índice SWSI es una media ponderada de los índices de cada variable. El peso de cada componente depende de las características del sistema de explotación de recursos hidráulicos; fundamentalmente, de la naturaleza anual o hiperanual de la regulación disponible.

INDICE DE DISPONIBILIDAD DE RECURSOS SUPERFICIALES

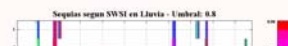
Basado en la probabilidad de superación de valores



En nuestro caso se ha calculado el índice SWSI para las 14 zonas hidrológicas del sistema, asignando igual peso a cada una de las tres componentes. En el caso de las reservas en embalses, se han utilizado los resultados de la simulación de los sistemas de explotación de recursos en la situación actual, ya que la progresiva puesta en servicio de la infraestructura impide el cálculo de la probabilidad de excedencia con datos históricos.

SEQUIÁS SEGÚN SWSI

SWSI para LLUVIA



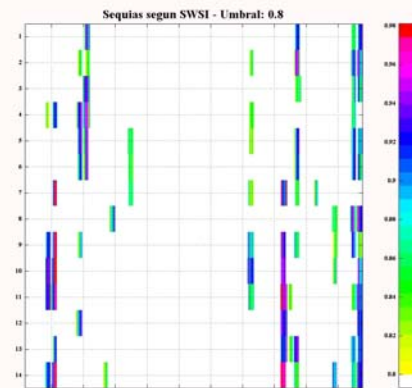
SWSI para APORTACIÓN



SWSI para RESERVAS



SWSI TOTAL



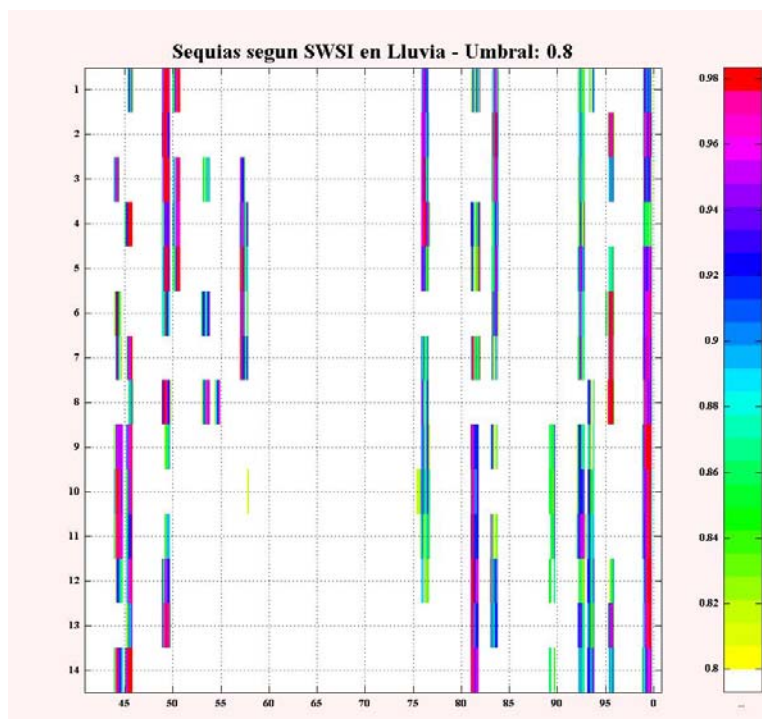
7.- SERIES DE RACHAS DE SEQUÍA EN EL ÍNDICE SWSI

A continuación se presentan los gráficos correspondientes a las series de rachas de sequía según el índice SWSI.

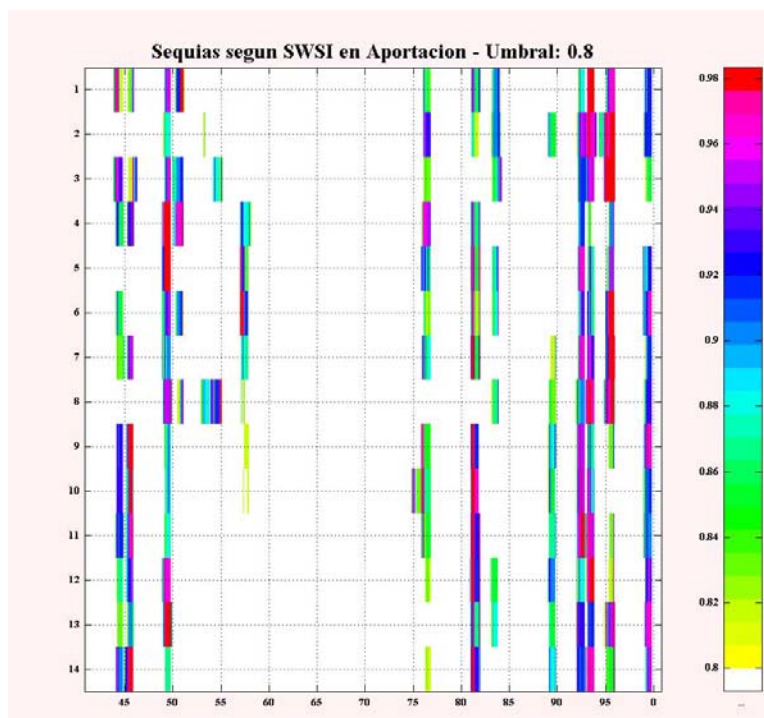
- En primer lugar se presentan las sequías de cada uno de los tres componentes (precipitación, aportación y reservas), con un umbral de 0,8 de probabilidad de excedencia.
- A continuación se presentan las sequías según el índice conjunto, con umbrales de 1,5, 2,0, 2,5 y 3,0.

7.1.- Componentes

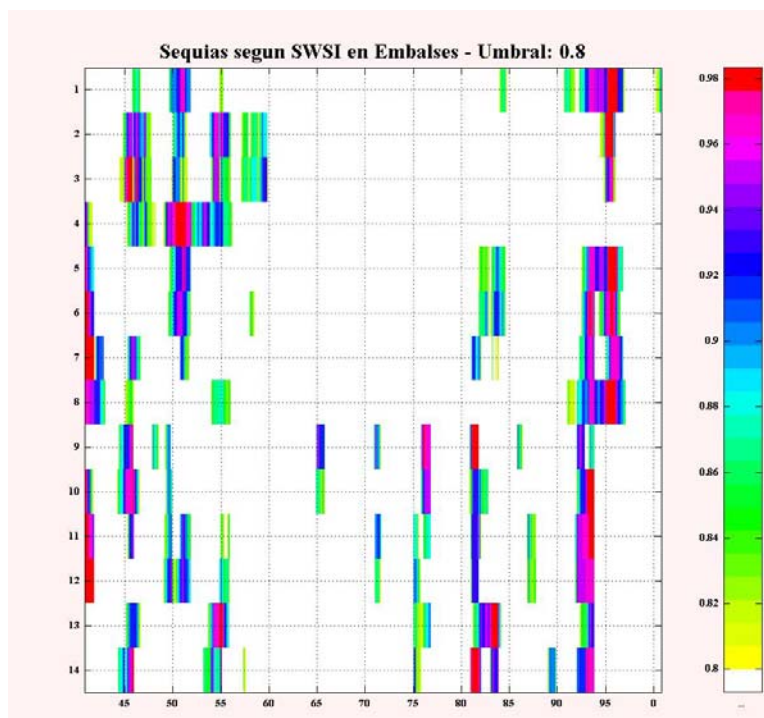
Precipitación



Aportación

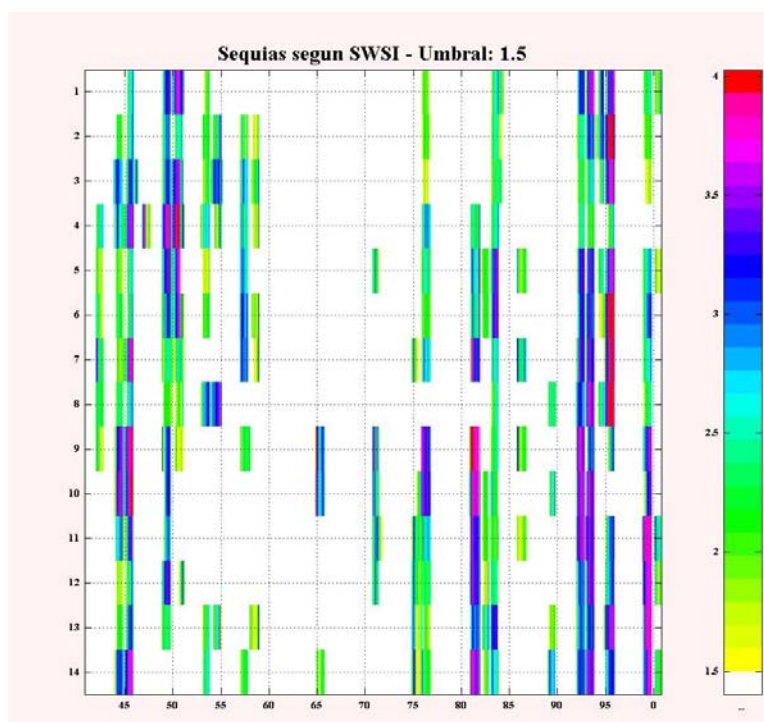


Reservas

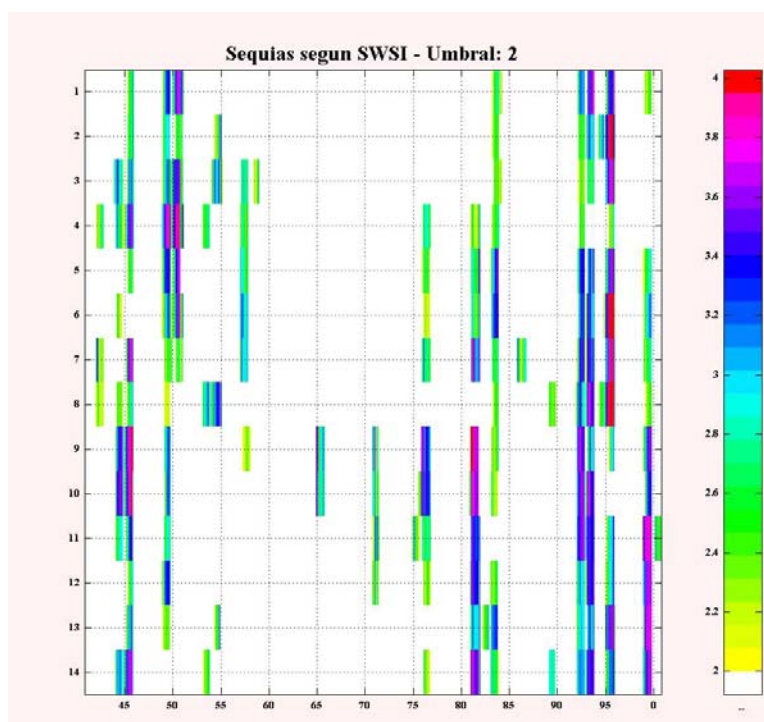


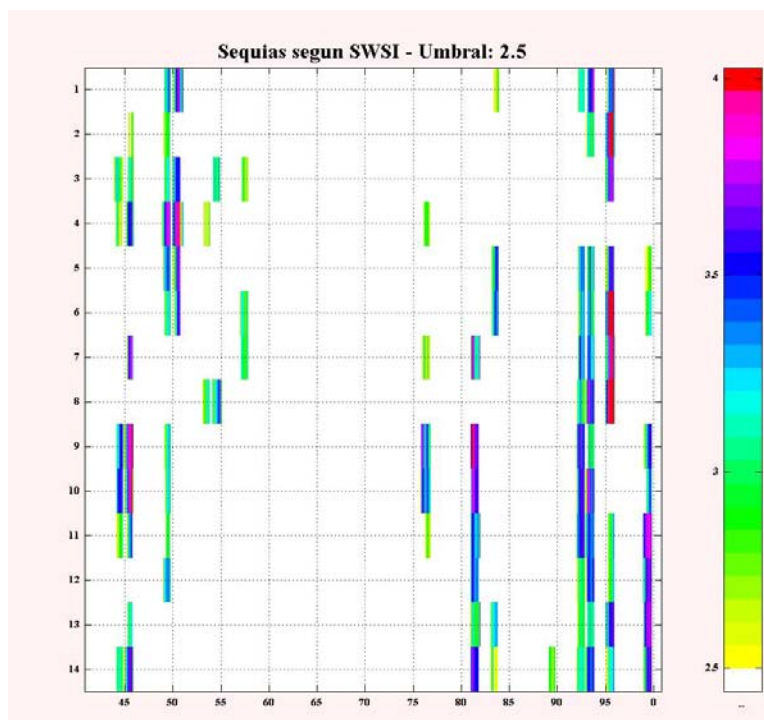
7.2.- Global

Umbral 1,5



Umbral 2



Umbral 2.5Umbral 3