

# Modelamiento Hidrológico con SWAT y Calibración Multiobjetivo

Bryan Quispe

2025-06-29

## Tabla de contenidos

<b>1</b>	<b>Instalación de paquetes y programas</b>	<b>2</b>
1.1	Listado de paquetes . . . . .	2
1.2	Instalación de paquetes . . . . .	2
1.3	Instalación del paquete hidroSWAT . . . . .	2
1.4	Instalación de QSWAT . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Introducción a R</b>	<b>3</b>
2.1	Carga y graficación de archivos csv . . . . .	3
2.2	Manejo de series de tiempo . . . . .	7
2.2.1	Crear un objeto xts . . . . .	8
2.2.2	Trabajando con el paquete zoo . . . . .	9
2.2.3	Graficando con el paquete lattice() . . . . .	11
2.3	Agregaciones anuales y mensuales . . . . .	12
2.4	Análisis exploratorio . . . . .	16

## Listado de Figuras

1	Gráfico de caja en matriz de precipitación . . . . .	4
2	Promedios mensuales con la función plot() . . . . .	5
3	Totales anuales con la función plot() . . . . .	6
4	Serie de tiempo con el paquete xts . . . . .	9
5	Serie de tiempo con el paquete zoo . . . . .	10
6	Graficación con el paquete zoo . . . . .	11
7	Graficación con el paquete lattice . . . . .	12
8	Precipitación a paso mensual . . . . .	13
9	Precipitación mensual . . . . .	14
10	Precipitación anual . . . . .	15
11	Precipitación máxima anual . . . . .	16
12	Boxplot de cada estación . . . . .	16
13	Análisis en precipitación mensual . . . . .	17
14	Análisis en precipitación mensual con hydroTSM . . . . .	18

## Listado de Tablas

1	Encabezado de la base de datos cargada . . . . .	8
---	--	---

# 1 Instalación de paquetes y programas

## 1.1 Listado de paquetes

Los siguientes paquetes serán necesarios para el desarrollo del curso:

```
1 paquetes <- c(
2   # Gestion de datos espacio-temporales
3   "sp", "sf", "raster", "terra", "tidyterra", "exactextractr", "ncdf4",
4
5   # Manipulacion de datos y estructuras
6   "tibble", "dplyr", "readr", "stringr", "rlang", "plyr", "reshape2",
7
8   # Series temporales y fechas
9   "xts", "lubridate", "hydroTSM",
10
11  # Modelado hidrológico
12  "airGR", "hydroGOF", "nsga2R",
13
14  # Visualización
15  "ggplot2", "cowplot", "corrplot", "lattice", "latticeExtra",
16  "RColorBrewer", "gridGraphics",
17
18  # Paralelización
19  "foreach", "doParallel",
20
21  # Desarrollo y gestión de paquetes
22  "devtools", "tidyverse"
23 )
```

## 1.2 Instalación de paquetes

```
1 paquetes_faltantes <- paquetes[!paquetes %in%
2                               installed.packages()[, "Package"]]
3 if (length(paquetes_faltantes) > 0) {
4   message("Instalando paquetes faltantes: ",
5           paste(paquetes_faltantes, collapse = ", "))
6   install.packages(paquetes_faltantes)
7 } else {
8   message("Todos los paquetes ya están instalados.")
9 }
```

## 1.3 Instalación del paquete hidroSWAT

```
1 if (!"hydroSWAT" %in% installed.packages()[, "Package"]) {
2   install.packages(
3     "hydroSWAT_0.1.0.zip",
4     repos = NULL,
5     type = "win.binary"
6   )
7 }
```

## 1.4 Instalación de QSWAT

1. Instalar dependencias necesarias
  - [accessdatabaseengine\\_X64.exe](#) (solo si no tienes Microsoft Office instalado)
  - [dotNetFx35setup.exe](#) (netframework3.5)
  - [msmpisetup.exe](#)
2. Instalar [QGIS](#)
3. Instalar [SWAT editor](#)
4. Instalar [QSWAT](#)
5. Activar el plugin QSWAT desde: QSWAT/plugins/QSWAT
6. Reemplazar base de datos meteorológica de ArcSWAT

## 2 Introducción a R

### 2.1 Carga y graficación de archivos csv

Lectura de datos csv

```
1 datos <- read.csv("input/prec_1.csv", header = TRUE, check.names = FALSE)
2 datos <- round(datos, 1)
3 datos[[1]]
```

```
[1] 149.0 157.8 109.8 26.4 13.1 15.4 7.9 10.1 32.6 79.9 28.1 103.8
[13] 220.4 150.1 155.0 49.3 28.4 3.9 25.2 20.3 32.4 75.9 80.9 109.8
[25] 119.7 204.2 138.6 84.9 25.2 7.3 49.5 11.0 44.0 78.6 93.1 142.6
[37] 134.9 156.4 158.8 56.0 20.3 11.6 3.4 24.0 11.0 38.4 36.9 130.0
[49] 167.3 151.1 86.3 43.8 13.1 20.6 23.1 25.9 50.0 47.4 73.7 119.1
[61] 77.7 158.8 107.4 44.6 7.8 1.3 4.8 4.9 12.2 54.5 66.4 106.9
[73] 149.1 130.1 115.2 86.0 3.8 12.7 2.8 13.8 21.3 64.2 99.4 125.2
[85] 123.9 113.0 154.6 66.2 14.0 1.8 11.5 2.5 11.1 63.5 75.1 96.2
[97] 149.7 129.0 95.2 24.0 14.1 7.1 3.0 9.4 11.4 73.7 73.8 147.5
[109] 120.9 127.3 91.3 40.6 10.2 1.6 13.7 4.2 20.6 22.8 152.6 111.2
[121] 207.6 125.9 130.3 38.4 7.9 2.9 4.4 9.5 9.2 67.1 43.1 147.5
[133] 124.4 170.4 147.2 90.9 13.8 9.8 14.6 8.2 49.6 46.4 48.7 141.8
[145] 132.5 192.1 102.0 53.2 4.3 8.7 5.3 3.0 29.8 32.1 80.4 178.2
[157] 156.9 157.2 104.6 26.8 15.3 13.0 3.4 23.7 10.0 80.7 81.4 171.6
[169] 153.3 120.9 77.9 49.7 18.8 2.3 5.0 8.3 25.7 63.4 36.7 139.7
[181] 164.1 118.5 101.4 89.6 20.9 5.4 14.2 10.8 14.0 35.7 62.9 138.5
```

```
1 # Verificando la estructura de la tabla de datos:
2 str(datos)
```

```
'data.frame': 192 obs. of 1 variable:
 $ PREC: num 149 157.8 109.8 26.4 13.1 ...
```

Podemos convertir la base de datos en una matriz de 12 columnas

```
1 pp_matriz <- matrix(datos[[1]], ncol = 12, byrow = TRUE)
2 print(pp_matriz)
```

	[,1]	[,2]	[,3]	[,4]	[,5]	[,6]	[,7]	[,8]	[,9]	[,10]	[,11]	[,12]
[1,]	149.0	157.8	109.8	26.4	13.1	15.4	7.9	10.1	32.6	79.9	28.1	103.8
[2,]	220.4	150.1	155.0	49.3	28.4	3.9	25.2	20.3	32.4	75.9	80.9	109.8
[3,]	119.7	204.2	138.6	84.9	25.2	7.3	49.5	11.0	44.0	78.6	93.1	142.6
[4,]	134.9	156.4	158.8	56.0	20.3	11.6	3.4	24.0	11.0	38.4	36.9	130.0
[5,]	167.3	151.1	86.3	43.8	13.1	20.6	23.1	25.9	50.0	47.4	73.7	119.1
[6,]	77.7	158.8	107.4	44.6	7.8	1.3	4.8	4.9	12.2	54.5	66.4	106.9
[7,]	149.1	130.1	115.2	86.0	3.8	12.7	2.8	13.8	21.3	64.2	99.4	125.2
[8,]	123.9	113.0	154.6	66.2	14.0	1.8	11.5	2.5	11.1	63.5	75.1	96.2
[9,]	149.7	129.0	95.2	24.0	14.1	7.1	3.0	9.4	11.4	73.7	73.8	147.5
[10,]	120.9	127.3	91.3	40.6	10.2	1.6	13.7	4.2	20.6	22.8	152.6	111.2
[11,]	207.6	125.9	130.3	38.4	7.9	2.9	4.4	9.5	9.2	67.1	43.1	147.5
[12,]	124.4	170.4	147.2	90.9	13.8	9.8	14.6	8.2	49.6	46.4	48.7	141.8
[13,]	132.5	192.1	102.0	53.2	4.3	8.7	5.3	3.0	29.8	32.1	80.4	178.2
[14,]	156.9	157.2	104.6	26.8	15.3	13.0	3.4	23.7	10.0	80.7	81.4	171.6
[15,]	153.3	120.9	77.9	49.7	18.8	2.3	5.0	8.3	25.7	63.4	36.7	139.7
[16,]	164.1	118.5	101.4	89.6	20.9	5.4	14.2	10.8	14.0	35.7	62.9	138.5

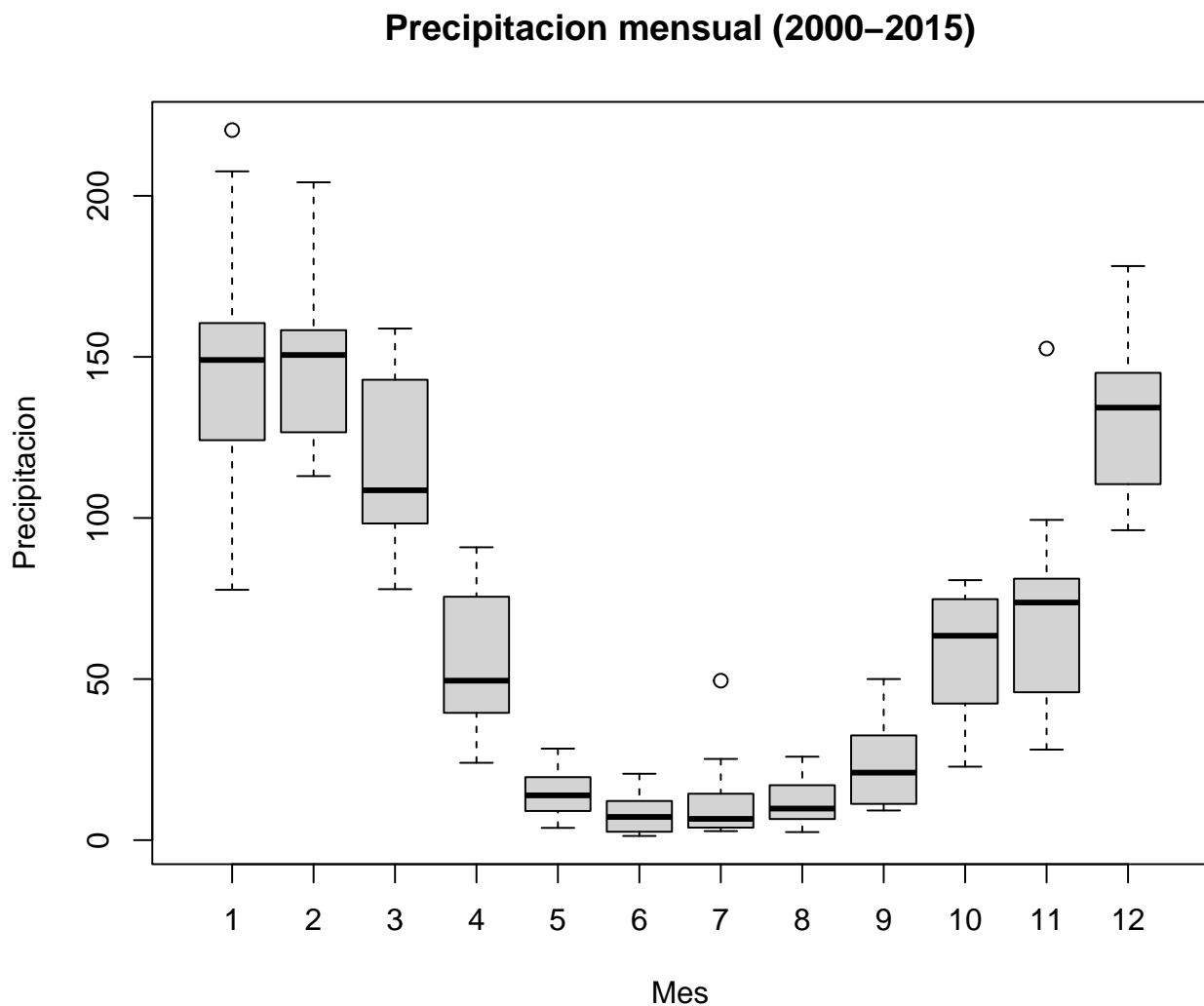
Visualizando los datos de la matriz en un boxplot

```

1 boxplot(pp_matriz, main = "Precipitacion mensual (2000-2015)",
2         xlab = "Mes", ylab = "Precipitacion")

```

Figura 1: Gráfico de caja en matriz de precipitación



Calcular la climatología estacional

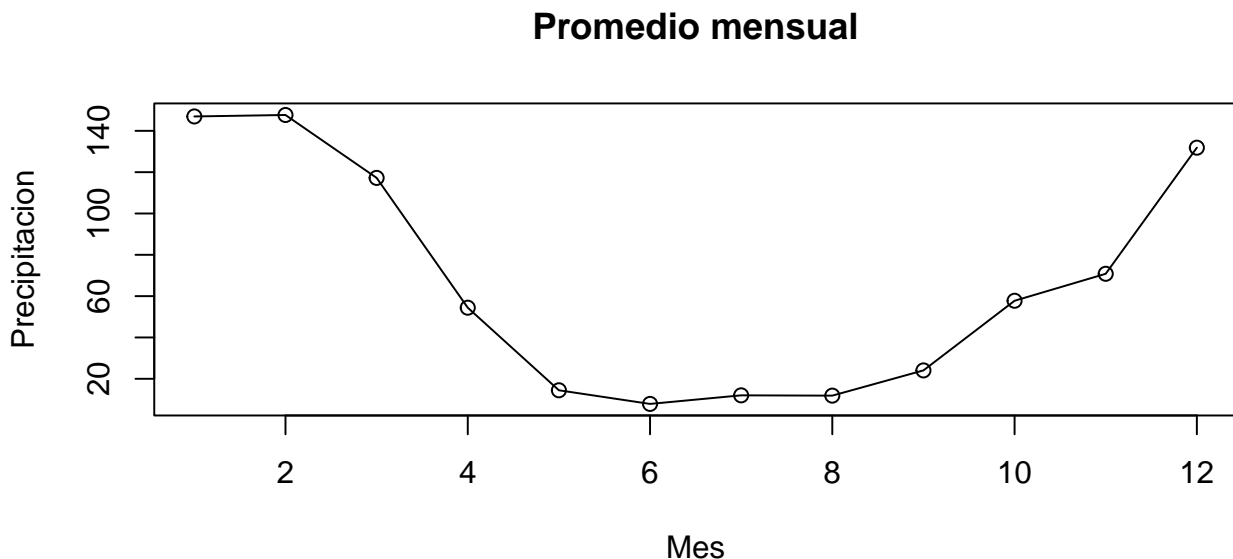
```
1 promedio_mensual <- c()
2 for (i in 1:12) {
3   promedio_mensual[i] <- mean(pp_matriz[, i])
4 }
5 promedio_mensual
```

```
[1] 146.96250 147.67500 117.22500  54.40000  14.43750   7.83750  11.98750
[8]  11.85000  24.05625  57.76875  70.82500 131.85000
```

Graficar los promedios mensuales

```
1 plot(1:12, promedio_mensual, type = "o", main = "Promedio mensual",
2      xlab = "Mes", ylab = "Precipitacion")
```

Figura 2: Promedios mensuales con la función plot()



Calcular totales anuales

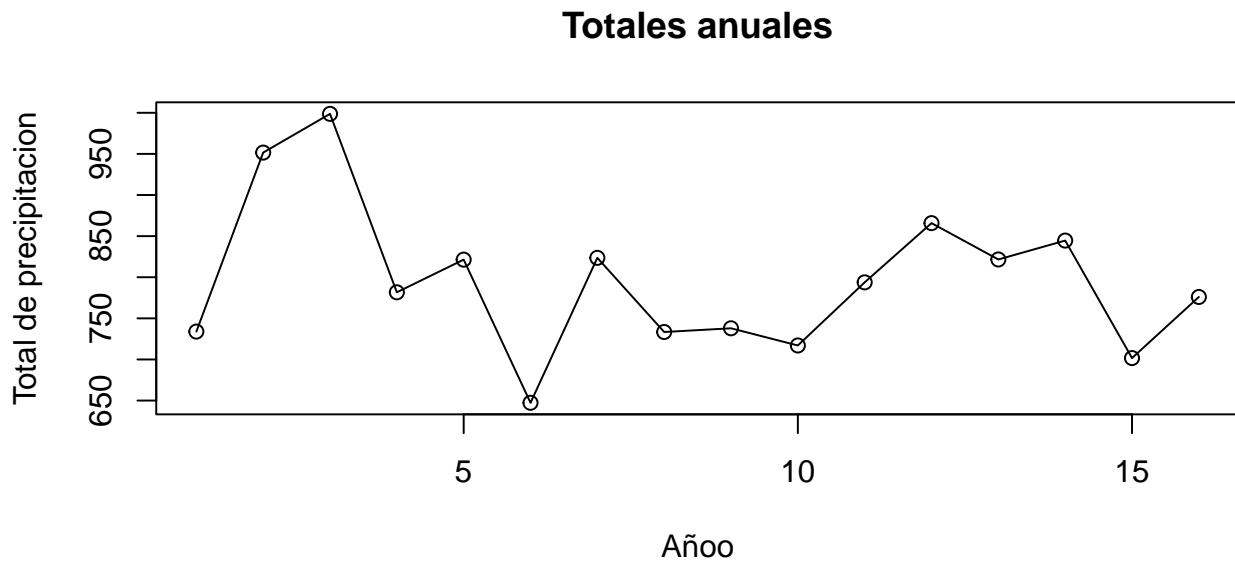
```
1 total_anual <- numeric(nrow(pp_matriz))
2 for (j in 1:nrow(pp_matriz)) {
3   total_anual[j] <- sum(pp_matriz[j, ])
4 }
5 total_anual
```

```
[1] 733.9 951.6 998.7 781.7 821.4 647.3 823.6 733.4 737.9 717.0 793.8 865.8
[13] 821.6 844.6 701.7 776.0
```

Graficar los totales anuales

```
1 plot(1:nrow(pp_matriz), total_anual, type = "o", main = "Totales anuales",
2      xlab = "Año", ylab = "Total de precipitacion")
```

Figura 3: Totales anuales con la función plot()



También puede hacerse uso de la familia de funciones `apply()` para mostrar data agregada:

```
1 promedio_mensual_apply <- apply(pp_matriz, MARGIN = 2, FUN = mean)
2 total_anual_apply <- apply(pp_matriz, MARGIN = 1, FUN = sum)
3
4 # Convertir la matriz a lista de columnas y calcular el promedio mensual
5 pp_matriz_lista <- as.list(data.frame(pp_matriz))
6 lapply(pp_matriz_lista, mean)
```

```
$X1
[1] 146.9625
```

```
$X2
[1] 147.675
```

```
$X3
[1] 117.225
```

```
$X4
[1] 54.4
```

```
$X5
[1] 14.4375
```

```
$X6
[1] 7.8375
```

```
$X7
[1] 11.9875
```

```
$X8
[1] 11.85
```

```
$X9
```

```
[1] 24.05625
```

```
$X10
```

```
[1] 57.76875
```

```
$X11
```

```
[1] 70.825
```

```
$X12
```

```
[1] 131.85
```

```
1  sapply(pp_matriz_lista, mean)
```

```
      X1      X2      X3      X4      X5      X6      X7      X8
146.96250 147.67500 117.22500  54.40000  14.43750   7.83750  11.98750  11.85000
      X9      X10     X11     X12
24.05625  57.76875  70.82500 131.85000
```

```
1  # Calculo de promedios de columnas y totales de filas con funciones especificas
2  colMeans(pp_matriz)
```

```
[1] 146.96250 147.67500 117.22500  54.40000  14.43750   7.83750  11.98750
[8] 11.85000  24.05625  57.76875  70.82500 131.85000
```

```
1  rowSums(pp_matriz)
```

```
[1] 733.9 951.6 998.7 781.7 821.4 647.3 823.6 733.4 737.9 717.0 793.8 865.8
[13] 821.6 844.6 701.7 776.0
```

## 2.2 Manejo de series de tiempo

Cargamos un registro de precipitación a paso diario.

```
1  data <- read.csv("input/prec_2.csv", header = TRUE, check.names = FALSE,
2                      stringsAsFactors = FALSE)
3  str(data)
```

```
'data.frame':  5844 obs. of  9 variables:
 $ fecha: chr  "2000-01-01" "2000-01-02" "2000-01-03" "2000-01-04" ...
 $ 679  : num  3.1 7.1 3 31.4 11.8 1.8 3.1 32.2 48 24.1 ...
 $ 683  : num  3.8 NA 0 15.2 14.4 1.8 16.2 12.5 1.2 11.3 ...
 $ 844  : num  4.1 0 0 0 13.1 1 11.1 13 0 5.1 ...
 $ 809  : num  2.6 0 0 0 5.4 2 24.8 3.2 4.5 12.2 ...
 $ 690  : num  0.8 0 0 0 12.5 1.3 8.8 0 5 9.3 ...
 $ 687  : num  0 12.9 0 NA 3.5 2 3.5 7.6 1.1 9.8 ...
 $ 812  : num  1.7 NA 0 0 5.6 3.9 1.3 5 2.4 6.8 ...
 $ 759  : num  8 0.6 1 3.1 2.8 0 2.3 8 2.9 6.9 ...
```

```
1 head(data, 10)
```

Tabla 1: Encabezado de la base de datos cargada

fecha	679	683	844	809	690	687	812	759
2000-01-01	3.1	3.8	4.1	2.6	0.8	0.0	1.7	8.0
2000-01-02	7.1	NA	0.0	0.0	0.0	12.9	NA	0.6
2000-01-03	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
2000-01-04	31.4	15.2	0.0	0.0	0.0	NA	0.0	3.1
2000-01-05	11.8	14.4	13.1	5.4	12.5	3.5	5.6	2.8
2000-01-06	1.8	1.8	1.0	2.0	1.3	2.0	3.9	0.0
2000-01-07	3.1	16.2	11.1	24.8	8.8	3.5	1.3	2.3
2000-01-08	32.2	12.5	13.0	3.2	0.0	7.6	5.0	8.0
2000-01-09	48.0	1.2	0.0	4.5	5.0	1.1	2.4	2.9
2000-01-10	24.1	11.3	5.1	12.2	9.3	9.8	6.8	6.9

### 2.2.1 Crear un objeto xts

```
1 library(xts)
2 idx <- as.Date(data[, 1])
3 data_matrix <- data[, -1]
4 data_xts <- xts(data_matrix, order.by = idx)
5 str(data_xts)
```

An xts object on 2000-01-01 / 2015-12-31 containing:

Data: double [5844, 8]

Columns: 679, 683, 844, 809, 690 ... with 3 more columns

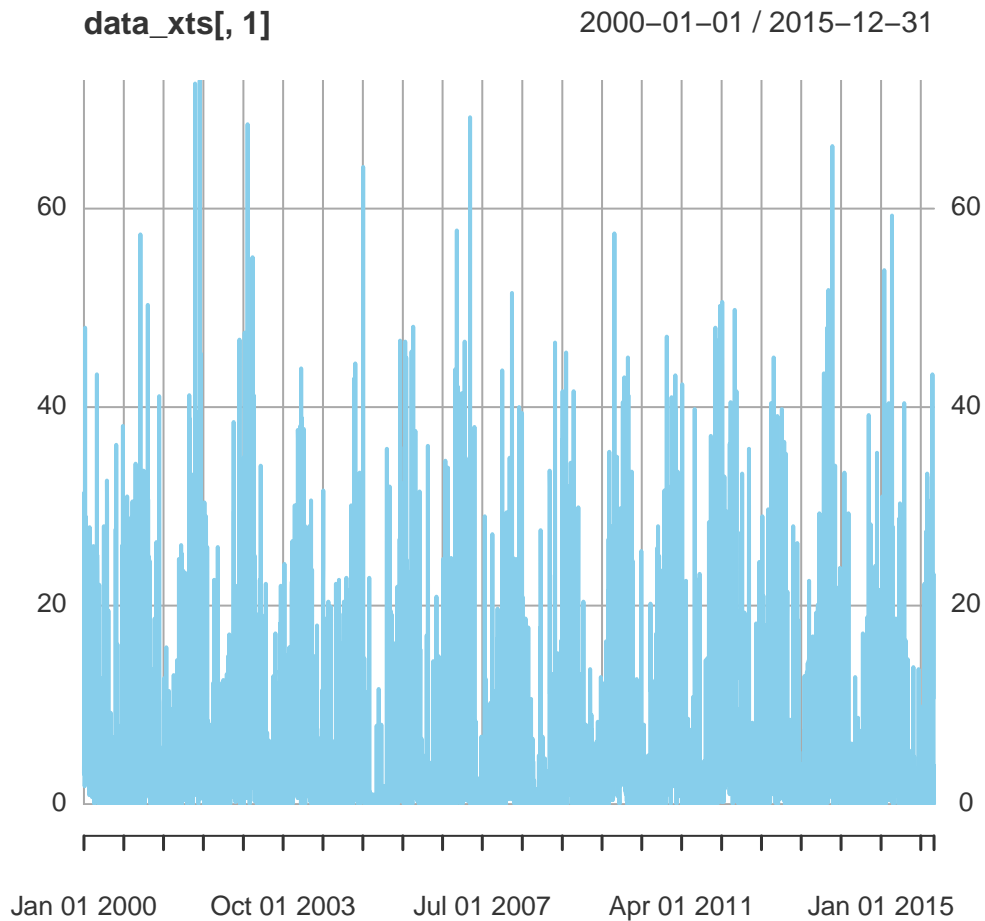
Index: Date [5844] (TZ: "UTC")

Graficando el objeto xts

```
1 plot(data_xts[,1], type = "l", alpha = 0.1, col = "skyblue")
```



Figura 4: Serie de tiempo con el paquete xts



## 2.2.2 Trabajando con el paquete zoo

Convirtiendo el objeto xts a zoo

```
1 data_zoo <- as.zoo(data_xts)
2 str(data_zoo)
```

'zoo' series from 2000-01-01 to 2015-12-31

Data: num [1:5844, 1:8] 3.1 7.1 3 31.4 11.8 1.8 3.1 32.2 48 24.1 ...

- attr(\*, "dimnames")=List of 2

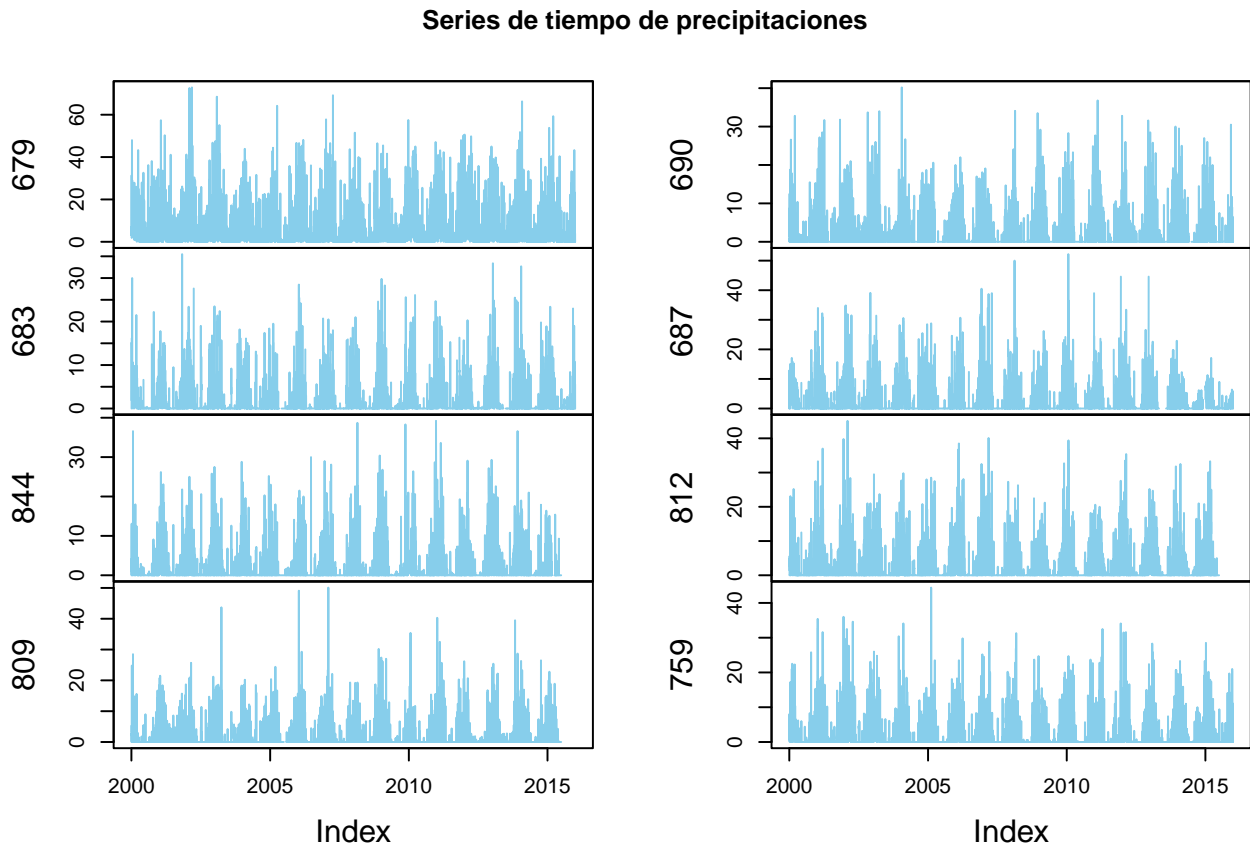
..\$ : NULL

..\$ : chr [1:8] "679" "683" "844" "809" ...

Index: Date[1:5844], format: "2000-01-01" "2000-01-02" "2000-01-03" "2000-01-04" "2000-01-05"

```
1 plot(data_zoo,
2       main = "Series de tiempo de precipitaciones",
3       type = "l", col = "skyblue")
```

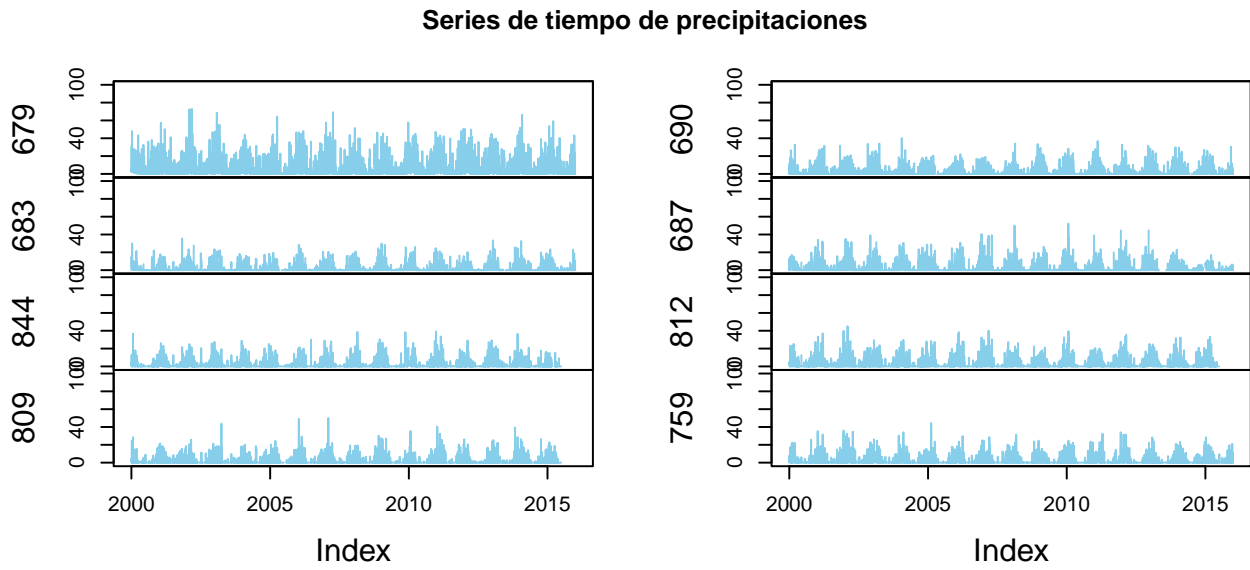
Figura 5: Serie de tiempo con el paquete zoo



Configurando el eje y para todos los gráficos del grupo:

```
1 plot(data_zoo,  
2     main = "Series de tiempo de precipitaciones",  
3     ylim = c(0, 100),  
4     type = "l", col = "skyblue")
```

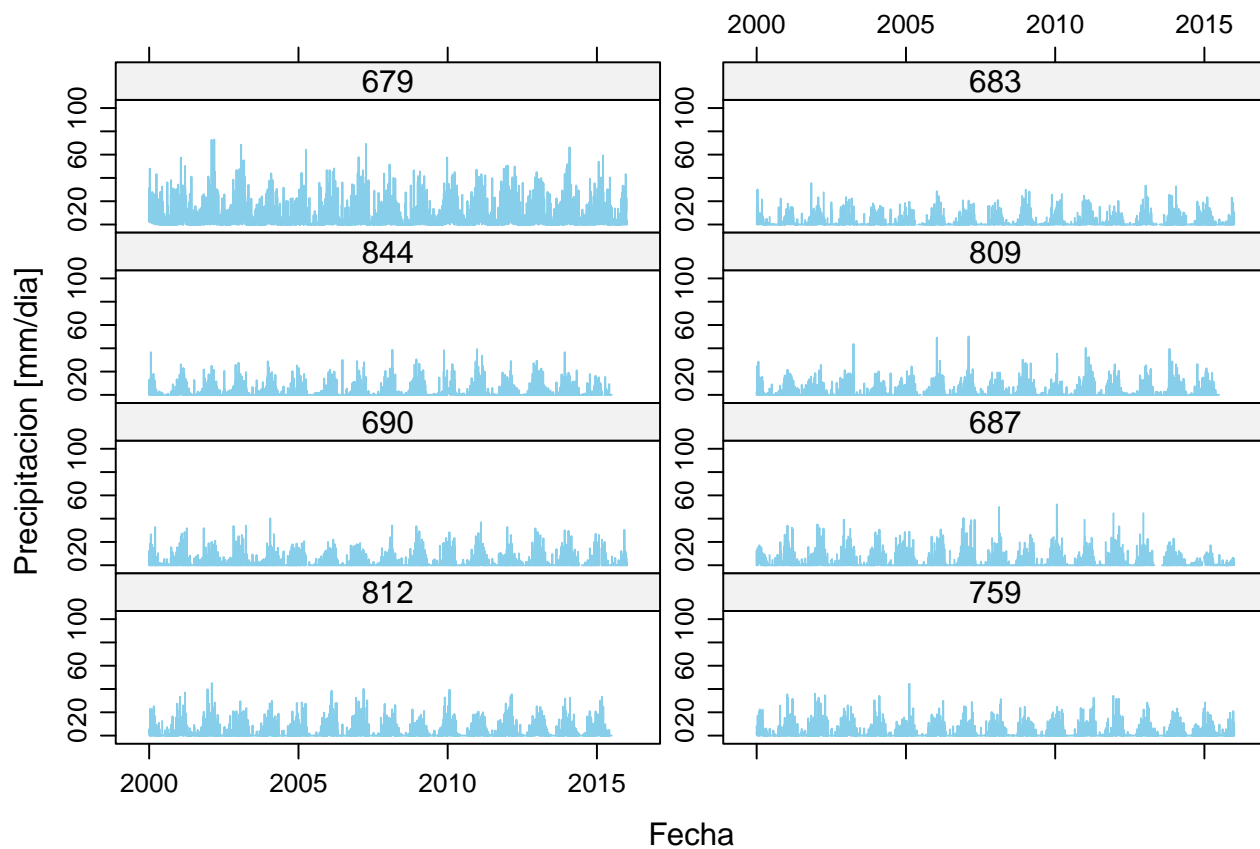
Figura 6: Graficación con el paquete zoo



### 2.2.3 Graficando con el paquete lattice()

```
1 library(lattice)
2 xyplot(data_xts,
3       xlab = "Fecha",
4       ylab = "Precipitacion [mm/dia]",
5       ylim = c(0, 100), col = "skyblue")
```

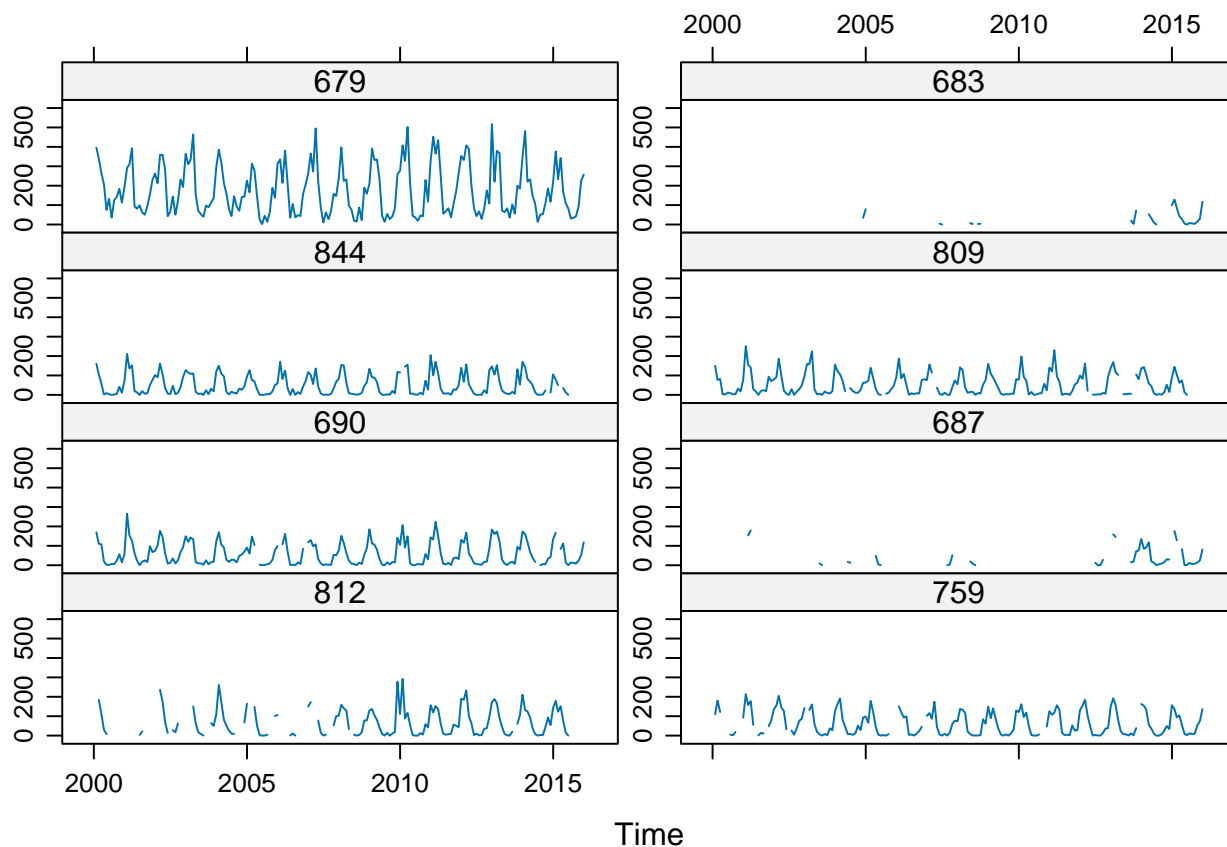
Figura 7: Graficación con el paquete lattice



### 2.3 Agregaciones anuales y mensuales

```
1 data_monthly <- apply.monthly(data_xts, FUN = apply, MARGIN = 2, sum)
2 xyplot(data_monthly, ylim = c(0, 600))
```

Figura 8: Precipitación a paso mensual



Función para agregación de datos eliminando valores insuficientes.

```
1 SUM <- function(a, n) {
2   count <- sum(is.na(a)) # Cantidad de datos perdidos
3   if (count <= n) {
4     tot <- sum(a, na.rm = TRUE)
5   } else {
6     tot <- NA
7   }
8   return(tot)
9 }
```

Aplicando la función

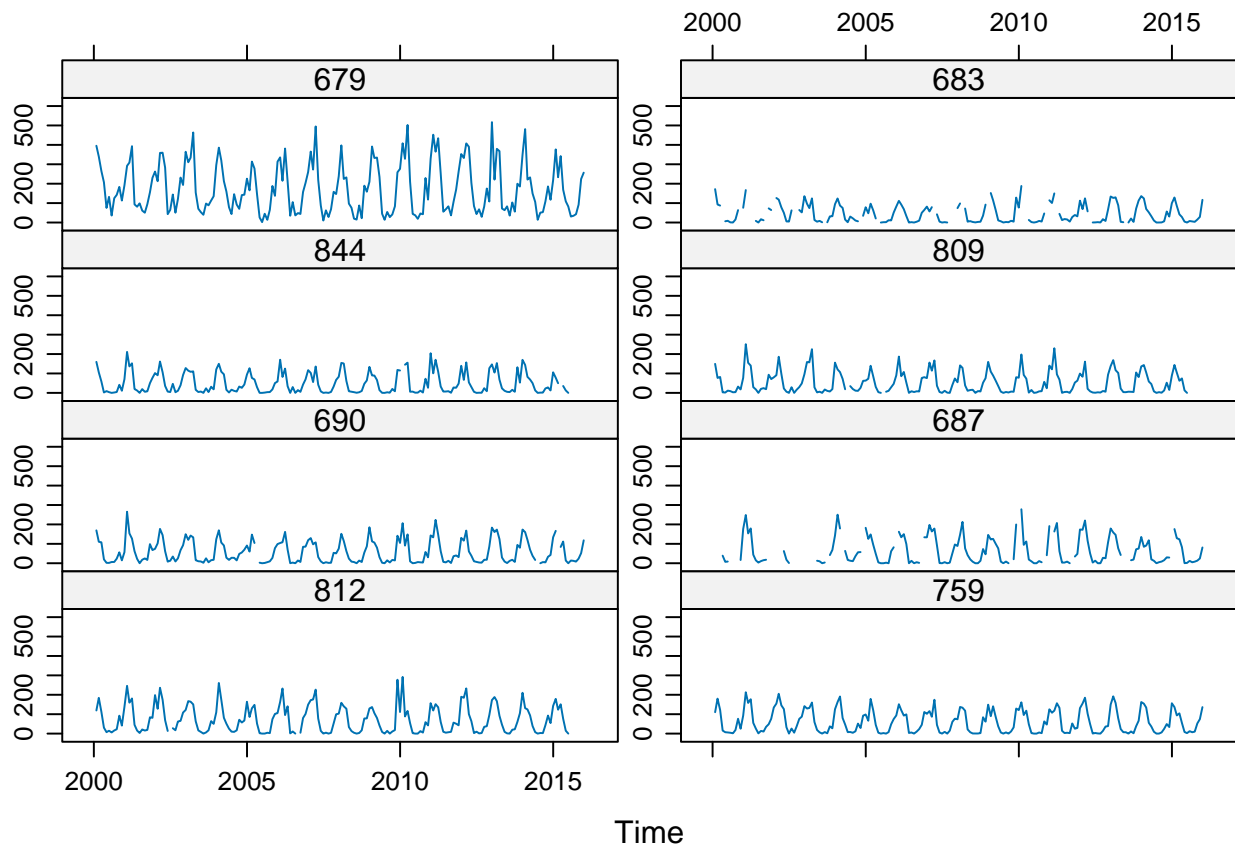
```
1 SUM(a = c(1:28, NA, NA), n = 1)
```

[1] NA

Agregación de data mensual considerando pocos datos perdidos

```
1 data_monthly <- apply.monthly(data_xts, FUN = apply, MARGIN = 2, SUM, n = 3)
2 xyplot(data_monthly, ylim = c(0, 600))
```

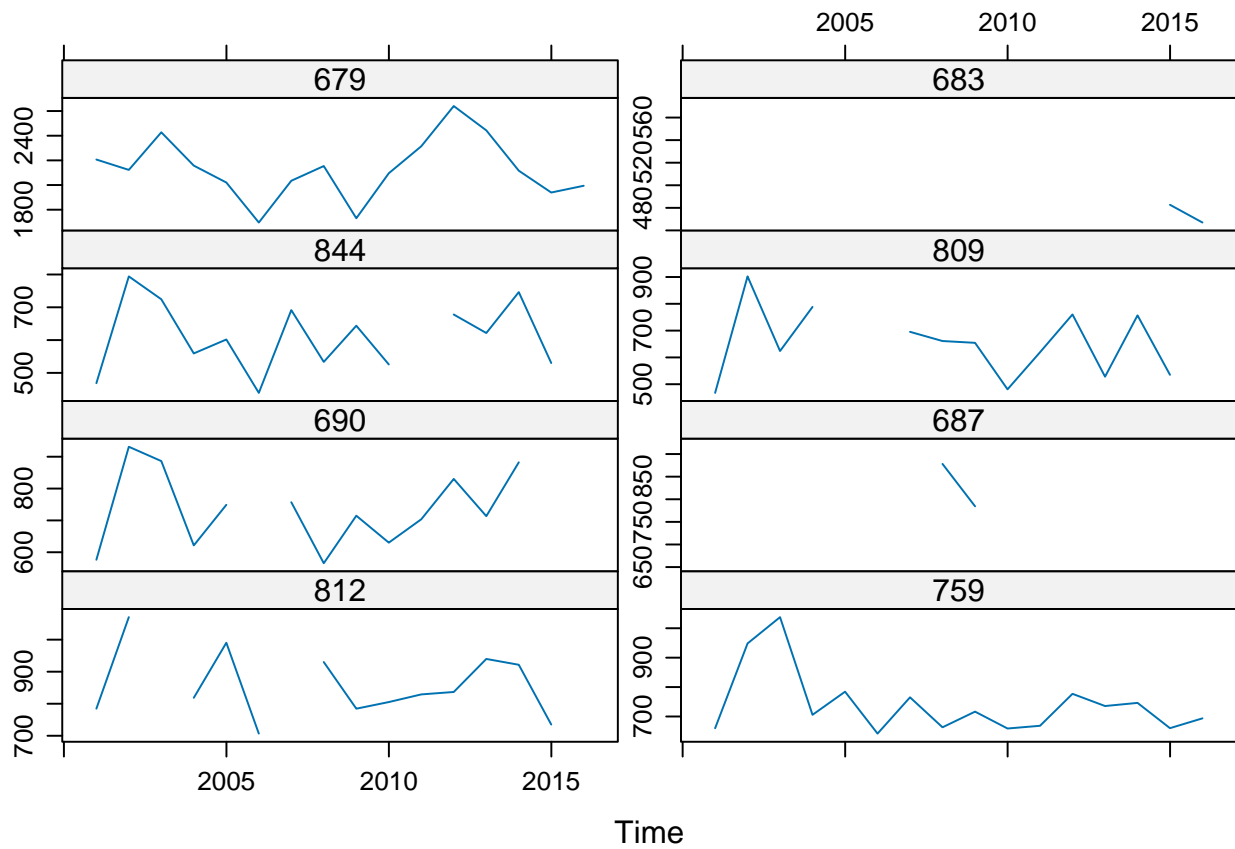
Figura 9: Precipitación mensual



Agregación de mensual a anual

```
1 data_annual <- apply.yearly(data_monthly, FUN = apply, MARGIN = 2, sum)
2 xyplot(data_annual)
```

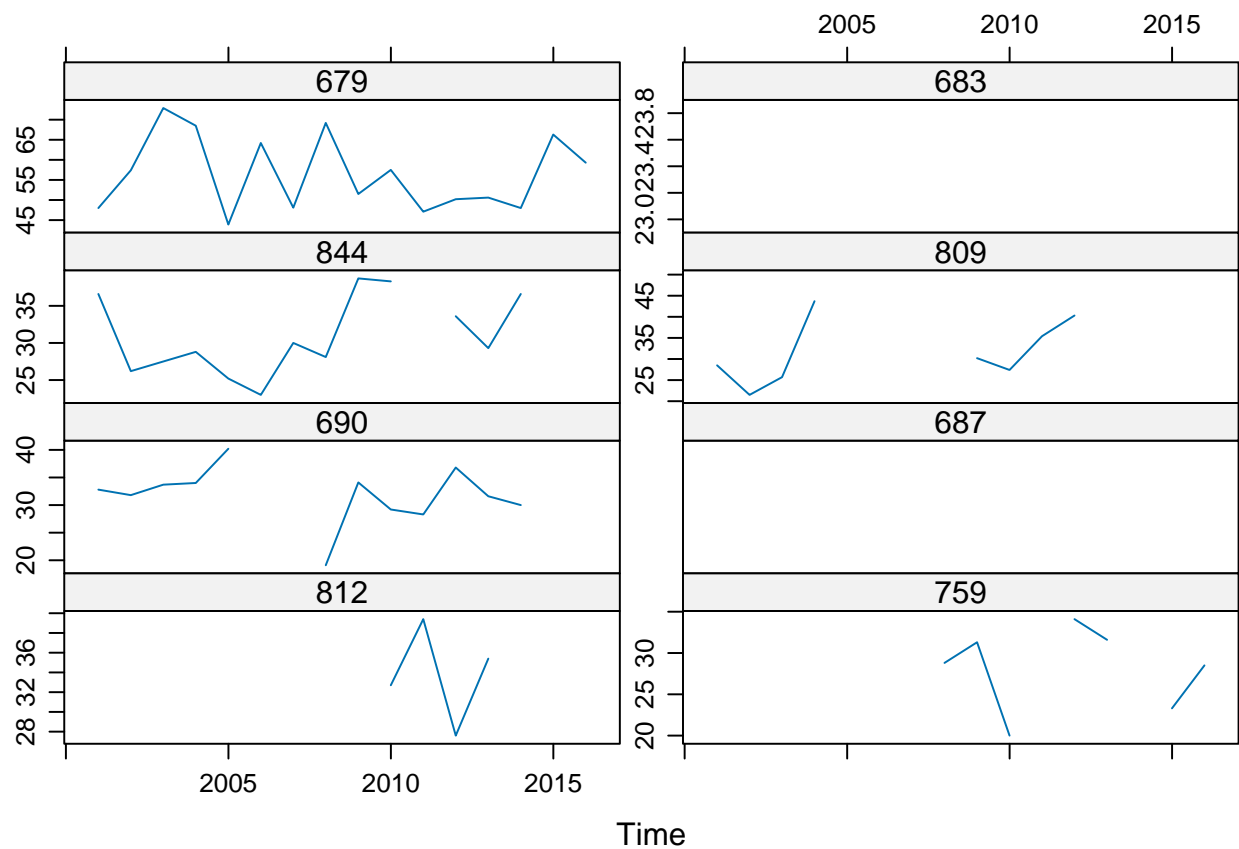
Figura 10: Precipitación anual



Precipitación máxima anual

```
1 data_max_annual <- apply.yearly(data_xts, FUN = apply, MARGIN = 2, max)
2 xyplot(data_max_annual)
```

Figura 11: Precipitación máxima anual

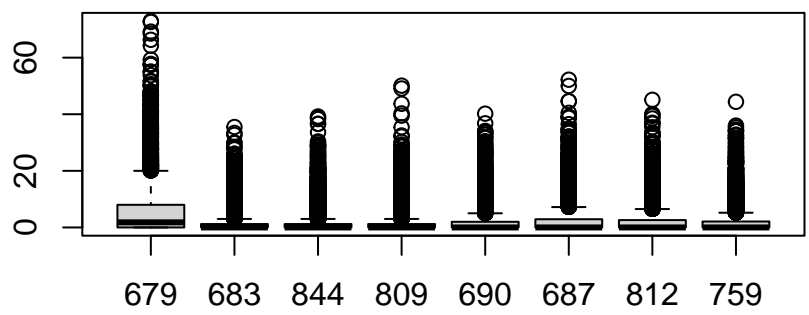


2.4 Análisis exploratorio

Comparación de datos de precipitación por estación

```
1 boxplot(coredata(data_xts))
```

Figura 12: Boxplot de cada estación



Comparación de data mensual en una estación

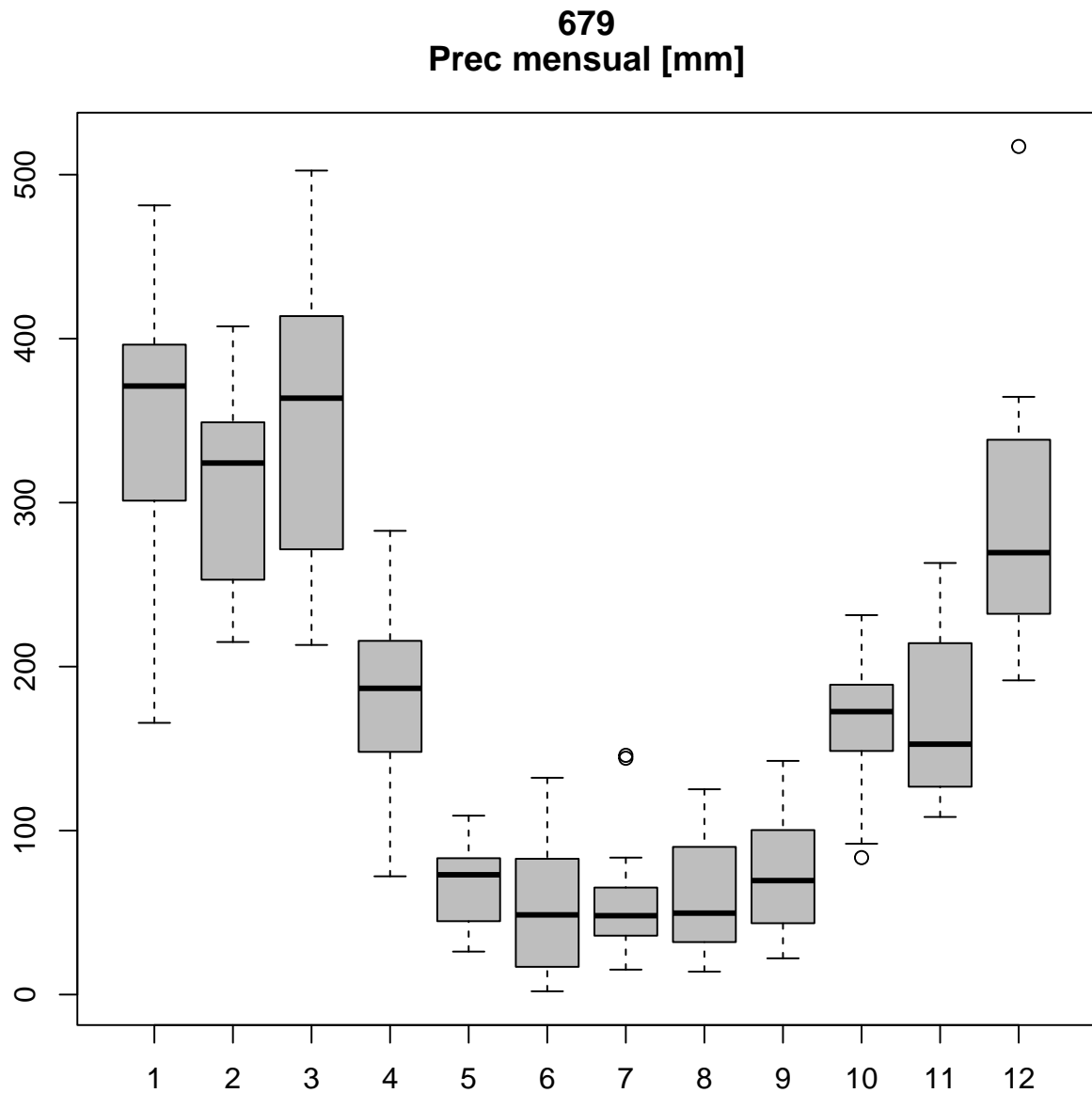


```

1 boxplot(matrix(coredata(data_monthly[, 1]),
2               nrow = nrow(data_monthly) / 12,
3               ncol = 12,
4               byrow = TRUE),
5         col = "gray",
6         main = c(paste(names(data_monthly[, 1])), "Prec mensual [mm]"))

```

Figura 13: Análisis en precipitación mensual



```

1 library(hydroTSM)
2 par(mfrow=c(1,1), mar=c(4,4,2,2))
3 hydroplot(as.zoo(data_xts[, 1]), var.type = "Precipitation",
4           pfreq = "dma", ylab = "Prec")

```

Figura 14: Análisis en precipitación mensual con hydroTSM

